POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale

Architettura per il Progetto Sostenibile

Tesi di Laurea Magistrale

Valutazione della sostenibilità economica dei progetti in ottica *Life Cycle Thinking*: approcci emergenti nella letteratura.

Relatore:

Elena Fregonara

Candidato:

Giulia Porcaro

Desidero ringraziare la Prof.ssa Fregonara,
per la grande disponibilità e cortesia dimostratemi,
e per tutto l'aiuto fornito durante la stesura.

INDICE

INTRODUZIONE

CAPITOLO 01
VALUTAZIONE DEI COSTI NEL CICLO DI VITA DEL PROGETTO: APPROCCIO *LIFE CYCLE COSTING*

1.1 INTRODUZIONE…… pag. 5

1.2 ASPETTI METODOLOGICI DELL'APPROCCIO *LIFE CYCLE COSTING* ……. pag. 10

1.3 CATEGORIE E VOCI DI COSTO PER L'ANALISI LCC…… pag. 23

1.4 MISURE DI VALUTAZIONE ECONOMICA…… pag. 26

1.5 ANALISI DI RISCHIO NELL'APPROCCIO LCC…… pag. 31

1.5.1 Approccio deterministico: Sensitivity Analysis…… pag. 33

1.5.2 Approccio probabilistico: Analisi di probabilità. Metodo analitico e metodo della simulazione…… pag. 34

BIBLIOGRAFIA CAPITOLO 1…… pag. 38

CAPITOLO 02
EFFICIENZA ENERGETICA IN FUNZIONE DEI COSTI: ANALISI *COST - OPTIMAL*

2.1 INTRODUZIONE…… pag. 42

2.2 METODOLOGIA PER CALCOLARE I LIVELLI ENERGETICI OTTIMALI IN FUNZIONE DEI COSTI…… pag. 44

2.3 EDIFICI DI RIFERIMENTO…… pag. 49

Contesto
Edifici residenziali – nuove costruzioni e edifici esistenti
Edifici non residenziali - nuove costruzioni e edifici esistenti
Tipologie di edifici

2.4 STANDARD EUROPEI SULLE PRESTAZIONI ENERGETICHE DEGLI EDIFICI E LE FASI DI CALCOLO…… pag. 53

2.5 MODELLO DI CALCOLO PER LA VALUTAZIONE ECONOMICA…….. pag.55

BIBLIOGRAFIA CAPITOLO 2…….. pag. 57

CAPITOLO 03
REVIEW BIBLIOGRAFICA

3.1 INTRODUZIONE…….. pag. 61

3.2 SCHEDATURA DEGLI ARTICOLI ALL'INTERNO DI UNA TABELLA SINTETICA ……..... pag. 62

3.3 SCHEDATURA SINTETICA DEI PRODOTTI BIBLIOGRAFICI…….. pag. 67

BIBLIOGRAFIA CAPITOLO 3…… pag. 118

CAPITOLO 04
ANALISI DELLA LETTERATURA

4.1 INTRODUZIONE…….. pag. 125

4.2 SVILUPPO NEL TEMPO DEI PRODOTTI BIBLIOGRAFICI RELATIVI ALLE METODOLOGIE *LIFE CYCLE COSTING* E *COST OPTIMAL* …….. pag 126

4.3 DECLINAZIONI DELLE METODOLOGIE LCC E *COST OPTIMAL* E I RELATIVI OGGETTI DI RIFERIMENTO PER L'APPLICAZIONE…….. pag. 129

4.4 CONTESTUALIZZAZIONE GEOGRAFICA E RICOGNIZIONE DELLE DISCIPLINE SCIENTIFICHE COINVOLTE NELLA LETTERATURA……. pag. 140

BIBLIOGRAFIA CAPITOLO 4 …….. pag. 150

Il tema della sostenibilità negli ultimi anni è sempre più al centro di dibattiti e in termini economici al giorno d'oggi è fondamentale amministrare e gestire adeguatamente i fondi per la progettazione, la realizzazione e gestione degli edifici. Inoltre è anche importante utilizzare materiali e fonti di energia che riducano l'impatto sull'ambiente.

Per valutare la sostenibilità economica di un edificio, o componente di esso, è stato sviluppato l'approccio *Life Cycle Costing*, uno strumento che consente di calcolare e gestire tutti i costi legati all'intero ciclo di vita di un progetto, dalla progettazione alla demolizione.

Secondo questa metodologia il concetto di costo viene inteso anche in termini di risparmi e benefici, mediante l'utilizzo di strumenti che permettono di diminuire la domanda di energia per l'edificio, e di conseguenza diminuendo anche l'impatto economico.

A tal proposito è importante fare riferimento al concetto di *Global Cost*: il calcolo del costo globale permette di individuare alternative progettuali in termini economici, considerando tutti i costi relativi all'edificio, o a parti di esso, dalla fase iniziale allo smaltimento, attualizzando tutte le voci di costo prese in considerazione.

Sulla base di quanto detto, è stato sviluppato il lavoro di tesi che riguarda le metodologie di valutazione immobiliare in termini di sostenibilità economica, quali *Life Cycle Costing* e *Cost Optimal*. A tal riguardo vengono spiegate le modalità di applicazione, le misure di valutazione economica da utilizzare e una finale lettura e interpretazione dei risultati, attraverso l'utilizzo di fonti bibliografiche e dalla letteratura internazionale e nazionale su tema in oggetto.

L'obiettivo principale del lavoro di tesi presentato è infatti la presentazione di una review bibliografica della letteratura fondata sul tema della sostenibilità economica: all'interno del quadro delle

metodologie presentate, vengono individuati prodotti bibliografici in modo tale da comprendere le modalità e i campi di applicazione delle metodologie.
Pertanto le tematiche sopra menzionate vengono trattate in questa tesi strutturata in quattro capitoli principali.

Nel primo capitolo l'oggetto in questione è l'approccio *Life Cycle Costing* (LCC). Dopo un'iniziale descrizione del concetto di sostenibilità economica e del concetto di *Life Cycle Costing* con le relative voci di costo, viene spiegato in maniera dettagliata il suo sviluppo nei 15 *step* che caratterizzano la metodologia, facendo anche riferimento alle relazioni esistenti con la metodologia *Life Cycle Assessment* (LCA) per l'analisi ambientale e come queste due metodologie possano essere applicate congiuntamente. In conclusione al capitolo viene inoltre introdotta una sezione relativa al trattamento delle componenti di rischio e incertezza nell'analisi LCC e i possibili approcci utilizzati per il calcolo e la gestione dei rischi.

Il secondo capitolo riguarda l'analisi della prestazione energetica in termini di costi secondo il calcolo del *Cost Optimal*. Dopo aver definito i principi relativi al rendimento energetico degli edifici secondo la Direttiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2002 sul rendimento energetico nell'edilizia, conosciuta come EPBD (*Energy Performance of Building Directive*) e il concetto di costo ottimale, vengono indicate le principali fasi di calcolo e le rispettive normative di riferimento.

Il capitolo terzo si occupa della ricerca di prodotti bibliografici, testi e articoli di riviste scientifiche, che trattano gli approcci LCC e *Cost Optimal*. Gli articoli individuati vengono prima raccolti in una tabella riassuntiva in cui vengono messi in rilievo l'oggetto di studio e le

metodologie di analisi, e successivamente per ognuno di essi viene realizzata una scheda descrittiva che ne riassume i punti fondamentali.

Nel quarto ed ultimo capitolo si analizza la letteratura relativamente agli prodotti bibliografici raccolti nel precedente capitolo: vengono presentate alcune riflessioni relativamente alle metodologie utilizzate e agli ambiti/oggetti di applicazione per l'analisi dei costi nel ciclo di vita del progetto. Inoltre vengono distinte le differenti aree disciplinari che si interfacciano nella letteratura analizzata e viene posta l'attenzione anche sul contesto geografico relativo alla pubblicazione dei prodotti bibliografici raccolti.

01

VALUTAZIONE DEI COSTI NEL CICLO DI VITA DEL PROGETTO: APPROCCIO *LIFE CYCLE COSTING*

1.1 INTRODUZIONE

Lo sviluppo sostenibile è definito come un processo che soddisfa i bisogni della generazione attuale senza compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare i loro bisogni[1].
Il ciclo di vita è un approccio olistico che considera i fattori di sostenibilità lungo l'intera vita di un prodotto o di un processo, dal concepimento, all'uso e allo smaltimento.
Le applicazioni più note del ciclo di vita sono gli strumenti di Life Cycle Assessment (LCA) sviluppati dagli ecologi industriali per valutare gli impatti ambientali di prodotti e servizi durante tutte le fasi della loro vita. La metodologia di LCA è ben definita e include standard internazionali, come la ISO 14040:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. La responsabilità ambientale richiede una visione a lungo termine, comprendendo che le decisioni progettuali iniziali abbiano un impatto profondo sulla vita di un edificio.
Mentre la comunità di ricerca e i produttori si preoccupano di quantificare e individuare le conseguenze ambientali, le pratiche di progettazione degli edifici richiede che anche le scelte siano impostate all'interno di un quadro dei costi.
È stato così sviluppato uno strumento di valutazione economica, il Life Cycle Costing (LCC) definito dalla norma ISO 15686-5:2008 *Buildings and constructed assets. Service-life planning. Part 5: Life-cycle costing.*
L'approccio Life Cycle Costing è stato tradizionalmente considerato come lo strumento per prendere decisioni informate ed efficaci. I costi futuri sono scontati nel tempo per rendere possibili confronti economici tra diverse strategie alternative.
Vi sono molti parallelismi tra LCA e analisi dei costi del ciclo di vita, in quanto entrambi i metodi tentano di definire le prestazioni nel tempo utilizzando una unità di misura, quali per esempio energia, CO_2 equivalente, ecc. e economiche rispettivamente.[2]
La metodologia LCC fu sviluppata per la prima volta a metà degli anni '60 a supporto del Dipartimento della Difesa statunitense nell'acquisto di equipaggiamento militare. In seguito, negli anni '70, la tecnica LCC sviluppa i principi della valutazione "tecnica ed economica" delle

[1] WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (WCED). (1987). Our Common Future. Oxford, UK: Oxford University Press.

[2] COLE R., STERNER E., (2000), *Reconciling theory and practice of life-cycle costing*, Building Research & Information, pp. 368-375.

alternative progettuali e tecnologiche nel campo dell'edilizia, mantenendo tutt'oggi in questo settore il proprio ruolo principale di applicazione.[3]

In uno studio condotto presso la Pennsylvania State University (2017) si afferma che ci sono due ragioni per fare un'analisi LCC:

1. confrontare sistemi diversi esaminando i vantaggi economici della sostenibilità negli sviluppi immobiliari;
2. determinare il sistema più conveniente.

Inoltre si aggiunge che:

- se il costo iniziale di un sistema è elevato, i vari costi complessivi saranno bassi nel corso del suo ciclo di vita;
- il costo iniziale di un sistema e i costi totali potrebbero essere bassi, ma la vita utile di tale sistema potrebbe essere breve.[4]

L'approccio *Life Cycle Costing* si basa sul concetto di ciclo di vita di un edificio, considerando tutte le fasi che caratterizzano l'intero ciclo di vita "dalla culla alla tomba".

Tali fasi corrispondono a:

1. Avvio
2. Pianificazione
3. Progettazione
4. Costruzione
5. Esercizio, manutenzione, sostituzione
6. Fine di vita, smaltimento.

Nella seguente figura vengono mostrate le fasi di vita correlate al *Whole Life Cost* e al *Life Cycle Cost*, distinguendo ulteriormente *Life Cycle Cost in construction* e *Life Cycle Cost in use*.

[3] MANGIAROTTI A., TRONCONI O., (2010), *Il progetto di fattibilità. Analisi tecnica economica e sistemi costruttivi*, McGraw-Hill, Milano.

[4] The Pennsylvania State University. (2017). *Life Cycle Cost Analysis* | EGEE 102: Energy Conservation and Environmental Protection. PennState College of Earth and Mineral Sciences. Retrieved 15 April 2017, from https://www.e-education.psu.edu/egee102/node/2036.

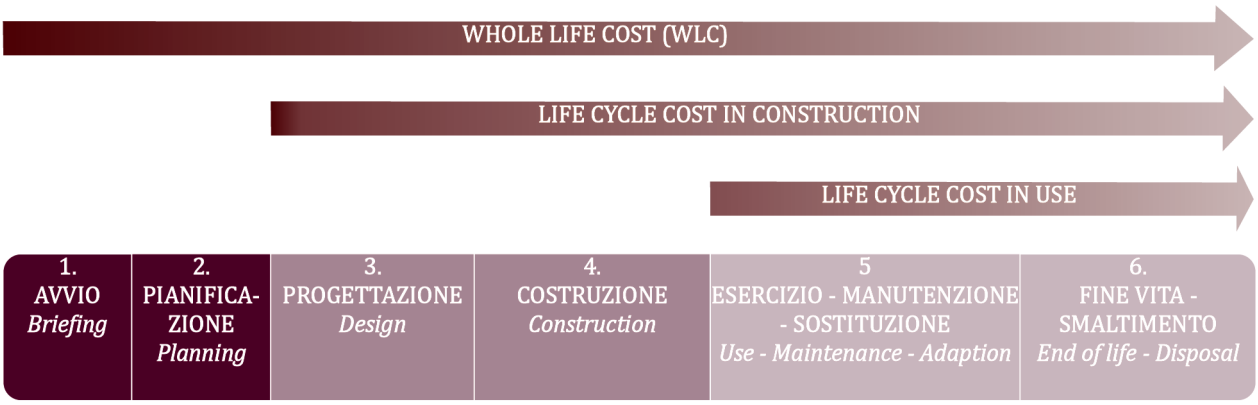


Fig. 1 WLC e LCC correlati alle fasi del ciclo di vita edilizio

Fonte: elaborazione da Fregonara E. (2015), *Valutazione sostenibilità progetto. Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali*, Franco Angeli, Milano, sulla base di ISO/FDIS 15686-5:2008 (E), pag. 20.

Il concetto di costo del ciclo di vita (*Lyfe Cycle Cost*) è il fondamento della metodologia LCC. Secondo la ISO 15686-5:2007 (aggiornata al 2008), *Building and constructed assets*. *Service-life Planning*. *Part 5- Life Cycle Costing* (aggiornata al 2017) il concetto di *Global Cost* è fondamentale per l'analisi LCC, in quanto rappresenta il costo globale di un edificio o di parti di esso dalla fase iniziale fino allo smaltimento o demolizione.

Fuller afferma che ci sono numerosi costi associati all'edificio durante il suo ciclo di vita, tra cui quelli relativi all'acquisto, al funzionamento, al mantenimento e allo smantellamento di esso[5].

I costi relativi agli edifici rientrano solitamente nelle seguenti categorie:

- Costi iniziali: progetto, acquisto, costi di costruzione;
- Costi energetici e idrici;
- Costi operativi, di manutenzione e di riparazione;
- Costi di sostituzione;
- Valori residui: valori di rivendita o di recupero o costi di smaltimento.

Nel caso in cui si calcoli il Whole Life Cost il valore residuo deve essere incluso, considerandolo tra i possibili ricavi (*incomes*)[6].

Il calcolo del *Global Cost* permette di individuare alternative progettuali dal punto di vista dei costi durante il loro ciclo di vita e di identificare quelli che richiederanno un investimento iniziale maggiore per poi ridurre i futuri costi di gestione.

[5] FULLER S. (2016). *Life Cycle Cost Analysis*. Whole Building Design Guide (WBDG), da https://www.wbdg.org/resources/life-cycle-cost-analysis-lcca.

[6] Cfr. ISO 15686 – Part 5, sezioni 3.1.4 e 4.4.7.

Il calcolo del *Global Cost* è definito dallo Standard EN 15459:2008 – *Prestazione energetica degli edifici – Procedura di valutazione economica dei sistemi energetici degli edifici* attraverso il Metodo del costo globale o del valore attualizzato.

Il *Global Cost* è formulato come segue[7]:

$$C_G(\tau) = C_I + \sum_j \left[\sum_{i=1}^{\tau} \left(C_{a,i}(j) \cdot R_d(i) \right) - V_{f,\tau}(j) \right]$$

in cui:

$C_G(\tau)$ rappresenta il *Global Cost* riferito all'anno iniziale τ_0;

C_I rappresenta con i costi di investimento iniziali;

$C_{a,i}(j)$ rappresenta il costo annuale all'anno i per il componente *j* (inclusi i costi di esercizio e i costi periodici o di sostituzione);

$R_d(i)$ rappresenta il fattore di attualizzazione all'anno i;

$V_{f,\tau}(j)$ è il valore finale del componente *j* alla fine del periodo di calcolo (riferito all'anno iniziale τ_0.

Inoltre il fattore di attualizzazione R_d si può esprimere come:

$$R_d = \frac{1}{(1 + R_r)^p}$$

dove:

R_r rappresenta il saggio di sconto reale e *p* il periodo di riferimento.

La formula del *Global Cost* nell'ambito di un'analisi *Life Cycle Cost* tiene in considerazione i "costi rilevanti" e può essere riscritta come segue:

$$LCC = \sum_{t=0}^{N} \frac{C_t}{(1 + r)^t}$$

[7] FREGONARA E., (2015), *Valutazione sostenibilità progetto. Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali*, Franco Angeli, Milano.

dove:

C_t è la somma dei costi rilevanti;

N rappresenta il numero di anni del periodo considerato;

r rappresenta il saggio di sconto.

Tra le componenti dei costi rilevanti si possono distinguere la componente di costo di investimento iniziale, quella di costo di gestione e quella di manutenzione, ottenendo la seguente formula:

$$LCC = C_i + \sum_{t=0}^{N} \frac{C_g + C_m}{(1+r)^t} \pm V_r \left(\frac{1}{(1+r)^N}\right)$$

dove:

LCC rappresenta il Life Cycle Cost;

C_i rappresenta i costi di investimento;

C_g rappresenta i costi di gestione;

C_m rappresenta i costi di manutenzione;

t rappresenta l'anno in cui vengono sostenuti i costi;

N rappresenta il numero di anni dell'intero periodo considerato per l'analisi;

r rappresenta il saggio di attualizzazione;

V_r corrisponde al valore residuo del bene, dei materiali o componenti. Il valore residuo può essere sia positivo, se il manufatto mantiene un valore alla fine del ciclo di vita, sia negativo nel caso in cui esso debba essere smaltito.

L'approccio *Life Cycle Cost Analysis* supporta la valutazione dell'impatto economico in fase di definizione ed è fondamentale la conoscenza dei requisiti prestazionali richiesti dalla proposta progettuale/tecnologica affinché questo metodo possa essere applicato.

I costi subiscono continue variazioni a causa di diversi fattori, in funzione del saggio di sconto e del tasso di interesse e in base alla durabilità dei materiali e ai cicli di manutenzione durante la vita utile dell'edificio (espressi sotto forma di costi di sostituzione e manutenzione). Di conseguenza i costi del ciclo di vita di un edificio sono molto difficili da stimare e l'effettiva stimabilità del costo globale dipende dalla disponibilità dei dati necessari per ciascuna alternativa progettuale e tecnologica.

1.2 ASPETTI METODOLOGICI DELL'APPROCCIO *LIFE CYCLE COSTING*

La metodologia LCC è consolidata su scala internazionale, soprattutto per quanto riguarda la possibilità di avere uno strumento condiviso a livello comunitario. L'analisi LCC, come detto in precedenza, si basa sulla norma ISO 15686-5:2008 *Building and constructed assets*. *Service-life Planning*. *Part 5- Life Cycle Costing* (aggiornata al 2017): questa normativa prevede una procedura per l'applicazione della metodologia sul patrimonio edilizio di nuova costruzione, sull'esistente o sulle rispettive componenti. Questo standard oltre a fornire i principi guida per l'applicazione LCC, è utile anche per promuovere l'utilizzo dell'LCC nel settore delle costruzioni. Inoltre permette di distinguere chiaramente le voci di costo da tenere in considerazione per l'approccio LCC e quando questi devono essere applicati.[8]

Inoltre questo strumento è in particolar modo utile ed efficace durante le prime fasi di progettazione (*early design stages*), in quanto è possibile limitare e/o evitare i costi di un'eventuale riprogettazione. La tecnica LCC permette di integrare i costi di investimento con i costi di gestione supportando le fasi di valutazione che, a loro volta, devono essere supportate dalla costruzione di banche dati sui costi la cui disponibilità non è sempre scontata pur essendo una condizione essenziale[9].

L'analisi LCC viene usata per confrontare alternative progettuali e tecnologiche che implicano diversi costi nel ciclo di vita edilizio. Lo sviluppo di tale approccio è supportato da diversi fattori, come il contesto culturale in cui si opera, il patrimonio dei proprietari immobiliari e la capacità di convertire in metodologie i limiti posti dai costi di costruzione.

In termini generali, l'analisi LCC rappresenta uno strumento di supporto dei processi di *decision-making* fra alternative progettuali di nuova costruzione o di ristrutturazione, parziale o totale, con l'obiettivo di individuare l'opzione più vantaggiosa dal punto di vista prestazionale durante l'intero ciclo di vita dell'edificio. Generalmente l'analisi LCC supporta la soluzione che prevede maggiori costi iniziali con successivi costi di manutenzione e gestione minori.

Si può sottolineare che "*dal punto di vista operativo uno step delicato è complesso riguarda la determinazione del periodo temporale di riferimento, cioè l'intero ciclo di vita: all'interno del ciclo di vita, affinché sia possibile supportare le decisioni, è necessario stabilire in via preliminare la durata economica e la durata effettiva di un edificio o di un componente edilizio.*

[8] D. LANGDON, (2006), *Literature Review of Life Cycle Costing (LCC) and Lyfe Cycle Assessment (LCA)*, Management Consulting

[9] FREGONARA E., (2015), *Valutazione sostenibilità progetto. Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali*, Franco Angeli, Milano, pp. 111-112

Per durata economica viene inteso un periodo di tempo dopo il quale non è più conveniente sostituire un edificio o componente edilizio rispetto il suo periodo di mantenimento.
La durata effettiva, invece, equivale al periodo di tempo che va dalla costruzione fino alla demolizione o ripristino, e può essere definita in base a criteri prefissati.
Entrambi i concetti, sia di durata economica sia di durata effettiva, possono essere utili per definire il periodo di riferimento per la valutazione.
Un altro concetto importante da definire è il periodo di valutazione, ovvero il periodo di funzionamento previsto dell'edificio o del componente. L'obsolescenza fisica, l'obsolescenza funzionale, l'obsolescenza economica, tecnologica, sociale e legale influenzano la previsione del periodo di valutazione.
L'applicazione LCC prevede i seguenti passaggi fondamentali:

1. *Definizione dell'obiettivo dell'analisi;*
2. *Identificazione preliminare dei parametri e dei requisiti dell'analisi;*
3. *Conferma dei requisiti del progetto e dei mezzi necessari;*
4. *Raccolta dei costi e dei dati di performance;*
5. *Applicazione dell'analisi e iterazione;*
6. *Interpretazione e illustrazione dei risultati.*

Nel caso in cui gli obiettivi siano già stati definiti in linea generale gli obiettivi, i suddetti passaggi possono essere approfonditi e scomposti nei 15 passaggi che caratterizzano essenzialmente la metodologia LCC, tre dei quali sono facoltativi".[10]

Tali passaggi sono[11]:

Step 1. identificazione dello scopo principale dell'analisi LCC;
Step 2. identificazione dello scopo principale dell'analisi;
Step 3. identificazione delle relazioni fra analisi di sostenibilità e LCC;
Step 4. Identificazione del periodo di analisi e dei metodi di valutazione economica;
Step 5. identificazione delle necessità di analisi aggiuntive, quali analisi di rischio/incertezza e sensitività;
Step 6. identificazione dei requisiti del bene e del progetto;

[10] FREGONARA E., (2015), *Valutazione sostenibilità progetto. Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali*, Franco Angeli, Milano, pp. 113-114

[11] FREGONARA E., (2015), *Valutazione sostenibilità progetto. Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali*, Franco Angeli, Milano, p. 114

Step 7. identificazione delle opzioni che devono essere incluse nell'analisi LCC e delle voci di costo da considerare;

Step 8. raccolta dei dati di costo e tempo da usare nell'analisi LCC;

Step 9. verifica dei valori dei parametri finanziari e del periodo di analisi;

Step 10. revisione della strategia di rischio e produzione di un'analisi preliminare di rischio/incertezza;

Step 11. produzione della valutazione economica;

Step 12. applicazione dell'analisi di rischio/incertezza dettagliata, se necessaria;

Step 13. applicazione dell'analisi di sensitività, se necessaria;

Step 14. interpretazione e presentazione dei risultati iniziali;

Step 15. presentazione dei risultati e predisposizione della reportistica finale.

Durante lo *step 1* vengono definiti gli obiettivi principali e i risultati attesi dell'analisi. L'approccio può essere applicato alle diverse fasi del progetto o del ciclo di vita del bene, nell'accezione *cradle to grave*, ovvero "dalla culla alla tomba". In particolare l'analisi LCC affronta due temi principali:

- decisioni inerenti i processi di pianificazione, programmazione preventiva del bilancio e appalto nel caso in cui si parli di beni esistenti;
- decisioni riguardo l'acquisto di nuovi beni o alternative progettuali/tecnologiche, per cui è necessaria una stima di possibilità finanziarie.

L'analisi LCC può essere di supporto alle decisioni, in quanto permette di stimare il costo totale di un investimento di un bene, facendo sempre riferimento al suo intero ciclo di vita, oppure di orientare la scelta fra diverse opzioni tecnologiche per la riduzione dei costi energetici. Attraverso una selezione di componenti con una *service life* più lunga si può migliorare il rapporto costo-efficacia oppure identificare l'opzione con un minore impatto ambientale e migliore efficienza energetica.

Lo *step 2* identificazione dello scopo iniziale dell'analisi, consente di individuare l'obiettivo specifico dell'applicazione LCC, definendo le fasi del ciclo di vita del bene su cui viene applicato lo strumento LCC e il contesto in cui si opera, distinguendo tra un bene singolo, un componente o un portafoglio comprendente diversi assets.

Lo *step 3* riguarda le relazioni tra l'analisi della sostenibilità, in particolar modo quella ambientale, cioè la metodologia LCA, e l'analisi dei costi.

La metodologia LCA affronta gli aspetti ambientali e i potenziali impatti delle attività e dei prodotti lungo il loro intero ciclo di vita.

L'approccio LCA, *Life Cycle Assessment*, è definito dallo standard internazionale ISO 14040:2006 e il mandato di standardizzazione (M/350) emanato dalla Commissione Europea ha permesso di individuare una serie di regole per le applicazioni LCA. Il comitato tecnico CEN/TC350 *Sustainability of Construction Works* ha prodotto quanto indicato dal mandato.

Nonostante i due approcci LCC e LCA siano due metodologie distinte, possono però essere applicate sinergicamente nel settore delle costruzioni, o in maniera congiunta per una valutazione più ampia, oppure utilizzando i risultati di un'analisi come input per l'altra.

LCA e LCC condividono alcuni aspetti teorici, ma si distinguono per i risultati che forniscono.

Entrambi gli approcci riguardano la possibilità di decisione tra diverse opzioni e le valutazioni degli impatti mediante l'utilizzo di una vasta serie di input, considerando le attività di esercizio e manutenzione e l'opportunità di riciclo e smaltimento.

I risultati che le due metodologie restituiscono: quelli prodotti dall'analisi LCC interessano gli aspetti finanziari, combinando i vari costi rilevanti legati ad un bene e che influenzano le scelte dell'investimento; diversamente, quelli ottenuti attraverso l'analisi LCA sono relativi agli impatti ambientali e prevedono l'assegnazione di punteggi relativi ai criteri ambientali.

Le due metodologie, LCC e LCA, possono quindi interagire sia se applicate in maniera distinta, sia se condotte parallelamente oppure applicandole congiuntamente. In particolare[12]:

- gli approcci LCC e LCA usati come due metodologie distinte per valutare una singola opzione di investimento per la costruzione di un bene affiancata da criteri di valutazione come l'estetica, la velocità di costruzione ecc.;
- gli approcci LCC e LCA usati come metodi di valutazione tra diverse alternative di investimento di un edificio o delle sue componenti;
- l'analisi LCC utilizzata per fornire una valutazione economica di opzioni precedentemente individuate attraverso un'analisi LCA;
- l'analisi LCA come metodo per individuare alternative con un buon impatto ambientale su cui svolgere successivamente un'analisi LCC;
- analisi LCC per identificare le migliori opzioni dal punto di vista costo-efficacia su cui svolgere poi un'analisi LCA.

[12] FREGONARA E., (2015), *Valutazione sostenibilità progetto. Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali*, Franco Angeli, Milano, pp. 116-117

Di seguito vengono illustrate le possibili sinergie tra la metodologia LCC e la metodologia LCA.

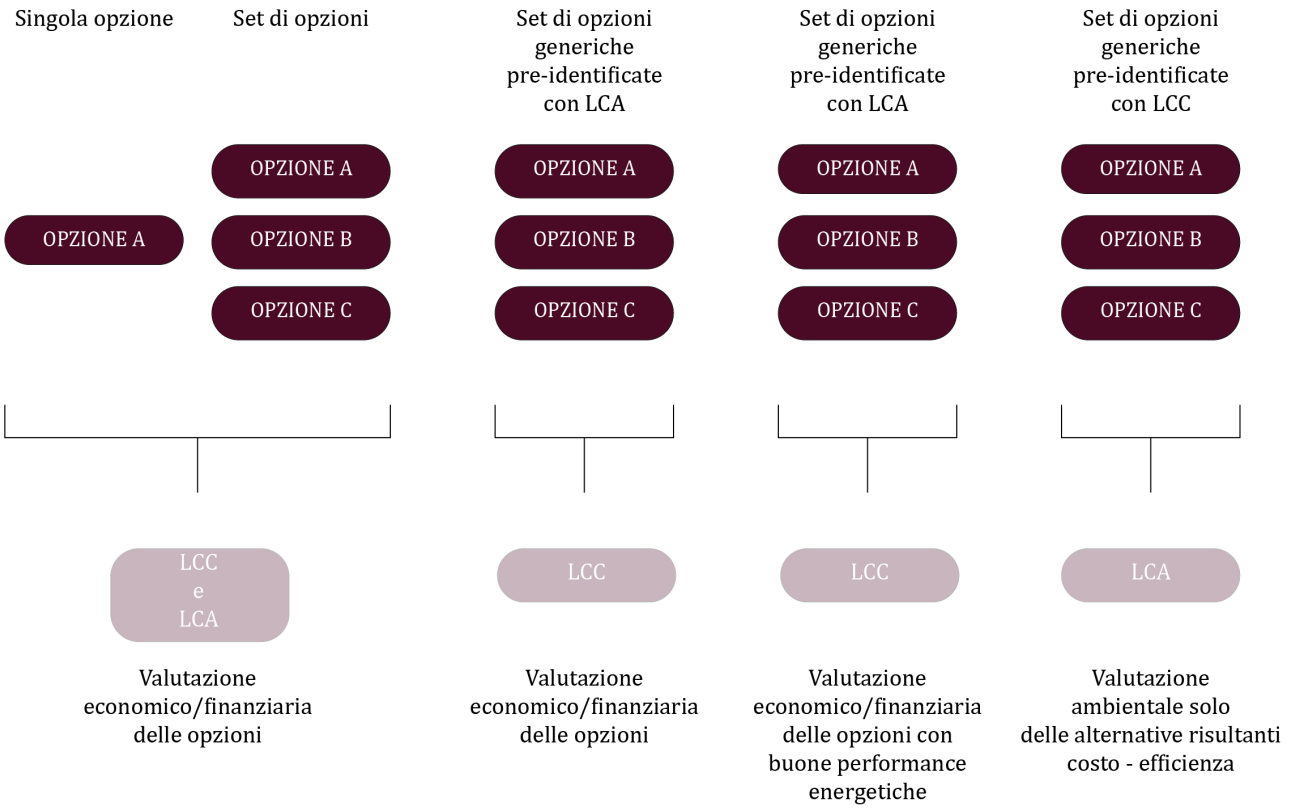


Fig. 5 Sinergia tra LCC e LCA
Fonte: Elaborazione da E. Fregonara, *Valutazione sostenibilità progetto, Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali*, Franco Angeli 2015, p.117

Particolare attenzione viene data all'identificazione dei metodi di valutazione economica e al modo di operare con importi relativi ai costi in diversi periodi di tempo (*step 4*). Se si deve operare con periodi superiori ad un anno, per i noti principi della matematica finanziaria, è necessario procedere con l'operazione di sconto. Ciò permette di confrontare la quantità di denaro che viene sostenuta in diversi periodi di tempo e legata ai diversi importi dei costi da sostenere.

Nella fase *step 5* si individuano eventuali fattori di rischio e incertezza attraverso specifiche analisi.

L'analisi LCC prevede la presenza dell'incertezza contenuta nelle assunzioni relative a costi futuri, crescita dei costi, tassi di inflazione futuri e durata prevista del componente o della struttura.

Il rischio deve pertanto essere identificato e stimato in termini di probabilità e impatto potenziale. Infine devono essere individuate le misure per moderare ed evitare i rischi. La

chiave per la gestione efficace del rischio / incertezza è l'identificazione della causa della potenziale variabilità che può influenzare l'analisi LCC e di conseguenza la misurazione della probabilità che si verifichi.

Mediante l'analisi del rischio si può giungere a un sistema per la gestione del rischio. Si possono distinguere tecniche qualitative e tecniche quantitative per la valutazione del rischio.

Le tecniche qualitative, che prevedono l'utilizzo di procedure soggettive basate su brainstorming, interviste, compilazione di matrici di rischio ecc., individuano misure di mitigazione del rischio attraverso l'utilizzo di archivi di rischio (*risk register*), o servono a sostenere eventuali strumenti di applicazione di metodi di valutazione quantitativa del rischio.

Le tecniche quantitative, invece, prevedono l'utilizzo di approcci matematici, e vi si distinguono l'approccio deterministico, tra cui l'analisi della sensibilità e analisi degli scenari, e l'approccio probabilistico, che si basa su metodi analitici o di simulazione.[13] Si vedranno nel dettaglio al paragrafo 1.5.

La valutazione del rischio economico, utilizzando l'approccio probabilistico o l'Analisi di Sensibilità, può essere utilizzata per ridurre le incertezze.

[13] FREGONARA E., (2015), *Valutazione sostenibilità progetto. Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali*, Franco Angeli, Milano, p. 128

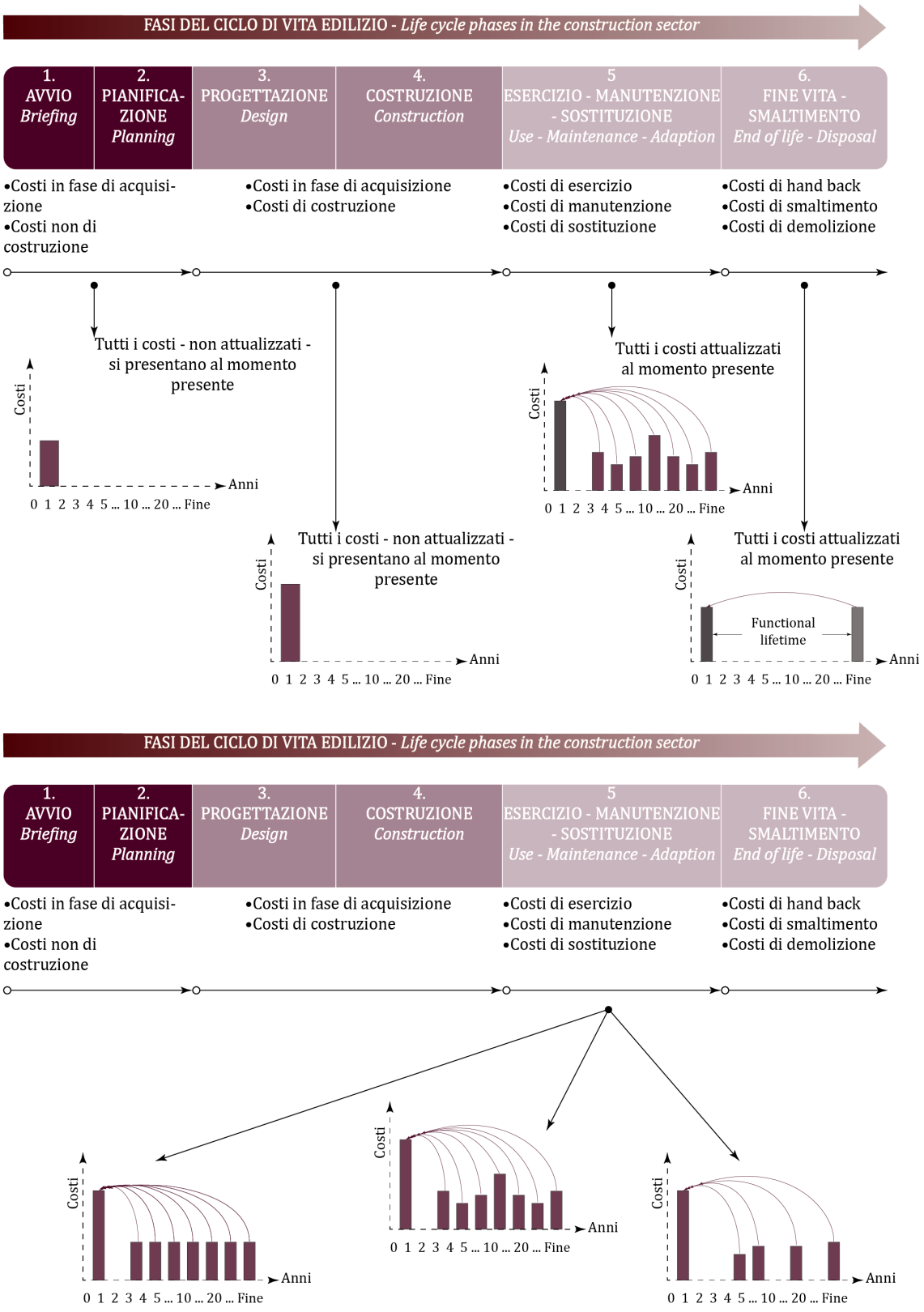


Fig. 6 Categorie di costo lungo il ciclo di vita edilizio e rispettive attualizzazioni

Fonte: Elaborazione da E. Fregonara, *Valutazione sostenibilità progetto, Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali*, Franco Angeli 2015, p.119 sulla base di D. Langdon Management Consulting. "Life Cycle Costing (LCC) as a contribution to sustainable construction. A common methodology". May 2007, p. 52.

In figura vengono mostrate le categorie di costo, anche conosciute come "costi rilevanti", lungo l'intero ciclo di vita di un bene.

Ogni voce di costo rilevante, come evidenziato dai grafici, deve essere trattata in modo appropriato rispetto alla relazione tempo-denaro.

Si può riepilogare che:

- i costi durante la fase di acquisizione e i costi non di costruzione N non devono essere attualizzati, essendo sostenuti all'inizio del periodo di analisi (questa semplificazione si applica quando i tempi di costruzione sono brevi rispetto al periodo di analisi);
- allo stesso modo, i costi durante la fase di acquisizione e i costi di costruzione C non devono essere scontati;
- i costi di esercizio E devono essere attualizzati mediante la seguente formula:

$$E_p = \sum_{t=1}^{N} E_t \frac{1}{(1+r)^t}$$

- i costi di manutenzione M devono essere attualizzati mediante la seguente formula:

$$M_p = \sum_{t=1}^{N} M_t \frac{1}{(1+r)^t}$$

- i costi di sostituzione S devono essere attualizzati mediante la seguente formula:

$$S_p = \sum_{t=1}^{N} S_t \frac{1}{(1+r)^t}$$

- i costi di fine vita F devono essere attualizzati mediante la seguente formula:

$$F_p = \sum_{t=1}^{N} F_t \frac{1}{(1+r)^n}$$

Lo sconto finanziario si ottiene trasferendo la quantità di denaro al momento attuale (il momento della valutazione), assumendo che la somma di denaro abbia un valore più alto nel presente piuttosto che in un tempo futuro a causa della perdita del suo valore nel tempo. Lo sconto tiene conto dell'inflazione e del potere d'acquisto effettivo del denaro. Questa operazione di sconto diviene necessaria dal momento in cui sono presenti costi distribuiti nel tempo, mentre non è necessaria se si opera entro il periodo di un anno.

L'attualizzazione nell'analisi LCC è correlata al bisogno di omogeneizzare i valori distribuiti lungo il ciclo di vita del progetto e inoltre considera la possibilità che a causa delle incertezze legate al cambiamento delle somme di denaro nel tempo.

Il tasso di sconto utilizzato può essere nominale o reale. Il tasso di sconto nominale non tiene in considerazione l'inflazione e permette di individuare e scegliere l'investimento che consente maggiori risparmi per il funzionamento e gestione di un bene.

Il tasso reale, che considera l'inflazione, permette un maggiore risparmio iniziale ma con successive spese di gestione più elevate.

La maggior parte della letteratura sui costi del ciclo di vita suggerisce due diversi approcci all'analisi di rischio: l'Analisi di Sensibilità e l'approccio probabilistico. L'Analisi di Sensibilità identifica l'impatto di un cambiamento in un singolo valore di un parametro del progetto, mentre l'analisi probabilistica è un approccio multivariato.[14]

Sulla base di ciò che è stato precedentemente illustrato, si può giungere al calcolo del Total LCC mediante modelli matematici, partendo dall'espressione dello sconto finanziario:

$$PV = FV \frac{1}{(1+d)^n}$$

in cui:

PV (Present Value) rappresenta il valore attuale di un edificio o di un componente/sistema;

FV (Future Value) indica il valore futuro di un edificio;

d equivale al saggio di sconto decimale;

n rappresenta il numero di anni del periodo preso in considerazione.

Da questa formula deriva la seguente:

[14] FLANAGAN R., NORMAN G., (1989) *Life-Cycle Costing: Theory and Practice*. RICS, Surveyors Publications Ltd, London.

$$LCC = \sum_{t=0}^{N} \frac{C_t}{(1+d)^t}$$

dove:

LCC rappresenta il valore attuale della somma dei costi annuali attualizzati C_t, per l'orizzonte temporale *N* scandito in periodi *t*, con un fissato saggio di sconto *d*.

I costi C_t comprendono tutti i costi rilevanti, quali costi energetici, costi di acquisizione, installazione, esercizio, manutenzione, riparazione, sostituzione, inflazione, costo opportunità del capitale.

Tali costi sono raggruppati in funzione del modello matematico che li esprime; il modello base è caratterizzato dai costi di acquisizione, pre-costruzione e costruzione; costi di esercizio, manutenzione e sostituzione; valore residuo e smaltimento.

In seguito si possono calcolare specifici indicatori sintetici, ovvero misure di valutazione economica utili per rafforzare la previsione.

Tra gli indicatori sintetici si distinguono:

- il Valore attuale Netto (VAN) - *Net Present Value* NPV;
- il *Pay – back Period* (PBP), nella versione non attualizzata *Simple Pay – back Period* (SPBP) oppure nella versione attualizzata *Discounted Pay – back* (DPB);
- i Risparmi Netti e i Benefici Netti – *Net Savings* (NS) e *Net Benefits* (NB);
- il Risparmio in Rapporto all'Investimento – *Savings to Investment Ratio* (SIR);
- il Saggio Interno di Rendimento Aggiustato – *Adjusted Internal Rate of Return* (AIRR);
- il Costo Annuale e il Costo Annuale Equivalente – *Annual Cost* (AC) e *Annual Equivalent* (AE).

In seguito si vedrà nel dettaglio il calcolo degli indicatori economici (Cfr. paragrafo 1.4).

Tra gli indicatori sintetici non viene calcolato il possibile valore residuo dell'oggetto di valutazione.

Nello *step 6* vengono individuate le caratteristiche principali del bene, in base alla funzionalità (uso, spazio e accessibilità ecc.) e in base alle caratteristiche fisiche (performance, metodi di costruzione ecc.), distinguendo i progetti di nuova costruzione, ristrutturazione, smaltimento ecc.

In questo passaggio è importante anche la definizione e conferma dei requisiti di qualità e vincoli del progetto, ossia del budget e del programma, anche dal punto di vista temporale.

Allo *step 7* si individuano i componenti o le parti di un bene che devono essere sottoposte all'analisi LCC. L'analisi LCC può essere legata o al budgeting di un bene futuro, oppure all'identificazione della scelta migliore tra una serie di opzioni alternative precedentemente individuate, relativamente ad un bene costruito o in relazione ai componenti o impianti interni al bene.

Lo *step 8* è necessario per la raccolta dei dati di costo e tempo da usare nell'analisi LCC.

Le voci di costo e l'arco temporale in cui si svolge l'analisi sono gli elementi fondamentali su cui si basa l'analisi LCC.[15]

I principali passaggi da svolgere in questa fase riguardano:

- l'individuazione di tutti i costi rilevanti con il supporto di una Cost Breakdown Structure (CBS);[16]
- la stima di ogni voce di costo da inserire dell'analisi LCC;
- l'individuazione del tempo relazionato a ciascuna voce di costo (in termini di manutenzione/sostituzione);
- l'individuazione delle opzioni che devono essere sottoposte all'analisi LCC.[17]

Lo *step 8,* riguardo l'individuazione dei dati e le relative fonti, è un passaggio delicato: più il progetto si sviluppa, più sarà necessario un grado di dettaglio più avanzato dei costi e delle fonti. Se i dati derivano da precedenti valutazioni di sostenibilità ambientale saranno tenute in considerazione solo le voci ambientali quantificabili, e riguardano generalmente la scelta dei materiali o dei componenti che limitano l'impatto ambientale e/o il consumo di energia.

Nello *step 9* vengono verificati i parametri finanziari, ossia saggio di sconto, inflazione tassazione ecc., e l'arco temporale di riferimento precedentemente fissati prima di procedere con l'applicazione dell'analisi LCC. Il saggio di sconto e l'aggiustamento per l'inflazione devono essere diversificati in relazione alle diverse componenti di costo all'interno della CBS.

---

[15] Le voci di costo possono essere ricondotte alla classificazione indicata della ISO 15686 – Part 5 e possono variare in base al contesto in cui si opera, se si parla di analisi ambientale, opere pubbliche, progetti in PPP, beni in locazione dei costi tra proprietari/affittuari ecc. Cfr. E. Fregonara, (2015), Valutazione sostenibilità progetto. Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali, Franco Angeli, Milano, pp. 130.

[16] Nel contesto dell'analisi LCC per Cost Breakdown Structure (CBS) si intende la destrutturazione del costo complessivo nelle sue componenti principali. Nella stessa ISO 15686:2008 – Part 5 è indicata una categorizzazione di costi composta da quattro raggruppamenti principali, ovvero Acquisition costs; Maintenance, Operation e Management costs; Residual values/Disposal costs; Other cost variables, tutte dettagliate in voci specifiche.

[17] FREGONARA E., (2015), *Valutazione sostenibilità progetto. Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali*, Franco Angeli, Milano pp. 130-131.

In questo passaggio, in funzione degli obiettivi della valutazione, viene inoltre selezionato il "Metodo di analisi economica", di solito NPV e PBP.

Lo *step 10* è un altro passaggio opzionale. In questa fase è possibile revisionare i fattori di rischio individuati allo *step 5* per poi svolgere un'analisi di rischio dettagliata.

Fondamentale è lo *step 11*, cioè il passaggio che riguarda l'effettiva applicazione dell'analisi LCC basata su tutti i dati finora raccolti.

L'applicazione dell'analisi LCC tendenzialmente è supportata dall'uso di software, che prevedono attività di inserimento dati, calcoli dei costi del ciclo di vita e analisi dei risultati. Il processo può essere ripetuto utilizzando diversi metodi di valutazione o diversi parametri (come il tasso di sconto o gli elementi di inflazione).

Ad esempio, è possibile adoperare i seguenti indicatori:

- indicatore NPV per verificare l'ammissibilità di un'alternativa economicamente sostenibile, confrontando il risultato dell'analisi LCC con il valore di un caso base, o sostenere la selezione di opzioni alternative dal punto di vista del costo-efficacia;
- indicatore PBP, semplice o scontato: se il PBP è inferiore alla durata del bene l'opzione è conveniente. Dato che i risultati sono condizionati dalla scelta del tasso di sconto, non è conveniente utilizzare PBP per il confronto;
- rapporto NS / NB: se il risultato è positivo permette di accettare un'opzione economicamente vantaggiosa, se il risultato negativo l'opzione è respinta;
- indicatore NS per valutare sia una singola opzione sia per mettere in ordine le preferenze delle opzioni alternative;
- indicatore SIR: se il valore risultante è maggiore di 1 le soluzioni progettuali possono essere accettate, oppure per ordinare secondo i valori di SIR crescenti opzioni alternative;
- indicatore AIRR: per i valori AIRR superiori al saggio di sconto l'opzione è positiva e viene accettata e si possono ordinare per i valori di AIRR crescenti opzioni soluzioni alternative;
- indicatori AC e AEC per confrontare opzioni alternative. Al più basso valore di AEC corrisponde l'opzione più economica.

INDICATORE	CONDIZIONI DI ACCETTABILITA'
NPV	Il più basso possibile
PBP	Inferiore alla vita utile del bene
NS / NB	>0
NS	Il più elevato possibile
SIR	>1
AIRR	>r (saggio di sconto applicato)
AC e AEC	Il più basso è AEC (alternativa costo inferiore)

Tab. 1 Indicatori sintetici di costi e relative condizioni di accettabilità
Fonte: elaborazione dell'autrice

Durante lo *step 12* è possibile procedere con un'analisi di rischio dettagliata, se necessaria. Si può ricorrere al metodo di simulazione Monte Carlo per un'analisi di tipo quantitativa.
Nello *step 13* si svolge un'analisi di sensibilità se è necessaria. L'approccio di sensibilità viene utilizzato per determinare in che modo il valore di un output è influenzato dalla variazione di un parametro di input da cui dipende ed è supportato dall'uso dello "*spider graph*".
Lo *step 14* riguarda l'interpretazione dei risultati dell'analisi LCC, presentati mediante il modello più adatto (tabelle, grafici ecc.).
Molti sono i limiti dell'analisi LCC, in particolare per quanto riguarda le ipotesi circa tempi, costi e dati per le fasi di esercizio e manutenzione. È quindi opportuno produrre diversi scenari per molte variabili critiche, considerando anche la natura iterativa del metodo LCC.
L'ultimo passaggio *step 15* è dedicato alla produzione di un report finale composto da una sezione narrativa in cui vengono descritti il bene e il processo LCC sviluppato, una parte tabellare che riporta tutti i dati riguardo i costi, il progetto, le spese annuali e i parametri chiave, e infine il modello LCC dettagliato con i relativi profili di costo[18].

[18] FREGONARA E., (2015), *Valutazione sostenibilità progetto. Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali*, Franco Angeli, Milano, pp. 135-137

1.3 CATEGORIE E VOCI DI COSTO PER L'ANALISI LCC

Le categorie di costo possono essere distribuite e associate alle fasi del ciclo di vita edilizio.

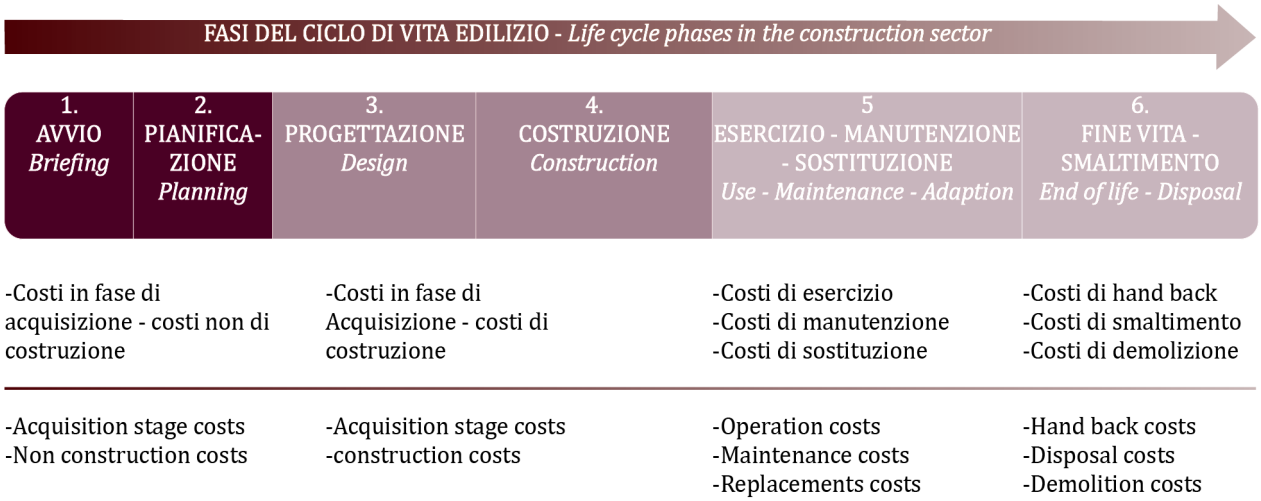


Fig. 2 Articolazione delle macro-voci di costo aggregate lungo le fasi del ciclo di vita edilizio

Fonte: Fregonara E. (2015), *Valutazione sostenibilità progetto. Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali*, Franco Angeli, Milano, p.108

Come mostra la figura 2, le fasi di *Briefing* e *Planning* comprendono le categorie di "Costi in fase di acquisizione" (*Acquisition Stage Costs*) e "Costi non di costruzione" (*Non Construction Costs*). Le voci di costo inerenti sono quelle che riguardano i costi per l'acquisizione del terreno edificabile (*Land acquisition costs*) o dell'edificio con le eventuali spese per la mediazione immobiliare, tasse e oneri. I costi relativi alla progettazione e per lo sviluppo dell'attività di *briefing* con la committenza.

Alla fase di progettazione e costruzione sono associati i "Costi in fase di acquisizione" (*Acquisition Stage Costs*) e i "Costi di costruzione" (*Construction Costs*), in cui sono compresi i costi di progettazione, quelli per le attività di preparazione e cantierizzazione, i costi per la costruzione e per la stesura dei documenti previsti dalla normativa.

Nelle fasi di Uso, Gestione e Sostituzione (*Use, Maintenance e Adaption*) si collegano le categorie di Costi di esercizio, manutenzione e sostituzione (*Operation Costs , Maintenance Costs e Replacements Costs*). Queste categorie contemplano le voci di costo relative alla gestione del bene incluse tasse, assicurazioni e utenze, verifiche e ispezioni secondo la normativa. I costi di manutenzione riguardano i costi per le riparazioni e le sostituzioni di componenti o sistemi principali.

La fase di Fine di vita (*End of Life*) considera le categorie che riguardano i "Costi di recupero, smaltimento e demolizione" (*Hand back, Disposal e Demolition Costs*). Queste categorie sono relative agli interventi di smaltimento, come i costi di demolizione, smaltimento dei rifiuti, sgombero e ripristino del terreno.

Nella figura 3 del documento ISO/FDIS 15686 – Part 5: 2008 vengono illustrate le categorie e le voci di costo distribuite lungo il ciclo di vita edilizio.

Nella figura 4 si presenta in maniera schematica la distribuzione dell'ammontare dei costi nel tempo, ciascuno in base alle attività che devono essere svolte.

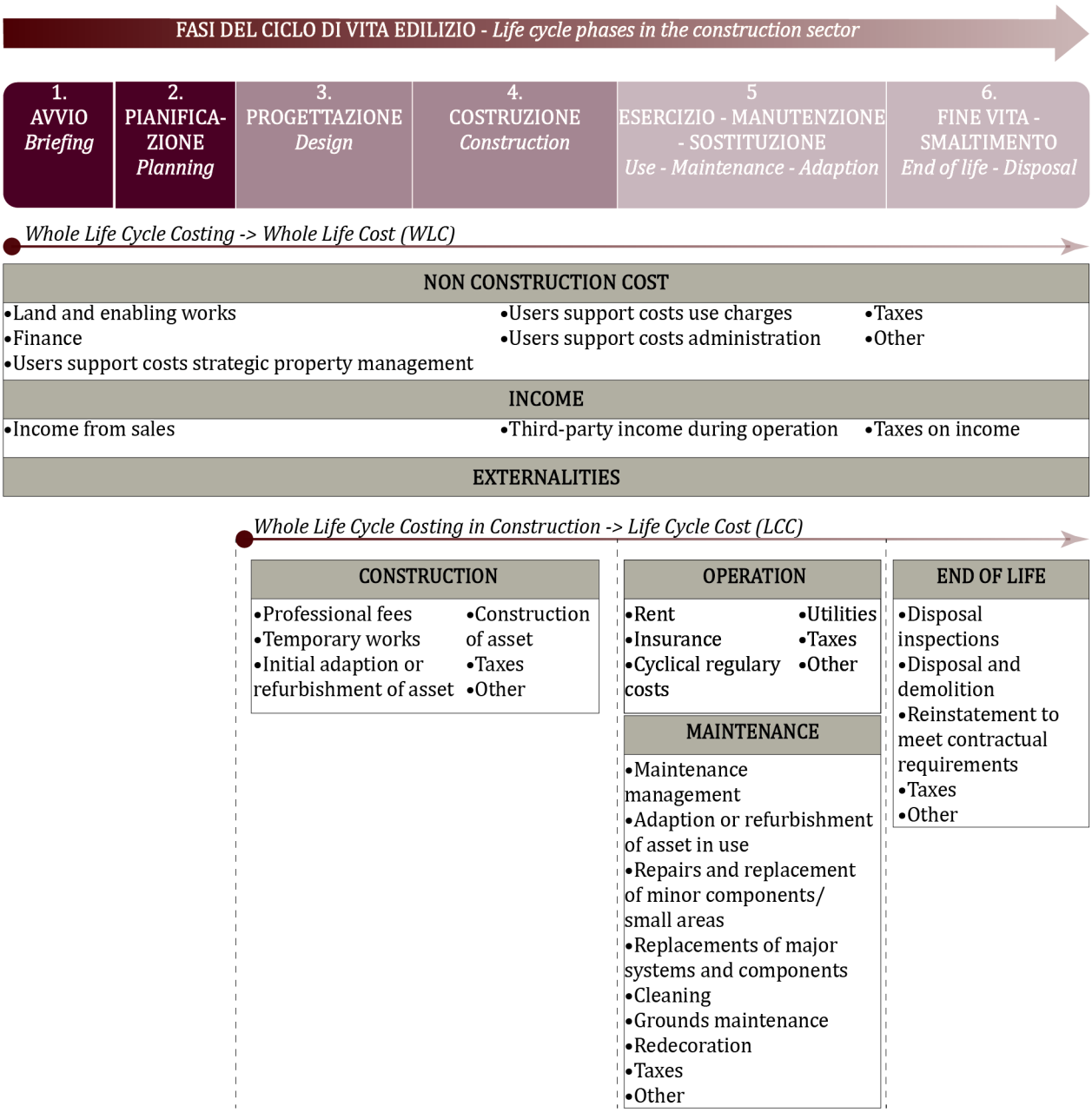


Fig. 3 Categorie e voci di costo per l'analisi LCC e la loro distribuzione lungo il ciclo di vita edilizio.

Fonte: Fregonara E. (2015), Valutazione sostenibilità progetto. Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali, Franco Angeli, Milano, sulla base di

ISO/FDISI 15686 – Part 5:2008, pag 110.

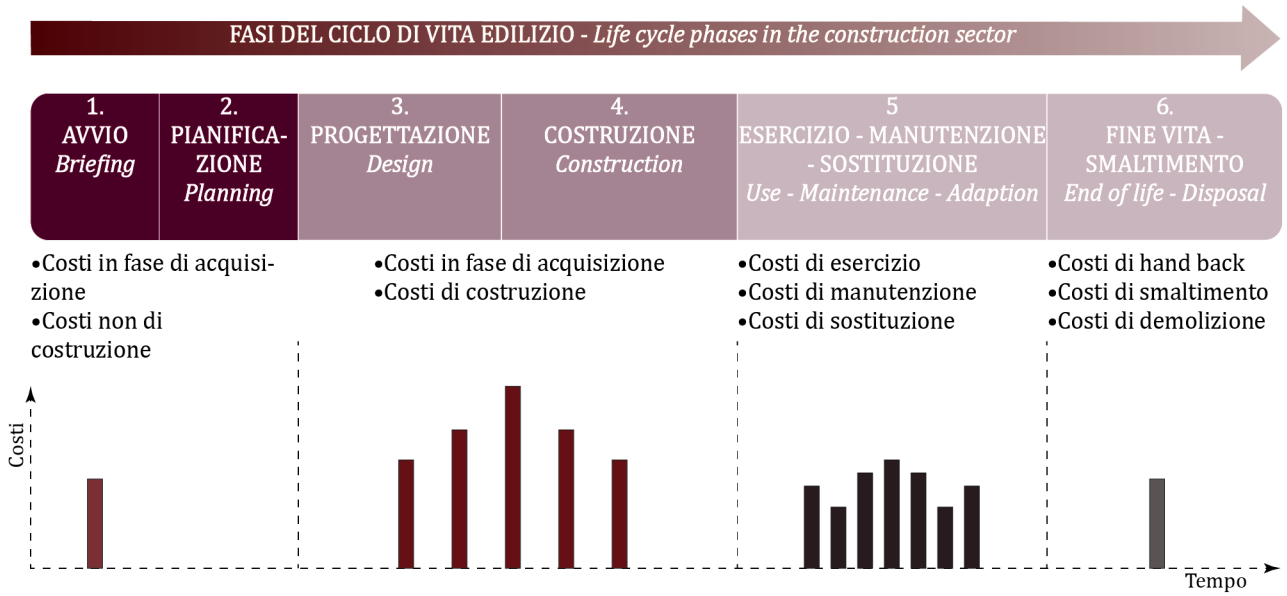


Fig. 4 Costi rilevanti per l'analisi LCC e loro distribuzione durante il ciclo di vita edilizio

Fonte: elaborazione da Fregonara E. (2015), *Valutazione sostenibilità progetto. Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali*, Franco Angeli, Milano, pag 110.

1.4 MISURE DI VALUTAZIONE ECONOMICA

Una fase importante per l'applicazione della metodologia Life Cycle Costing, è la selezione e il calcolo di appositi indicatori economici. Talvolta per avere un quadro più completo per quale possa essere l'alternativa progettuale più conveniente, tali misure vengono calcolate contemporaneamente.

Gli indicatori sintetici di calcolo sono i seguenti:

- Valore attuale netto (VAN) – *Net Present Value* (NPV). Questo indicatore può essere definito come il valore attuale dei flussi di cassa meno il valore attuale dei costi. L'analisi è condotta per un intervallo di tempo precedentemente determinato e attualizzata ai flussi di cassa e ai costi attuali. Viene individuato un tasso di sconto da utilizzare poiché il VAN è sensibile al tasso di sconto.[19]

  Il calcolo NPV è scritto come:

[19] D. LANGDON, (2006), *Literature review of life cycle costing (LCC) and life cycle assessment (LCA)*, Management Consulting, p.17

$$\mathrm{NPV} = \sum_{t=0}^{\mathrm{N}} \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

in cui:
NPV rappresenta il valore attuale netto;
C_t è la somma dei costi rilevanti (oppure il costo della voce t);
N rappresenta il numero di anni dell'orizzonte temporale considerato;
r rappresenta al saggio di sconto.

- *Pay Back Period* (PBP), nella versione non scontata, *Simple* PB – SPB, oppure nella versione attualizzata, *Discounted* PB – DP.
  Il PBP è il periodo di tempo necessario affinché la somma dei flussi di cassa di un investimento sia uguale al costo dell'investimento iniziale.
  Questo indicatore viene utilizzato per valutare l'accettabilità (o non accettabilità) di una soluzione di progetto e il PBP perché sia accettabile deve risultare inferiore al periodo di studio.
  Formalmente può essere espresso come segue:

$$\mathrm{SPB} = \frac{\mathrm{U_i}}{\mathrm{E_{ma}}}$$

dove:
U_i rappresenta le spese iniziali o l'investimento;
E_{ma} rappresenta il reddito medio annuo.

- Risparmi Netti e Benefici Netti - *Net Savings* (NS) e *Net Benefits* (NB).
  Il risparmio netto (NS) è calcolato come differenza tra il valore attuale del reddito generato da un investimento e l'importo investito. L'alternativa preferita ha il massimo NS (> 0) per un rapporto ottimale costo-efficacia. L'opzione con NS più alta avrà anche il LCC più basso.[20]

[20] D. LANGDON, (2006), *Literature review of life cycle costing (LCC) and life cycle assessment (LCA)*, Management Consulting, pp.18-19

Il Risparmio Netto per un progetto, relativo a un caso di base designato, viene calcolato semplicemente sottraendo l'LCC del progetto alternativo preso in considerazione da quello del caso base in modo tale che:

$$\mathrm{NS} = \mathrm{LCC_{BC}} - \mathrm{LCC_{A}}$$

Naturalmente esiste una relazione tra NS e LCC. Nella valutazione di più alternative di progetto mutuamente esclusive, il progetto con i NS più alti avrà anche il LCC più basso, quindi entrambi i metodi sono interamente coerenti e intercambiabili. La principale differenza tra LCC e NS è che nel primo caso non è necessario che un caso base valuti i costi.

L'uso di NS può anche essere esteso alle differenze di costo individuali tra il caso base e l'alternativa. Esempi come costi di capitale, costi di manutenzione possono trarre vantaggio da questo. Tuttavia questo richiede calcoli aggiuntivi rispetto ai semplici metodi sopra indicati, ma è utile in quanto questo valore è necessario nel calcolo di altri indicatori, come il rapporto risparmio / investimento (SIR) e il Saggio Interno di Rendimento Aggiustato (AIRR). Calcolare il risparmio netto utilizzando differenze di costo individuali è utile come controllo per garantire che i calcoli SIR e AIRR siano basati su calcoli intermedi corretti. In altri termini, il risparmio netto dovrebbe essere la stessa cosa, sia se calcolata per differenze di LCC sia se calcolata per differenze di costi indivduali. In tal caso può essere utilizzata la seguente equazione inserendo ad esempio come costi operativi i costi di energia:[21]

$$NS_{A-BC} = \sum_{t=0}^{N} \frac{S_t}{(1+d)^t} - \sum \frac{\Delta I_t}{(1+d)^t}$$

dove:

$NS_{A\text{-}B\text{-}C}$ rappresenta il risparmio netto dell'alternativa (A) relativo al caso base;

S_t sono i risparmi all'anno t dei costi operativi associati all'opzione alternativa;

ΔI_t rappresenta i costi aggiuntivi legati agli investimenti nell'anno t associati all'alternativa;

[21] BOUSSABAINE A., KIRKHAM R., (2008), *Fundamentals of Whole Life – Cycle Cost Analysis*, John Wiley & Sons, pp. 45-46

t è l'anno di riferimento;

d rappresenta il saggio di sconto;

N è il numero di anni dell'orizzonte temporale considerato (service life).

- Il Risparmio in Rapporto all'Investimento – *Savings to Investment Ratio* (SIR).
  Il SIR è il rapporto tra il valore attuale del reddito generato dall'investimento e il costo dell'investimento iniziale.
  Poiché il SIR è una misura della performance economica come il NS, è necessario un caso di base da confrontare. Come regola generale, si considera che un valore del SIR superiore a 1.0 sia adatto per giustificare economicamente un'alternativa di progetto (cioè se i risparmi sono superiori ai costi di investimento incrementali e il NS è maggiore di zero).
  Il SIR non deve essere usato per la scelta tra i progetti, ma è uno strumento utile per classificare e per confrontare progetti indipendenti.
  La regola generale per il calcolo del SIR è data da:

$$\mathrm{SIR} = \frac{\mathrm{O_s}}{\mathrm{A_i}}$$

dove:

O_s rappresenta il risparmio durante la fase di gestione (*Operational Savings*);

A_i sono i costi di investimento aggiuntivi necessari (*Additional Investment*).

- Il Saggio Interno di Rendimento Aggiustato – *Adjusted Internal Rate of Return* (AIRR).
  L'*Adjusted Internal Rate of Retun* è una misura della resa percentuale annua di un investimento di progetto nel corso della vita di servizio dell'edificio (o periodo di studio). Come le misure NS e SIR, è un calcolo che necessita di un caso base per il confronto. L'AIRR viene utilizzato per confrontare il tasso di rendimento minimo accettabile (*Minimum Acceptable Rate of Return* - MARR).
  Il MARR è definito da Louis Pouliqnen come:[22]

[22] POULIQUEN LOUIS Y., (1970) *Risk Analysis in Project Appraisal*. World Bank Staff Occasional Papers no.11. Washington, D.C.: World Bank.

"La più piccola quantità di entrate considerate accettabili per un'organizzazione per intraprendere un progetto: in genere, il MARR è uguale al costo del capitale più un reso, a volte indicato come il tasso minimo".

Questo è generalmente uguale al tasso di sconto utilizzato nell'analisi LCC. Se l'AIRR è maggiore del MARR, il progetto può essere definito economico; se inferiore è addirittura in pareggio e quindi economicamente neutro.
L' AIRR può essere utilizzato allo stesso modo del SIR.
L'AIRR, in contrasto con l'IRR, presuppone esplicitamente che i risparmi generati dalla decisione di investimento possano essere reinvestiti al tasso di sconto per il resto della durata del servizio. Se questi vengono reinvestiti ad un tasso superiore al tasso di sconto, allora il tasso di sconto non rappresenta il costo opportunità del capitale. L'implicazione dell'IRR presuppone che il risparmio temporaneo possa essere reinvestito al tasso di rendimento calcolato sul progetto, un'ipotesi che porta a sovrastimare il rendimento del progetto, se il tasso di rendimento calcolato è superiore al tasso di reinvestimento. AIRR e IRR sono uguali se l'investimento produce un'unica somma forfettaria alla fine della vita utile o nel caso che il tasso di reinvestimento sia uguale all'IRR. [23]
La formula per il calcolo di AIRR è data da:

$$\mathrm{AIRR} = (1 + \mathrm{r})(\mathrm{SIR})^{\frac{1}{\mathrm{N}}} - 1$$

- Costo Annuale e Costo Annuale Equivalente – *Annual Cost* (AC) e *Annual Equivalent Cost* (AEC).
  Questa misura rappresenta il costo annuale necessario per il possesso e l'esercizio di un bene durante il suo ciclo di vita. Il valore più basso del Costo Annuale Equivalente indica la soluzione migliore. Questo indicatore viene utilizzato nel caso in cui siano presenti differenti *asset* con differenti lunghezze di vita.

[23] BOUSSABAINE A., KIRKHAM R., (2008), *Fundamentals of Whole Life – Cycle Cost Analysis*, John Wiley & Sons, pp.45-46

Formalmente l'AEC è dato da:

$$\mathrm{AEC} = \mathrm{NPV} \cdot \mathrm{A}_{t,r}$$

in cui $\mathrm{A}_{t,r}$ rappresenta un fattore di rimborso del prestito per un certo numero di anni t.[24]

1.5 ANALISI DI RISCHIO NELL'APPROCCIO LCC

I progetti di costruzione, per tutto il loro ciclo di vita, sono costantemente influenzati da rischi e incertezze che, se non gestiti in modo appropriato, comportano costi aggiuntivi. È stato riconosciuto che l'integrazione dell'analisi del rischio in LCC può aiutare ad anticipare gli impatti dovuti a rischi e incertezze e assistere il processo decisionale.[25-26]

L'analisi del rischio è composta da due parti: analisi qualitativa del rischio e analisi quantitativa del rischio. Numerose tecniche di analisi del rischio sono state sviluppate in passato e quelle che possono essere applicate in LCC sono discusse in questa sezione. La selezione della tecnica per un progetto è in gran parte basata sul tipo e sull'estensione dei dettagli richiesti dai partecipanti al progetto.

L'analisi qualitativa del rischio, che è anche nota come identificazione e valutazione del rischio, mira ad identificare i rischi e valutare le caratteristiche dei rischi, come la probabilità di accadimento, l'impatto sul rischio e la proprietà del rischio. È una parte molto critica di un processo di gestione del rischio, poiché i suoi risultati sono ampiamente utilizzati nelle fasi successive della gestione del rischio.

L'analisi quantitativa del rischio prevede la formulazione di un modello per calcolare gli impatti del rischio sulle misure di costo del progetto quantificabili di costo e durata. Nell'analisi LCC si pone l'attenzione soprattutto sui rischi di costo, attraverso tecniche deterministiche o stocastiche.

[24] FREGONARA E., (2015), *Valutazione sostenibilità progetto. Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali*, Franco Angeli, Milano p.126.

[25] Task Group 4 (TG4) (2003) Report of Task Group 4: *Life Cycle Costs in Construction*, the European Commission.

[26] BOUSSABAINE A. and KIRKHAM R. (2005) *Whole Life-cycle Costing: Risk and Risk Responses*, Blackwell Publishing, Oxford, UK.

Le tecniche stocastiche presuppongono che le incertezze siano di natura casuale e che le probabilità di occorrenza possano essere quantificate accuratamente sulla base di dati storici. Tuttavia, le incertezze possono essere causate da informazioni vaghe e incomplete e le ambiguità e le soggettività non possono essere catturate efficacemente con metodi stocastici. Nella costruzione, a causa dell'unicità dei progetti di costruzione, i dati storici, se disponibili, non possono adattarsi perfettamente a un progetto futuro. I giudizi soggettivi vengono solitamente fatti durante il processo decisionale. Sebbene siano stati sviluppati metodi per convertire le soggettività in probabilità soggettive per tecniche stocastiche, ai professionisti della costruzione spesso manca la conoscenza per farlo. Quindi, le tecniche stocastiche sono viste come strumenti complessi e non vengono comunemente applicate.[27]

Nella figura seguente vengono illustrate le principali tecniche per l'analisi dei rischi.

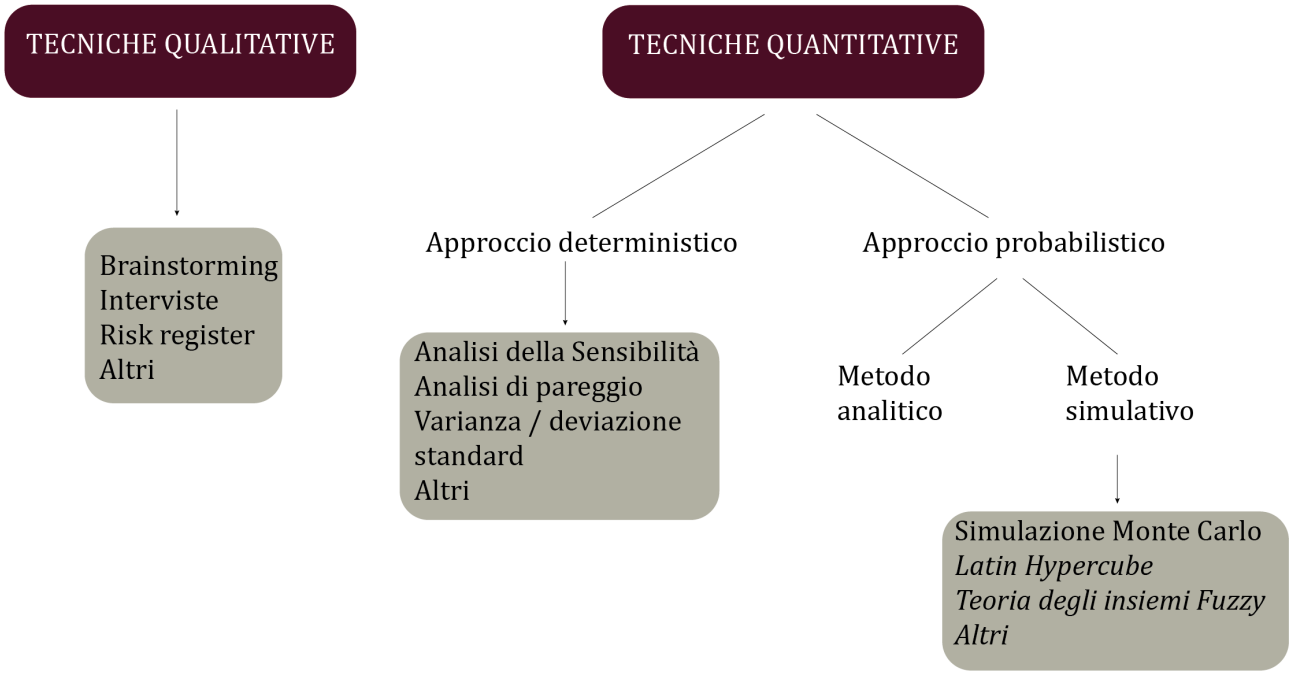


Fig. 9 Tecniche per la valutazione del rischio

Fonte: elaborazione da LANGDON D., (2007) *Life Cycle Costing (LCC) as contribution to sustainable construction: a common methodology*, Management Consulting, p.29

[27] AKINTOYE S. A., MACLEOD J. M. (1997*) Risk analysis and management in construction*. International Journal of Project Management, 15(1), 31-38.

1.5.1 Sensitivity Analysis

L'analisi di sensibilità è un approccio deterministico che permette di individuare le variabili di *input* a cui l'investimento risulta più sensibile. In termini generali l'analisi di sensibilità *misura la "propagazione dell'incertezza" provocata da input incerti su valori di output.*[28]

Le variabili significative che influenzano i risultati di *output*, possono essere, ad esempio, il tasso di sconto individuato, il periodo di analisi scelto, o voci di costo come il capitale iniziale o i costi di gestione.

Per capire quanto ciascuna variabile presa in esame possa influire sul progetto, si scelgono un "valore atteso", un "valore più basso del previsto" e un "valore maggiore del previsto".

Nel caso in cui si ottengano valori in media pessimistici, significa che la variabile in esame potrà essere influente in un possibile scenario negativo.

L'analisi di sensibilità si può effettuare contemporaneamente su più variabili, e la restituzione dei risultati è supportata graficamente dal cosiddetto *Spider Graph.* Questo grafico è stato elaborato e utilizzato per la prima volta nel 1985 nel campo dell'ingegneria civile dagli studiosi Perry e Hayes, e successivamente, grazie alla sua versatilità, adoperato in tutto il settore edilizio.

Per la realizzazione dello *spider graph,* una volta individuati i parametri di rischio, si individua un intervallo di valori entro il quale vengono valutate le variazioni di tali variabili. Si tracciano sul grafico i risultati ottenuti: ciascun valore di output sarà rappresentato da una linea retta, e maggiore sarà il suo coefficiente angolare, maggiore sarà la sensibilità. Il punto in cui le rette dei parametri presi in considerazione si intersecano indica l'ipotesi iniziale.

[28] BRAVI M., FREGONARA E., (2004), *Promozione e sviluppo immobiliare: analisi dei processi e tecniche di valutazione*, Torino, Celid, p. 188

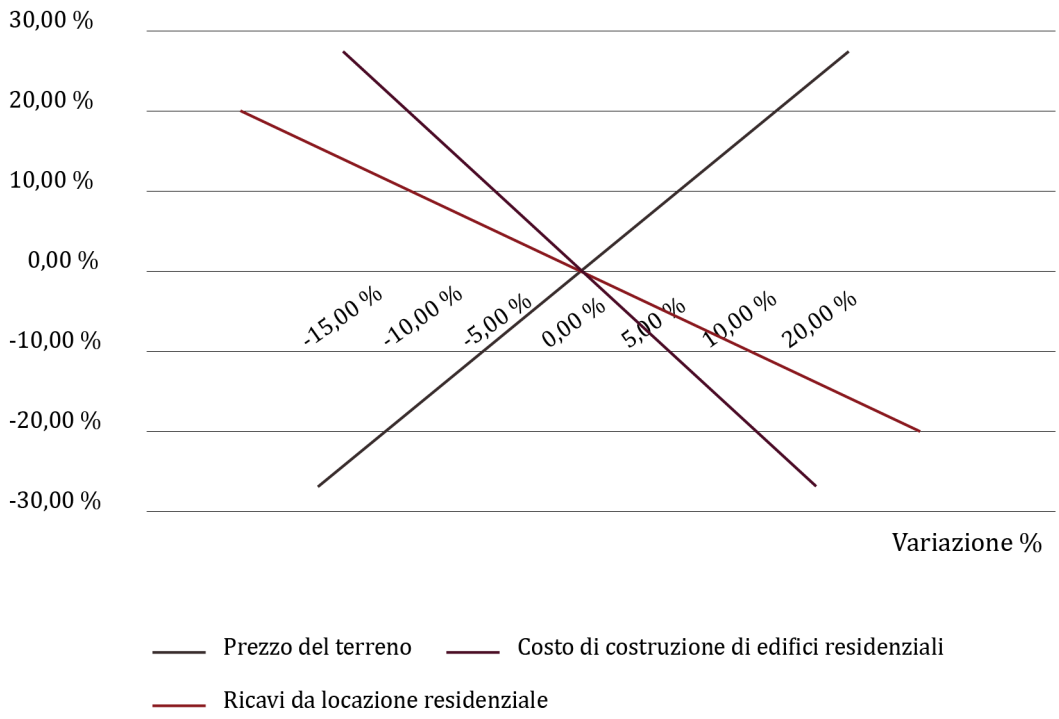


Fig. 10 Esempio di Spider Graph
Fonte: elaborazione dell'autrice

1.5.2 Analisi di probabilità: metodo analitico e metodo della simulazione

Per ottenere le stime dei costi, vengono combinate delle variabili che possono essere soggette a incertezze e rischi. È quindi possibile utilizzare, anche simultaneamente, metodi analitici e di simulazione per approcci di natura statistico-probabilistica.

Metodo analitico

Per il metodo analitico si utilizzano funzioni di probabilità dei diversi input reputati rischiosi o incerti, che vengono considerati come variabili aleatorie o stocastiche.
Tali variabili devono essere esaminate sperimentalmente identificando la rispettiva distribuzione. Importanti sono i fattori spaziali e temporali che caratterizzano il progetto per una corretta applicazione del metodo analitico.
Le distribuzioni empiriche possono essere continue o discrete.
Le distribuzioni continue:

- possono essere rappresentate da numeri reali o da intervalli entro il quale ricadono le variabili;
- possono essere rappresentate attraverso la loro funzione crescente, detta funzione di ripartizione.

Le distribuzioni discrete:

- possono essere rappresentate da numeri interi;
- possono avere le frequenze rappresentate attraverso istogrammi associati a una funzione teorica oppure possono essere rappresentate attraverso la loro funzione crescente, detta funzione di ripartizione.

Oltre alle funzioni empiriche, esistono le funzioni teoriche: i loro parametri stabiliscono la densità di probabilità in relazione a caratteristiche fisiche o geometriche[29].

Law e Kelton hanno individuato i passaggi e le opzioni per definire le funzioni di probabilità, partendo dall'osservazione diretta dei dati. I dati si possono inserire direttamente nella simulazione oppure possono essere utilizzati per determinare le distribuzioni empiriche. Quest'ultimo metodo è solitamente più opportuno dato che le informazioni utilizzabili sono limitate e bisogna ricorrere a distribuzioni teoriche.

Per determinare le funzioni di probabilità dai dati osservati, in metodo più comune consiste nel *"rappresentare le frequenze delle osservazioni del campione nella forma di un istogramma cui associare la funzione teorica più adatta a rappresentarla".*[30]

La costruzione delle celle dipende dai valori utilizzati che possono definire distribuzioni diverse. La tecnica più comune per la definizione delle celle è quella sviluppata da Sturge[31]:

Numero di celle = $1 + 3{,}3 \log_{10}(N)$

Larghezza della cella = $\frac{X\max - X\,min}{N.celle}$

Cella minore = X min

Dopo la costruzione delle celle e la definizione delle frequenze dei dati, vengono identificate le distribuzioni in relazione alla natura e alla manifestazione del fenomeno analizzato e vengono

[29] BRAVI M., FREGONARA E., (2004), *Promozione e sviluppo immobiliare: analisi dei processi e tecniche di valutazione*, Torino, Celid, p. 190

[30] CURTO R., FREGONARA E. (1997), *Il controllo del rischio e dell'incertezza negli investimenti immobiliari: la probability analysis*, Genio Rurale n°9, p. 27

[31] AHUJA H.N.,(1994) Project Management, Wiley&Sons, New York, p. 335

quindi calcolati i parametri delle distribuzioni teoriche (minimo, massimo, media, mediana ecc.). In seguito si verifica se tale distribuzione teorica e appropriata o meno alla distribuzione empirica. Sono presenti numerosi software che sono capaci di individuare funzioni teoriche con i relativi parametri. Il test del Chiquadro (χ^2) di Pearson è quello più utilizzato e confronta le frequenze ottenute con quelle attese di una possibile distribuzione.

Metodo simulativo

Con il metodo simulativo, invece, si producono stime attraverso la generazione di numeri casuali, utilizzando tecniche tra cui il Metodo Monte Carlo o il *Latin Hipercube Sampling*.

La simulazione Monte Carlo (MCS) è una tecnica stocastica che campiona casualmente i valori dalle funzioni di distribuzione di probabilità (pdf) di variabili in un modello per calcolare i risultati probabili. Viene eseguita una notevole quantità di iterazioni per coprire diversi scenari possibili, e i risultati vengono utilizzati per formare una PDF di risultati probabili. Risultati statistici deterministici, come media, mediana, e deviazione standard, possono essere calcolati dai risultati. Tali parametri possono essere calcolati e gestiti attraverso software specifici, ad esempio @Risk sviluppato da Palisade, Crystalball sviluppato da Oracle, Modelrisk sviluppato da Vose, e altri.
A causa della mancanza di dati storici sui costi e dell'unicità dei progetti di costruzione, la selezione delle pdf per il costo è solitamente basata su giudizi soggettivi. Chau[32-33] e Wall[34] a metà degli anni '90 hanno intrapreso un lavoro di ricerca per investigare i tipi di pdf per rappresentare in modo più accurato i componenti di costo nei progetti di costruzione. Generalmente, le pdf con distorsioni positive (con le code verso destra), come la distribuzione lognormale, sono favoriti per rappresentare le incertezze di costo.
Boussabaine e Kirkham[35] propongono i tipi appropriati di pdf per alcuni componenti di costo in LCC.

[32] CHAU K. W. (1995) *The validity of the triangular distribution assumption in Monte Carlo simulation of construction costs: empirical evidence from Hong Kong*. Construction Management and Economics, 13(1), pp. 15-21

[33] CHAU K. W. (1995) *Monte Carlo simulation of construction costs using subjective data.* Construction Management and Economics, 13(5), pp. 369-383.

[34] WALL, D. M. (1997) *Distributions and correlations in Monte Carlo simulation*. Construction Management and Economics, 15(3), pp. 241-258

[35] BOUSSABAINE A. and KIRKHAM R. (2005) *Whole Life-cycle Costing: Risk and Risk Responses*, Blackwell Publishing, Oxford,

La simulazione *Latin Hipercube* (LHS) adotta l'approccio simile alla simulazione Monte Carlo, ma stratifica le pdf di input in intervalli di uguale probabilità. Nella simulazione, ogni intervallo avrà la stessa possibilità di essere selezionato, ad esempio quantità uguali di valori saranno campionate dagli intervalli. Quindi, la simulazione Latin Hypercube richiede meno numeri di iterazioni per produrre una distribuzione uniforme per l'output. Tuttavia, attualmente possono essere prodotte un gran numero di iterazioni: nei software sopra citati l'opzione LHS è solitamente disponibile insieme all'opzione MCS.[36]

UK

[36] LANGDON D. (2006), *Literature Review of Life Cycle Costing (LCC) and Life Cycle Assessment (LCA)*, Management Consulting, p. 46

BIBLIOGRAFIA

AHUJA H.N. (1994) *Project Management*, Wiley&Sons, New York.

AKINTOYE S. A., MACLEOD J. M. (1997*) Risk analysis and management in construction*. International Journal of Project Management, 15(1).

BOUSSABAINE A. and KIRKHAM R. (2005) *Whole Life-cycle Costing: Risk and Risk Responses*, Blackwell Publishing, Oxford, UK.

BOUSSABAINE A., KIRKHAM R., (2008), *Fundamentals of Whole Life – Cycle Cost Analysis*, John Wiley & Sons.

BRAVI M., FREGONARA E., (2004), *Promozione e sviluppo immobiliare: analisi dei processi e tecniche di valutazione*, Torino, Celid.

CHAU K. W. (1995) *The validity of the triangular distribution assumption in Monte Carlo simulation of construction costs: empirical evidence from Hong Kong*. Construction Management and Economics, 13(1).

CHAU K. W. (1995) *Monte Carlo simulation of construction costs using subjective data.* Construction Management and Economics, 13(5).

COLE R., STERNER E., (2000), *Reconciling theory and practice of life-cycle costing*, Building Research & Information.

CURTO R., FREGONARA E. (1997), *Il controllo del rischio e dell'incertezza negli investimenti immobiliari: la probability analysis*, Genio Rurale n°9.

FLANAGAN R., NORMAN G., (1989) *Life-Cycle Costing: Theory and Practice*. RICS, Surveyors Publications Ltd, London.

FREGONARA E., (2015), *Valutazione sostenibilità progetto. Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali*, Franco Angeli, Milano.

FULLER S. (2016). *Life - Cycle Cost Analysis (LCCA)*, Whole Building Design Guide (WBDG) a program of the National Institute of Building Sciences, https://www.wbdg.org/resources/life-cycle-cost-analysis-lcca

HARGITAY S.E., SHI-MING Y. (1993), *Property Investment Decision: a Quantitative Approach*, London, E & FN Spon.

KIRK S., DELL'ISOLA A., (1995) *Life Cycle Costing for Design Professionals*, 2nd ed., McGrawHill Book Co. Inc., New York.

LANGDON D., (2006), *Literature Review of Life Cycle Costing (LCC) and Lyfe Cycle Assessment (LCA)*, Management Consulting.

MANGIAROTTI A., TRONCONI O., (2010), *Il progetto di fattibilità. Analisi tecnica economica e sistemi costruttivi*, McGraw Hill, Milano.

POULIQUEN LOUIS Y., (1970) *Risk Analysis in Project Appraisal*. World Bank Staff Occasional Papers no. 11. Washington, D.C.: World Bank.

TASK GROUP 4 (TG4), (2003), Report of Task Group 4: *Life Cycle Costs in Construction*, the European Commission.

The Pennsylvania State University. (2017). Life Cycle Cost Analysis | EGEE 102: Energy Conservation and Environmental Protection. PennState College of Earth and Mineral Sciences. Retrieved 15 April 2017, from https://www.e-education.psu.edu/egee102/node/2036

WALL D. M. (1997) *Distributions and correlations in Monte Carlo simulation*. Construction Management and Economics, 15(3).

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (WCED), (1987), Our Common Future. Oxford, UK: Oxford University Press.

02

EFFICIENZA ENERGETICA IN FUNZIONE DEI COSTI: ANALISI *COST-OPTIMAL*

2.1 INTRODUZIONE

A livello europeo, i principi per i requisiti relativi al rendimento energetico degli edifici sono stabiliti dalla direttiva sul rendimento energetico nell'edilizia (EPBD – *Energy Performance of Building Directive*). Risalente al dicembre 2002, l'EPBD ha definito un quadro comune in base al quale i singoli Stati Membri nell'UE hanno sviluppato o adattato le loro singole normative nazionali.

L'EPBD nel 2008 e nel 2009 è stata sottoposta a una procedura di rifusione, con l'accordo politico finale raggiunto nel novembre 2009. La nuova direttiva è stata quindi formalmente adottata il 19 maggio 2010. Tra gli altri chiarimenti e nuove disposizioni, la EPBD – recast introduce un meccanismo di benchmarking per requisiti nazionali di prestazione energetica ai fini della determinazione dei livelli ottimali in termini di costi che gli Stati membri devono utilizzare per confrontare e fissare tali requisiti.

La precedente EPBD ha definito un quadro generale per valutare il rendimento energetico degli edifici e ha richiesto agli Stati membri di definire i valori massimi per l'energia fornita per soddisfare la domanda di energia associata all'uso standardizzato dell'edificio.

L'EPBD - *recast* richiede ora che gli Stati Membri assicurino che siano fissati requisiti minimi di rendimento energetico per gli edifici "al fine di raggiungere livelli ottimali in funzione dei costi". Il livello ottimale di costo deve essere calcolato secondo una metodologia comparativa.

L'obiettivo è contribuire alla discussione in corso in Europa sui dettagli di tale metodologia descrivendo possibili dettagli su come calcolare i livelli ottimali di costo e puntare verso fattori ed effetti importanti.

All'interno dell'EPBD – *recast* viene introdotto un nuovo articolo su edifici a energia quasi zero (n-ZEB). Questi sono descritti come edifici che hanno un rendimento energetico molto elevato con la quantità quasi nulla o molto bassa di energia richiesta in misura molto significativa da coprire con l'energia da fonti rinnovabili. A partire dal 1 ° gennaio 2019, le autorità pubbliche che occupano e posseggono un nuovo edificio devono garantire che l'edificio sia un edificio a energia quasi zero. A partire dal primo gennaio 2021, tutti i nuovi edifici devono essere edifici quasi zero.[1]

[1] EPBD, Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast), Off. J. Eur. Union. (2010) pp. 13–35

Gli edifici a energia quasi zero possono essere raggiunti migliorando i livelli di isolamento degli edifici, utilizzando tecnologie efficienti dal punto di vista energetico e integrando i sistemi di energia rinnovabile nell'ambiente costruito.

Il 19 giugno 2018 è stata pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale la revisione della Direttiva sulla prestazione energetica nell'edilizia entrata in vigore il 9 luglio 2018. La nuova direttiva 2018/844 del Parlamento europeo e del Consiglio del 30 maggio 2018 innanzitutto impone agli Stati Membri di sviluppare strategie a lungo termine per la ristrutturazione degli edifici sia pubblici sia privati con l'obiettivo di ridurre i livelli di emissioni dell'80-85%. inoltre introduce l'obbligo di migliorare la prestazione energetica degli edifici sia esistenti sia per quelli di nuova costruzione e il sostegno per lo sviluppo di infrastrutture di ricarica per i veicoli elettrici. Viene anche introdotto un indicatore d'intelligenza: questo strumento consente di misurare l'operatività di un edificio, adattando alle esigenze degli abitanti il consumo energetico.

Considerando gli elevati sforzi economici necessari per l'implementazione di queste misure, è importante garantire che tali misure forniscano le prestazioni desiderate durante la vita dell'edificio. Tuttavia, sorgono molte incertezze nel funzionamento di un edificio come le dimensioni della casa e il loro comportamento corrispondente. Inoltre, fattori esterni, come ad esempio cambiamenti climatici e cambiamenti politici, influiscono sulle prestazioni dell'edificio nel corso della sua vita. Queste incertezze hanno un impatto sulle prestazioni dell'edificio, con conseguente possibile scostamento delle prestazioni tra le prestazioni previste nella fase di progettazione e le prestazioni effettive durante il funzionamento. Per ridurre questo divario delle prestazioni, dovrebbe essere valutata la robustezza delle prestazioni di questi edifici considerando le incertezze in fase di progettazione. Kotireddy, Hoes e Hensen hanno sviluppato una metodologia computazionale considerando queste incertezze per valutare la robustezza delle prestazioni degli edifici a energia netta zero.[2]

Di seguito vengono riassunte le disposizioni del testo dell'EPBD – recast per quanto riguarda il calcolo e il raggiungimento dei requisiti ottimali in termini di costi.

[2] RAJESH KOTIREDDY, PIETER-JAN HOES, JAN L. M. HENSEN, (2017), *Robust net-zero energy buildings – A methodology for designers to evaluate robustness,* REHVA Journal

2.2 METODOLOGIA PER CALCOLARE I LIVELLI ENERGETICI OTTIMALI IN TERMINI DI COSTI

La Commissione ha istituito entro giugno 2011 un quadro metodologico comparativo per il calcolo dei livelli ottimali in termini di costi dei requisiti minimi di prestazione energetica per edifici ed elementi costruttivi (ad esempio il tetto di un edificio). Il quadro metodologico comparativo impone agli Stati membri di[3]:

- definire edifici di riferimento caratterizzanti e rappresentativi per la loro funzionalità e condizioni climatiche. Gli edifici di riferimento coprono edifici residenziali e non residenziali, sia nuovi sia esistenti;
- definire le misure di efficienza energetica valutate per gli edifici di riferimento. Queste possono essere misure per gli edifici nel loro complesso, per elementi costruttivi o per una combinazione di elementi costruttivi;
- valutare il fabbisogno finale e di energia primaria degli edifici di riferimento e degli edifici di riferimento con le misure di efficienza energetica definite. I calcoli relativi dovrebbero essere basati su standard europei pertinenti;
- calcolare i costi (ossia il valore attuale netto) delle misure di efficienza energetica durante il ciclo di vita economico atteso applicato agli edifici di riferimento, tenendo conto dei costi di investimento, di manutenzione e di esercizio, dei costi di produzione e di smaltimento dell'energia.

L'efficienza in termini di costi dei requisiti di rendimento energetico può essere valutata calcolando i costi del ciclo di vita dell'edificio e degli elementi costruttivi sulla base di diversi pacchetti di misure applicate a un edificio di riferimento e impostandoli in relazione sia al consumo energetico sia alle emissioni di CO_2.

La norma EN 15459-1:2007 - *Prestazioni energetiche degli edifici* – Parte 1: *procedura di valutazione economica per i sistemi energetici negli edifici* descrive un metodo per il calcolo economico degli impianti di riscaldamento, in base ai dati di altri sistemi che possono influenzare la domanda di energia, e fa riferimento per quanto riguarda l'energia fornita agli standard CEN relativi alla EPBD.

[3] Direttiva 2010/31/UE del Parlamento e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla Prestazione energetica nell'edilizia.

Lo schema di calcolo della EN 15459 può essere applicato a tutti i tipi di edifici (residenziali e non residenziali, nuovo e retrofit) e può prendere in considerazione investimenti in sistemi per:

- riscaldamento degli ambienti;
- acqua calda sanitaria;
- ventilazione;
- raffreddamento;
- illuminazione;
- strutture da costruzione e isolamento.

La norma EN 15459 fornisce le modalità di valutazione attraverso il calcolo del valore attuale (descritto come costi globali, Cfr. calcolo del *Global Cost* capitolo 1.1).
Il metodo di calcolo del costo globale determina un valore attuale di tutti i costi durante un periodo di calcolo definito (ad esempio 30 anni), tenendo conto dei valori residui delle apparecchiature con una vita più lunga. Le proiezioni relative ai costi energetici e ai tassi di interesse possono quindi essere limitate al periodo di calcolo.

Un esempio dei risultati per diversi pacchetti applicati a un edificio di riferimento scelto è mostrato nella Figura10. La figura mostra i costi globali dei pacchetti relativi al consumo di energia primaria. Possono anche essere sviluppati grafici corrispondenti relativi alle emissioni di CO_2 dei pacchetti valutati.

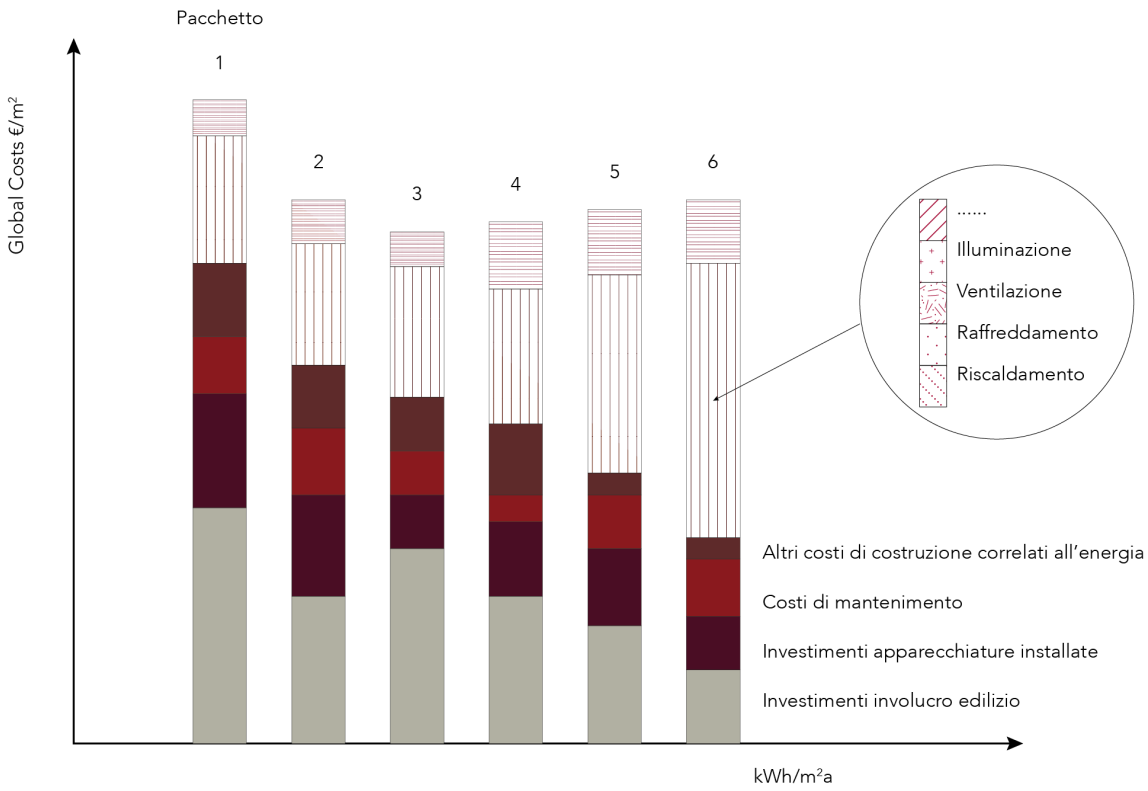


Fig. 10 Esempio di calcolo del consumo di energia per differenti pacchetti.
Fonte: rielaborazione da Di Giuseppe E., Iannaccone M., Telloni M., D'Orazio M., Di Perna C, (2017), Probabilistic Life Cycle Costing of existing buildings retrofit interventions towards nZE target: methodology and application example, Energy & Building 144, p. 422

Dalla varietà di risultati specifici per i pacchetti valutati, è possibile sviluppare una curva di costo specifica, come si può vedere nella Figura 11. La combinazione di pacchetti con il costo più basso fornirà il livello minimo di requisiti al costo ottimale. Se i pacchetti dovessero avere lo stesso costo, dovrebbe normalmente essere scelto il pacchetto con il minor consumo di energia.

Per ottenere un quadro chiaro e completo della curva di riferimento, occorre prendere in considerazione tutti i tipi di combinazioni di misure comunemente utilizzate, sia a breve che a lungo termine, che vanno dalla combinazione di misure per conformarsi alle normative vigenti e alle migliori pratiche, fino alle combinazioni per realizzare edifici a basso consumo energetico e case passive, comprese varie opzioni per l'approvvigionamento di energia rinnovabile.

In realtà, il gran numero di soluzioni proposte probabilmente non formerà una curva esatta. Si può ipotizzare che i set di dati formeranno una "nuvola" da cui si può ricavare una curva media.

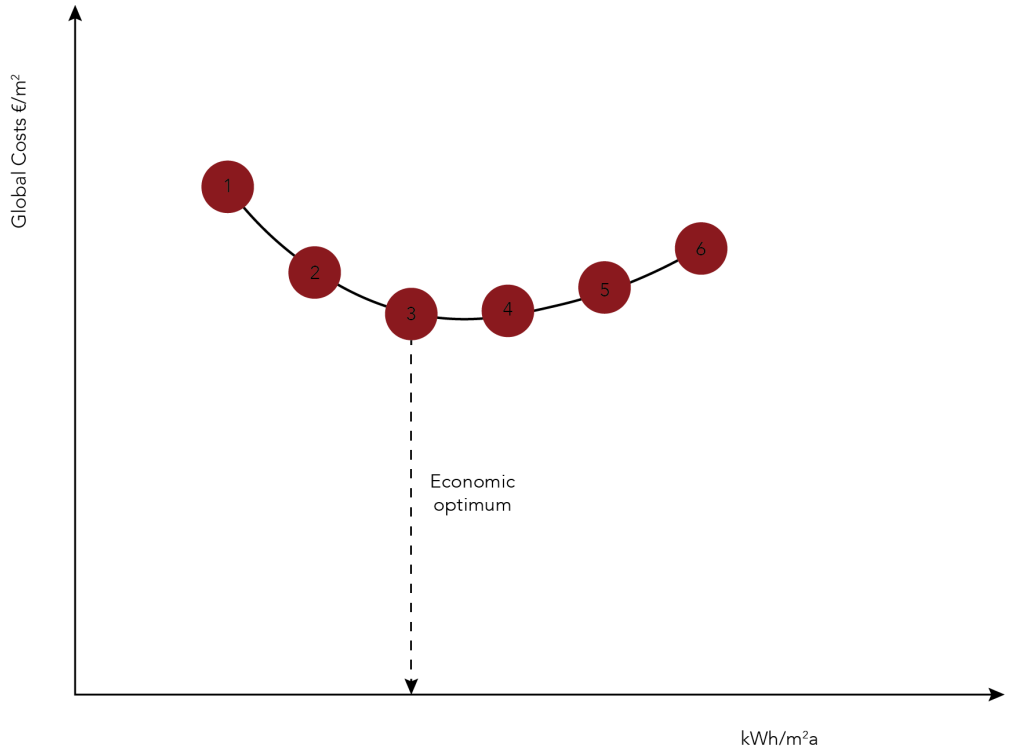


Fig. 11 Definizione della curva del costo ottimale

Fonte: elaborazione da B OERMANS T., BETTGENHÄUSER K., HERMELINK A., SCHIMSCHAR S. and other Ecofys international staff, (2011), Cost optimal building performance requirements. Calculation methodology for reporting on national energy performance requirements on the basis of cost optimality within the framework of the EPBD, European Council for an Energy Efficient Economy ECEEE, Stockhol, p. 6.

Guardando la curva dei costi nella figura 12, i requisiti minimi di prestazione per gli edifici sostenibili dovrebbero essere stabiliti all'interno della parte della curva che offre le migliori prestazioni energetiche e ambientali al minor costo, che potrebbe essere migliore dei requisiti attuali a un costo inferiore o allo stesso costo complessivo. Le priorità della società possono anche portare a fissare requisiti minimi più rigorosi di quelli ottimali in funzione dei costi privati, come ad esempio a sinistra del campo "*Best practice*" nella figura 12.

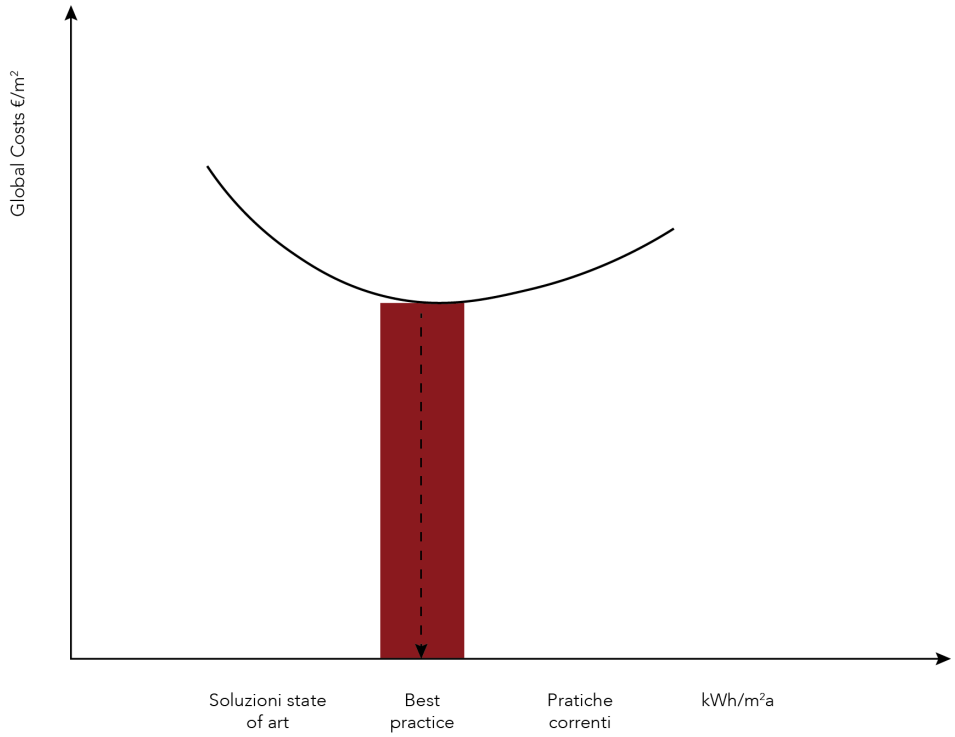


Fig. 12 Esempio di posizione dei requisiti minimi di prestazione energetica
Fonte: elaborazione da B OERMANS T., BETTGENHÄUSER K., HERMELINK A., SCHIMSCHAR S. and other Ecofys international staff, (2011), Cost optimal building performance requirements. Calculation methodology for reporting on national energy performance requirements on the basis of cost optimality within the framework of the EPBD, European Council for an Energy Efficient Economy ECEEE, Stockhol, p. 8.

Per eseguire questo tipo di calcoli, è necessario:

- identificare i segmenti di mercato e la segmentazione degli attuali requisiti di rendimento energetico (requisiti diversi per i diversi tipi di edifici) dove applicabile;
- definire e selezionare un numero sufficiente di edifici di riferimento che siano caratterizzati dalla loro funzionalità, caratteristiche e condizioni regionali, incluse le condizioni climatiche interne ed esterne;
- specificare i pacchetti di misure per il risparmio energetico, l'efficienza energetica e l'approvvigionamento energetico da valutare;
- calcolare per riferimento la domanda di energia e l'approvvigionamento energetico per un ampio numero di pacchetti che rappresentano "pratiche correnti", "migliori pratiche" e "soluzioni state of art";
- calcolare l'energia primaria legata all'approvvigionamento e le emissioni di CO_2 per la combinazione di pacchetti per l'edificio di riferimento;

- valutare i corrispondenti costi di investimento relativi all'energia, i costi energetici e gli altri costi di gestione dei pacchetti pertinenti applicati agli edifici di riferimento selezionati;
- dalla curva dei costi dei pacchetti per un edificio di riferimento identificare il pacchetto con le migliori prestazioni in termini di energia erogata, energia primaria ed emissioni di CO_2;
- identificare il requisito di prestazione energetica ottimale per una media ponderata di tutti i tipi di riferimento per segmento di mercato;
- utilizzare, se necessario, gli edifici di riferimento stabiliti e i pacchetti pertinenti per identificare, utilizzando la stessa metodologia, i requisiti di prestazione energetica ottimali in termini di costi per gli elementi degli edifici e i sistemi tecnici di costruzione.

2.3 EDIFICI DI RIFERIMENTO

Contesto

I calcoli devono essere basati su edifici di riferimento ben scelti e ben definiti, che rappresentano la situazione media per diversi tipi di nuovi edifici e retrofit in un segmento di mercato a livello nazionale o regionale. Pertanto, dovrebbero essere utilizzate le tipologie di edifici nazionali e regionali, per quanto disponibili. Inoltre, i seguenti aspetti giocano un ruolo nella definizione degli edifici di riferimento sui quali vengono applicati i pacchetti di misure scelti. Le condizioni climatiche devono essere utilizzate in conformità alla norma EN ISO 15927-5:2012 "*Prestazione termoigrometrica degli edifici - Calcolo e presentazione dei dati climatici – Parte 5: dati per il carico termico di progetto per il riscaldamento degli ambienti*" applicata come media nazionale o per zona climatica, nel caso in cui questa distinzione venga effettuata nel regolamento nazionale degli edifici. I gradi di riscaldamento giornalieri e i gradi di raffreddamento giornalieri sono definiti nelle normative nazionali o regionali degli standard o possono essere ricavati dai dati di EUROSTAT.

Edifici residenziali – nuove costruzioni e edifici esistenti

Nuove costruzioni

Le tipologie che dovrebbero essere distinte sono:

- diverse tipologie di case unifamiliari (ad esempio casa indipendente, a schiera) e condomini di diverse dimensioni;
- le geometrie e altre proprietà dovrebbero riflettere la situazione tipica dei nuovi edifici (ad esempio design per facilitare guadagni solari passivi o protezione solare ecc.)

Edifici esistenti

Le tipologie che dovrebbero essere distinte sono:

- diversi tipologie di case unifamiliari (ad esempio casa indipendente, a schiera) e condomini di diverse dimensioni;
- geometrie e altre proprietà dovrebbero riflettere la situazione tipica in situazioni di retrofit.

Edifici non residenziali – nuove costruzioni e edifici esistenti

Nuove costruzioni

In base all'allegato I dell'EPBD si possono distinguere i seguenti tipi di edifici:

- Uffici;
- Edifici scolastici;
- Ospedali;
- Alberghi e ristoranti;
- Impianti sportivi;
- Edifici per servizi di commercio all'ingrosso e al dettaglio;
- Altri tipi di edifici che consumano energia.

Tipologie di edifici

Maggiore è il numero di edifici di riferimento sviluppati per coprire gli aspetti sopra citati, più accurata sarà la valutazione dei requisiti di costo ottimali. Un esempio di una tipologia di

edificio (qui per edifici residenziali) è descritto nella Figura 13 di seguito. L'esempio mostra come può essere una classificazione di un edificio. Tuttavia tali classificazioni devono essere adattate quando utilizzate per la metodologia sui requisiti ottimali in termini di costi, ad es. aggregando gruppi di epoca.

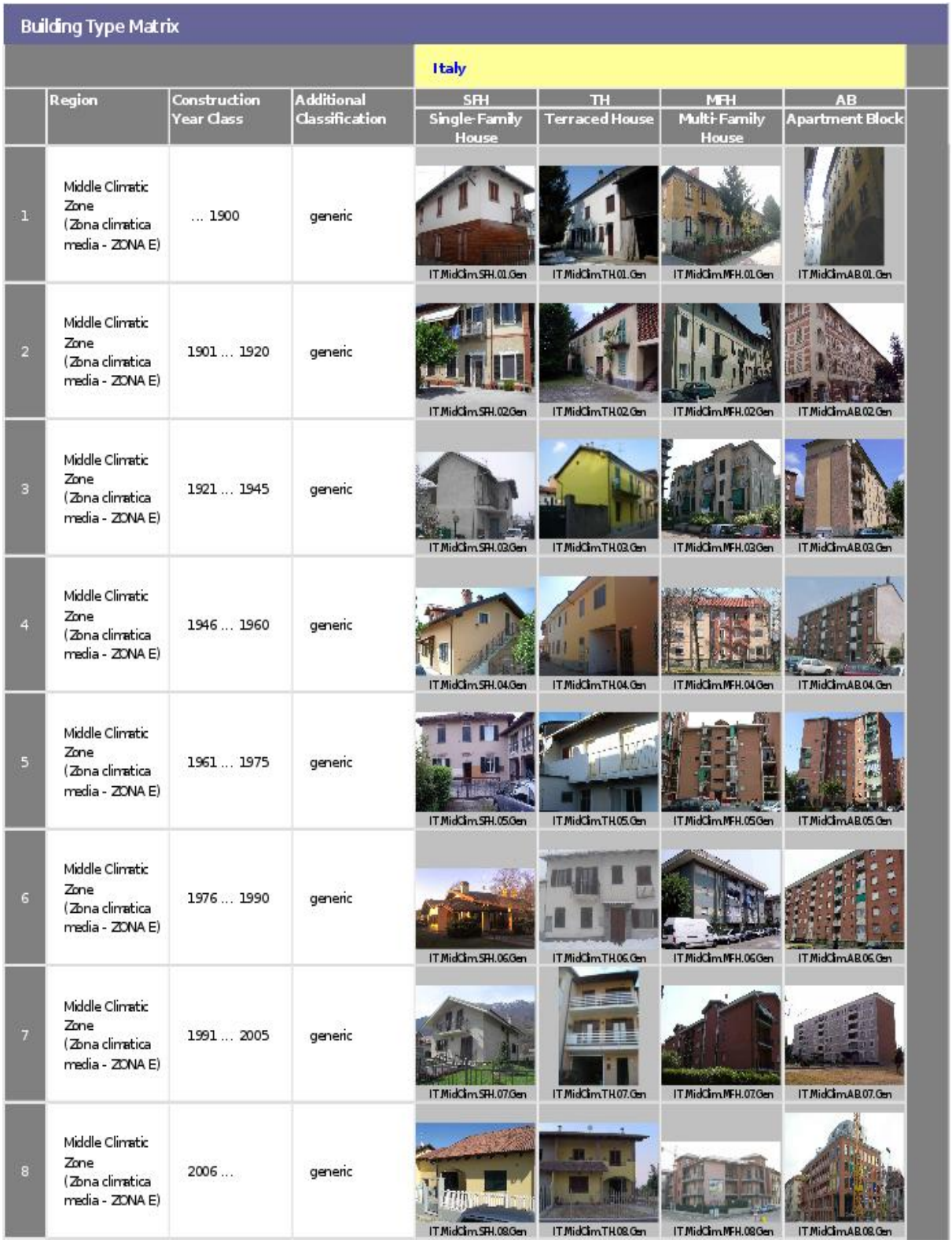


Fig. 13 Esempio di matrice delle tipologie edilizie di riferimento

Fonte: Progetto TABULA. Typology Approach for Building Stock Energy Assessment pag. 19

2.4 STANDARD EUROPEI SULLE PRESTAZIONI ENERGETICHE DEGLI EDIFICI E LE FASI DI CALCOLO

L'EPBD del 2002 aveva stabilito i requisiti per una metodologia di calcolo (articolo 3), requisiti minimi di rendimento energetico (articolo 4), certificati di rendimento energetico (articolo 7) e ispezione di caldaie e sistemi di condizionamento dell'aria (articoli 8 e 9). Per facilitare un approccio e una comparabilità comuni, la Commissione europea ha conferito un mandato al CEN per sviluppare gli standard da applicare nel quadro dell'EPBD. Ciò ha portato allo sviluppo di 31 standard CEN riguardanti l'EPBD. Una panoramica degli standard sviluppati e delle relazioni con altri standard europei è descritta nella CEN/TR 15615:2008 "*Explanation of the general relationship between various European standards and the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) - Umbrella Document*".
Gli aspetti di questi standard sono riuniti nelle seguenti norme europee e ISO e nei loro contenuti, che si riferiscono alle esigenze specifiche dell'EPBD:

- EN ISO 52016-1:2018 "*Prestazioni energetiche degli edifici - Fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento, temperature interne e carichi termici sensibili e latenti - Parte 1: Procedure di calcolo*". Fornisce i metodi di calcolo per la valutazione del fabbisogno energetico sensibile e latente per riscaldamento, raffrescamento e (de-) umidificazione.
- UNI EN ISO 52000-1: 2018 "*Prestazioni energetiche degli edifici – Struttura generale e procedure*": stabilisce una struttura per valutare le prestazioni energetiche degli edifici, sia per quanto riguarda il consumo di energia complessivo sia per il calcolo di prestazioni energetiche per l'energia primaria o altre.
- UNI EN ISO 52003-1: 2018 "*Prestazioni energetiche degli edifici – Indicatori, requisiti, valutazioni e certificati – Parte 1: aspetti generali e applicazione alla prestazione energetica complessiva*": fornisce indicatori per la valutazione delle prestazioni energetiche e descrive varie relazioni che concorrono tra essi. Elenca anche etichette energetiche e schemi da seguire per ottenere una certificazione.
- UNI EN 15378-1: 2018 "*Prestazione energetica degli edifici - Sistemi di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria negli edifici – Parte 1: Ispezione di caldaie, dei sistemi di riscaldamento e di acqua calda sanitaria*": esplica le procedure da seguire per le ispezioni per la valutazione delle prestazioni energetiche delle caldaie esistenti e dei

sistemi di riscaldamento.

- UNI EN 16798-17: 2018 "*Ventilazione per gli edifici – Parte 17: Linee guida per l'ispezione degli impianti di ventilazione e condizionamento dell'aria*".

La domanda di energia e l'energia fornita e le conseguenti emissioni di CO_2 sono calcolate in conformità con gli standard CEN per l'EPBD in tre livelli:

- calcolo della domanda di energia dell'edificio per il riscaldamento, il raffreddamento e l'illuminazione;
- calcolo dell'energia fornita all'edificio per il riscaldamento e il raffreddamento, la ventilazione, l'acqua calda sanitaria e l'illuminazione, compresa l'energia ausiliaria;
- calcolo del consumo totale di energia con indicatori di prestazione (energia primaria, emissioni di CO_2).

In una prima fase, viene calcolata la domanda di energia per il riscaldamento e il raffreddamento. Questa parte del calcolo considera le proprietà dell'edificio e calcola l'energia che deve essere emessa dai sistemi di alimentazione al fine di mantenere la temperatura interna prevista. Per questi calcoli, vengono presi in considerazione i dati che si riferiscono a requisiti climatici interni, proprietà degli edifici e condizioni climatiche esterne. Tenendo conto del fatto che la metodologia dovrebbe condurre a una valutazione generale del rapporto costo/efficacia dei requisiti di rendimento energetico dell'edificio, per tale metodologia può essere applicato il principio di calcolo mensile/stagionale semplificato.

In una seconda fase, per calcolare l'energia erogata vengono prese in considerazione le caratteristiche del riscaldamento dell'ambiente, del raffreddamento, della ventilazione, dell'acqua calda e dei sistemi di illuminazione. I calcoli tengono conto dell'emissione, della distribuzione, dello stoccaggio e della generazione di calore, compresa l'energia ausiliaria necessaria (es. ventilatori o pompe). Dall'energia erogata, vengono calcolate la corrispondente energia primaria e le emissioni di CO_2.

Le caratteristiche dei sistemi tecnici di costruzione sono incluse nei seguenti standard:

- *Sistemi di riscaldamento*: EN 15316-1: 2017 "*Sistemi di riscaldamento negli edifici - Metodo per il calcolo dei requisiti energetici del sistema e l'efficienza del sistema* - Parte 1*: Generale*" e EN 15316-4: 2018 "Prestazioni energetiche degli edifici - *Metodo per il calcolo dei requisiti energetici del sistema e dell'efficienza del sistema* - Parte 4-1: *Sistemi di riscaldamento e di generazione di acqua calda sanitaria, sistemi di combustione*" (6

parti, che riguardano caldaie, pompe di calore, sistemi solari termici, cogenerazione, teleriscaldamento e sistemi fotovoltaici) e i suoi riferimenti normativi.

- *Ventilazione*: EN 16798-5:2018 "*Prestazione energetica degli edifici - Ventilazione per edifici* – Parte 5-1: *Metodi di calcolo per i requisiti energetici dei sistemi di ventilazione*" e relativi riferimenti normativi.
- *Raffreddamento*: UNI EN 16798-9: 2018 "*Prestazione energetica degli edifici - Ventilazione per edifici* - Parte 9*: Metodi di calcolo per il fabbisogno energetico dei sistemi di raffreddamento*", e UNI EN 16798-13:2018 "*Prestazione energetica degli edifici - Ventilazione per edifici* – Parte 13*: Calcolo dei sistemi di raffreddamento".*
- *Illuminazione*: UNI EN 15193-1: 2017 "*Prestazione energetica degli edifici – Requisiti energetici per illuminazione* – Parte 1: *Specificazioni.*" e riferimenti normativi.
- *Automazione degli edifici*: UNI EN 15232: 2012 "*Prestazioni energetiche degli edifici - Incidenza dell'automazione, della regolazione e della gestione tecnica degli edifici*" e riferimenti normativi.
- Ulteriori informazioni e dettagli sono forniti nel CEN / TR 15615:2008 che offre una panoramica di tutti gli standard relativi all'EPBD, comprese le definizioni comuni.

Lo scopo del calcolo della domanda di energia primaria potrebbe (in una possibile fase successiva) essere ampliato verso un calcolo LCA completo (*cradle to grave*) che includa anche l'energia necessaria per la produzione di prodotti e sistemi connessi all'energia e il loro smaltimento.

Per poter utilizzare un semplice indicatore per le diverse geometrie e dimensioni degli edifici, i risultati devono essere espressi rispettivamente in kWh e in CO_2, sia per m^2 di superficie del pavimento sia per anno.

2.5 MODELLO DI CALCOLO PER LA VALUTAZIONE ECONOMICA

Per la valutazione dell'impatto delle diverse opzioni per l'efficienza energetica, l'approvvigionamento energetico e le energie rinnovabili su un edificio nel corso del suo ciclo di vita, si deve tenere conto degli investimenti corrispondenti, delle esigenze di sostituzione (derivanti dalla diversa durata di vita dei componenti), dei costi di esercizio durante l'uso dell'edificio (compresi i costi energetici) e dello smaltimento.

Come già accennato al paragrafo 2.2 la norma EN 15459 descrive un metodo di calcolo economico con l'utilizzo di dati che possono influenzare il fabbisogno energetico. Il calcolo del

Global Cost consente la scelta di un periodo di calcolo uniforme e può essere collegato alle attività di calcolo del costo del ciclo di vita (LCC), che si avvalgono anche del calcolo del valore attuale netto.
Il calcolo del costo globale considera l'investimento iniziale, i costi annuali per ogni anno e il valore finale, tutti riferiti all'anno di partenza.
Per una valutazione completa, devono essere raccolte le seguenti informazioni per i diversi pacchetti applicati agli edifici di riferimento:

- investimenti relativi all'energia (isolamento, finestre, ventilazione, illuminazione, sistemi e controlli di approvvigionamento energetico, ecc.;
- i costi periodici di sostituzione;
- i corrispondenti costi di manutenzione, funzionamento e costi aggiuntivi;
- i costi energetici per i vettori energetici (cioè prezzo dell'energia pagato dal consumatore).

I costi devono essere valutati a livello nazionale o regionale oppure per diverse zone climatiche all'interno di un paese e devono essere compresi i costi di installazione e quelli per la fase di fine vita (costi di smantellamento, trasporto, smaltimento).
I costi periodici di sostituzione si verificano in base alla durata di vita delle misure incluse e eventuali costi aggiuntivi comprendono i costi di assicurazione o l'energia prodotta che viene venduta.
La base per il calcolo dei costi energetici sono i calcoli dell'energia distribuita per il riscaldamento degli ambienti, acqua calda sanitaria, raffreddamento, ventilazione e illuminazione secondo le norme CEN intorno alla direttiva EPBD. Il prezzo ipotizzato dell'energia (per kWh e il costo per capacità (per kW) per il periodo di calcolo può essere sviluppato rispetto ai livelli dei costi attuali, come ad esempio quelli forniti da EUROSTAT, che differenzia i prezzi per uso domestico e industriale, a seconda del volume consegnato. Di conseguenza, per gli edifici di riferimento occorre tener conto dei diversi livelli di prezzo.

In base al metodo del costo globale, i costi totali durante il periodo di calcolo sono indicati in euro, e comprendono i costi di investimento e di sostituzione, nonché i costi d'esercizio.
Per poter confrontare le diverse geometrie e dimensioni degli edifici, si i risultati vengono espressi in euro per m^2 di superficie.

BIBLIOGRAFIA

B OERMANS T., BETTGENHÄUSER K., HERMELINK A., SCHIMSCHAR S. and other Ecofys international staff, (2011), *Cost optimal building performance requirements. Calculation methodology for reporting on national energy performance requirements on the basis of cost optimality within the framework of the EPBD,* European Council for an Energy Efficient Economy ECEEE, Stockholm.

Buildings Performance Institute Europe - BPIE (2010). "Cost Optimality – Discussing methodology and challenges within the recast Energy Performance of Buildings Directive".

CEN standards as indicated in the document see also www.cen.eu

FREGONARA E., (2015), *Valutazione sostenibilità progetto. Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali*, Franco Angeli, Milano.

Progetto TABULA. Typology Approach for Building Stock Energy Assessment

RAJESH KOTIREDDY, PIETER-JAN HOES, JAN L. M. HENSEN, (2017), *Robust net-zero energy buildings – A methodology for designers to evaluate robustness,* REHVA Journal.

Normative di riferimento

Direttiva Europea 2010/31/UE, EPBD *recast* del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica deli edifici.

Direttiva Europea 2018/844, EPBD recast del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30 maggio 2018 sulla prestazione energetica deli edifici.

CEN/TR 15615:2008 "*Explanation of the general relationship between various European standards and the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) - Umbrella Document*

EN 15316-1: 2017 "Sistemi di riscaldamento negli edifici - Metodo per il calcolo dei requisiti energetici del sistema e l'efficienza del sistema - Parte 1: Generale"

EN 15316-4: 2017 "Prestazioni energetiche degli edifici - Metodo per il calcolo dei requisiti energetici del sistema e dell'efficienza del sistema - Parte 4-1: Sistemi di riscaldamento e di generazione di acqua calda sanitaria, sistemi di combustione"

EN 16798-5:2018 "Prestazione energetica degli edifici - Ventilazione per edifici – Parte 5-1: Metodi di calcolo per i requisiti energetici dei sistemi di ventilazione"

EN ISO 52016-1:2018 "Prestazioni energetiche degli edifici - Fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento, temperature interne e carichi termici sensibili e latenti - Parte 1: Procedure di calcolo"

UNI EN 15193-1: 2017 "Prestazione energetica degli edifici – Requisiti energetici per illuminazione – Parte 1: Specificazioni"

UNI EN 15232: 2012 "Prestazioni energetiche degli edifici - Incidenza dell'automazione, della regolazione e della gestione tecnica degli edifici"

UNI EN 15378-1: 2018 "Prestazione energetica degli edifici - Sistemi di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria negli edifici"

UNI EN 16798-9: 2018 "Prestazione energetica degli edifici - Ventilazione per edifici - Parte 9: Metodi di calcolo per il fabbisogno energetico dei sistemi di raffreddamento"

UNI EN 16798-13:2018 "Prestazione energetica degli edifici - Ventilazione per edifici – Parte 13: Calcolo dei sistemi di raffreddamento"

UNI EN 16798-17: 2018 "Ventilazione per gli edifici - – *Parte 17: Linee guida per l'ispezione degli impianti di ventilazione e condizionamento dell'aria*".

UNI EN ISO 52000-1: 2018 "Prestazioni energetiche degli edifici – Struttura generale e procedure"

UNI EN ISO 52003-1: 2018 "Prestazioni energetiche degli edifici – Indicatori, requisiti, valutazioni e certificati – *Parte 1: aspetti generali e applicazione alla prestazione energetica complessiva*""

03

REVIEW BIBLIOGRAFICA

3.1 INTRODUZIONE

Le metodologie precedentemente descritte per l'analisi e la valutazione dei costi nel ciclo di vita del progetto sono fondamentali per una accurata scelta tra le alternative progettuali. Ne sono testimonianza le numerose pubblicazioni scientifiche che dimostrano l'interesse per la continua evoluzione e applicazione di tali metodologie.
All'interno del quadro delle metodologie descritte nei capitoli precedenti, in questo capitolo vengono raccolte e presentate diverse pubblicazioni che presentano casi studio e applicazioni di approcci per l'analisi dei costi.
Come si può dedurre dai precedenti capitoli, la review si focalizza prevalentemente su due approcci: l'analisi *Life Cycle Costing* e l'analisi *Cost Optimal.*
L'obiettivo del lavoro è, attraverso l'analisi della letteratura, evidenziare come questi vengono applicati, quando singolarmente o congiuntamente ad altri, indicando quali sono i principali contesti di analisi.

Sono stati raccolti 50 articoli: dal numero 1 al numero 31 relativi alla metodologia *Life Cycle Costing* e dal numero 32 al numero 50 relativi all'analisi *Cost Optimal.* Questi articoli sono stati inseriti secondo l'ordine cronologico della data di pubblicazione, dal 2018 al 2014, all'interno di una tabella sintetica elaborata per fornire le principali informazioni degli stessi.
Successivamente è stata formulata una scheda di supporto alla catalogazione e archiviazione dei prodotti bibliografici individuati, che riporta gli approfondimenti riguardo ciascuna voce della tabella per ogni specifico caso studio.
La ricerca dei casi studio è avvenuta tramite la consultazione di tesi di laurea, di articoli tratti da riviste scientifiche e da testi specifici che trattano le tematiche in oggetto.
Gli articoli di specifiche riviste scientifiche sono stati selezionati attraverso l'utilizzo di data-base online. Le principali banche dati utilizzate sono state Science Direct[1], Scopus[2] e Taylor&Francis Online[3].

[1] https://www.sciencedirect.com

[2] https://www.scopus.com

[3] https://www.tandfonline.com

3.2 SCHEDATURA DEGLI ARTICOLI ALL'INTERNO DI UNA TABELLA SINTETICA

In questa sezione viene stesa una tabella sintetica per la catalogazione delle diverse pubblicazioni in grado di fornire le principali informazioni relative ad ogni specifico caso studio.
Vengono specificati:

- N° articolo;
- Titolo;
- Autore;
- Sede editoriale;
- Anno;
- Approccio/i metodologico/i;
- Ambito/i oggetto/i di riferimento per lo studio.

Per quanto riguarda l'ambito/oggetto di riferimento per l'applicazione delle metodologie sono stati individuate diverse categorie, tra cui:

- Edificio residenziale (casa unifamiliare, casa plurifamiliare, appartamento, centro servizi, social housing);
- Edificio per uffici;
- Edificio commerciale (centro commerciale);
- Edificio per attività scolastiche;
- Edificio per attività industriale;
- Componente dell'edificio;
- Infrastruttura;
- Sistema impiantistico (impianto fotovoltaico, sistema HVAC).

ARTICOLO	TITOLO	AUTORE	SEDE EDITORIALE	ANNO	APPROCCI METODOLOGICI	AMBITI/ OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO
n°1	*The use of LCC method in running cost analysis of a single family house*	JAROSLAW ZIEMSKI	Economic and Environmental Studies, Vol. 18 n°1, pp. 445-455	2018	LCC	Edificio residenziale (nuva costruzione, casa unifamiliare)
n°2	*Environmental - Economic analysis of the heating system for a single family building*	AGNIESZKA JACHURA	E3S Web Conferences 44	2018	LCC	Edificio residenziale (retrofit, casa unifamiliare)
n°3	*Selection of energy efficiency projects for dwelling stock to achieve optimal project portfolio at the regional level by applying LCC*	CEZAR-PETRE SIMION, CIPRIAN NICOLESCU AND MIHAI CIOC	Energies, 11, 1586	2018	LCC Sensitivity analysis	Edificio residenziale (retrofit, casa plurifamiliare)
n°4	*Evaluation of energy - cost efficient design alternatives for residential building*	BAHADIR U. THOMOLLARI X., TOGAN V.	Journal of Construction Engineering, Management & Innovation, Vol. 1, pp. 43-54	2018	LCC	Edificio residenziale (retrofit, appartamento)
n°5	*A life cycle cost analysis and environmental assessment on the photovoltaic system in buildings: two case studies in Iran*	TOOSI H.A., BALADOR Z., GJERDE M., ALI VAKILI-ARDEBILI	Journal of Clean Energy Technologies, Vol. 6, n°2, pp. 134-138	2018	LCC LCA	Sistema impiantistico (impianto fotovoltaico)
n°6	*The economic feasability of passive house in Korea*	JISOO SHIM, DOOSAM SONG, JOOWOOK KIM	Sustainability 10, 3558	2018	LCC Analisi prestazioni energetiche	Edificio residenziale (retrofit, casa unifamiliare)
n°7	*Optimized maintenance and renovation scheduling in multyfamily buildings - a systematic approach based on conditions state and LCC of buildings component*	ABOLFAZL FARAHANI, HOLGER WALLBAUM & JAN-OLOF DALENBACK	Construction Management and Economics	2018	LCC Sensitivity analysis	Componente edilizio
n°8	*Life cycle cost comparison study of PV and concrete rooftop in Jakarta*	RELIGIANA HENDARTI	International Journal of Photoenergy, Vol. 2018	2018	LCC	Componente edilizio
n°9	*Green Buildings life cycle cost analysis and life cycle budget development: practical applications*	LUAY N. DWAIKAT, KERUN N. ALI	Journal of Building Engineering 18, pp.303-311	2018	LCC	Edificio per uffici
n°10	*Life cycle energy and cost analysis of thin flooring panels with enhanced thermal efficiency*	SUNGHO LEE, JINKYU JOO & SUNKUK KIM	Journal of Asian Architecture and Building Engineering, pp. 167-173	2018	LCC Lyfe Cycle Energy	Componente edilizio
n°11	*Life cycle and life cycle cost implications of integrated phase change materials in office buildings*	KONSTANTINIDOU C., PAPADOPOULOS A., LANG W., SANTAMOURIS M.	International Journal of Energy Research, pp.1-17	2018	LCC LCA	Componente edilizio
n°12	*A case study for design decisions on building service system using LCC analysis*	SEUNG-BOK LEIGH JONG-SEO WON	Journal of Asian Architecture and Building Engineering, pp.77-84	2018	LCC Sensitivity analysis	Sistema impiantisitico (sistema HVAC)
n°13	*Streamlined anvironmental and cost life-cycle approach for building thermal retrofit: a case of residential buildings in south european climates*	RODRIGUES C., KIRCHAIN R., FREIRE F., GREGORY J.	Journal of Cleaner Production 172, pp. 2625-2635	2018	LCC LCA Monte Carlo Simulation	Edificio residenziale (retrofit, casa plurifamiliare)
n°14	*Life Cycle Assessment and Life Cycle Cost of university dormitories in the southest China: case study of the university town of Fuzhou*	HUANG L., LIU Y., KRIGSVOLL G., JOHANSEN F.	Journal of Cleaner Production 173, pp. 151-159	2018	LCC LCA Sensitivity analysis	Edificio per attività scolastiche

ARTICOLO	TITOLO	AUTORE	SEDE EDITORIALE	ANNO	APPROCCI METODOLOGICI	AMBITI/ OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO
n°15	*Integrated Life Cycle Cost method for sustainable structural design by focusing on a benchmark office building in Australia*	ROBATI M., MCCARTY T., KOKOGIANNAKIS G.	Economic & Building 166, pp. 525-537	2018	LCC LCA	Componente edilizio
n°16	*Investigating cost-optimal refurbishment strategies for the medieval district of Visby in Sweden*	LINN LIUA, PATRIK ROHDINA, BAHRAM MOSHFEGHA	Energy & Building 158, pp. 750-760	2018	LCC Sensitivity analysis	Edificio residenziale (retrofit, casa plurifamiliare)
n°17	*Audit energy and developing photovoltaic (PV) model for refrigeration laboratory building application*	WIRAJATI G.A, SANTOSA D.M.C., MULIATI N.K.	Proceeding International Joint Conference on Science and Technology (IJCST)	2017	LCC LCA	Sistema impiantistico (impianto fotovoltaico)
n°18	*Life-cycle cost analysis (LCCA): a comparison of commercial flooring*	DEBRA HARRIS, LORI FITZGERALD	Facilities Vol. 35, pp. 303-318	2017	LCC	Componente edilizio
n°19	*Implementation of Life Cycle Costing for a commercial building: case of a residential apartment at Yogyakarta*	PETER F KAMING	MATEC Web of Conferences 138	2017	LCC	Edificio per attività scolastiche
n°20	*Life Cycle Cost of different walling material used for affordable housing in tropics*	CHAMEERA UDAWATTHA, RANGIKA HALWATURA	Case Studies in Construction Materials 7	2017	LCC	Componente edilizio
n°21	*Field measurement and modeling of UVC cooling coil irradiation for heating, ventilating and air conditioning energy use reduction - energy, IAQ and ecoonomic modeling*	JOSEPH FIRRANTELLO WILLIAM BAHNFLETH	Science and Technology for the Built Environment, pp. 600-611	2017	LCC	Edificio commerciale
n°22	*A Life Cycle Costing approach for discounting in age and interval replacement optimisation models for civil infrastructure assets*	VAN DEN BOOMEN M., SCHOENMAKER R., WOLFERT A.R.M.	Structure and Infrastructure Engineering Vol.14 n°1, pp. 1-13	2017	LCC	Infrastrutture
n°23	*Life Cycle Cost Analysis of energy-efficient buildings subject to earthquakes*	MIN (MAX) LIUA, BAOXIA MI	Energy and Buildings 154, pp. 581-589	2017	LCC Analisi prestazioni energetiche	Edificio per uffici
n°24	*Thermal and economic efficiency of progressive retrofit strategies for school buildings by a statistical analysis based tool*	TAGLIABUE L.C., MAININI A.G., CECCONI F., MALTESE S., DE ANGELIS E., ZANI A.	Building Simulation, International Building Performance Simulation Association	2017	LCC Gained Comfort Cost (GCC)	Edificio per attività scolastiche
n°25	*Determination of optimum thickness using economical analyse for exterior walls of building with different masses*	OKAN KON	An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications, Vol.7 n°2, pp. 149-157	2017	LCC Metodo grado giorno	Edificio residenziale (simulazione, e. riferimento)
n°26	*Developing an integrated framework for assessing the Life Cycle Greenhouse gas emissions and Life Cycle Cost for buildings*	MONIQUE SCHMIDTA, ROBERT H. CRAWFORD	Procedia Engineering 196, pp. 988-955	2017	LCC LCA Sensitivity analysis	Edificio residenziale (retrofit, e. riferimento)
n°27	*Toward cost-effective nearly zero energy buildings: the Dutch situation*	ZEILR W., GVOZDENOVIC K., DE BONT K., MAASSEN W.	Science and Technology for the Built Environment 22, pp. 911-927	2016	LCC	Edificio per uffici
n°28	*LCC Assessment and environmental impacts on the energy renovation on the multy-family building from 1890s*	LINN LIUA, PATRIK ROHDIN, BAHRAM MOSHFEGH	Energy and Buildings 133, pp. 823-833	2016	LCC Sensitivity analysis	Edificio residenziale (retrofit, casa plurifamiliare)

ARTICOLO	TITOLO	AUTORE	SEDE EDITORIALE	ANNO	APPROCCI METODOLOGICI	AMBITI/ OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO
n°29	*Life-cycle cost and financial analysis of energy components in mass housing projects - a case study in sub-urban India*	MUMTAAZ SAYED S.S., SAWANT P.H.	International Journal of Sustainable Built Environment 4, pp. 202-221	2015	LCC	Componente edilizio
n°30	*Evaluation on retrofit of one existing residential building in North China: energy saving, environmental and economic benefit*	CHEN S., GUAN J., LEVINE D.M., HAIYING L., YOWARGANA P.	Energy Procedia 121, pp. 3-10	2015	LCC	Edificio residenziale (retrofit, casa plurifamiliare)
n°31	*Life Cycle Assessment and Life Cycle Cost implications of residential buildings - a review*	HAMIDUL ISLAM, MARGARET JOLLANDS, SUJEEVA SETUNGE	Renewable and Sustainable energy Reviews 42, pp. 129 - 140	2015	LCC LCA Sensitivity analysis	Edificio residenziale (simulazione, appartamento)
n°32	*Cost optimum calculation of energy efficiency measures in the Czech Republic*	KARASEKA J., POJAR J., KALOCAI L., HERALOVAA R.S.	Energy Policy 123, pp. 155-166	2018	Analisi *Cost Optimal* Sensitivity analysis	Edificio residenziale (retrofit, casa unifamiliare)
n°33	*Energy retrofit alternatives and cost - optimal analysis for large public housing stocks*	GUARDIGLI L., BRAGADIN M.A., DELLA FORNACE F., MAZZOLI F., PRATI D.	Energy & Buildings 166, pp. 48-59	2018	Analisi *Cost Optimal* Sensitivity analysis	Edificio residenziale (retrofit, centro servizi)
n°34	*Social housing refurbishment in Mediterranean climate: Cost-optimal analysis towards the nZEB target*	CRISTINA CARPINO, ROBERTO BRUNO, NATALE ARCURI	Energy & Buildings 174, pp. 642-656	2018	Analisi *Cost Optimal*	Edificio residenziale (retrofit, social housing)
n°35	*University building: energy diagnosis and refurbishment design with Cost-optimal approach. Discussion about the effect of numerical modelling assumption*	BELLIA L., BORRELLI M., DE MASI R.F., RUGGIERO S.	Journal of Building Engineering 18, pp. 1-18	2018	Analisi *Cost Optimal* Sensitivity analysis	Edificio per attività scolastiche
n°36	*Cost optimal nZEBs in future climate scenarios*	MARIA FERRARA, ENRICO FABRIZIO	Energy Procedia 122, pp. 877-882	2017	Analisi *Cost Optimal*	Edificio residenziale (retrofit, casa unifamiliare)
n°37	*Refurbishment design through cost-optimal methodology: the case study of a social housing in the northern Italy*	GUAZZI G., BELLAZZI A., MERONI I., MAGRINI A.	International Journal of Heat and Technology, Vol. 35, pp. S336-S344	2017	Analisi *Cost Optimal*	Edificio residenziale (retrofit, social housing)
n°38	*A new comprehensive approach for cost optimal building design integrated with the multy-objective model predictive control of HVAC systems*	ASCIONE F., BIANCO N., DE STASIO C., MAURO G.M., VANOLI G.P.	Sustainable Cities and Society 31, pp. 136-150	2017	Analisi *Cost Optimal* Simulazione MPC	Edificio residenziale (nuova costruzione, casa plurifamiliare)
n°39	*Trade-off between sound insulation performance and cost-optimality in a residential nZEB*	VALLEE J.C., FERRARA M., ASTOLFI A., FABRIZIO E.	Energy Procedia 140, pp. 57-66	2017	Analisi *Cost Optimal* Analisi acustica	Edificio residenziale (retrofit, casa unifamiliare)
n°40	*Nearly-zero energy buildings: cost-optimal analysis of building envelope characteristics*	LOUKAIDOU K., MICHOPOULOS A., ZACHARIADIS TH.	Procedia Environmental Sciences 38, pp.20-27	2017	Analisi *Cost Optimal*	Edificio residenziale (retrofit, e. riferimento)
n°41	*Assessment of cost optimal solutions for high performance multy-family buildings in Iran*	ALVAND M., GHOLAMI Z., FERRARA M., FABRIZIO E.	Environmental Sciences 111, pp. 318-327	2017	Analisi *Cost Optimal*	Edificio residenziale (retrofit, casa plurifamiliare)
n°42	*Probabilistic Life Cycle Costing of existing buildings retrofit interventions towards nZE target: methodology and application example*	DI GIUSEPPE E., IANNACCONE M., TELLONI M., D'ORAZIO M., DI PERNA C.	Energy & Buildings 144, pp. 416-432	2017	Analisi *Cost Optimal* Sensitivity analysis Simulazione Monte Carlo	Edificio residenziale (retrofit, casa unifamiliare)

ARTICOLO	TITOLO	AUTORE	SEDE EDITORIALE	ANNO	APPROCCI METODOLOGICI	AMBITI/ OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO
n°43	*Cost-optimal energy efficiency levels are the first step in achieving cost effective renovation in residential buildings with a nearly-zero energy target*	FERREIRA M., ALMEIDA M., RODRIGUES A.	Energy & Buildings 133, pp. 724-737	2016	Analisi *Cost Optimal*	Edificio residenziale (retrofit, casa plurifamiliare)
n°44	*A supporting method for selecting cost-optimal energy retrofit policies for residencial buildings at the urban scale*	DELMASTRO C., MUTANI G., CORGNATI S.P.	Energy Policy 99, pp. 42-56	2016	Analisi *Cost Optimal*	Edificio residenziale (retrofit, e. riferimento)
n°45	*The cost otpimal methodology for evaluating the energy retrofit on an ex-industrial building in Turin*	BECCHIO C., FERRANDO D.G., FREGONARA E., MILANO N., QUERCIA C., SERRA V.	Energy Procedia 78, pp.1039-1044	2015	Analisi *Cost Optimal*	Edificio per attività industriale
n°46	*Cost-optimal design for nearly zero energy office buildings located in warm climates*	CONGEDO P.M., BAGLIVO C., D'AGOSTINO D., ZACA' I.	Energy 91, pp. 967-982	2015	Analisi *Cost Optimal* Sensitivity analysis	Edificio per uffici
n°47	*Implementing Cost-optimal methodology in existing public buildings*	AELENEI L., PADUOS S. PETRAN H., TARRES J., FERREIRA A., CORRADO V., et al.	Energy Procedia 78, pp. 2022-2027	2015	Analisi *Cost Optimal*	Edificio per uffici
n°48	*Cost optimal retrofitting of shopping malls in Europe*	HAASE M., LOLLI N., SKELE K. S., NORIS F.	Energy Procedia 78, pp. 2058-2063	2015	Analisi *Cost Optimal*	Edificio commerciale
n°49	*Cost-effective renovation of a multi-residential building in Spain through the application of the IEA Annex 56 Methodology*	DOMINGO-IRIGOYEN S., SANCHEZ-OSTIZ A., SAN MIGUEL-BELLOD J.	Energy Procedia 78, pp. 2385-2390	2015	Analisi *Cost Optimal* Life Cycle Impact Assessment	Edificio residenziale (retrofit, casa plurifamiliare)
n°50	*Assessment of cost-optimal energy performance requirements for the italian residential building stock*	VINCENZO CORRADO ILARIA BALLARINI SIMONA PADUOS	Energy Procedia 45, pp. 443-452	2014	Analisi *Cost Optimal*	Edificio residenziale (retrofit, e. riferimento)

3.3 SCHEDE DI SINTESI DEI PRODOTTI BIBLIOGRAFICI

Per ciascuno dei 50 articoli analizzati all'interno di questa review, viene formulata una scheda sintetica in cui vengono riepilogati i contenuti, segnalate le metodologie sviluppate e gli ambiti/oggetti di applicazione e le fonti da cui l'articolo è stato tratto.
Tale passaggio è utile per rendere più chiara e agevole la comprensione delle specifiche pubblicazioni.
Ciascuna scheda presenta il titolo completo della pubblicazione, le informazioni riguardo l'autore, la sede editoriale da cui è stato tratto l'articolo e l'anno di pubblicazione.
Inoltre, vengono riportati dei box per definire complessivamente il caso studio. Queste aree sono così suddivise:

- *Area 1* comprende le "parole chiave" individuate all'interno dell'articolo che permettono di rendere chiari immediatamente gli argomenti trattati, gli "approcci metodologici" sviluppati e analizzati nella ricerca e gli "ambiti/oggetto di riferimento per lo studio" presi come elementi di riferimento per l'applicazione o analisi.
- *Area 2* riguarda l'abstract: questa sezione consiste in una traduzione opportunamente sintetizzata dell'abstract del documento e consente di comprendere in maniera generale gli obiettivi dell'analisi e quali metodologie vengono applicate.
- *Area 3*, dedicata alla "sintesi dei contenuti", illustra il caso studio con i relativi oggetti di analisi e l'applicazione delle metodologie, con eventuali commenti e conclusioni.
- *Area 4* per "immagini/schemi" significativi del caso studio.

Di seguito si riportano le schede di sintesi sulla base degli articoli raccolti.
Si precisa in premessa che l'abstract è una traduzione letterale della sintesi riportata sul documento e i contenuti delle schede mettono in rilievo gli aspetti salienti del caso studio.

ARTICOLO n°1

"THE USE OF LCC METHOD IN RUNNING COST ANALYSIS OF A SINGLE FAMILY HOUSE"

Autore: Jarosław Ziemski

Sede editoriale: Economic and Environmental Studies, Vol. 18 n°1, pp. 445-455, Polonia

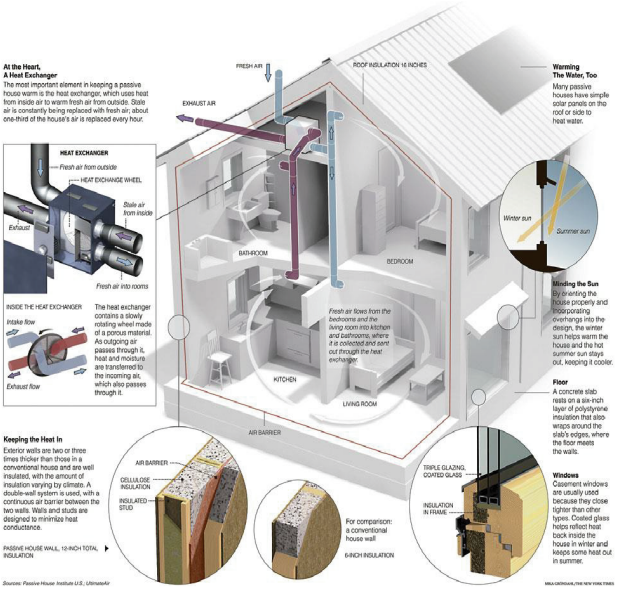
Anno di pubblicazione: 2018

PAROLE CHIAVE (da documento): Product life cycle cost, present value of cash flows, running cost, total cost
APPROCCI METODOLOGICI: LCC
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio residenziale

ABSTRACT (sintesi)
Nel processo decisionale sulla costruzione di una casa unifamiliare, dovrebbero essere prese in considerazione molte variabili di natura di costo, che influenzeranno il livello totale dei costi di utilizzo dell'edificio nella prospettiva a lungo termine. Il *Life Cycle Costing* (LCC) è un metodo in grado di supportare questo processo, motivo per cui lo scopo principale di questo articolo è quello di analizzare il costo dell'utilizzo di una casa unifamiliare utilizzando il metodo LCC, tenendo conto degli aspetti ambientali che sono importanti nel plasmare la qualità della vita delle singole famiglie e delle comunità locali. In questo contesto, si cerca una risposta al seguente problema di ricerca: come calcolare e ridurre i costi di utilizzo di una casa unifamiliare nella prospettiva del suo ciclo di vita, tenendo conto delle attuali e future condizioni energetiche e ambientali?

SINTESI DEI CONTENUTI

L'obiettivo di questo articolo è presentare un processo di selezione ottimale delle varianti di investimento in una casa unifamiliare utilizzando i metodi del ciclo di vita (LCC), tenendo conto degli aspetti ambientali. Il metodo LCC è stato utilizzato per stimare i costi di mantenimento di edifici unifamiliari. Successivamente, questi costi sono stati confrontati e l'opzione di investimento iniziale è stata selezionata basandosi esclusivamente sul livello dei costi totali, supponendo che le stesse tecnologie termiche ed energetiche siano state utilizzate in tutti gli edifici. In seguito è stata effettuata una rivalutazione dei costi di utilizzo dell'edificio con la superficie più grande, individuando così le possibilità di ridurre i costi energetici che costituiscono il carico maggiore nel ciclo di vita. Nel caso studio sono state effettuate tre stime di costo di edifici residenziali ipotizzando di 40 anni la durata della vita dell'edificio, il tasso di sconto pari al 2,83% nel 2016 e includendo nei costi totali i costi iniziali, quelli correnti e quelli di liquidazione. L'analisi mostra che una parte significativa degli oneri finanziari nel ciclo di vita di un edificio residenziale sono i costi energetici, che tuttavia possono essere efficacemente ridotti al minimo massimizzando gli effetti ambientali progettando la *passive house*. Le passive house sono caratterizzate da un alto costo di costruzione, ma hanno una bassa domanda di energia. Come conseguenza alla bassa domanda di energia, vi è una notevole riduzione dei costi nel ciclo di vita, in quanto diminuiscono decisamente i costi di energia e calore.



Tecnologie utilizzate nella passive house, pag. 452.

ARTICOLO n°2

"ENVIRONMENTAL - ECONOMIC ANALYSIS OF THE HEATING SYSTEM FOR A SINGLE FAMILY BUILDING"

Autore: Agnieszka Jachura

Sede editoriale: E3S Web of Conferences 44

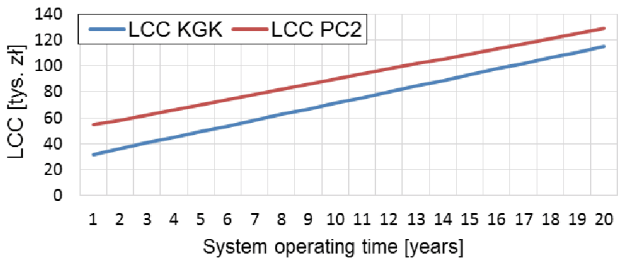
Anno di pubblicazione: 2018

PAROLE CHIAVE (da documento): Lyfe cycle cost, environmental impact, residencial building
APPROCCI METODOLOGICI: LCC
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio residenziale

ABSTRACT (sintesi)
Questo articolo riguarda l'utilizzo di sistemi di riscaldamento moderni ed efficaci che sfruttano combustibili fossili e fonti di energia rinnovabile sull'esempio di un'analisi comparativa di una caldaia a gas e di una pompa di calore per un edificio unifamiliare.
Lo scopo del lavoro è condurre un'analisi comparativa dei sistemi di riscaldamento in termini di energia, economia ed ecologia. È stata condotta un'analisi economica attraverso la metodologia LCC e un metodo ecologico, relativo all'emissione equivalente, al fine di confrontare il grado di disturbo ambientale delle fonti di calore proposte.

SINTESI DEI CONTENUTI

L'edificio residenziale in analisi è una casa unifamiliare a un piano situata a Czestochowa in Polonia. Le pareti esterne sono state realizzate in blocchi di cemento cellulare spessi e il pavimento è coibentato con polistirene mentre come isolante termico viene usata lana minerale. Per garantire condizioni di comfort termico con il minor consumo energetico possibile e la riduzione dell'impatto ambientale negativo, come fonte di calore sono state scelte due varianti: una caldaia a gas a condensazione e una pompa di calore. Ai fini dell'analisi, si è ipotizzato che l'installazione di distribuzione del calore in ciascuna variante fosse la stessa. Durante l'analisi vengono confrontate le due varianti del locale caldaia realizzate nella variante base basata sulla caldaia a gas di condensazione e nella variante alternativa con una pompa di calore del compressore. Sulla base dell'analisi comparativa del sistema di riscaldamento, considerando criteri tecnici, economici e ambientali, risulta che per l'edificio analizzato la soluzione più vantaggiosa sia l'uso di un sistema basato su una caldaia a gas a condensazione . L'analisi economica mostra che il costo totale per un sistema di riscaldamento basato su caldaie a gas è inferiore dell'11% rispetto a una pompa di calore. La valutazione ambientale ha inoltre dimostrato che sia l'emissione annuale di singoli inquinanti che l'emissione equivalente sono inferiori per un sistema di riscaldamento basato su una caldaia a gas a condensazione. In Polonia, l'elettricità è prodotta principalmente in centrali a carbone, la cui combustione è associata a un significativo impatto ambientale e caratterizzata anche da una bassa efficienza della produzione di elettricità. Di conseguenza l'emissione di inquinanti dal sistema basato sulla pompa di calore del compressore è risultata superiore a quella del sistema basato sulla caldaia a gas.



Confronto dei costi del ciclo di vita sostenuti per un sistema di caldaia a gas con quelli di una pompa di calore, pag. 7.

ARTICOLO n°3

"SELECTION OF ENERGY EFFICIENCY PROJECTS FOR DWELLING STOCK TO ACHIEVE OPTIMAL PROJECT PORTFOLIO AT THE REGIONAL LEVEL BY APPLYING LCC"

Autore: Cezar-Petre Simion, Ciprian Nicolescu, Mihai Cioc

Sede editoriale: Energies 2018, 11, 1586

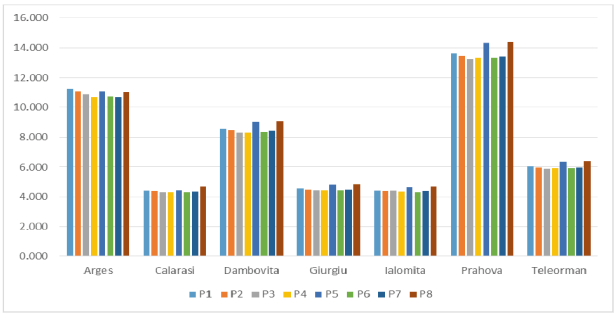
Anno di pubblicazione: 2018

PAROLE CHIAVE (da documento): Energy, efficiency, projects, portfolio, life cycle cost
APPROCCI METODOLOGICI: LCC, Sensitivity analysis
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio residenziale

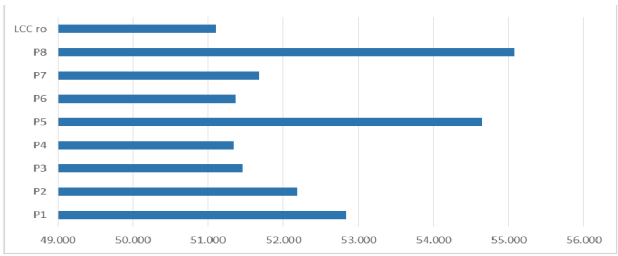
ABSTRACT (sintesi)
L'azione congiunta delle direttive europee e le strategie nazionali rendono la questione dell'efficienza energetica dello stock di abitazioni una delle principali direzioni di ricerca nel campo. Lo scopo di questo studio è quello di creare e applicare una metodologia per lo sviluppo del portafoglio di progetti per aumentare l'efficienza energetica dello stock di abitazioni a livello regionale attraverso l'uso del costo del ciclo di vita. Per questo, sono stati selezionati otto tipi di progetti di miglioramento dell'efficienza energetica e tre scenari di implementazione per lo stock di abitazioni. Per ogni progetto, il costo del ciclo di vita è stato determinato in ogni contea della regione di South-Muntenia sulla base della stima del fabbisogno energetico, dei costi di implementazione e di sfruttamento.

SINTESI DEI CONTENUTI

L'obiettivo di questo studio è determinare il tipo di progetto per aumentare l'efficienza energetica dello stock di abitazioni a livello delle contee di South-Muntenia e a livello regionale. Sono state selezionate otto varianti di progetto. Per ogni progetto, sono stati determinati il costo di implementazione e il costo di gestione (in euro/m^2) in base al fabbisogno energetico e ai costi di manutenzione. Per la regione del Sud-Muntenia (Romania), sono stati selezionati tre scenari (minimo, medio e massimo) per l'attuazione delle otto varianti del progetto in base al tasso annuale di riabilitazione dello stock di abitazioni in ciascuna contea della regione. Sulla base di questi input è stato calcolato il LCC per ciascun progetto per aumentare l'efficienza energetica dello stock di abitazioni e sono state scelte le varianti di progetto ottimali per ogni contea della regione. Selezionando progetti con LCC minimo, è stato stabilito il portafoglio di progetti ottimale per ogni scenario ed è stato determinato LCC per questo portafoglio. Tuttavia, la metodologia ha dei limiti di applicazione: si basa su un singolo progetto scelto a livello di contea (il più basso LCC) e dipende dalla conoscenza della superficie esistente dello stock di abitazioni esistenti e dalla conoscenza dei costi di investimento per metro quadrato. La determinazione del costo di gestione dipende da alcune varianti di progetto, dalla situazione contemporanea e futura nel mercato dei servizi di manutenzione.



LCC a livello di contea per lo scenario minimo (bln.euro), pag. 15.



LCC a livello regionale per lo scenario minimo (bln.euro), pag. 15.

ARTICOLO n°4

"EVALUATION OF ENERGY - COST EFFICIENT DESIGN ALTERNATIVES FOR RESIDENTIAL BUILDING"

Autore: Ü. Bahadır, X. Thomollari, V. Toğan

Sede editoriale: Journal of Construction Engineering, Management & Innovation, Vol. 1

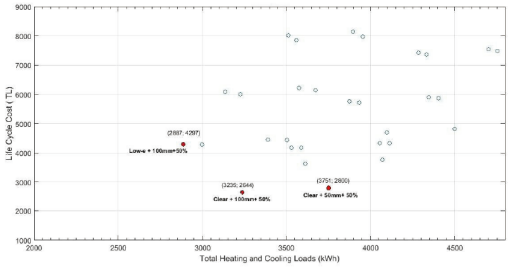
Anno di pubblicazione: 2018

PAROLE CHIAVE (da documento): Design builder, design alternatives, energy efficiency, life cycle cost, residencial buildings
APPROCCI METODOLOGICI: LCC
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio residenziale

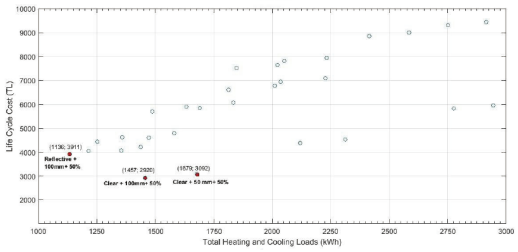
ABSTRACT (sintesi)
Considerando che il 40% del consumo totale di energia è consumato nell'edificio, la corretta progettazione dell'involucro dell'edificio è cruciale per ridurre gli effetti negativi del consumo di energia nell'economia e nell'ambiente di un paese. Questo studio si propone di studiare le alternative di progettazione corrette sulla riduzione del consumo di energia e del costo del ciclo di vita (LCC) degli edifici residenziali per il riscaldamento e il raffreddamento. Lo studio è condotto in due città, Ankara e Antalya, che rappresentano la regione del clima freddo e caldo e viene analizzato lo stesso appartamento in un edificio di riferimento. Vengono calcolati i consumi annuali di riscaldamento, di raffreddamento totale e i costi del ciclo di vita utilizzando il programma di simulazione DesignBuilder in base ai diversi rapporti finestra/parete, tipi di vetrature e spessore dell'isolamento.

SINTESI DEI CONTENUTI

Lo studio analizza un appartamento tipo situato sia ad Ankara sia ad Antalya (clima freddo e clima caldo). Si è voluto esaminare gli effetti dei diversi tipi di vetro, dello spessore dell'isolamento e del rapporto finestra/parete (WWR) sul riscaldamento di zona e sui carichi totali di raffreddamento degli edifici. Le vetrate utilizzate sono composte da vetrocamera con rivestimento low-e, unità colorate (blu), unità riflettenti chiare e unità di rivestimento riflettenti+low-e. Inoltre, sono stati utilizzati isolanti in EPS con spessori di 50 mm e 100 mm. Sono stati calcolati i consumi di riscaldamento di zona e di raffreddamento totale basati su periodi mensili e annuali utilizzando il software di simulazione energetica DesignBuilder. Successivamente, per ciascuna combinazione composta da WWR diversi, unità di vetratura e spessore dell'isolamento, sono stati calcolati i costi del ciclo di vita sommando l'investimento di capitale iniziale e il costo di gestione annuale dell'energia. Infine, sono stati studiati l'efficienza energetica e di costo delle unità di vetratura e degli spessori di isolamento utilizzati e determinata l'alternativa più adatta. Da questo studio emerge che il vetro più efficiente dal punto di vista energetico è low-e per i climi freddi e riflettenti per i climi caldi e la combinazione più economica-risulta il vetro trasparente con 100 mm di EPS e WWR 50%. Per Ankara, l'opzione più efficiente dal punto di vista energetico offre l'11% in meno di carichi annuali totali e il 63% in più del costo del ciclo di vita rispetto all'opzione più economica. Per Antalya, l'opzione più efficiente in termini di costi causa il 28% in più di carichi annuali totali e il 25% in meno del costo del ciclo di vita rispetto all'opzione più efficiente.



Costi totali annuali di riscaldamento e raffreddamento e i rispettivi costi del ciclo di vita di tutte le combinazioni per Ankara, pag. 51.



Costi annuali totali di riscaldamento e raffreddamento e i rispettivi costi del ciclo di vita di tutte le combinazioni per Antalya, pag. 51.

ARTICOLO n°5

"A LIFE CYCLE COST ANALYSIS AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT ON THE PHOTOVOLTAIC SYSTEM IN BUILDINGS: TWO CASE STUDIES IN IRAN"

Autore: Hashem Amini Toosi, Zahra Balador, Morten Gjerde, and Ali Vakili-Ardebili

Sede editoriale: Journal of Clean Energy Technologies, Vol. 6, N° 2, pp. 134-138

Anno di pubblicazione: 2018

PAROLE CHIAVE (da documento): About life cycle assessment, life cycle cost analysis, environmental impacts, payback period
APPROCCI METODOLOGICI: LCC, LCA
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Sistema impiantistico

ABSTRACT (sintesi)
L'energia solare è l'energia rinnovabile più importante e abbondante. La valutazione nel ciclo di vita aiuta ad analizzare le tecnologie e quantificare gli impatti sull'ambiente. Gli studi mostrano che l'80% dell'embodied energy è correlata ai processi di fabbricazione nella produzione dei pannelli fotovoltaici (PV). Nel caso studio si utilizza un modello di valutazione multidimensionale che include la valutazione dell'impatto ambientale e l'analisi dei costi per un sistema fotovoltaico integrato dell'edificio (BIPV). Viene valutato il sistema BIPV che fornisce l'elettricità in una casa unifamiliare in due città dell'Iran con diverse condizioni climatiche. I risultati dell'analisi LCC mostrano che il payback period dell'investimento dipende in larga misura dai costi di manutenzione dell'impianto fotovoltaico ed è più lungo della durata tecnica di quest'ultimo considerando le attuali tariffe elettriche e i costi iniziali.

SINTESI DEI CONTENUTI

Lo studio analizza un progetto residenziale L'obiettivo del presente studio è quantificare il consumo di energia e il potenziale di riscaldamento globale del sistema fotovoltaico rispetto a diversi sistemi di fornitura di energia elettrica, riportando gli impatti ambientali e la valutazione economica del BIPV. L'unità funzionale di questa valutazione è l'intero modulo fotovoltaico necessario per supportare l'elettricità necessaria di una singola unità abitativa media considerando la durata della vita dei pannelli fotovoltaici 25 anni. Riguardo l'analisi economica, vengono calcolati l'investimento iniziale e il Payback period. Viene utilizzato EnergyPlus 8.3 per valutare le prestazioni energetiche e vengono modellati i moduli fotovoltaici con Ecotect. Lo studio è condotto in due città diverse con condizioni climatiche diverse e alla fine i risultati sono stati confrontati tra loro. Tra i dati di input ci sono la condizione climatica e la posizione, le dimensioni dei pannelli fotovoltaici e la specifica del sistema. Per valutare gli impatti ambientali viene effettuato un confronto al fine di valutare il potenziale di riscaldamento globale dei sistemi fotovoltaici in confronto con altre alternative di sistemi di produzione di elettricità che sono comunemente usati in Iran. Gli impatti del sistema fotovoltaico negli edifici sono i risultati più importanti di questo studio. Confrontando i risultati dal punto di vista economico non è pratico installare i moduli fotovoltaici sugli edifici con gli attuali prezzi di mercato, ma considerando questioni ambientali come i potenziali di riscaldamento globale l'integrazione dei moduli fotovoltaici ha più vantaggi rispetto ad altre fonti di energia attuali.

ARTICOLO n°6

"THE ECONOMIC FEASABILITY OF PASSIVE HOUSE IN KOREA"

Autore: Jisoo Shim, Doosam Song, Joowook Kim

Sede editoriale: Sustainability 2018 10, 3558

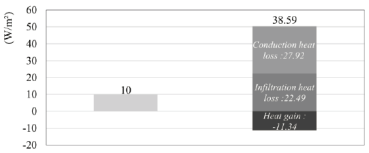
Anno di pubblicazione: 2018

PAROLE CHIAVE (da documento): Passive house, energy-saving measures, energy performance analysis, economic analysis
APPROCCI METODOLOGICI: LCC, analisi prestazioni energetiche
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio residenziale

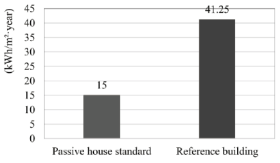
ABSTRACT (sintesi)
Il numero di *passive houses* e di edifici a energia zero in fase di sviluppo sta aumentando come misure per ridurre il consumo di energia degli edifici. Mentre le politiche di costruzione del governo si concentrano sul risparmio energetico, gli investitori e il mercato dell'edilizia sottolineano il costo iniziale dell'investimento. Queste prospettive contrastanti ostacolano lo sviluppo di passive houses nel mercato dell'edilizia. In questo studio verranno presentate analisi sulle misure di risparmio energetico necessarie per migliorare le prestazioni delle case unifamiliari in Corea. L'applicazione delle misure di risparmio energetico per l'implementazione di *passive houses* ha comportato un costo aggiuntivo dell'1,8 -4,20% rispetto alla casa di riferimento. Inoltre, l'alternativa proposta alla passive house mostra un breve payback period dell'investimento.

SINTESI DEI CONTENUTI
Lo scopo di questo studio è analizzare varie misure di risparmio energetico per il raggiungimento di una *passive house* e dei suoi benefici economici. L'edificio di riferimento da analizzare è una villetta unifamiliare completata nel 2014. L'analisi delle prestazioni energetiche degli edifici è stata condotta da EnergyPlus. L'analisi economica è stata effettuata calcolando il payback period che mostra il risultato del principale periodo di recupero dell'investimento e mediante l'analisi LCC che mostra il vantaggio finanziario generato durante il ciclo di vita dell'edificio. L'analisi del LCC considera la fluttuazione economica, includendo interessi, tasso di inflazione dell'energia e prezzo base del produttore. Questo studio rivela la limitata capacità del governo di costruire una politica energetica per soddisfare le esigenze del mercato dell'edilizia. In Corea, il mercato dell'edilizia sottolinea il costo iniziale dell'investimento e di conseguenza ostacola l'espansione del numero di *passive houses* che rappresentano edifici a basso consumo energetico. Essendo state analizzate le misure di risparmio energetico lo studio conclude affermando che il consumo annuale di energia per il riscalda

Edificio di riferimento, pag. 5.



Risultato del carico massimo di riscaldamento, pag. 8.



Risultato della richiesta di energia, pag. 8.s

mento della casa unifamiliare di riferimento in questo studio è 2,75 volte superiore a quello dello standard di *passive house*. L'applicazione delle misure di risparmio energetico per l'implementazione di case passive ha comportato un costo iniziale aggiuntivo dell'1,85%-4,20% rispetto all'edificio di riferimento. Inoltre, le alternative di *passive houses* proposte mostrano un breve periodo di recupero dell'investimento e un minore LCC rispetto al periodo del ciclo di vita dell'edificio di riferimento.

ARTICOLO n°7

"OPTIMIZED MAINTENANCE AND RENOVATION SCHEDULING IN MULTYFAMILY BUILDINGS - A SYSTEMATIC APPROACH BASED ON CONDITION STATE AND LCC OF BUILDING COMPONENTS"

Autore: Abolfazl Farahani, Holger Wallbaum, Jan-Olof Dalenback

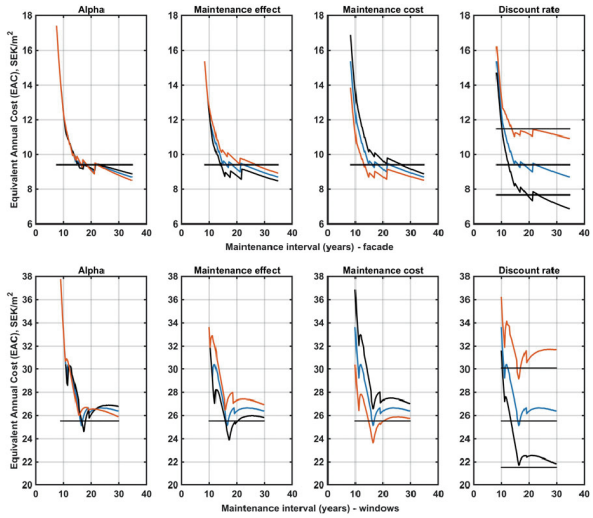
Sede editoriale: Construction Management and Economics

Anno di pubblicazione: 2018

PAROLE CHIAVE (da documento): Proactive maintenance, renovation, residential buildings, service life, life cycle cost
APPROCCI METODOLOGICI: LCC, Sensitivity analysis
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Componente edilizio

ABSTRACT (sintesi)
Le strategie di manutenzione proattiva sono in linea di principio studiate per controllare il degrado e sostenere le prestazioni ottimali dei componenti dell'edificio.Questo studio offre un approccio sistematico basato su un modello di deterioramento delle condizioni per affrontare la complessità coinvolta nel processo decisionale riguardante la pianificazione ottimizzata di manutenzione e ristrutturazione. L'analisi LCC sotto forma di Costo Annuale Equivalente (EAC) viene utilizzata per la valutazione economica degli scenari di manutenzione/rinnovo. In questo documento, il modello viene utilizzato per confrontare l'economia di diversi piani di manutenzione/ristrutturazione in uno scenario scelto al fine di determinare l'intervallo di manutenzione ottimale per un singolo e una combinazione di componenti dell'edificio.

SINTESI DEI CONTENUTI
L'approccio sistematico proposto ha lo scopo di fornire supporto per la gestione degli edifici in forme di valutazione tecnica ed economica degli eventuali scenari di manutenzione e ristrutturazione. L'analisi LCC viene eseguita per le finestre e il rinzaffo. Il costo totale include l'ispezione, tutte le misure di manutenzione e i costi di ripristino. Poiché i diversi intervalli di manutenzione in una data strategia comportano durate previste ineguali, viene usato il metodo di costo annuale equivalente per una migliore valutazione LCC. L'intervallo di manutenzione che produce il minimo EAC viene quindi considerato l'intervallo di manutenzione ottimale per il rispettivo componente. Lo studio fornisce informazioni sugli effetti delle caratteristiche dei componenti e delle variabili di calcolo sulla tempistica e sull'economia delle diverse alternative di manutenzione attraverso l'analisi di sensibilità. Questo documento presenta un approccio per la pianificazione della manutenzione. Le conoscenze acquisite attraverso la simulazione di possibili scenari di manutenzione, possono essere utilizzate nell'ottimizzazione dei piani di manutenzione e ristrutturazione sia in fase di progettazione sia di applicazione. Nel



Sensitivity analysis - blue is original value, orange is 10% lower, black is 10% higher, pag.15.

design i componenti possono essere selezionati in modo che il costo iniziale dell'investimento possa essere bilanciato in modo ottimale rispetto ai costi di manutenzione previsti. Nella fase di applicazione il costo dei piani di manutenzione proattiva può essere bilanciato in modo ottimale rispetto al costo dell'attuale standard del settore o delle rispettive strategie retroattive. Sono stati studiati quattro diversi piani per dimostrare l'applicazione del modello per i due componenti di costruzione dati con condizioni accettabili e un limite di spesa come limiti nei criteri decisionali.

ARTICOLO n°8

"LIFE CYCLE COST COMPARISON STUDY OF PV AND CONCRETE ROOFTOP IN JAKARTA"

Autore: Religiana Hendarti

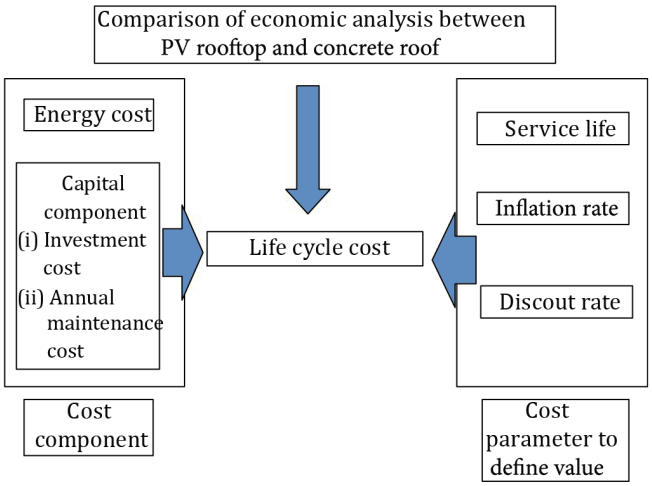
Sede editoriale: International Journal of Photoenergy, Volume 2018

Anno di pubblicazione: 2018

PAROLE CHIAVE (da documento): Life cycle cost, service life, pv panels, energy cost, payback discounted
APPROCCI METODOLOGICI: LCC
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Componente edilizio

ABSTRACT (sintesi)
Questo documento presenta uno studio comparativo del "costo del ciclo di vita" o LCC di un elemento sul tetto di una scuola edilizia a Giacarta. La simulazione ha applicato due diversi tipi di tetto: un tetto in cemento e un tetto fotovoltaico. Lo scopo di questo studio è quello di studiare la produzione di elettricità dei pannelli solari, il rapporto risparmio / investimento o SIR, e il costo totale del ciclo di vita di ciascun elemento sul tetto. Per soddisfare tali obiettivi, viene utilizzato un software chiamato "Building Life Cycle Cost " (BLCC) versione 5, che è un prodotto del Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti. I risultati della simulazione hanno mostrato che il LCC può essere migliorato del 27,6% e il "payback scontato" è stato raggiunto nell'anno 15. In effetti, questo indica che un tetto fatto di pannelli solari è promettente per sostituire il tetto in cemento esistente.

SINTESI DEI CONTENUTI
Lo scopo di questo studio è simulare la produzione di elettricità del tetto fotovoltaico e confrontare il costo del ciclo di vita tra il tetto in calcestruzzo e il tetto fotovoltaico, per studiare il rapporto risparmio/ investimento quando si usano i pannelli solari sul tetto. L'edificio del campus di Bina Nusantara è di circa 6650 m^2 ed è divisa in due edifici principali, l'edificio delle conferenze e l'edificio del parcheggio. Il pannello solare è stato simulato solo per l'edificio delle lezioni che ha una superficie di circa 4900 m^2. Per conoscere l'orientamento ottimale del pannello solare per ottenere la massima luce solare, è stato utilizzato il software Ecotect. Questo studio applica il software "Building Life Cycle Cost" per analizzare e prevedere il "costo" e i benefici dei progetti orientati al risparmio energetico. Gli aspetti richiesti per il calcolo sono il "costo energetico" e la "componente capitale" che comprende costi di investimento, costi di sostituzione e funzionamento, manutenzione e riparazioni, compresi i costi annuali e non ricorrenti. Il calcolo della durata utile si basa sul periodo di garanzia emesso dal produttore e viene utilizzato 25 anni come input per la vita di servizio. Questo studio ha simulato una grande produzione di elettricità da un tetto realizzato con pannelli solari monocristallini in silicone con un'efficienza del 21,6% e una capacità di 240 watt di picco. La produzione annuale di energia elettrica simulata è di circa 519.619 kWh. I risultati hanno dimostrato che l'uso dei pannelli solari è più conveniente dal momento che il valore del costo del ciclo di vita è stato migliorato intorno al 27,6% e il rapporto risparmio / investimento è stato superiore a 1 o 1,62. Inoltre, il valore del rendimento dell'investimento è nell'anno 15, mentre la durata del servizio del pannello solare è di 25 anni.



Approccio dell'analisi, pag. 3.

ARTICOLO n°9

"GREEN BUILDINGS LIFE CYCLE COST ANALYSIS AND LIFE CYCLE BUDGET DEVELOPMENT: PRACTICAL APPLICATIONS"

Autore: Luay N. Dwaikat, Kherun N. Ali

Sede editoriale: Journal of Building Engineering 18, pp. 303–311

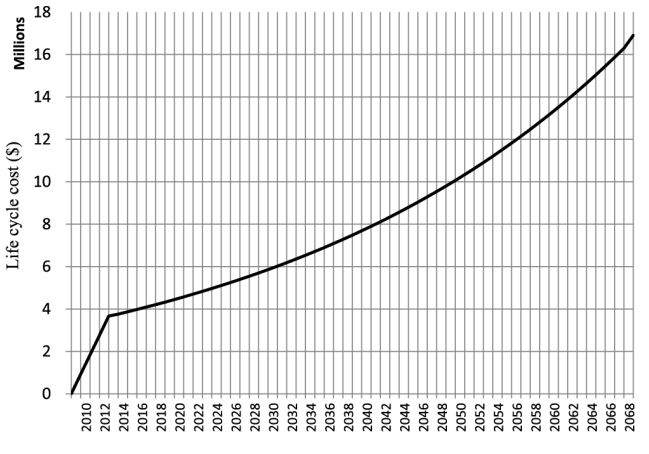
Anno di pubblicazione: 2018

PAROLE CHIAVE (da documento): Construction sector, life cycle costing, life cycle budget, energy cost, green buildings
APPROCCI METODOLOGICI: LCC
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio per uffici

ABSTRACT (sintesi)
Questo documento presenta uno studio che dimostra come l'analisi del costo del ciclo di vita è stata condotta per un edificio verde e mostra come le variabili di costo del ciclo di vita sono state identificate e utilizzate per sviluppare un budget di ciclo vitale per l'intero ciclo di vita di un edificio verde che si estende per 60 anni. In questa ricerca si trova che i costi futuri della bioedilizia investigata sono circa 3,6 volte più alti dei costi iniziali di progettazione e costruzione. Non sorprende che il costo dell'energia rappresenti un peso pari al 48% del budget totale del ciclo di vita dell'edificio, e questo rapporto supera il 60% se ponderato solo rispetto ai costi operativi dell'edificio. Si è inoltre riscontrato che il ridotto consumo energetico nell'edilizia verde è il fattore più influente per ridurre il suo costo totale del ciclo di vita.

SINTESI DEI CONTENUTI

Lo scopo di questo articolo è quello di migliorare la comprensione dell'applicazione del costo del ciclo di vita nel settore delle costruzioni fornendo una descrizione dettagliata del processo utilizzato nello sviluppo di un budget per il ciclo di vita per un edificio verde lungo tutto il suo ciclo di vita. Il documento fornisce anche una ripartizione per i pesi delle diverse componenti del costo del ciclo di vita in riferimento al budget del ciclo di vita degli edifici. Il caso studio analizzato è il quartier generale della Malaysian Real Estate e Housing Developers Association (REHDA) a Kuala Lumpur. La sede REHDA è un edificio per uffici verde a tre piani certificato dal Malaysian Green Building Index (GBI). In linea con il concetto di bioedilizia, la sede REHDA è stata progettata per adottare tecnologie ecologiche e caratteristiche eco-compatibili come pareti esterne a doppia pelle per ridurre l'aumento di calore, pareti di blocchi di ventilazione, giochi d'acqua per il raffreddamento, mini giardino sul tetto e altri. Questa ricerca dimostra come il costo del ciclo di vita di un edificio verde è stato analizzato e stimato per un periodo di 60 anni. Si è riscontrato che i costi futuri associati alla gestione e alla manutenzione degli edifici, oltre alla decostruzione, sono circa 3,6 volte più elevati rispetto al costo di progettazione e di costruzione dell'edificio. Il costo dell'energia rappresenta il 48% del costo totale del ciclo di vita dell'edificio. Pertanto, la riduzione del consumo di energia è risultata essere il fattore più influente per ridurre il costo totale del ciclo di vita dell'edificio verde investigato.



Curva del costo del ciclo di vita cumulativo entro la fine di ogni anno, pag. 310.

ARTICOLO n°10

"LIFE CYCLE ENERGY AND COST ANALYSIS OF THIN FLOORING PANELS WITH ENHANCED THERMAL EFFICIENCY"

Autore: Sungho Lee, Jinkyu Joo & Sunkuk Kim

Sede editoriale: Journal of Asian Architecture and Building Engineering, pp. 167-173

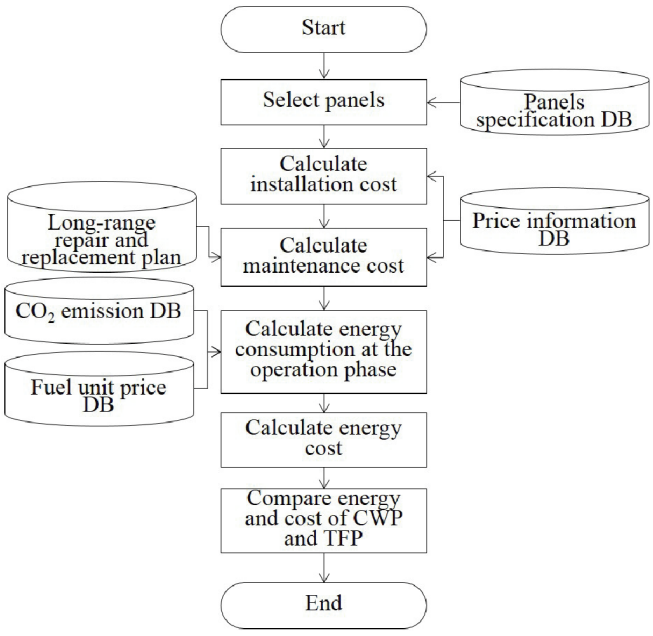
Anno di pubblicazione: 2018

PAROLE CHIAVE (da documento): Life cycle energy, life cycle cost, thin flooring panel, energy reduction
APPROCCI METODOLOGICI: LCC, Life Cycle Energy (LCE)
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Componente edilizio

ABSTRACT (sintesi)
Ondol è un sistema di riscaldamento domestico sul quale viene posata la pavimentazione in legno. Tuttavia, la bassa conduttività del pavimento in legno diminuisce l'efficienza del riscaldamento. Per risolvere questo problema, è stato sviluppato un pannello sottile per pavimenti. Per le applicazioni pratiche, è necessario valutare le prestazioni, l'energia del ciclo di vita e i costi di questo materiale. Pertanto, lo scopo di questo studio è quello di analizzare l'energia del ciclo di vita e il costo della pavimentazione sviluppata con maggiore efficienza termica. L'analisi energetica si concentra sul consumo di energia per il riscaldamento durante la fase di manutenzione, mentre l'analisi dei costi si concentra sui costi di installazione, riparazione e sostituzione. Come risultato il consumo di energia è inferiore del 7,2% e il costo minore del 9,62% rispetto al pannello di legno convenzionale.

SINTESI DEI CONTENUTI

Lo scopo di questo studio è quello di analizzare l'energia del ciclo di vita e il costo della pavimentazione sviluppata con maggiore efficienza termica. Il modello di analisi LCE / LCC verificato in questo studio viene utilizzato come strumento di sviluppo dei materiali che non solo soddisfa l'LCC dei condomini, ma riduce anche al minimo il consumo di energia. Al fine di calcolare il LCE e il costo della TFP utilizzati come materiali di finitura di ondol negli edifici condominiali e di confrontarlo con pannelli in legno convenzionali (CWP), questo studio si concentra sull'analisi energetica nella fase operativa e nelle fasi di costruzione e manutenzione. Questo studio analizza l'energia e gli effetti di riduzione dei costi della TFP con maggiore efficienza termica. Per le analisi sull'energia e sui costi della TFP utilizzati come materiali di finitura di ondol negli edifici condominiali, questo studio esamina in primo luogo i metodi di analisi LCE e LCC, quindi analizza energia e costi adottando questi metodi. Per fare ciò, viene selezionata una casa campione e viene utilizzato il TFP sviluppato per la costruzione. Infine, questo studio identifica gli effetti LCE / LCC dell'utilizzo della TFP in base ai risultati dell'analisi.



Processo Lifecycle Energy e Cost Analysis, pag. 169.

Il LCE / LCC il TFP verificato in questo studio soddisferà l'LCC dei condomini, ridurrà al minimo il consumo di energia, indurrà lo sviluppo di materiale e migliorerà le tecnologie di costruzione eccessivamente energetiche e che consumano risorse nel prossimo futuro.

ARTICOLO n°11

"LIFE CYCLE AND LIFE CYCLE COST IMPLICATIONS OF INTEGRATED PHASE CHANGE MATERIALS IN OFFICE BUILDINGS"

Autore: Christina A. Konstantinidou, W.Lang, Agis M. Papadopoulos, M. Santamouris

Sede editoriale: International Journal of Energy Research, pp.1-17

Anno di pubblicazione: 2018

PAROLE CHIAVE (da documento): Building envelope, energy performance, life cycle analysis, life cycle cost analysis
APPROCCI METODOLOGICI: LCA, LCC
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Componente edilizio

ABSTRACT (sintesi)
La ricerca sull'uso dei materiali a cambiamento di fase (PCM) nel settore edilizio è diventata una questione significativa di ricerca e sviluppo. Il presente studio valuta l'integrazione dei PCM negli edifici per uffici sulla base delle loro prestazioni economiche e ambientali mediante l'analisi del ciclo di vita (LCA) e l'analisi dei costi del ciclo di vita (LCCA). Nello specifico, questo lavoro valuta i risultati ottimali ottenuti da un precedente studio di ottimizzazione (che considera i requisiti del carico di raffreddamento e le condizioni di comfort termico come obiettivi) basandosi su aspetti economici ed ambientali. Si tenta di valutare e quantificare il potenziale ambientale ed economico dell'uso del PCM negli edifici per uffici in modo generico.

SINTESI DEI CONTENUTI

Il presente studio ha valutato l'integrazione dei PCM negli edifici per uffici, sulla base di criteri di performance ambientali ed economici, utilizzando gli approcci LCA e LCCA. Specificamente, combinazioni di vari materiali isolanti e di massa termica sono stati studiati per determinare la loro capacità di accumulo di calore, sia come energia sensibile che latente. Questo studio utilizza un'ottimizzazione multiobiettivo dell'involucro edilizio che considera i requisiti di carico di raffreddamento e le condizioni di comfort termico, mentre lo fa progredire ulteriormente valutando anche i suoi aspetti economici e ambientali. Più specificamente, il presente lavoro ha confrontato il caso di costruzione di riferimento di 2 unità di uffici, rispettivamente indivisi e suddivisi, con costruzione ottimale includendo PCM. In dettaglio, questo lavoro ha inizialmente esaminato se il beneficio derivante da un impatto ambientale ridotto derivante dal risparmio energetico compensasse il rispettivo aumento dalla fase di produzione del PCM. Le fasi del ciclo di vita considerate comprendono la fase di produzione, la fase operativa e la fase di fine vita o di decostruzione. Infine, la fattibilità dell'utilizzo dei PCM

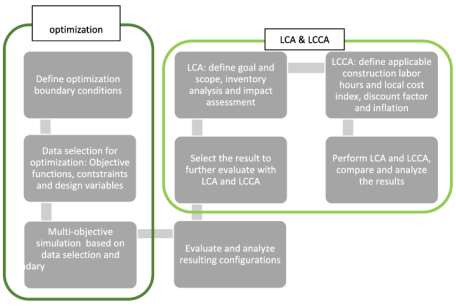
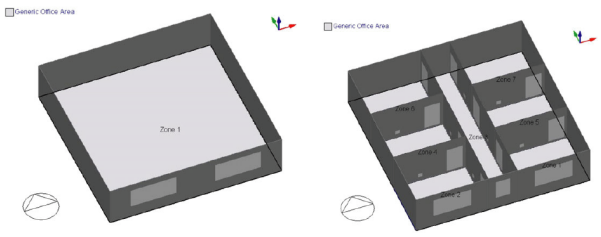


Diagramma della metodologia eseguita, pag. 4.



Illustrazioni del modello di edificio per uffici esaminato: piano ufficio indiviso (a sinistra) e piano ufficio suddiviso (a destra), pag. 5.

sono state valutate mediante il costo del ciclo di vita. I risultati del LCA rivelano che l'impatto del ciclo di vita complessivo delle 2 unità operative esaminate è ridotto, nonostante il relativo impatto della fase di costruzione sia aumentato in modo significativo. La valutazione del costo del ciclo di vita determina che il risparmio energetico raggiunto durante la fase di utilizzo in entrambe le unità ufficio è insufficiente a compensare l'aumento del LCC indotto dall'elevato costo di costruzione.

ARTICOLO n°12

"A CASE STUDY FOR DESIGN DECISIONS ON BUILDING SERVICE SYSTEM USING LCC ANALYSIS"

Autore: Seung-Bok Leigh & Jong-Seo Won

Sede editoriale: Journal of Asian Architecture and Building Engineering, pp.77-84

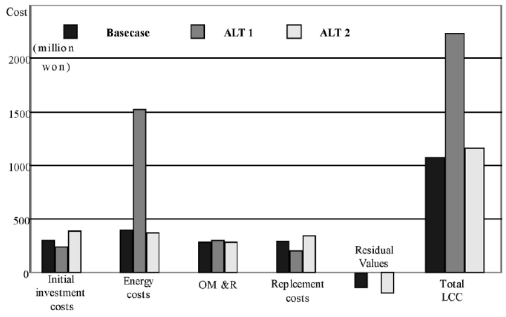
Anno di pubblicazione: 2018

PAROLE CHIAVE (da documento): Life cycle cost analysis, HVAC system, BLCC (Building life cycle cost), Sensitivity analysis, Cash flow diagram
APPROCCI METODOLOGICI: LCC, Sensitivity analysis
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Sistema impiantistico

ABSTRACT (sintesi)
L'analisi LCC (*Life Cycle Cost*) è un metodo pratico e una linea guida per la valutazione delle prestazioni economiche dei sistemi di servizi di costruzione. Utilizzando l'analisi LCC, è possibile prendere la decisione progettuale più economica possibile, che ha il più basso LCC durante il periodo di studio del progetto tra le varie alternative di progettazione. Il presente caso mostra un esempio di uso appropriato dell'analisi LCC, dimostrando le procedure di decisione tra sistemi HVAC di edifici alternativi presso il Centro comunitario e la Sala Congressi di un governo locale.

SINTESI DEI CONTENUTI

L'obiettivo di questo caso studio è l'elaborazione di un piano per ottimizzare la capacità dei sistemi di servizio mostrando il processo decisionale di selezione di una proposta più efficiente dal punto di vista energetico ed economica per il sistema HVAC del Centro comunitario e sala congressi di un governo locale del distretto G. Il calcolo del carico degli impianti e del sistema HVAC è stato ridotto. Vengono utilizzati i software Trace 700 e System Analyzer per calcolare la quantità di consumo energetico e il programma BLCC per analisi LCC. Per l'impianto base vengono selezionate due attrezzature alternative: la prima consiste in un sistema di stoccaggio termico del ghiaccio al 40%, più il refrigeratore a vite e la caldaia a vapore e la seconda in un sistema di stoccaggio termico del ghiaccio al 50%, oltre al refrigeratore ad assorbimento e alla caldaia a vapore. Dall'analisi LCC si ottiene la proposta ottimizzata dell'attrezzatura. In questo studio è stata condotta anche un'analisi della sensibilità per prevenire conclusioni errate dell'analisi LCC. Vengono quindi esaminati il tasso di aumento dei prezzi, il tasso di sconto, il tasso di aumento dei prezzi dell'energia, il consumo di energia e i costi di investimento iniziali. Per un'analisi più affidabile, dovrebbero essere considerati anche alcuni fattori di costo e variabili di aumento dei prezzi. Una volta confrontati, analizzati e inseriti in un database, i dati di funzionamento dei sistemi attuali possono prevedere che l'analisi LCC in fase di progettazione diventerà uno strumento di decisione più pratico di quanto non lo sia ora.



Confronto di LCC totale per attrezzature di impianto, pag. 82.

Classification		Total LCC escalation rate		
		Basecase	ALT 1	ALT 2
Price escalation rate	5% → 2.5%	▼ 10.6%	▼ 6.1%	▼ 10.6
	5% → 7.5%	△ 13.4%	△ 8.2%	△ 13.2
Discount rate	8% → 5%	△ 31.5%	△ 38.9%	△ 29.2
	8% → 10%	▼ 15.2%	▼ 18.0%	▼ 14.3
Energy price escalation rate	4% → 4%+ 0.05% yearly	△ 1.1%	△ 2.5%	△ 1.0
Energy usage	+ 10%	△ 3.4%	△ 3.7%	△ 3.1
	− 10%	▼ 3.4%	▼ 3.7%	▼ 3.1
Initial investment costs	+ 10%	△ 2.7%	△ 1.0%	△ 3.3
	− 10%	▼ 2.7%	▼ 1.0%	▼ 3.3

Sensitivity analysis, pag. 82.

ARTICOLO n°13

"STREAMLINED ENVIRONMENTAL AND COST LIFE-CYCLE APPROACH FOR BUILDING THERMAL RETROFIT: A CASE OF RESIDENTIAL BUILDINGS IN SOUTH EUROPEAN CLIMATES"

Autore: Carla Rodrigues, Randolph Kirchain, Fausto Freire, Jeremy Gregory

Sede editoriale: Journal of Cleaner Production, 172, pp. 2625-2635

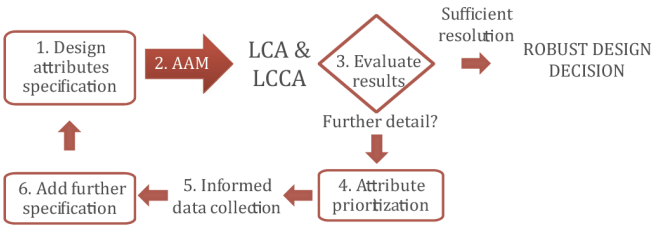
Anno di pubblicazione: 2018

PAROLE CHIAVE (da documento): Decision-making, life-cycle assessment, life-cycle cost assessment, probabilistic triage, uncertainty
APPROCCI METODOLOGICI: LCC, LCA, Monte Carlo Simulation
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio residenziale

ABSTRACT (sintesi)
I retrofit degli edifici sono spesso motivati dal desiderio di migliorare l'efficienza energetica di un edificio e vengono applicati gli approcci LCA e di valutazione del costo del ciclo di vita LCCA per analizzare gli impatti e i costi ambientali dell'edificio. Lo scopo di questo articolo è quello di presentare un approccio LCA-LCCA integrato e semplificato per fornire un feedback sugli impatti ambientali e sui costi nelle decisioni della fase iniziale della progettazione. Questo approccio include l'incertezza per affrontare la mancanza di informazioni nelle prime fasi di progettazione sviluppando una valutazione probabilistica. Vengono valutati e confrontati diversi scenari e selezionando pochissime caratteristiche e confrontando diverse opzioni, è possibile prendere decisioni di retrofit solide nelle fasi iniziali della progettazione, promuovendo in tal modo una riduzione degli impatti ambientali e dei costi.

SINTESI DEI CONTENUTI

Questo articolo descrive un nuovo approccio per semplificare la LCA e l'LCCA per la costruzioni di retrofit che accolgono quantità variabili di informazioni sulla progettazione di retrofit e fornisce stime e incertezze nella stima delle prestazioni ambientali ed economiche. È stato sviluppato un modello di energia operativa LCA, LCCA e basato su statistica semplificato per creare un processo automatizzato che fornisca feedback ambientale e di costo sulle decisioni di progettazione in fase di retrofit dell'edificio, basato sull'approccio Building Attribute to Impact Algorithm (BAIA), un metodo LCA semplificato che incorpora l'incertezza e il triage probabilistico per calcolare le previsioni di impatto e per identificare gli attributi influenti per l'intero ciclo di vita dell'edificio. Il processo iterativo inizia introducendo una descrizione limitata dell'edificio (costruzione, assemblaggio, energia e attributi di costo). Per ciascun attributo, è possibile definire diversi livelli di specifica in base al livello di informazioni disponibili. In una seconda fase, viene utilizzato un modello attributo-attività (AAM) per stimare il costo dei material, le attività e altre caratteristiche del ciclo di vita. In seguito viene stimata la distribuzione dei risultati utilizzando la simulazione Monte Carlo: si ottengono risultati stocastici semplificati derivanti da 1000 iterazioni in base alla funzione di distribuzione della probabilità definita per ciascuno parametro.
Questo approccio è stato sviluppato per supportare il processo decisionale per i retrofit degli edifici residenziali nel contesto dell'Europa meridionale.



Approccio semplificato LCA / LCCA per il retrofit degli edifici, pag. 2627.

ARTICOLO n°14

"LIFE CYCLE ASSESSMENT AND LIFE CYCLE COST OF UNIVERSITY DORMITORIES IN THE SOUTHEST CHINA: CASE STUDY OF THE UNIVERSITY TOWN OF FUZHOU"

Autore: Lizhen Huang, Yongping Liu, Guri Krigsvoll, Fred Johansen

Sede editoriale: Journal of Cleaner Production, 173, pp. 151-159

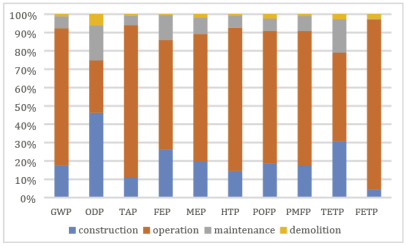
Anno di pubblicazione: 2018

PAROLE CHIAVE (da documento): Life cycle assessment, Life cycle cost, CO_2, University dormitories, China
APPROCCI METODOLOGICI: LCC, LCA, Sensitivity analysis
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio per attività scolastiche

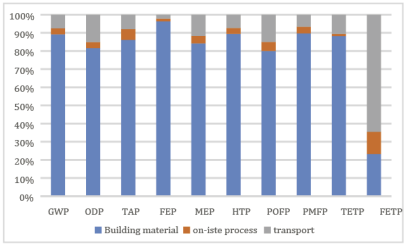
ABSTRACT (sintesi)
Lo scopo di questo lavoro è valutare i dormitori universitari in China in termini di impatto ambientale e costo del ciclo di vita. Questa valutazione del ciclo di vita segue la metodologia ISO 14040/44, considerando le fasi di costruzione, funzionamento, manutenzione e demolizione. Questo studio stima l'inventario del ciclo di vita delle informazioni relative ai dormitori universitari costruiti a Fuzhou nel 2007e2011, le bollette di acqua ed energia di coloro che hanno costruito negli ultimi 5 anni e il rapporto sui danni e la manutenzione dei dormitori all'Università di Fuzhou e alla Fujian University durante il 2004 e 2014. I risultati indicano che la causa principale degli impatti ambientali sono la fase di utilizzo (con un elevato costo nel ciclo di vita), il consumo di elettricità e elementi tra cui finestre, calcestruzzo, acciaio e cemento (con un ridotto costo nel ciclo di vita).

SINTESI DEI CONTENUTI

Questo studio cerca di aggiungere la conoscenza degli impatti ambientali e dei costi causati dalla costruzione e dal funzionamento dei dormitori universitari, specialmente quelli nel sud-est della Cina. Questi risultati vengono utilizzati per identificare le opportunità di miglioramento lungo la catena di approvvigionamento. Al fine di identificare le risposte, questo studio conduce la valutazione LCA e LCCA considerando tutti i processi lungo il ciclo di vita dei dormitori. Il documento definisce il quadro teorico dell'analisi, lo sviluppo dei modelli e la fonte dei dati. La fase di costruzione prevede l'estrazione e la produzione di materiali da costruzione e combustibili, il trasporto attraverso la catena di approvvigionamento e le attività di costruzione in loco degli edifici. La fase operativa considera l'energia e l'acqua utilizzata dagli occupanti. La manutenzione include la riparazione di finestre, porte, cambi di piastrelle di ceramica ecc. Gli impatti ambientali derivanti dal materiale da costruzione e dal consumo di elettricità dipendono dalla quantità di consumo e dal mix energetico. Aumentando l'offerta di energia rinnovabile diminuiscono gli impatti ambientali incorporati causati dalla produzione di materiale da costruzione e quelli causati dall'occupazione dei dormitori universitari. Ci sono risorse fruttuose di energia idroelettrica, geotermica, eolica e solare nel sud-est della Cina. Ad esempio, il geotermico può essere utilizzato per il raffreddamento del distretto e l'acqua calda. Tuttavia, il carbone è ancora la risorsa principale per la produzione di elettricità. La ragione principale di ciò è che il carbone è più economico. Pertanto, sussidi e politiche per incoraggiare più forniture o energia rinnovabile sarebbero un'altra scelta politica economicamente vantaggiosa.



Contributo relativo delle fasi del ciclo di vita agli impatti ambientali del ciclo di vita totale, pag. 156.



Contributo relativo degli input agli impatti ambientali in fase di costruzione, pag. 156.

ARTICOLO n°15

"INTEGRATED LIFE CYCLE COST METHOD FOR SUSTAINABLE STRUCTURAL DESIGN BY FOCUSING ON A BENCHMARK OFFICE BUILDING IN AUSTRALIA"

Autore: Mehdi Robati, Timothy J McCarthy, Georgios Kokogiannakis

Sede editoriale: Energy & Building 166, pp. 525-537

Anno di pubblicazione: 2018

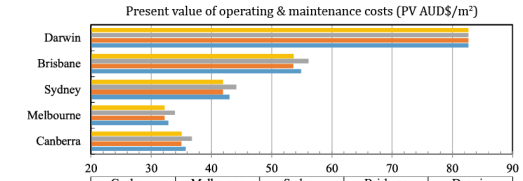
PAROLE CHIAVE (da documento): life cycle analysis, CO_2-e emissions, life cycle cost, ultra-lightweight concrete
APPROCCI METODOLOGICI: LCC, LCA
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Componente edilizio

ABSTRACT (sintesi)

Il costo è stato sempre considerato un fattore chiave nel processo decisionale. La recente consapevolezza dei problemi ambientali ha evidenziato la necessità di considerare gli impatti ambientali nel processo di scelta. Tuttavia, è stata prestata molta attenzione per riflettere sull'impatto ambientale e sul costo di costruzione nel processo decisionale. Come tale, questo studio ha proposto un metodo che integra e considera i costi ambientali e il costo di costruzione nel processo di progettazione strutturale. Questo metodo tiene conto dei costi associati ai materiali da costruzione, ai metodi di costruzione e alla quantità di emissioni di carbonio durante il ciclo di vita degli edifici. L'attuale studio ha analizzato gli effetti di due sistemi costruttivi (lastra piana e lastra waffle) e di due materiali strutturali (calcestruzzo normale e calcestruzzo ultraleggero) sui costi complessivi di una tipica struttura in cemento (edificio per uffici di 15 piani) in Australia.

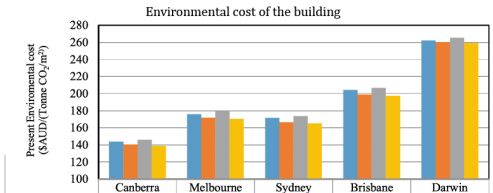
SINTESI DEI CONTENUTI

Questo studio propone di valutare il costo del ciclo di vita e gli impatti ambientali associati a un edificio per uffici in Australia. Si quantificano i costi del ciclo di vita associati all'edificio considerando tra le alternative materiali strutturali e forme di costruzione; i costi del ciclo di vita comprendono i costi iniziali, i costi operativi e di manutenzione. L'impatto ambientale associato alla costruzione di riferimento deriva dalle emissioni di CO_2. I costi di impatto ambientale sono stimati dai GHG totali emessi nel corso della vita dell'edificio e dal valore attuale del carbonio. Per analizzare l'energia nel corso della vita del progetto, questo edificio per uffici è modellato in DesignBuilder in modo da valutare gli effetti di sistemi strutturali alternativi sul consumo di energia. Il costo del ciclo di vita ambientale include il costo totale associato alle emissioni di CO_2 per l'intera vita degli edifici. Questo studio ha stimato le emissioni di CO_2 a livello di produzione, costruzione, fase di utilizzo e demolizione di fine vita e ha valutato i costi di capitale associati ai metodi di costruzione di lastre piane e lastre Waffle normali e ultraleggere in cinque regioni. Questo studio rileva che il costo totale del ciclo di vita degli edifici è fortemente influenzato dalla selezione dei materiali strutturali e dal sistema di costruzione, infatti è dimostrato che il progetto adeguato di un edificio può far risparmiare quasi il 7% del costo del consumo di materiale, il 5% del spesa totale per il consumo di energia e il 5% delle emissioni di CO_2. I risultati di questo studio potrebbero anche essere usati come linee guida per ottimizzare le prestazioni delle strutture in calcestruzzo considerando l'efficienza dei materiali strutturali e dei sistemi di costruzione.



	Canberra	Melbourne	Sydney	Brisbane	Darwin
Waffle.normal	$35.02	$32.23	$41.93	$53.62	$84.35
Waffle.low	$36.79	$33.92	$44.14	$56.13	$86.21
200.normal	$34.99	$32.23	$41.93	$53.56	$84.13
200.low	$35.72	$32.85	$42.98	$54.89	$84.59

Valore attuale dei costi operativi e di sostituzione dell'edificio, pag. 532.



	Canberra	Melbourne	Sydney	Brisbane	Darwin
200.low	$143.85	$175.77	$171.28	$204.32	$262.32
200.normal	$140.33	$171.86	$166.52	$198.82	$260.16
Waffle.low	$146.13	$179.45	$173.88	$206.97	$265.42
Waffle.normal	$138.88	$170.32	$164.96	$197.50	$259.29

Costo ambientale dell'edificio, pag. 531.

ARTICOLO n°16

"INVESTIGATING COST-OPTIMAL REFURBISHMENT STRATEGIES FOR THE MEDIEVAL DISTRICT OF VISBY IN SWEDEN"

Autore: Linn Liua, Patrik Rohdina, Bahram Moshfegha

Sede editoriale: Energy & Building 158, pp. 750-760

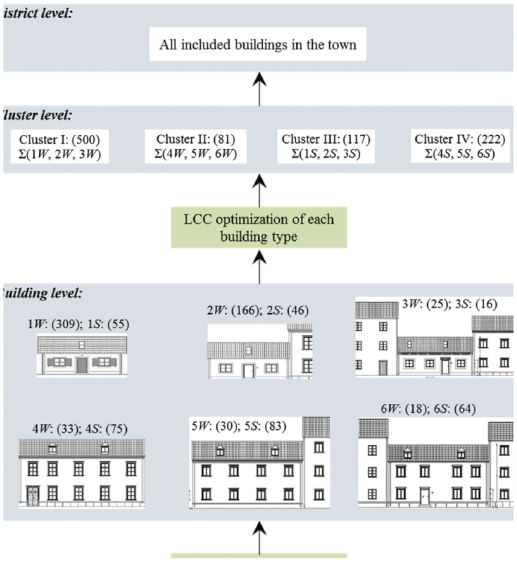
Anno di pubblicazione: 2018

PAROLE CHIAVE (da documento): LCC optimization, refurbishment, medieval district, cost-optimal energy efficiency potential, stone/wood buildings, bottom-up methodology
APPROCCI METODOLOGICI: LCC, Sensitivity analysis
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio residenziale

ABSTRACT (sintesi)
Questo articolo presenta una metodologia per ottenere uno studio sistematico del potenziale di efficienza energetica (CEEP) ottimale dal punto di vista dei costi per 920 edifici elencati nel distretto medievale di Visby in Svezia, mediante l'ottimizzazione del ciclo di vita (LCC) e la categorizzazione degli edifici. L'obiettivo è studiare le riduzioni delle emissioni di CO_2 e CEEP per questa città inclusa nell'elenco del patrimonio mondiale dell'UNESCO. Il metodo di categorizzazione ha mostrato che gli edifici potevano essere suddivisi in quattro gruppi a seconda del materiale da costruzione, della geometria e del layout. È dimostrato che gli edifici in legno a più piani hanno un LCC specifico più basso, e sarebbe probabilmente il punto di partenza per un processo di ristrutturazione.

SINTESI DEI CONTENUTI

L'obiettivo generale di questo documento è studiare il potenziale ottimale in termini di costi per l'efficienza energetica e le riduzioni delle emissioni di CO_2 per un distretto con edifici vincolati. Nel tentativo di realizzare uno studio sistematico sull'efficienza energetica degli edifici, è stata utilizzata una metodologia bottom-up: i dati necessari sono campioni altamente rappresentativi che possono essere estrapolati per rappresentare uno stock più grande. I dati di input comuni ai modelli bottom-up includono proprietà come la geometria, materiali dell'involucro, le attrezzature e gli apparecchi, le proprietà climatiche, le temperature interne, l'occupazione e l'uso delle attrezzature. Questa applicazione si compone di tre diversi livelli di studio: livello di edificio, livello di gruppo e livello distrettuale. Il metodo di categorizzazione degli edifici si traduce in sei categorie di edifici che comprendono due edifici tipici (legno e pietra). Ogni edificio tipico è stato ottimizzato utilizzando OPERA-MILP per trovare i pacchetti EEM ottimali in termini di costi, LCC e consumo energetico. La post-elaborazione include anche i calcoli di energia primaria e di emissioni di CO_2. Viene anche eseguita un'analisi della sensibilità con lo scopo di investigare la correlazione tra LCC e la potenza delle caldaie a legna o delle pompe di calore. Sono state confrontate tre caldaie a legna (WB) con diverse efficienze e tre fonti di pompe di calore (HP) con COP differente. La metodologia sviluppata dovrebbe essere in grado di supportare urbanisti, esperti di energia, servizi pubblici e altre parti interessatastudiare l'uso di energia di un edificio e trovare le strategie energetiche più efficaci a livello di città / distretto.



Metodologia bottom-up applicata al distretto in analisi, pag. 752.

ARTICOLO n°17

"AUDIT ENERGY AND DEVELOPING PHOTOVOLTAIC (PV) MODEL FOR REFRIGERATION LABORATORY BUILDING APPLICATION"

Autore: I G.A. B Wirajati, I D.M.C. Santosa, N.K. Muliati

Sede editoriale: Proceeding International Joint Conference on Science and Technology (IJCST)

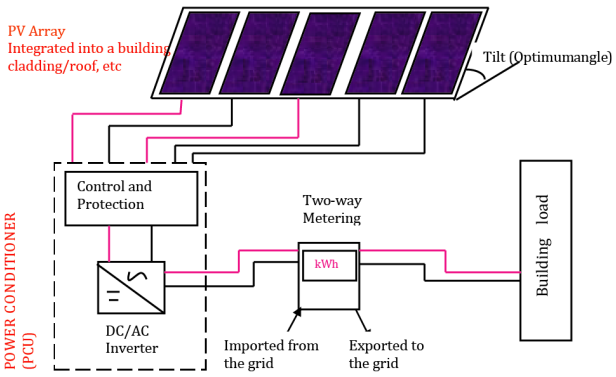
Anno di pubblicazione: 2017

PAROLE CHIAVE (da documento): -
APPROCCI METODOLOGICI: LCC, LCA
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Sistema impiantistico

ABSTRACT (sintesi)
Questo studio prevede la valutazione dell'utilità dell'energia dell'edificio e progettazione di applicazioni fotovoltaiche. Sarà condotto un dettagliato recupero dei dati e la valutazione verrà effettuata mediante la zonizzazione e il metodo di analisi statistica. Saranno condotte misurazioni sulla temperatura e l'umidità dell'ambiente, sul consumo energetico di ciascun edificio, sull'intensità delle radiazioni e sulla temperatura solare per ottenere un profilo dettagliato ogni ora del giorno. In questo modo, può essere mappato il profilo di utilizzo energetico dell'edificio in modo che possa essere formulato uno sforzo per ottenere il risparmio energetico dall'edificio e quindi pianificare l'uso del fotovoltaico (PV). L'analisi viene effettuata dal Life Cycle Cost (LCC) e dal metodo Life Cycle Assessment (LCA), in modo tale da ottenere il modello giusto dall'energia solare.

SINTESI DEI CONTENUTI

Questa ricerca è effettuata in due fasi principali, la prima relativa alla valutazione energetica della modellazione fotovoltaica (PV) per l'approvvigionamento energetico che è integrata con l'alimentazione PLN. Per la valutazione energetica e la modellazione del fotovoltaico occorre raccogliere i dati primari e secondari e quindi eseguire la valutazione con metodi statistici. I dati primari si ottengono misurando l'intensità solare, la temperatura superficiale della cella solare, la temperatura dell'aria ambiente e il profilo di potenza fotovoltaica, quelli secondari sono stati ottenuti da riviste e riferimenti pubblicati in precedenza, nonché dai dati di BMKG sul tempo che copre l'indice di intensità e chiarezza del sole. Altri dati richiesti sono le specifiche dei prodotti fotovoltaici progettati in conformità con le esigenze dell'edificio. Successivamente si esegue l'analisi LCC, con tempo di vita del fotovoltaico di 25 anni e considerando alcuni costi principali come il costo iniziale, comprendente lo studio di fattibilità, progettazione ingegneristica, attrezzature, bilancio di impianto, i costi operativi e i costi di manutenzione. Per concludere, in termini di clima e intensità del sole, Bali è perfetta per lo sviluppo del fotovoltaico negli edifici con il sistema BIPV (Building integrated Photovoltaic) e il fotovoltaico è molto adatto per l'edilizia.



Costruzione di un applicazione di fotovoltaico integrato, pag. 20.

ARTICOLO n°18

"LIFE-CYCLE COST ANALYSIS (LCCA): A COMPARISON OF COMMERCIAL FLOORING"

Autore: Debra Harris, Lori Fitzgerald

Sede editoriale: Facilities, Vol. 35, pp. 303-318

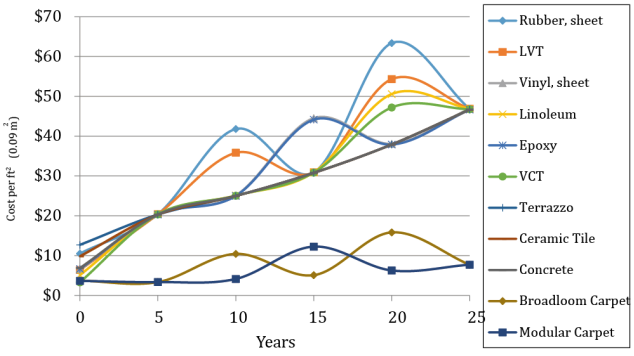
Anno di pubblicazione: 2017

PAROLE CHIAVE (da documento): Facilities management, assessment, building materials, building maintenance, life-cycle costing, building life cycle
APPROCCI METODOLOGICI: LCC
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Componente edilizio

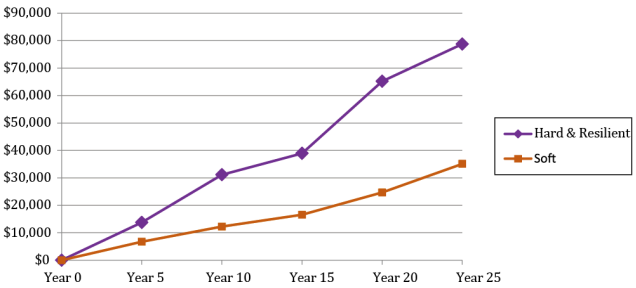
ABSTRACT (sintesi)
Lo scopo di questo studio è quello di sviluppare un algoritmo per l'analisi dei costi del ciclo di vita (LCCA) e valutare i prodotti di pavimentazione per informare i responsabili delle decisioni sul costo di proprietà a lungo termine. Il protocollo per l'esecuzione di un LCCA è definito dall'Istituto nazionale degli standard e della tecnologia, compresa la definizione del problema, l'identificazione di alternative fattibili e la definizione di assunzioni e parametri comuni, nonché l'acquisizione di informazioni finanziarie. I dati sono stati forniti da una fonte indipendente di terze parti. I risultati di questo studio sono duplici: valutare alternative di pavimentazione funzionalmente equivalenti per determinare il miglior valore finanziario e sviluppare un protocollo e un algoritmo replicabili per LCCA.

SINTESI DEI CONTENUTI

Questo studio propone un'analisi LCC per prodotti di pavimentazione. Dopo aver identificato i materiali, sono stati acquisiti dati sulle procedure di manutenzione e sulle attività operative necessarie per soddisfare il processo di selezione, installazione, manutenzione e sostituzione della pavimentazione. I materiali per pavimentazione sono stati suddivisi in tre categorie: pavimenti duri, resilienti e morbidi. L'LCCA richiede una valutazione dei costi di gestione e di mantenimento, che include costi di manodopera e materiali. I risultati di questo LCCA illustrano il valore di un protocollo standardizzato per l'analisi da utilizzare come strumento di valutazione quantitativa per prendere decisioni informate sui sistemi di costruzione, dove il costo complessivo della vita di servizio dell'edificio è un fattore di selezione. Utilizzando questo strumento per valutare materiali di pavimentazione appropriati che soddisfano le prestazioni, la sicurezza e i requisiti operativi e di mantenimento, è stato valutato lo strumento mentre si determinava la migliore soluzione di pavimentazione alternativa funzionale basata sui costi del ciclo di vita. Un altro fattore che ha influenzato i costi a lungo termine che tipicamente non viene tenuto in considerazione negli LCCA è il costo delle attrezzature per la cura dei pavimenti.



Costo annuale di gestione e manutenzione (manodopera, materiali, demolizioni, sostituzioni) elencato dal costo più alto al più basso, pag. 314.



LCCA cumulativo. LCCA= (IC+OM+R)+ECC, pag. 314

ARTICOLO n°19

"IMPLEMENTATION OF LIFE CYCLE COSTING FOR A COMMERCIAL BUILDING: CASE OF A RESIDENTIAL APARTMENT AT YOGYAKARTA"

Autore: Peter F Kaming

Sede editoriale: MATEC Web of Conferences 138

Anno di pubblicazione: 2017

PAROLE CHIAVE (da documento): life cycle costing; service life; residential apartment; BS ISO 15686-5:2008; Yogyakarta
APPROCCI METODOLOGICI: LCC
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio per attività scolastiche

ABSTRACT (sintesi)
L'analisi di un processo di progettazione è molto importante per il controllo dei costi iniziali e dei costi futuri in possesso di un progetto di investimento come la costruzione commerciale. Pertanto, dovrebbe essere saggio eseguire un'analisi del costo del ciclo di vita per determinare il costo di qualsiasi categoria contenuta nel costo futuro dell'edificio. L'analisi fornisce anche informazioni per vedere quanto il costo totale sostenuto da un progetto di sviluppo dal costo iniziale a quello futuro, applicando la norma ISO 15686 parte 5: 2008. Lo scopo di questo studio è identificare la proporzione dei costi e fare piani a lungo termine di un edificio commerciale in termini di costi nel ciclo di vita partendo dal caso di un appartamento residenziale a Yogyakarta, in Indonesia. I risultati mostrano che ci sono tre gruppi che costituiscono il costo del ciclo di vita: il costo di sviluppo dell'edificio, i costi di gestione e il costo di manutenzione e sostituzione.

SINTESI DEI CONTENUTI

Il metodo di raccolta dei dati utilizzato in questo studio prevede una fase di preparazione per formulare il problema di ricerca e gli obiettivi, una fase di sondaggio sul campo per verificare la presenza di progetti che possono essere utilizzati come luogo di ricerca. Dopodichè si effettua il calcolo del costo del ciclo di vita per concludere infine con una discussione dei risultati ottnuti, sviluppando alcune riflessioni e suggerimenti. L'edificio in analisi è un edificio universitario che si trova nella regione di Babarsari costruito nel 2013. Il costo dell'edificio è stato ricalcolato utilizzando i dati di costo del 2016 ed è stata stimata una durata di vita di 25 anni. Basandosi sulla normativa ISO 15686:2008-parte 5 si determinano tutti i costi del ciclo di vita dell'edificio: i costi di costruzione, tutti i costi di sostituzione, manutenzione e riparazione del bene costruito, tutti i costi di gestione o della struttura derivanti dall'edificio stesso piuttosto che dalla sua occupazione e i costi di supporto dell'utente relativi al funzionamento dell'edificio o della struttura. Sono stati condotti dei questionari per determinare la durata di servizio dei componenti dei materiali da costruzione utilizzati nella costruzione dell'edificio. Infine è risultato che le tre categorie di costo per il calcolo dell'LCC sono il costo di sviluppo, quello di gestione e i costi di manutenzione e sostituzione. A livello operativo il costo maggiore è stato quello di amministrazione, acqua e elettricità. Questo studio si è basato su informazioni soggettive derivanti principalmente da singoli professionisti. Si suggerisce di sviluppare un modello specifico di ricerca WLCC per più tipi di edifici e progetti di ingegneria civile nei paesi in via di sviluppo come l'Indonesia.

ARTICOLO n°20

"LIFE CYCLE COST OF DIFFERENT WALLING MATERIAL USED FOR AFFORDABLE HOUSING IN TROPICS"

Autore: Chameera Udawattha, Rangika Halwatura

Sede editoriale: Case Studies in Construction Materials 7

Anno di pubblicazione: 2017

PAROLE CHIAVE (da documento): Tropical climate, embodied energy, life cycle cost, walling materials, construction cost, maintenance cost and operation cost
APPROCCI METODOLOGICI: LCC
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: componente edilizio

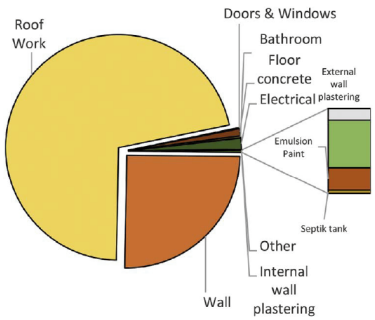
ABSTRACT (sintesi)

Il consumo energetico del settore abitativo a prezzi accessibili gioca un ruolo fondamentale nella sostenibilità ambientale, nella produzione di rifiuti e nel consumo di energia. Lo sviluppo di una metodologia di costruzione di alloggi sostenibili aiuta lo sviluppo economico e lo sviluppo sostenibile del proprio paese. La parete e il tetto sono i componenti più significativi in un'unità abitativa. I materiali per pareti possono determinare il costo dell'edificio e il costo totale del ciclo di vita di un'unità abitativa. In questo studio viene calcolato il costo totale del ciclo di vita di un'unità abitativa nello Sri Lanka, costituita da materiali di muratura come mattoni, blocchi di cemento, i blocchi di fango, attraverso il calcolo dell'energia. Sono stati calcolati e misurati i costi del ciclo di vita sostenuti a causa del cambiamento dei materiali di rivestimento sopra menzionati. Inoltre, l'LCC totale viene confrontato e analizzato.

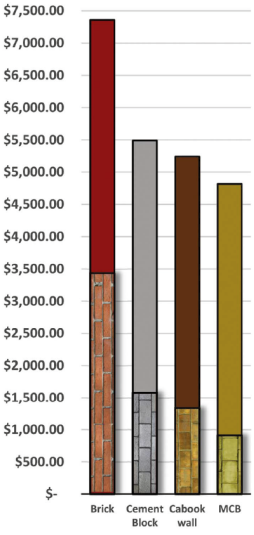
SINTESI DEI CONTENUTI

Ci sono stati molti tentativi di calcolare e confrontare LCC di diversi materiali per pareti. Tuttavia, sono stati effettuati pochi studi in condizioni climatiche tropicali in cui i materiali di rivestimento sono molto importanti per ottenere il comfort termico e ridurre il LCC. L'obiettivo di questa ricerca è quello di capire l'embodied energy dei diversi materiali utilizzati per costruire case a prezzi accessibili in condizioni climatiche tropicali e confrontare il loro costo del ciclo di vita. La casa oggetto di studio deve essere autocostruita e lo stesso proprietario sarà responsabile della manutenzione. Sono stati selezionati diversi tipi di materiali per pareti per lo studio considerando la loro disponibilità sul territorio. I dati statistici nazionali sono stati utilizzati per comprendere i materiali di rivestimento più diffusi nel paese. Inoltre, i materiali di muratura innovativi, come il blocco in calcestruzzo di fango (MCB), sono stati usati per confrontare pareti esistenti in pallet. Inoltre viene misurata la riutilizzabilità e il valore di rivendita per calcolare la durabilità dei diversi materiali. Il LCC è la combinazione di tutti i costi sostenuti dalla costruzione all'uso finale. Viene anche calcolato il *carbon foot print* dei materiali convertendo l'energia in carbonio. Uno dei risultati cruciali di questo studio è la riusabilità del materiale di rivestimento. Il muro può essere adatto in energia incorporata e il costo iniziale. Tuttavia, se non sono abbastanza forti per il riutilizzo, non ne esiste l'idoneità rispetto alla sostenibilità ambientale.

Tipologia di casa base costruita nello Sri Lanka, pag. 19.



Costi iniziali dei materiali per le pareti, pag. 22.



Confronto dell'embodied energy dei materiali, pag. 22.

ARTICOLO n°21

"FIELD MEASUREMENT AND MODELING OF UVC COOLING COIL IRRADIATION FOR HEATING, VENTILATING AND AIR CONDITIONG ENERGY USE REDUCTION - ENERGY, IAQ AND ECONOMIC MODELING"

Autore: Joseph Firrantello & William Bahnfleth

Sede editoriale: Science and Technology for the Built Environment, pp. 600-611

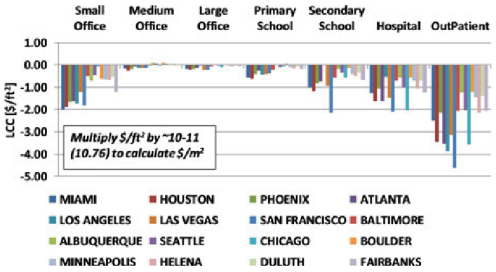
Anno di pubblicazione: 2017

PAROLE CHIAVE (da documento): -
APPROCCI METODOLOGICI: LCC
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio commerciale

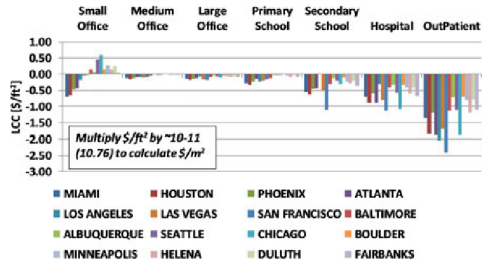
ABSTRACT (sintesi)
L'irradiazione germicida ultravioletta della serpentina di raffreddamento viene utilizzata per mitigare il biofouling causato da microrganismi vitali catturati dall'aria. Una parte di questo studio presenta i risultati delle misurazioni sul campo delle variazioni delle prestazioni della bobina dopo il trattamento con irradiazione germicida ultravioletta. Un'altra parte riporta l'uso di energia modellato e gli impatti della qualità dell'aria interna della radiazione della bobina, nonché i risultati di un'analisi del costo del ciclo di vita che combina energia, qualità dell'aria interna, capitale e costi di manutenzione. I costi del ciclo di vita con l'irradiazione germicida da raggi ultravioletti della bobina sono confrontati ai costi del ciclo di vita con la pulizia meccanica della bobina.

SINTESI DEI CONTENUTI

Questo articolo è la seconda parte di un riassunto di ASHRAE RP-1738 (Bahnfleth e Firrantello 2017). La parte 1 riassume i risultati delle misurazioni sul campo delle perdite di carico e dei dati di trasferimento di calore da due serpentine di raffreddamento trattate con UVGI. Questo articolo utilizza i risultati di tali misurazioni e altri dati derivanti da una modellazione parametrica di energia, qualità dell'aria interna (IAQ) e vantaggi economici di UVGI per la pulizia della bobina per un insieme di modelli di edifici rappresentativi di una porzione degli edifici degli Stati Uniti. Per valutare la natura e l'entità degli effetti del trattamento con serpentina UVGI per una serie di edifici e climi, è stata utilizzata la simulazione di energia per l'intero edificio. Per limitare il risparmio energetico, sono stati eseguiti due set di modelli pre-UVGI/post-UVGI. Per rappresentare una gamma di possibili applicazioni, sono stati selezionati sette edifici commerciali di riferimento. Vengono modellati gli impatti sulla Qualità dell'Aria Interna calcolando il valore della metrica appropriata, la probabilità giornaliera di infettare e il ricalcolo della nuova metrica in base alla ventilazione aumentata diventata a



LCC utilizzando UVGI senza considerare il beneficio IAQ, pag. 611.



LCC che utilizza il limite inferiore del costo di pulizia meccanica, pag. 611.

UVGI. L'analisi economica ha combinato i costi per attrezzature, funzionamento e benefici per la salute associati alle differenze nella IAQ in un'analisi dei costi del ciclo di vita (LCCA) confrontando l'effetto della spirale UVGI con la pulizia meccanica della bobina. I costi del ciclo di vita (LCC) possono essere considerati i costi netti della manutenzione richiesta. Il LCC può essere un costo netto per il proprietario (positivo) o un risparmio netto per il proprietario (negativo) in base al rapporto tra costo iniziale, costi operativi e risparmi operativi.

ARTICOLO n°22

"A LIFE CYCLE COSTING APPROACH FOR DISCOUNTING IN AGE AND INTERVAL REPLACEMENT OPTIMISATION MODELS FOR CIVIL INFRASTUCTURE ASSETS"

Autore: M. van den Boomen, R. Schoenmaker and A.R.M. Wolfert

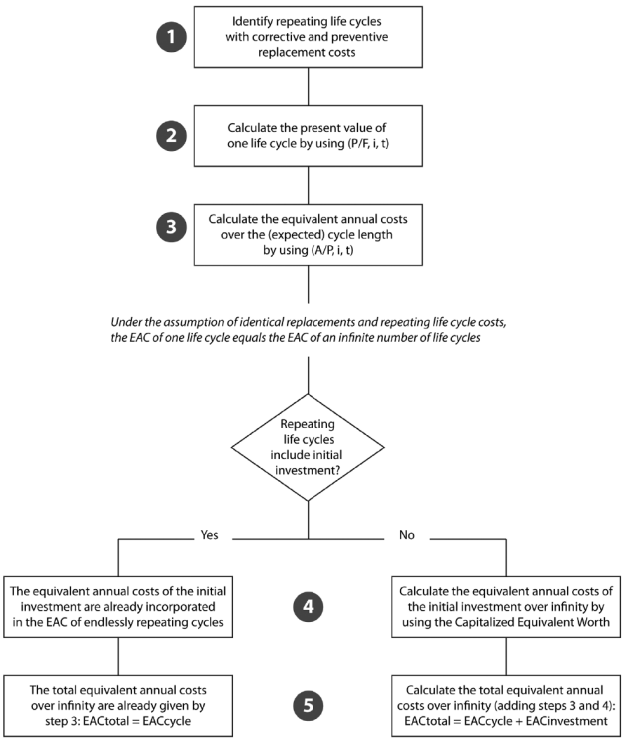
Sede editoriale: Structure and Infrastructure Engineering, Vol. 14, n° 1, pp. 1-13

Anno di pubblicazione: 2017

PAROLE CHIAVE (da documento): Civil infrastructure assets, discounting, life cycle costing, age replacement, present value, equivalent annual cost
APPROCCI METODOLOGICI: LCC
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Infrastruttura

ABSTRACT (sintesi)
I beni dell'infrastruttura civile come strade, chiuse e ponti sono spesso caratterizzati da lunghi periodi di servizio e corrispondenti cicli di vita tecnici. Quando i cicli di vita sono lunghi, il valore del denaro nel tempo gioca un ruolo nel processo decisionale di gestione patrimoniale sugli investimenti di capitale e sulle spese di gestione e manutenzione. In questo documento, viene sviluppato un nuovo approccio LCC in due classi di modelli di ottimizzazione della manutenzione. Questi modelli sono il modello di sostituzione dell'età e il modello di sostituzione dell'intervallo. Tre ben note tecniche di LCC, che rappresentano il valore attuale, il recupero del capitale e il valore equivalente capitalizzato, sono combinate e utilizzate per sviluppare una metodologia graduale. Il vantaggio di questo approccio LCC alternativo è la sua applicabilità e flessibilità per i tecnici di affidabilità e manutenzione.

SINTESI DEI CONTENUTI
In questo studio è stato sviluppato un approccio LCC graduale e flessibile per l'attualizzazione dei modelli di sostituzione nelle infrastrutture civili. Questo articolo spiega inizialmente tre tecniche generiche di LCC, che rappresentano il valore attuale, il recupero del capitale e il valore equivalente capitalizzato. Il fattore di valore attuale è utilizzato per lo sconto discreto standard ed è comparabile e vicino allo sconto esponenziale continuo. Il fattore di recupero del capitale o il fattore di rendita di serie trasforma un valore presente in EAC su un numero scelto di unità di tempo t, generalmente anni. La terza espressione è il valore equivalente capitalizzato che converte l'EAC di un ciclo di vita al valore attuale di un numero infinito di cicli di sostituzione. Le strategie di ottimizzazione di età e intervallo per la sostituzione supportano la pianificazione a lungo termine delle attività e della manutenzione delle organizzazioni che gestiscono queste risorse dell'infrastruttura. Alcuni esempi tipici per l'applicazione di questi modelli sono la sostituzione di apparecchi di illuminazione stradale, le principali revision sostituzioni di cilindri idraulici ecc. I cicli di vita delle infrastrutture civili sono spesso lunghi, pertanto il valore temporale del denaro dovrebbe essere incluso. Il vantaggio di questo approccio LCC graduale è che migliora la comprensione dei principi di sconto, i loro vincoli e il loro campo di applicabilità.



Approccio LCC che includere il valore temporale del denaro nei modelli di sostituzione per età e intervallo, pag. 4.

ARTICOLO n°23

"LIFE CYCLE COST ANALYSIS OF ENERGY-EFFICIENT BUILDINGS SUBJECT TO EARTHQUAKES"

Autore: Min (Max) Liua, Baoxia Mi

Sede editoriale: Energy and Buildings 154, pp. 581-589

Anno di pubblicazione: 2017

PAROLE CHIAVE (da documento): Energy-efficient building, high-performance window, earthquake, natural hazard life cycle cost, cost-benefit analysis
APPROCCI METODOLOGICI: LCC, analisi prestazioni energetiche
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio per uffici

ABSTRACT (sintesi)
Viene presentato un nuovo metodo LCC per valutare l'economicità a lungo termine delle caratteristiche di efficienza energetica negli edifici, tenendo conto dei costi futuri associati ai danni provocati da terremoti. Gli edifici situati in una zona sismica possono essere attaccati da terremoti per tutta la vita e i loro elementi non strutturali possono soffrire di vari livelli di danni, che richiedono riparazioni o sostituzioni per ripristinare un soddisfacente livello di efficienza energetica dell'edificio. Tuttavia, i metodi di analisi LCC esistenti hanno trascurato tali costi legati ai terremoti. Per affrontare questo problema, proponiamo un metodo per quantificare rigorosamente il costo futuro cumulativo atteso a causa della riparazione / sostituzione di elementi danneggiati dal terremoto e successivamente integrare questo costo nell'analisi LCC.

SINTESI DEI CONTENUTI

In questo studio viene presentato un nuovo metodo di analisi LCC che integra l'analisi sismica e la previsione del danno strutturale/non strutturale, la simulazione energetica dell'edificio e la valutazione dell'impatto ambientale nella quantificazione delle varie voci di costo in LCC. Il nuovo metodo prevede la raccolta di informazioni sul sito (clima e rischio sismico) e sull'edificio (efficienza energetica, involucro e sistema strutturale). In seguito si effettua la simulazione energetica dell'edificio in modo da quantificare l'energia annuale consumata e viene modellata la parte strutturale dell'edificio prevedendo le sue risposte alle sollecitazioni sismiche. Poi si calcola il costo iniziale e il valore attuale dei costi futuri associati (consumo di energia, sostituzione elementi che influiscono sull'efficienza energetica ecc.) per ottenere il totale LCC, che viene successivamente confrontato con l'LCC di tutte le alternative per individuare la soluzione economicamente più vantaggiosa. Per dimostrare l'importanza del nuovo metodo di analisi LCC, viene usato come esempio un edificio per uffici di medie dimensioni situato in una zona sismica di Los Angeles. L'efficienza energetica dell'edificio è

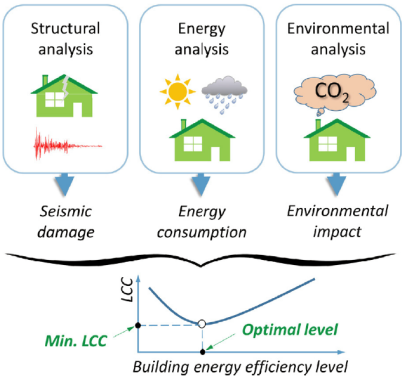


Illustrazione della nuova metodologia LCC, pag. 582.

finfluenzata dall'assemblaggio delle inestre con differenti proprietà termiche. Il costo iniziale di un edificio è costituito da tutte le spese associate all'acquisto e all'installazione delle apparecchiature e degli elementi relativi al consumo energetico e il modello energetico dell'edificio con ogni tipo di gruppo di finestre viene utilizzato per eseguire la simulazione energetica in EnergyPlus. Le prestazioni sismiche non dipendono dall'assemblaggio delle finestre. L'integrazione degli effetti di pericolosità naturale nell'analisi LCC di edifici efficienti dal punto di vista energetico ha risolto uno dei principali problemi dei tradizionali metodi di analisi LCC, che si basano sull'assunto che i sistemi di energia di un edificio rimangono intatti sopra la loro durata di vita e l'efficienza energetica non dipende dal comportamento strutturale dell'edificio.

ARTICOLO n°24

"THERMAL AND ECONOMIC EFFICIENCY OF PROGRESSIVE RETROFIT STRATEGIES FOR SCHOOL BUILDINGS BY A STATISTICAL ANALYSIS BASED TOOL"

Autore: L. C. Tagliabue, A. G. Mainini, F. Cecconi, S. Maltese, E. De Angelis, A. Zani

Sede editoriale: Building Simulation, *International Building Performance Simulation Association*

Anno di pubblicazione: 2017

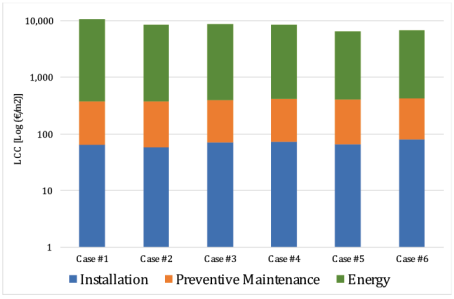
PAROLE CHIAVE (da documento): -
APPROCCI METODOLOGICI: LCC, Gained Comfort Cost (GCC)
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio per attività scolastiche

ABSTRACT (sintesi)

Le alternative di progettazione negli edifici con aria condizionata possono essere confrontate semplicemente sommando il consumo orario di energia primaria, mentre gli approcci quantitativi per le strategie di progettazione bioclimatica sono difficili da valutare e confrontare. Un edificio scolastico attivamente riscaldato e passivamente raffreddato è considerato come un campo di applicazione di una nuova metodologia per promuovere una scelta informata sulle strategie di retrofit da adottare per gli edifici, definite come il *Gained Comfort Cost* (GCC). Viene utilizzata un'aula per testare diverse soluzioni di retrofit di energia e le loro prestazioni sono state confrontate con una linea di base. La nuova metodologia consente di comprendere la "distanza" delle condizioni interne dal comfort; le strategie di retrofit sono promosse per ridurre questa distanza considerando tuttavia i costi associati (LCC) per affrontare la fattibilità effettiva.

SINTESI DEI CONTENUTI

La metodologia adottata nel presente studio si concentra sulla valutazione delle condizioni termiche interne di un'aula di un edificio scolastico nel nord Italia, dotato di involucro tradizionale e confrontato con altri scenari per migliorare le qualità interne di comfort. Il parametro di confronto è la temperatura della zona termica riferita alle condizioni di comfort. La temperatura dell'aria interna all'interno della zona termica viene calcolata mediante simulazione dinamica con i dati climatici orari che simulano diverse strategie (ad esempio sostituzione di finestre, isolamento opaco, ventilazione potenziata, ecc.). Sebbene il potenziale di risparmio energetico sia elevato, isolare l'involucro opaco e sostituire le superfici trasparenti sono le opzioni più costose, ma sono considerate con l'obiettivo di simulare possibili strategie di investimento e considerare il costo associato durante la durata di servizio attraverso il LCC. Gli scenari alternativi derivati dalle strategie di retrofit sono stati calcolati in base alla norma ISO 15686-5:2008, considerando tutti i relativi costi di costruzione, di gestione e di manutenzione. Infine viene calcolato il costo Gained Comfort (GCC) per includere i parametri principali dell'analisi presentata. L'approccio metodologico proposto facilita l'identificazione dell'efficienza termica ed economica delle strategie di retrofit per migliorare le condizioni di comfort interno, i risparmi energetici e l'accessibilità a lungo termine che sono fattori chiave per una reale applicazione del retrofitting nel settore pubblico.



LCC delle opzioni di retrofit, pag. 2002.

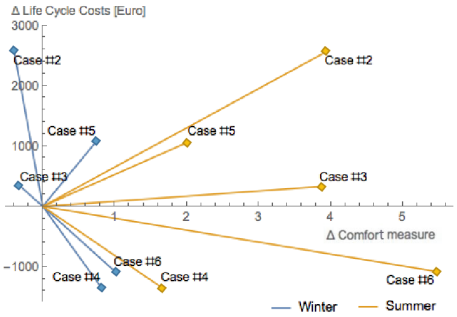


Grafico della variazione del Gained Comfort Cost, pag. 2002.

ARTICOLO n°25

"DETERMINATION OF OPTIMUM THICKNESSES USING ECONOMICAL ANALYSE FOR EXTERIOR WALLS OF BUILDING WITH DIFFERENT MASSES"

Autore: Okan Kon

Sede editoriale: An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications, Vol.7 n°2, pp. 149-157

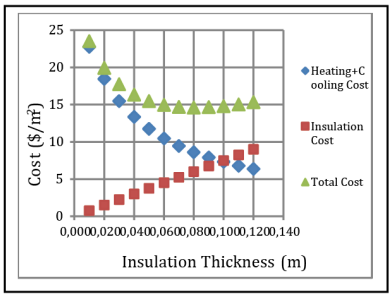
Anno di pubblicazione: 2017

PAROLE CHIAVE (da documento): Building mass, optimization, hermal insulation, lifecycle cost analysis, degree-day method
APPROCCI METODOLOGICI: LCC, metodo grado giorno
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio residenziale

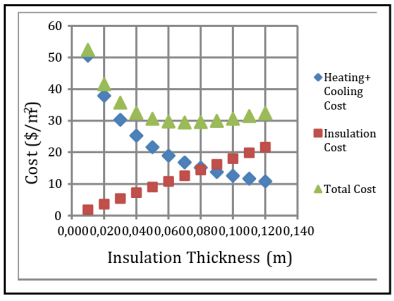
ABSTRACT (sintesi)
In questo studio sono selezionate cinque città di zone climatiche diverse secondo lo standard turco TS 825 e sono stati calcolati gli spessori dell'isolamento delle pareti esterne degli edifici campione. Sono stati scelti i mattoni forati verticali e lana di vetro, polistirolo espanso (XPS), polistirene estruso (EPS) sono stati considerati materiali isolanti. Inoltre, il gas naturale, il carbone, l'olio combustibile e il GPL sono stati utilizzati come combustibile per il riscaldamento e l'elettricità per il raffreddamento. L'analisi del LCC e il metodo del grado giorno sono stati gli approcci per i calcoli dello spessore dell'isolamento ottimali. Di conseguenza, in caso di utilizzo, i mattoni forati verticali hanno dato valori tra 5-7 mm nei calcoli ottimali dello spessore dell'isolamento in diversi materiali isolanti. Lo spessore minimo ottimale dell'isolamento è stato calcolato nel caso in cui XPS fosse preferito come materiale isolante, e quello massimo è stato calcolato in caso di utilizzo di lana di vetro.

SINTESI DEI CONTENUTI

Nelle applicazioni di isolamento termico, la perdita di energia e l'inquinamento atmosferico possono essere ridotti aumentando lo spessore del materiale isolante. Tuttavia, potrebbe non essere né economico né pratico utilizzare quantità sempre maggiori di isolamento in modo da ottenere risparmi energetici. È necessario stabilire un equilibrio tra l'investimento di isolamento e i risparmi forniti dall'edificio isolato. Lo spessore dell'isolamento, che fornisce il minimo isolamento e i costi operativi per una data vita economica è lo spessore ottimale dell'isolamento. Per ottenerlo vengono utilizzati carburanti come gas naturale, carbone, olio combustibile, GPL, elettricità e una vasta gamma di materiali isolanti. I calcoli di ottimizzazione vengono effettuati utilizzando il metodo grado-giorno e l'analisi del costo del ciclo di vita (LCC). In questo studio è stato studiato l'effetto dell'utilizzo di mattoni di diversa densità sullo spessore dell'isolamento. Inoltre, si suggerisce di considerare insieme i periodi di riscaldamento e raffreddamento mentre gli edifici isolanti sono preveggenti per le zone climatiche calde. Lo spessore minimo ottimale dell'isolamento viene calcolato quando vengono utilizzati gas naturale e XPS, mentre lo spessore ottimale si ottiene quando GPL e lana di vetro vengono utilizzati nel periodo di riscaldamento+raffreddamento. Nel periodo di raffreddamento, lo spessore ottimale dell'isolamento è stato riscontrato in caso di utilizzo di mattoni forati verticali con densità minore. Quando si utilizzano mattoni a bassa densità, lo spessore isolante ottimale viene ridotto. Il costo del lavoro aumenta quando la densità aumenta.



Curve di costo dello spessore isolante ottimale per il periodo di riscaldamento+raffreddamento per la città di Izmir in caso di mattoni forati verticali con densità di 550 kg/m³ e conducibilità termica di 0,32 W/m.K, lana di vetro come materiale isolante e gas naturale come combustibile, pag. 153.



Risultati delle curve di costo per lo spessore ottimale dell'isolamento per il periodo di riscaldamento+raffreddamento per la città di Kars nel caso di mattoni forati verticali con densità di 1000 kg/m³ e conducibilità termica di 0,45 W/m.K, XPS come materiale isolante e carbone come combustibile, pag. 153.

ARTICOLO n°26

"DEVELOPING AN INTEGRATED FRAMEWORK FOR ASSESSING THE LIFE CYCLE GREENHOUSE GAS EMISSIONS AND LIFE CYCLE COST FOR BUILDINGS"

Autore: Monique Schmidta, Robert H. Crawford

Sede editoriale: Procedia Engineering 196, pp. 988–995

Anno di pubblicazione: 2017

PAROLE CHIAVE (da documento): Low carbon building, greenhouse gas emissions, life cycle assessment, life cycle cost
APPROCCI METODOLOGICI: LCC, LCA, Sensitivity analysis
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio per attività scolastiche

ABSTRACT (sintesi)

Le emissioni di gas a effetto serra relative all'edilizia (GHGE) rappresentano una delle più grandi opportunità per la mitigazione dei cambiamenti climatici. L'attuale focus tratta principalmente la riduzione dei GHGE operativi che lasciano il GHGE incorporato in gran parte ignorato. Nonostante il costo del progetto sia un fattore chiave per il processo decisionale i progettisti e i proprietari hanno conoscenze o strumenti insufficienti per considerare adeguatamente questi costi del ciclo di vita e bilanciarli con i risparmi di GHGE. Esistono diversi metodi per quantificare i costi di un edificio, come il costo del ciclo di vita (LCC). Questo studio affronterà la necessità di procedere all'integrazione di queste valutazioni sviluppando un quadro che possa essere utilizzato per accertare le relazioni importanti e i compromessi tra le prestazioni finanziarie e di GHGE delle varie strategie di riduzione dei GHGE relative all'edificio.

SINTESI DEI CONTENUTI

Lo scopo del lavoro è aiutare il processo decisionale relativo all'edilizia in una fase iniziale del processo di progettazione e aiutare l'utente a bilanciare i costi finanziari e la riduzione di GHGE, dal punto di vista del ciclo di vita. Il primo passo (simile a una LCA) è definire l'obiettivo e lo scopo della valutazione. Il secondo passo è definire l'edificio di base da valutare. In seguito si definiscono le alternative di costruzione da valutare. Ciò potrebbe includere, ad esempio, le opzioni di costruzione con migliori strategie di isolamento o smaltatura. I dati economici e ambientali pertinenti saranno determinati nella fase 4. Nella fase 5 si seleziona la categoria di impatto ambientale da utilizzare nella valutazione. Il passo successivo consiste nell'utilizzare questi dati ed eseguire le valutazioni LCA e LCC. Queste valutazioni saranno effettuate separatamente utilizzando i dati e i metodi già inerenti a ciascuna valutazione. Il settimo passo è il passo fondamentale per integrare i risultati, seguito dall'interpretazione e dalla riflessione di questi risultati. Infine si esegue un'analisi di sensitività per determinare in che modo gli input chiave potrebbero influenzare i risultati. Il passaggio finale richiede all'utente di selezionare l'opzione appropriata, in base alle proprie preferenze personali . La struttura descritta si basa su strutture esistenti già associate ai metodi LCA e LCC e ai precedenti quadri di studi simili. Identificando le principali debolezze e lacune, sono state gettate le basi per sviluppare un quadro ambientale e finanziario integrato migliorato. Questo quadro mira ad integrare le considerazioni LCC e LCGHGE, in modo che sia il valore ambientale che economico delle potenziali strategie di costruzione possano essere incluse nel processo decisionale contribuendo alla creazione di un ambiente a basse emissioni di carbonio.

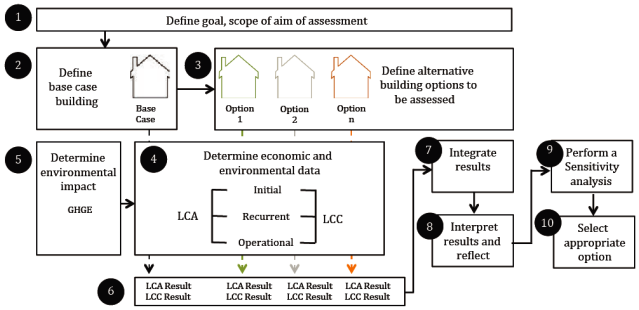


Diagramma integrato delle analisi LCGHGE e LCC, pag. 992.

ARTICOLO n°27

"TOWARD COST - EFFECTIVE NEARLY ZERO ENERGY BUILDINGS: THE DUTCH SITUATION"

Autore: Wim Zeiler, Kristian Gvozdenović, Kevin de Bont & Wim Maassen

Sede editoriale: Science and Technology for the Built Environment 22, pp. 911-927

Anno di pubblicazione: 2016

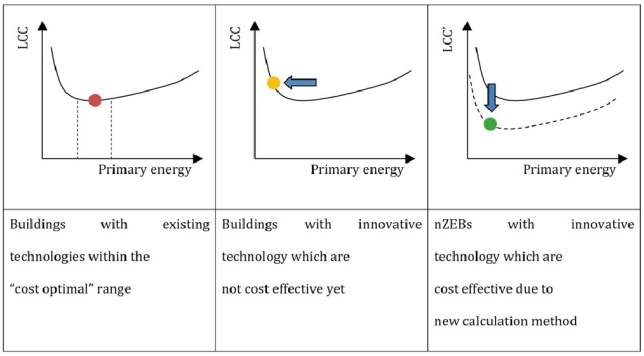
PAROLE CHIAVE (da documento): -
APPROCCI METODOLOGICI: LCC
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio per uffici

ABSTRACT (sintesi)

Per ridurre l'elevata domanda di energia e l'inquinamento dei gas ad effetto serra dell'ambiente costruito, venne sviluppata la direttiva sul rendimento energetico nell'edilizia (EPBD)nel 2010 con i piani per gli Stati Membri dell'Unione europea. Gli edifici devono essere nZEB e dovrebbero raggiungere questo obiettivo implementando misure efficaci in termini di costi per prestazioni energetiche elevate e applicazione di fonti energetiche sostenibili. In questa ricerca viene condotto uno studio su edifici olandesi di recente costruzione completati con energia sostenibile e quasi zero. Per raggiungere l'obiettivo di nZEB e emissioni di CO_2 ridotte, è necessario concentrarsi maggiormente nella fase iniziale della progettazione verso soluzioni economicamente vantaggiose. I costi del ciclo di vita sono un importante fattore decisivo per raggiungere un edificio a basso costo e quasi zero.

SINTESI DEI CONTENUTI

In questo studio viene eseguito un calcolo LCC con un periodo di 30 anni in cui vengono discussi quattro progetti di edifici per l'area urbana: uno fa riferimento a un edificio e tre scenari nZEB con misure di risparmio energetico. L'attenzione sarà focalizzata sulla costruzione di installazioni. Il metodo di calcolo si basa sull'approccio UE che utilizza i principi olandesi sull'ottimizzazione dei costi delle misure di risparmio energetico. I parametri importanti utilizzati sono: tasso di inflazione 2,3%, tasso di sconto 6,4%, esclusi i costi delle emissioni di CO_2, tariffe energetiche incluse le imposte sull'energia e l'imposta sul valore aggiunto. Gli scenari nZEB sono ben isolati e costruiti ermeticamente, riducendo la domanda di energia. Le installazioni utilizzate sono pompe di calore geotermiche e applicazioni fotovoltaiche. La metodologia include ulteriori guadagni nel calcolo del LCC, come l'aumento della produttività e la riduzione delle assenze per malattia. La ricerca scientifica ha dimostrato che gli edifici con un clima interno sano (alto tasso di ventilazione) hanno aumentato la produttività e ridotto le assenze per malattie. Gli NZEB coinvolgono due strategie progettuali: minimizzare il fabbisogno di energia negli edifici attraverso misure di efficienza energetica adottando energia rinnovabile tecnologie e altre tecnologie per soddisfare il fabbisogno energetico residuo. Le EEM comprendono involucri edilizi altamente isolati e sistemi di servizi per l'edilizia altamente efficienti; Gli RET coprono il fotovoltaico, il solare termico e le pompe di calore. I team di progettazione dei recenti edifici completati, per lo più hanno utilizzato un approccio di progettazione integrata in cui vi è cooperazione tra i diversi team di progettazione. Tuttavia, è ancora necessario migliorare ulteriormente il processo di progettazione concettuale.



Traiettoria dell'ottimalità dei costi
a. Scenari "standard";
b. scenario con tecnologie innovative;
c. scenario con tecnologia innovativa e nuovo metodo di calcolo LCC.
pag. 918.

ARTICOLO n°28

"LCC ASSESSMENT AND ENVIRONMENTAL IMPACTS ON THE ENERGY RENOVATION OF A MULTI-FAMILY BUILDING FROM THE 1890s"

Autore: Linn Liua, Patrik Rohdin, Bahram Moshfegh

Sede editoriale: Energy and Buildings 133, pp. 823-833

Anno di pubblicazione: 2016

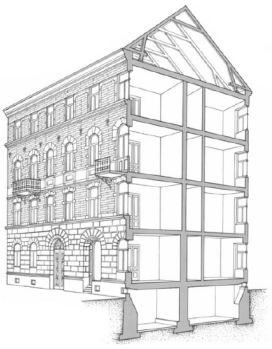
PAROLE CHIAVE (da documento): LCC assessments, environmental impacts, energy efficiency measures package, listed/non-listed building, renovation, energy targets
APPROCCI METODOLOGICI: LCC, Sensitivity Analysis
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio residenziale

ABSTRACT (sintesi)

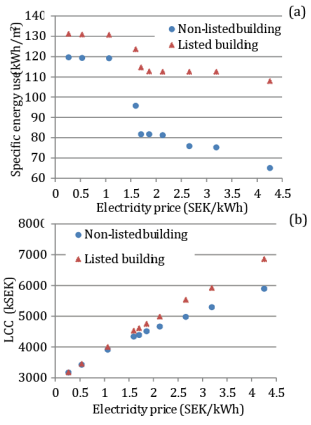
Gli obiettivi di energia per il 2020 e il 2050 aumentano i requisiti in materia di rendimento energetico nel patrimonio edilizio. È importante selezionare misure di efficienza energetica appropriate e costose, utilizzando ad esempio l'ottimizzazione del LCC. Lo scopo di questo articolo è quello di trovare pacchetti ottimali in termini di costo delle misure di efficienza energetica (EEM), nonché di esplorare gli effetti di specifici valori target di energia preesistenti per un edificio plurifamiliare svedese del 1890. Lo scopo è anche quello di mostrare gli effetti sull'uso di energia, LCC, uso di energia primaria e emissioni di CO_2 di diversi obiettivi energetici, tassi di sconto, prezzi dell'elettricità e posizioni geografiche. I risultati mostrano che obiettivi energetici separati potrebbero essere un modo efficace per semplificare l'implementazione degli edifici elencati. Inoltre, un pacchetto di EEM economicamente vantaggioso è più sensibile alle variazioni del tasso di sconto rispetto al prezzo dell'elettricità.

SINTESI DEI CONTENUTI

In questo studio viene analizzato un edificio plurifamiliare di cinque piani a Stoccolma. L'obiettivo è trovare un pacchetto di misure ottimali in termini di costi da includere nel processo di ristrutturazione. Si utilizza il software di ottimizzazione LCC "OPERA-MILP" per trovare la strategia di rinnovamento energetico ottimale in termini di costi per un edificio durante l'intero ciclo di vita e al fine di rendere i costi comparabili viene utilizzato il metodo del valore attuale. Al fine di combinare la valutazione del valore del patrimonio con l'energia e l'efficacia dei costi dell'edificio, il focus è sull'aspetto esterno dell'edificio, il che significa che non ci sono cambiamenti nell'aspetto esteriore e sono ammessi solo piccoli cambiamenti materiali. Viene effettuata l'analisi della sensibilità in cui solo la pompa di calore è selezionata come sistema di riscaldamento poiché si è dimostrata la scelta ottimale in tutti gli studi. Il tasso di sconto e il prezzo energetico varieranno nell'analisi di sensibilità poiché sono i parametri che hanno un grande impatto sul valore attuale e il LCC influisce sulla soluzione ottimale. Questo documento presenta un metodo per trovare soluzioni ottimali in termini di costi per un edificio utilizzando il metodo di ottimizzazione dei costi del ciclo di vita. I risultati mostrano che l'edificio è in grado di raggiungere l'obiettivo energetico del 2020 indipendentemente dal valore del patrimonio culturale dell'edificio. D'altra parte, quando il valore del patrimonio dell'edilizia non viene considerato, l'edificio può anche raggiungere l'obiettivo energetico del 2050. L'impatto del cambiamento del tasso di sconto è importante ma non sensibile come le variazioni del prezzo dell'elettricità. Più basso è il tasso di sconto, più EEM saranno implementate e più facile sarà il raggiungimento degli obiettivi di energia nazionale.



Esempio dell'edificio tipo usato come caso studio, pag. 826



In che modo (a) l'uso specifico di energia in kWh/m² e (b) l'LCC totale degli edifici storici cambia al variare del tasso di sconto, pag 830.

ARTICOLO n°29

"LIFE-CYCLE COST AND FINANCIAL ANALYSIS OF ENERGY COMPONENTS IN MASS HOUSING PROJECTS - A CASE STUDY IN SUB-URBAN INDIA"

Autore: Shagufta Sajid Mumtaaz Sayed, Priyadarshi H. Sawant

Sede editoriale: International Journal of Sustainable Built Environment 4, pp. 202-221

Anno di pubblicazione: 2015

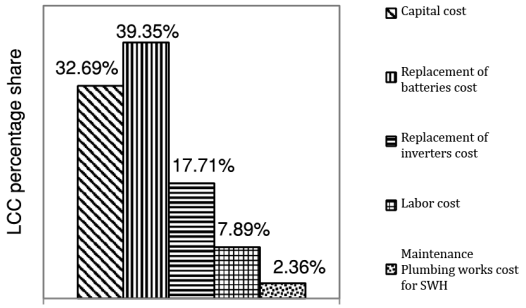
PAROLE CHIAVE (da documento): life cycle cost, life cycle saving, green component, whole sale price, solar Power
APPROCCI METODOLOGICI: LCC
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Componente edilizio

ABSTRACT (sintesi)

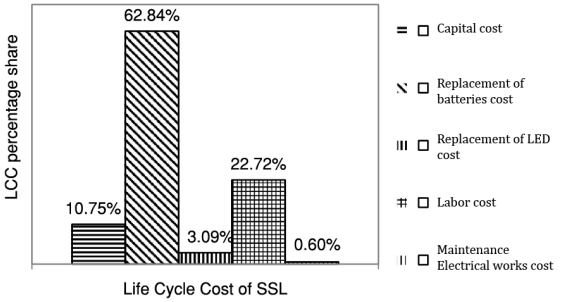
A causa del flusso di popolazione dalle città rurali a quelle urbane, in India stanno aumentando le strutture abitative di massa. Il documento discute la fattibilità economica dell'utilizzo di componenti verdi per il risparmio energetico eseguendo l'analisi del costo del ciclo di vita (LCCA) in grandi progetti di edilizia abitativa di massa. Vengono valutate sei componenti per un progetto collocato nella periferia di Mumbai. LCCA viene eseguita dalle proiezioni degli indici dei prezzi all'ingrosso e dalle fluttuazioni dei prezzi del mercato all'ingrosso delle merci. Le proiezioni sul costo del lavoro vengono eseguite dalle retribuzioni minime fornite dal ministero. Per il calcolo del risparmio, viene considerato l'aumento esponenziale della tariffa elettrica. Il costo di capitale delle componenti energetiche contribuisce nel range del 5-7% al costo convenzionale dell'area di costruzione. LCCA suggerisce che la quota significativa dei costi è correlata alle attività di manutenzione, riparazione e sostituzione di tutti i componenti.

SINTESI DEI CONTENUTI

L'obiettivo di questo documento è eseguire un'analisi LCC per 25 anni di periodo operativo per componenti verdi selezionati per il risparmio energetico in modo da aiutare gli sviluppatori di alloggi di massa e gli utenti finali a confrontare il capitale e il costo di gestione associati a questi componenti. Aiuterà anche la gestione degli alloggi ad allocare il budget per gli oneri di manutenzione annuali di queste componenti energetiche. Per l'esecuzione dell'analisi del costo del ciclo di vita dei componenti energetici, viene progettato un complesso abitativo di massa secondo le norme di controllo dello sviluppo della Mumbai Metropolitan Region Development. I risultati dell'analisi saranno utili per sanzionare il bilancio di capitale in modo da implementare queste componenti energetiche da parte di istituzioni e settori governativi/privati che forniscono servizi di alloggio ai propri dipendenti. I costi operativi e di manutenzione associati a questi componenti energetici possono essere stimati in anticipo e l'allocazione del budget per lo stesso può essere effettuata annualmente per il corretto funzionamento di questi componenti. È inoltre possibile pianificare in anticipo il fabbisogno di bilancio a lungo termine per il costo di sostituzione di batterie e inverter per pannelli solari fotovoltaici e lampioni solari. Per i proprietari di immobili a lungo termine lo studio è utile per realizzare le risorse risparmiate dall'implementazione di queste componenti energetiche nelle colonie residenziali.



Quota percentuale di ripartizione dei costi del ciclo di vita per pannello solare fotovoltaico e scaldacqua solare, pag. 215.



Percentuale di ripartizione dei costi del ciclo di vita ripartita per illuminazione stradale solare con luminarie a LED, pag. 216.

ARTICOLO n°30

"EVALUATION ON RETROFIT OF ONE EXISTING RESIDENTIAL BUILDING IN NORTH CHINA: ENERGY SAVING, ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC BENEFITS"

Autore: Shuqin Chen, Jun Guan, Mark D. Levine, Li Haiying, P. Yowargana

Sede editoriale: Energy Procedia 121, pp. 3-10

Anno di pubblicazione: 2015

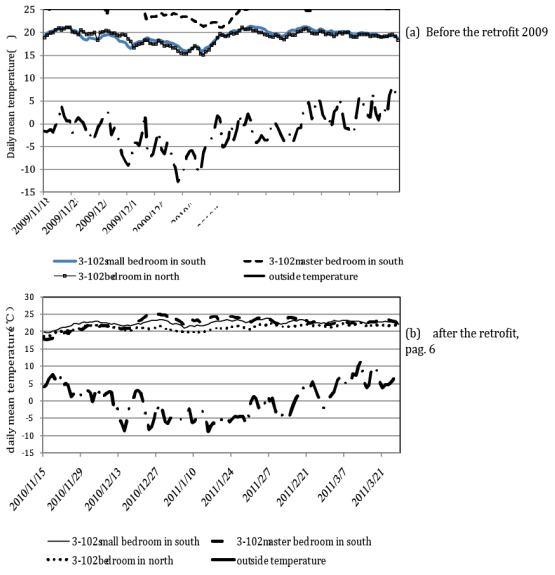
PAROLE CHIAVE (da documento): benefit evaluation, energy efficiency, retrofit, residential building, North China
APPROCCI METODOLOGICI: LCC
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio residenziale

ABSTRACT (sintesi)

Il retrofit sull'efficienza energetica degli edifici residenziali, ampiamente diffuso nel nord della Cina, ha destato grande preoccupazione negli ultimi anni. In questo caso, un tipico edificio residenziale con retrofit di efficienza energetica è stato selezionato a Tangshan come caso di studio. L'ambiente termico interno e l'uso del riscaldamento dell'ambiente dell'edificio sono stati misurati prima e dopo il retrofit. Una metodologia è stata sviluppata per valutare i benefici di risparmio energetico, ambientali ed economici per il retrofit. I risultati mostrano che il retrofit su scala completa in questo edificio può raggiungere l'obiettivo di risparmio energetico del 50% fissato dal governo. L'ambiente termico interno ha ottenuto un buon miglioramento anche dopo il retrofit su vasta scala. I risultati potrebbero essere un riferimento per la valutazione e l'ottimizzazione degli schemi di riqualificazione energetica degli edifici residenziali nel nord della Cina.

SINTESI DEI CONTENUTI

Questo lavoro indaga uno studio scientifico per valutare l'effettivo effetto retrofit di un caso studio nel nord della Cina. Sono stati analizzati l'uso del riscaldamento e l'ambiente termico interno ed esterno prima e dopo l'ammodernamento nell'edificio residenziale e sono stati valutati i benefici precisi del risparmio energetico, dell'ambiente e dell'economia, che potrebbero costituire un riferimento per il supporto politico del futuro lavoro di retrofit. Come oggetto di analisi è stato selezionato un edificio residenziale di destinazione costruito negli anni '90 a Tangshan. È stato sviluppato un metodo di valutazione per calcolare l'importo del risparmio energetico. Sono stati analizzati i benefici ambientali, compresa la riduzione delle emissioni di CO_2 e il miglioramento della temperatura interna. Il modello di valutazione del costo del ciclo di vita (LCCA) è stato utilizzato per valutare il beneficio economico. Per stimare la riduzione dell'uso del riscaldamento e il miglioramento dell'ambiente termico interno, l'uso del riscaldamento dell'ambiente a diverse temperature interne ed esterne deve essere convertito in una condizione uniforme per confrontare la differenza di riscaldamento dell'ambiente prima e dopo il retrofit. Per valutare il beneficio economico dei progetti di retrofit, è possibile calcolare il costo dell'investimento di questo pacchetto di retrofit, incluso il costo dei materiali a basso consumo energetico e il costo di costruzione secondo il modello LCCA. L'analisi confronta i costi di investimento del pacchetto di retrofit con i conseguenti risparmi sui costi energetici nel corso della durata dell'investimento, per decidere se questo pacchetto di retrofit sia economico o meno.



Variazione della temperatura media giornaliera interna di una famiglia tipo

ARTICOLO n°31

"LIFE CYCLE ASSESSMENT AND LIFE CYCLE COST IMPLICATION OF RESIDENTIAL BUILDINGS - A REVIEW"

Autore: Hamidul Islam, Margaret Jollands, Sujeeva Setunge

Sede editoriale: Renewable and Sustainable energy Reviews 42, pp. 129 - 140

Anno di pubblicazione: 2015

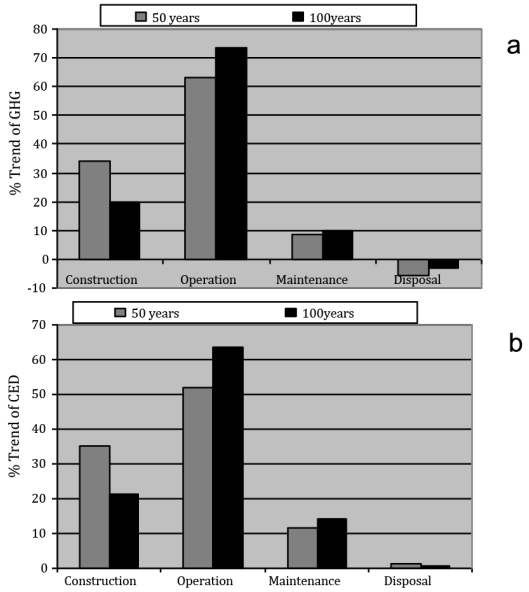
PAROLE CHIAVE (da documento): Life cycle assessment, life cycle cost, life cycle inventory, greenhouse gas, bill of quantity
APPROCCI METODOLOGICI: LCC, LCA, Sensitivity Analysis
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio residenziale

ABSTRACT (sintesi)

Lo scopo di questo articolo è quello di riportare una revisione completa della valutazione del ciclo di vita (LCA) e dell'implicazione del costo del ciclo di vita (LCC) sugli edifici residenziali. Discute le questioni contemporanee, e la sua relazione e il significato dei confini del sistema, le ipotesi e riporta come influisce sugli impatti economici e ambientali. Vengono inoltre discussi gli strumenti, i quadri e i processi di LCA e LCC degli edifici. Illustra in modo critico gli studi LCA e LCC esistenti sui progetti di case residenziali per determinare le cause degli input molto diversi di numerosi studi precedenti. Valuta il costo del ciclo di vita e gli impatti ambientali del ciclo di vita di un case study building e si confronta con studi LCA e LCC molto simili. Infine, riporta le implicazioni e le prospettive degli studi LCA e LCC sui progetti di costruzione.

SINTESI DEI CONTENUTI

Questo studio sviluppa un approccio LCA semplificato utilizzando il software SimiliarPro per un'unità funzionale di un edificio residenziale con un ciclo di vita di 50 anni. In questo studio, il LCC è stato calcolato per l'intera casa per tutta la sua durata. Sono stati calcolati i costi futuri (di gestione, di manutenzione e di demolizione), i prezzi attuali e una stima dell'inflazione futura. Questi sono stati scontati utilizzando un tasso di sconto adeguato. Viene utilizzato il metodo dell'impatto australiano con la normalizzazione, incluso il CED (domanda cumulativa di energia). Questo documento riporta quattro categorie di impatto: GHG (CO_2 equivalente), CED, utilizzo dell'acqua e rifiuti solidi, che sono categorie di principale interesse nel contesto australiano. In termini di incertezza dei dati, l'analisi della sensibilità è stata intrapresa sia negli LCA sia negli approcci di costo del ciclo di vita per valutare la robustezza del modello. In questo studio, la durata della vita, la distanza di trasporto e gli scenari di manutenzione sono stati valutati per la sensibilità alla LCA. La sensibilità al tasso di sconto è stata analizzata per l'approccio basato sul costo del ciclo di vita e solo per l'edificio in analisi. I risultati dello studio per LCA e l'approccio basato sul costo del ciclo di vita dipendono dalle ipotesi e dai confini dei sistemi considerati. Dipende anche dalla scelta della tipologia di costruzione, della portata e delle tecniche di costruzione utilizzate negli edifici. I risultati degli impatti ambientali e dei costi del ciclo di vita sono dominati da diverse fasi di vita degli edifici.



Analisi della sensibilità dei risultati della LCA alla durata della vita: fasi del ciclo di vita. (a) Andamento della percentuale: GHG. (b) Andamento della percentuale: CED, pag. 138.

ARTICOLO n°32

"COST OPTIMUM CALCULATION OF ENERGY EFFICIENCY MEASURES IN THE CZECH REPUBLIC"

Autore: Jiří Karáseka, Jan Pojar, Ladislav Kaločai, Renáta Schneiderová Heralováa

Sede editoriale: Energy Policy 123, pp. 155-166

Anno di pubblicazione: 2018

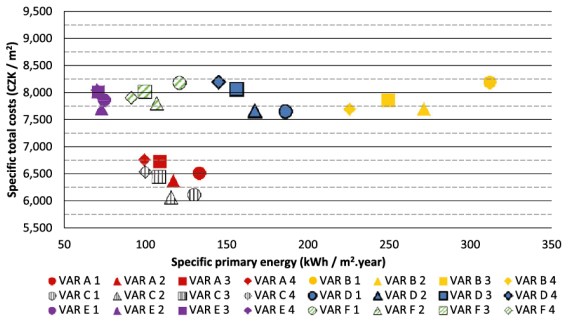
PAROLE CHIAVE (da documento): Energy, housing energy performance, cost optimum, energy efficiency
APPROCCI METODOLOGICI: Calcolo costo globale, sensitivity analysis
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio residenziale

ABSTRACT (sintesi)

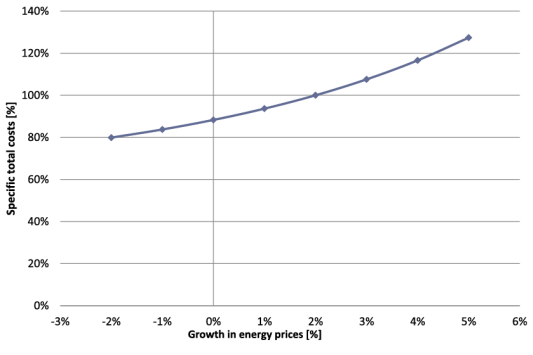
Gli Stati membri dell'UE hanno adottato la direttiva sul rendimento energetico nell'edilizia (EPBD II) nella loro legislazione. Questa direttiva introduce nuove procedure per valutare l'impostazione dei requisiti di prestazione energetica per gli edifici, compresi i cosiddetti requisiti ottimali in termini di costi. Il costo ottimale è calcolato utilizzando un quadro metodologico comparativo sviluppato in conformità alla direttiva e presentato ogni quattro anni (EPBD II, 2010). Il documento introduce il calcolo del costo ottimale nazionale completato a giugno 2017 nella Repubblica ceca. L'obiettivo principale di questo documento è presentare i risultati selezionati del modello di calcolo ottimale del costo nazionale unico, compresa la metodologia applicata. Il metodo principale consiste nella raccolta dei dati primari utilizzata per determinare il costo per una gamma completa di misure di efficienza energetica e il calcolo del consumo di energia primaria nei tipi di edifici selezionati.

SINTESI DEI CONTENUTI

L'obiettivo principale di questo documento è presentare i risultati selezionati del modello di calcolo del costo ottimale nazionale unico. Il documento copre sia il livello metodologico dell'UE che l'attuazione specifica a livello nazionale. Per introdurre i risultati dello studio sono state selezionate case familiari e condomini per coprire la quota più elevata del parco immobiliare nazionale. Il secondo obiettivo è documentare lo sviluppo dei costi delle misure di efficienza energetica. Il calcolo del costo ottimale comprende i costi di investimento iniziali, i costi di sostituzione annuali e i costi correnti e possono essere inclusi anche i costi di smaltimento. Inoltre, è stato considerato il valore residuo degli elementi il cui ciclo di vita scade alla fine del periodo di calcolo. Per meglio spiegare l'impatto dei parametri di input su un costo totale specifico è stata effettuata un'analisi di sensitività basata sui valori dell'involucro dell'edificio e sulle caldaie a gas più comuni. Questo lavoro ha confrontato i dati relativi ai costi delle misure di efficienza energetica per varie località. I dati hanno dimostrato che i costi dipendono dallo sviluppo della domanda relativa alle misure e ai materiali di efficienza energetica, nonché alla disponibilità delle imprese di costruzione. Inoltre, sono stati raccolti i dati necessari per una stima dello sviluppo dei prezzi relativo alle future misure di efficienza energetica (a seconda dello sviluppo dal momento dell'attuazione di EPBD II).



Ottimizzazione dei costi per il condominio (ventilazione naturale), pag. 164.



Analisi della sensibilità del cambiamento del prezzo dell'energia del condominio, pag.164.

ARTICOLO n°33

"ENERGY RETROFIT ALTERNATIVES AND COST- OPTIMAL ANALYSIS FOR LARGE PUBLIC HOUSING STOCKS"

Autore: Guardigli L., Bragadin M.A., Della Fornace F., Mazzoli C., Prati D.

Sede editoriale: Energy & Buildings 166, pp. 48-59

Anno di pubblicazione: 2018

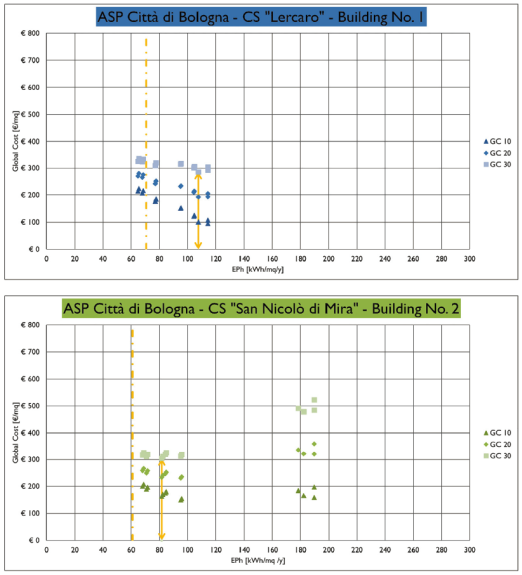
PAROLE CHIAVE (da documento): Cost optimal analysis, economic sustainability, housing stock, energy retrofit, payback period, global cost, net present value, design alternatives
APPROCCI METODOLOGICI: Calcolo costo globale, sensitivity analysis
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio residenziale

ABSTRACT (sintesi)

Lo studio di soluzioni economicamente vantaggiose per il retrofitting energetico di edifici esistenti è di capitale importanza per la costruzione di proprietari di beni, poiché sono necessari investimenti high front e tempi lunghi di recupero nei progetti di ristrutturazione degli edifici. Lo scopo del lavoro è proporre un sistema di supporto decisionale (DSS) per la valutazione delle diverse strategie di ristrutturazione attraverso la misura della loro sostenibilità economica in relazione all'efficienza energetica raggiunta. L'analisi dei costi ottimali delle alternative di retrofit energetico viene eseguita nel caso di un grande parco immobiliare di proprietà di una società immobiliare semi-pubblica, con l'obiettivo di soddisfare quasi zero standard di costruzione di energia. Le performance energetiche e i relativi costi energetici e di costruzione vengono analizzati per diverse opzioni di retrofit, adottando leggi e regolamenti italiani.

SINTESI DEI CONTENUTI

Il presente studio si concentra sulla sostenibilità economica, analizzando alcune tecnologie di retrofit ampiamente applicate. Viene proposto un DSS che prevede un approccio ottimale ai costi per ottimizzare le scelte progettuali. Sono stati analizzate una serie di diverse alternative di ristrutturazione degli edifici, sia per le relative prestazioni energetiche sia e per i loro costi. Per gli edifici selezionati i costi di gestione dell'energia derivano da banche dati nazionali e convertiti in costi di energia primaria. Il metodo proposto si concentra sulle principali alternative di rinnovamento energetico con l'obiettivo di raggiungere gli standard nZEB. La valutazione dell'intervento più vantaggioso da eseguire su un bene costruito e la soluzione di rinnovo ottimale dal punto di vista dei costi possono essere valutati attraverso il calcolo di NPV dei costi iniziali ed energetici, insieme con quello del Global Cost. È possibile sviluppare una stima migliore combinando insieme NPV e GC con indicatori di rendimento energetico. Nel caso in cui l'optimum economico non fornisca una guida sufficiente per raggiungere tali obiettivi nZEB, il metodo proposto è abbastanza robusto da essere usato come uno strumento di guida per migliorare le condizioni quadro al fine di "spingere" l'optimum economico verso il punto che soddisferà i traguardi ambientali e sociali. Viene eseguita l'analisi della sensibilità aumentando il periodo di studio per la valutazione GC a 20 e 30 anni: si evidenzia che l'aumento previsto dei costi energetici nel prossimo futuro e la durata del periodo di studio sono i fattori più importanti per determinare differenti scenari.



Costo globale (GC) e indice di prestazione energetica per il riscaldamento degli ambienti (EP H) dell'edificio n. 1 "Lercaro" e n. 2 "San Nicolò di Mira", rispetto all'edificio di riferimento con valori di nZEB, pag. 57.

ARTICOLO n°34

"SOCIAL HOUSING REFURBISHMENT IN MEDITERRANEAN CLIMATE: COST-OPTIMAL ANALYSIS TOWARDS THE nZEB TARGET"

Autore: Cristina Carpino, Roberto Bruno, Natale Arcuri

Sede editoriale: Energy & Buildings 174, pp. 642-656

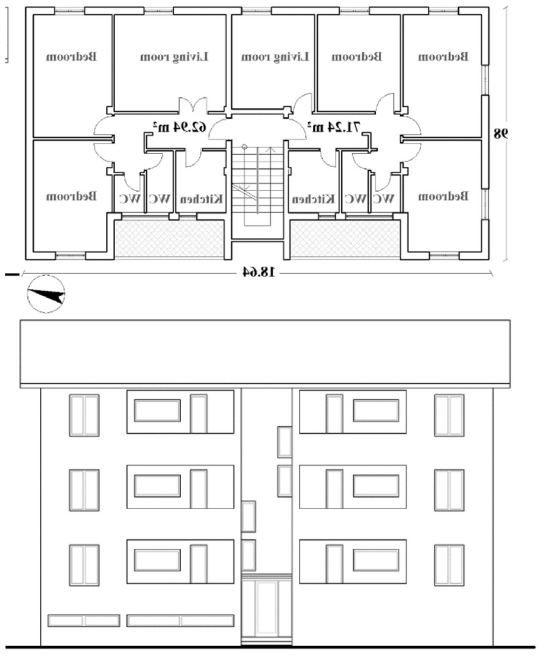
Anno di pubblicazione: 2018

PAROLE CHIAVE (da documento): Buildings refurbishment, social housing, mediterranean climate, cost-optimal analysis, n-ZEB target, financial support policies
APPROCCI METODOLOGICI: Calcolo costo globale
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio residenziale

ABSTRACT (sintesi)
L'analisi del cost-optimal rappresenta uno strumento utile per stimolare la ristrutturazione di edifici esistenti, evidenziando il costo globale minimo che gli utenti privati o pubblici devono sostenere per ottenere risparmi energetici apprezzabili nella durata della costruzione. In questo paper viene analizzata un'unità abitativa sociale degli anni '70 in due diverse zone climatiche appartenenti al territorio italiano. Sono stati identificati interventi adeguati per la riduzione del fabbisogno energetico per il riscaldamento, il raffreddamento e la produzione di acqua calda sanitaria. Queste analisi sono state eseguite utilizzando lo stesso strumento di simulazione per le prestazioni energetiche ed economiche, evidenziando gli scostamenti tra le soluzioni ottimali in termini di costi, l'obiettivo n-ZEB e gli interventi minimi per il contenimento dei consumi energetici imposti dalla normativa italiana vigente per edifici sottoposti a ristrutturazione.

SINTESI DEI CONTENUTI

In questo documento vengono analizzate diverse alternative di retrofit energetico per una social housing soggetta alle condizioni climatiche del Mediterraneo. Come unità di riferimento viene scelta un'unità abitativa sociale caratterizzata da soluzioni inefficienti e obsolete. Di conseguenza, lo studio cerca di indagare come le limitate prestazioni energetiche dell'edificio di riferimento influiscono sul raggiungimento dei livelli ottimali, identificando le misure di retrofit più economiche con particolare riferimento a quelle richieste per il raggiungimento di n-ZEB. Per ogni pacchetto di azioni di retrofit redditizie, il risparmio annuo di energia primaria è stato determinato applicando la procedura dettata dalla direttiva UE 2010/31, calcolando il costo globale. Successivamente, sono state individuate le soluzioni efficaci per il miglioramento di un preciso stock di alloggi sociali, allo scopo di indirizzare adeguate strategie per il rafforzamento e la rivitalizzazione di questa frazione di edifici esistenti. Pertanto, possono essere pianificati adeguati programmi di investimento e l'assegnazione di incentivi finanziari per interventi di ristrutturazione che risultino economicamente fattibili. Poichè le soglie n-ZEB sono difficili da raggiungere in assenza di sovvenzioni, questo lavoro potrebbe contribuire a sensibilizzare i legislatori a intraprendere rotte mirate, in modo tale da incoraggiare azioni che possono meglio prendere vantaggio dal punto di vista economico, sociale e ambientale.



Planimetria del piano tipo e della facciata principale dell'edificio, pag. 646.

ARTICOLO n°35

"UNIVERSITY BUILDING: ENERGY DIAGNOSIS AND REFURBISHMENT DESIGN WITH COST-OPTIMAL APPROACH. DISCUSSION ABOUT THE EFFECT OF NUMERICAL MODELLING ASSUMPTION"

Autore: Laura Bellia, Martina Borrelli, Rosa Francesca De Masi, Silvia Ruggiero

Sede editoriale: Journal of Building Engineering 18, pp. 1-18

Anno di pubblicazione: 2018

PAROLE CHIAVE (da documento): Energy diagnosis, cost-optimal retrofit, monitoring, university building, occupant behaviour
APPROCCI METODOLOGICI: Calcolo costo globale, sensitivity analysis
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio per attività scolastiche

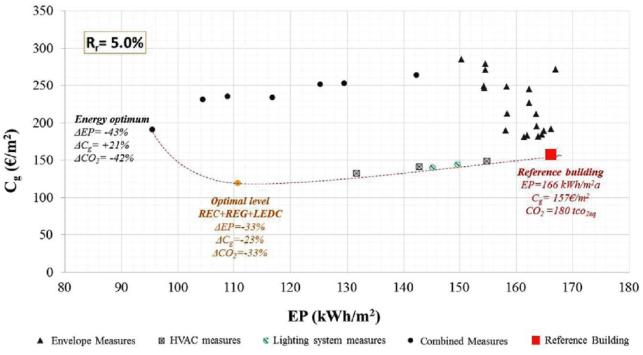
ABSTRACT (sintesi)

Questo studio discute un approccio metodologico per la progettazione di misure di ristrutturazione energetica basate su una diagnosi energetica con misure in situ che consentono la caratterizzazione completa del sistema edificio/HVAC e delle condizioni interne. L'approccio cost-optimal viene applicato per confrontare diversi scenari di retrofit considerando gli interventi sull'involucro dell'edificio e sui sistemi impiantistici. Il case study è un edificio universitario nel clima del Sud Italia. Secondo una prospettiva macroeconomica, con uno sconto tasso del 3%, il pacchetto di misure di efficienza energetica che combina installazione di sistemi di recupero di calore, dispositivo di regolazione per HVAC e lampade a LED induce un notevole risparmio energetico, riduzione delle emissioni inquinanti e del costo complessivo. Inoltre, viene eseguita un'analisi di sensitività per il comportamento degli occupanti e l'uso di apparecchiature o illuminazione.

SINTESI DEI CONTENUTI

Questo documento introduce e spiega un nuovo approccio olistico basato sull'applicazione della metodologia *Cost Optimal* per calcolare il livello ottimale di costi del rinnovamento energetico con un approccio macroeconomico, tenendo conto di energia, aspetti ambientali ed economici. L'approccio metodologico prevede una diagnosi energetica per cui la raccolta dei dati è stata suddivisa in cinque categorie: 1) caratteristiche geometriche; 2) audit dell'involucro edilizio; 3) caratterizzazione del sistema e dell'attrezzatura tecnica; 4) definizione degli usi dell'edificio e delle zone termiche; 5) dati dell'energia dell'edificio. L'approccio applicato al case study, assicura l'affidabilità del modello energetico dell'edificio che deve essere calibrato prima dell'uso: la descrizione dell'involucro dell'edificio, del sistema HVAC e della presenza e del comportamento degli occupanti sono le principali ragioni del divario di prestazioni tra consumo di energia reale e previsto. Viene eseguita un'analisi della sensibilità per alcune ipotesi di modellizzazione come la selezione del programma con cui sono descritti gli occupanti, l'equipaggiamento e l'utilizzo del sistema di illuminazione. È stato riscontrato che l'adozione di programmi predefiniti proposti da strumenti di simulazione porta a risultati per le prestazioni energetiche molto lontane dalle prestazioni reali e il progetto di ristrutturazione può apparire più redditizio.

Termografia esterna: pareti con esposizione nord-ovest, pag. 8.



Curva del costo ottimale con Rr=5%, pag. 14.

ARTICOLO n°36

"COST OPTIMAL nZEBs IN FUTURE CLIMATE SCENARIOS"

Autore: Maria Ferrara, Enrico Fabrizio

Sede editoriale: Energy Procedia 122, pp. 877-882

Anno di pubblicazione: 2017

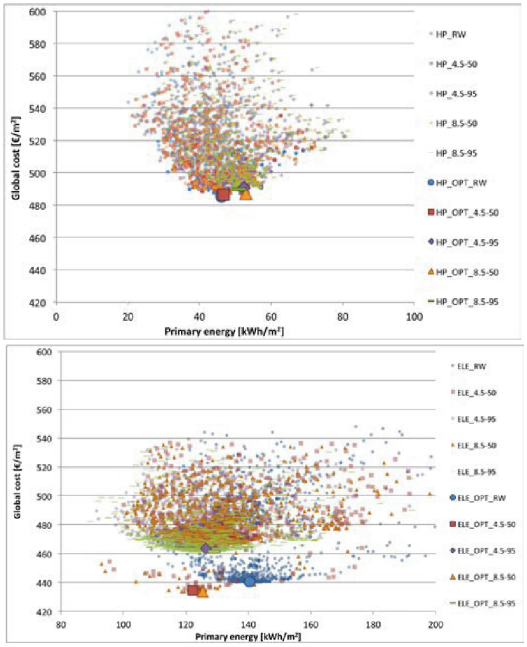
PAROLE CHIAVE (da documento): climate change, cost optimality, optimization, future scenarios, weather data
APPROCCI METODOLOGICI: Calcolo costo globale
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio residenziale

ABSTRACT (sintesi)

Il concetto chiave di nZEB e l'ottimizzazione dei costi hanno guidato molte attività di ricerca in tutta Europa negli ultimi anni. Considerando i cambiamenti globali in corso, è necessario studiare e garantire la resilienza della progettazione di nZEB alle variazioni delle condizioni al contorno in cui viene eseguito il calcolo del costo ottimale. Viene presentata l'analisi della variazione della progettazione ottimale in termini di costi di una casa unifamiliare in un clima continentale (Parigi) in diversi scenari di cambiamenti climatici a breve-medio termine (2026-2045). Il risultato principale dell'analisi dei risultati è che maggiore è la prestazione energetica, maggiore è la resistenza alla variazione delle condizioni meteorologiche.

SINTESI DEI CONTENUTI

In questo studio è stata eseguita l'ottimizzazione dei costi di una casa unifamiliare di riferimento a Parigi considerando diversi scenari climatici futuri tra 2026 e 2045, sulla base delle più recenti proiezioni climatiche. Vengono confrontati diversi scenari meteorologici. L'obiettivo dell'analisi ottimale dal punto di vista dei costi è la minimizzazione del costo globale, che tiene conto sia dell'investimento che dei costi di gestione relativi all'attuazione di misure di efficienza energetica nel corso del ciclo di vita economico dell'edificio. Il problema dell'ottimizzazione dei costi, definito all'interno della struttura metodologica ottimale dal punto di vista dei costi, è stato risolto attraverso una metodologia di ottimizzazione automatizzata basata sulla simulazione che prevede l'accoppiamento del software di simulazione energetica dinamico TRNSYS con il programma di ottimizzazione GenOpt. Per quanto riguarda i sistemi energetici, sono state prese in considerazione due alternative. Uno (HP) è una pompa di calore reversibile altamente performante per fornire riscaldamento e raffreddamento, l'altro (ELE) è composto da radiatori elettrici per il riscaldamento e un sistema multi-split per il raffreddamento. Ulteriori attività dovrebbero essere svolte per confrontare metodi diversi per la previsione delle condizioni climatiche future e per diversi scenari finanziari futuri. I lavori futuri porteranno a definire politiche e misure possibili per colmare il divario tra l'ottimizzazione dei costi e edifici a energia zero, garantendo al tempo stesso la resilienza alla variazione delle condizioni al contorno.



a) Cost-optimal per il sistema HP; b) Cost-optimal per il sistema ELE, pag. 881.

ARTICOLO n°37

"REFURBISHMENT DESIGN THROUGH COST-OPTIMAL METHODOLOGY: THE CASE STUDY OF A SOCIAL HOUSING IN THE NORTHERN ITALY"

Autore: Giulia Guazzi, Alice Bellazzi, Italo Meroni, Anna Magrini

Sede editoriale: International Journal of Heat and Technology, Vol. 35, pp. S336-S344

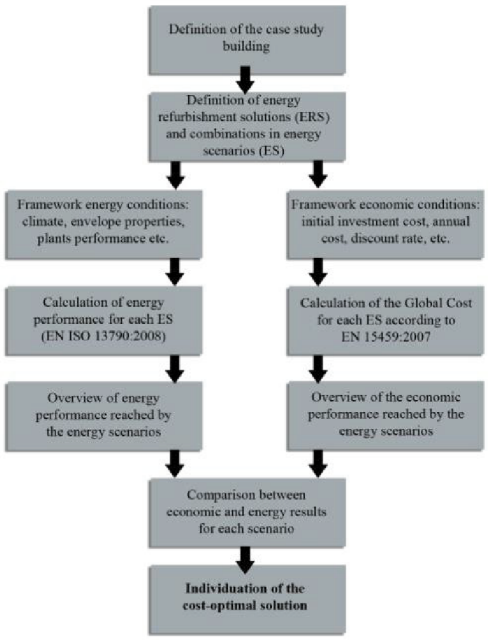
Anno di pubblicazione: 2017

PAROLE CHIAVE (da documento): cost-optimal methodology, energy refurbishment, energy saving, social housing refurbishment
APPROCCI METODOLOGICI: Calcolo costo globale
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio residenziale

ABSTRACT (sintesi)
Il retrofit energetico degli edifici di edilizia popolare in Italia è una grande sfida, per le loro scarse prestazioni energetiche e la loro ampia diffusione ed è influenzata da problemi dovuti alla mancanza di fondi. Pertanto, una solida base metodologica per raggiungere livelli di energia ottimali, considerando il miglior equilibrio con i costi, può essere utile per un approccio più economico al loro miglioramento delle prestazioni energetiche. La metodologia ottimale in termini di costi è applicata a un edificio popolare dell'Italia settentrionale, per dimostrare come può essere utilizzato come strumento decisionale di supporto per interventi di ristrutturazione di edifici residenziali esistenti. Sono definite una serie di misure di efficienza energetica al fine di identificare diversi scenari di miglioramento, relativi sia all'inviluppo che ai sistemi tecnici. Dopo una prima fase di calcolo del consumo di energia primaria e del costo globale, viene valutato il miglior rapporto costi/benefici.

SINTESI DEI CONTENUTI

Lo scopo di questo studio è valutare un intervento di riqualificazione energetica di un edificio residenziale sociale esistente al fine di testare un metodo stabilito dall'Unione Europea che possa essere applicato in situazioni reali, con l'obiettivo nZEB, per valutare se i costi degli interventi possono essere ottimizzati. Per il calcolo del fabbisogno energetico, si impiega il metodo mensile attraverso un software commerciale approvato dal Comitato Nazionale Termo-tecnico (CTI). Per questo caso di studio, il costo ottimale è stato calcolato a livello finanziario e non macroeconomico. Dopo l'analisi dell'energia e delle prestazioni economiche raggiunte da ciascuno scenario energetico, è stato sviluppato un confronto tra le soluzioni al fine di definire i migliori scenari. È possibile identificare tra le diverse soluzioni le più vantaggiose con il global cost inferiore e analizzare la ripartizione dei costi per ogni categoria. In questo modo, per la stessa classe energetica raggiunta, in base ai fondi disponibili, è possibile decidere se preferire una soluzione con un costo di investimento iniziale più elevato ma con costi di gestione inferiori o mediare con una soluzione con costi di investimento inferiori ma maggiori costi di gestione. La classe nZEB può essere raggiunta sia con il teleriscaldamento combinato con un livello medio di isolamento e la quantità totale di pannelli fotovoltaici, sia con il teleriscaldamento combinato con un alto livello di isolamento e una riduzione dei pannelli fotovoltaici. Il PBP per le tre migliori soluzioni è simile e conferma i risultati economici del calcolo Costo ottimale.



Step della metodologia Cost-optimal, pag. S337.

ARTICOLO n°38

"A NEW COMPREHENSIVE APPROACH FOR COST OPTIMAL BUILDING DESIGN INTEGRATED WITH THE MULTY-OBJECTIVE MODEL PREDICTIVE CONTROL OF HVAC SYSTEMS"

Autore: Ascione F., Bianco N., De Stasio C., Mauro G.M., Vanoli G.P.

Sede editoriale: Sustainable Cities and Society 31, pp. 136-150

Anno di pubblicazione: 2017

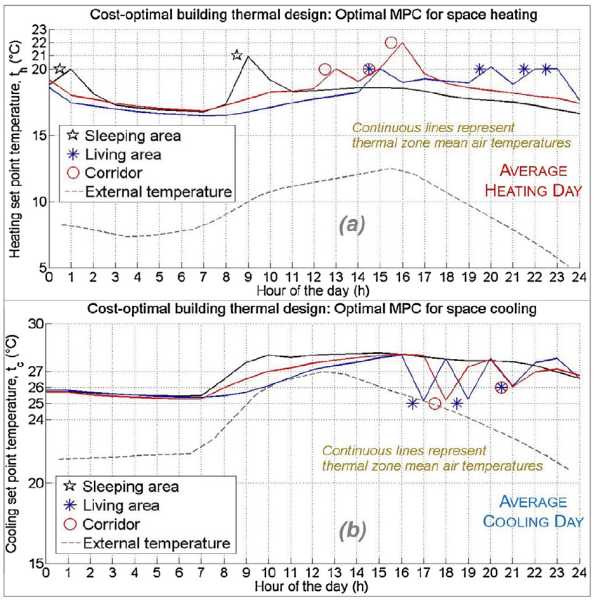
PAROLE CHIAVE (da documento): building simulation-based optimization, building energy design, multi-objective optimization, genetic algorithm, cost-optimal analysis
APPROCCI METODOLOGICI: Calcolo costo globale, simulazione MPC
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio residenziale

ABSTRACT (sintesi)

Viene proposto un nuovo approccio per supportare la progettazione del cost-optimal delle caratteristiche termiche dell'involucro edilizio e sistemi HVAC in presenza di un modello di controllo predittivo basato su simulazione (MPC) per le operazioni di riscaldamento e raffreddamento. La soluzione ottimale dal punto di vista dei costi è identificata attraverso un algoritmo genetico mono-obiettivo principale (GA) che riduce al minimo i costi globali per il condizionamento dello spazio. Le soluzioni rappresentano la costruzione di progetti termici integrati con il PC dei sistemi HVAC. Per definire le strategie MPC, la GA principale lancia due GA bi-obiettivo secondari che ottimizzano rispettivamente le operazioni di riscaldamento e raffreddamento. Queste GA eseguono ottimizzazioni Pareto riducendo al minimo i costi operativi e il disagio termico. Le GA vengono implementate combinando MATLAB® con EnergyPlus.

SINTESI DEI CONTENUTI

La metodologia è applicata per la progettazione termica di un nuovo edificio residenziale a più zone, situato a Napoli e esegue un'ottimizzazione multi-stage e multiobiettivo al fine di rilevare la progettazione termica dell'edificio ottimale in termini di costi in presenza di una strategia di controllo predittivo del modello (MPC) per le operazioni di riscaldamento e raffreddamento degli ambienti. Rispetto agli approcci tradizionali, quello proposto consente un'ottimizzazione più completa delle prestazioni energetiche di costruzione perché mira a ottimizzare sia il funzionamento energetico sia quello HVAC. La soluzione ottimale dal punto di vista dei costi è identificata eseguendo un algoritmo genetico mono-obiettivo principale (GA). Al fine di definire la strategia MPC, il principale obiettivo mono-obiettivo lancia due GA bi-obiettivo secondari che forniscono i valori orari ottimali delle temperature di setpoint per le operazioni di riscaldamento e raffreddamento, rispettivamente, riducendo al minimo i costi operativi e il disagio. Le soluzioni di controllo ottimali sono prese dai fronti di Pareto, fissando un livello minimo di comfort richiesto. I tre GA impiegati sono implementati accoppiando MATLAB® (motore di ottimizzazione) con EnergyPlus (strumento di simulazione). Il risultato finale è la progettazione termica dell'edificio ottimale, che riduce al minimo GC e la strategia MPC ottimale per il funzionamento del sistema HVAC in relazione ai giorni medi di riscaldamento e raffreddamento.



Strategia MPC ottimale in presenza della soluzione ottimale in termini di costi: funzionamento di riscaldamento durante il giorno di riscaldamento medio (a) e funzionamento di raffreddamento durante il giorno di raffreddamento medio (b). Quando il sistema HVAC si spegne, le temperature dei set point non vengono segnalate, pag. 148.

ARTICOLO n°39

"TRADE-OFF BETWEEN SOUND INSULATION PERFORMANCE AND COST - OPTIMALITY IN A RESIDENTIAL nZEB"

Autore: Vallée J.C., Ferrara M., Astolfi A. Fabrizio E.

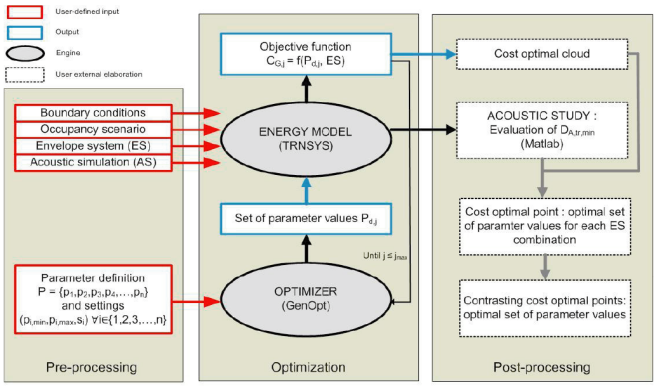
Sede editoriale: Energy Procedia 140, pp. 57-66

Anno di pubblicazione: 2017

PAROLE CHIAVE (da documento): cost optimal analysis, nZEB, sound insulation, facade, envelope, simulation based optimization, TRNSYS, matlab, GenOpt
APPROCCI METODOLOGICI: Calcolo costo globale, analisi acustica
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio residenziale

ABSTRACT (sintesi)
Fino ad ora, la progettazione di nuovi edifici ad alte prestazioni si è concentrata sulle prestazioni energetiche, ma manca di essere affrontata come un problema olistico che tenga conto di tutti gli aspetti di una performance di un edificio. Questo lavoro si sforza di studiare e ottimizzare contemporaneamente, le prestazioni energetiche di un edificio e le prestazioni di isolamento acustico delle sue facciate. In particolare, sono state confrontate le prestazioni energetiche e acustiche di diverse facciate di edifici, costituite da due diversi tipi di pareti, prendendo in considerazione la progettazione ottimizzata in termini di costi di un edificio. La metodologia proposta accoppia una ottimizzazione dei costi del modello energetico dell'edificio realizzata con TRNSYS® e GenOpt, con una valutazione degli indici di isolamento acustico con Matlab, ed è stata applicata a un case study francese unifamiliare.

SINTESI DEI CONTENUTI
Questo lavoro ha stabilito una metodologia per accoppiare prestazioni di isolamento acustico, ottimizzazione dei costi e prestazioni energetiche. Tuttavia, nell'analisi delle prestazioni dell'isolamento acustico, va notato che l'aspetto di guida della funzione di ottimizzazione dei costi globale è un compromesso tra le migliori prestazioni termiche dell'edificio e il costo di installazione più basso. Sono state valutate le misure di efficienza energetica relative alle diverse tecnologie e ai sistemi di involucro, caratterizzati da diverse prestazioni di isolamento acustico. Per calcolare il rendimento energetico delle diverse misure di efficienza energetica, è stato utilizzato un modello di simulazione dinamico creato in TRNSYS. L'approccio cost-optimal è stato adottato come criterio guida per la progettazione di edifici a energia quasi zero, portando a valutare il livello di prestazione energetica correlato al costo globale minimo nel ciclo di vita economico e a studiare tecnologie e politiche per spostare il punto ottimale dal punto di vista del costo energetico migliore livelli di prestazione. Le fasi principali della metodologia implicano la selezione delle misure di efficienza energetica da applicare all'edificio di riferimento, la valutazione delle prestazioni energetiche e il calcolo del costo globale. Al termine dell'ottimizzazione dei costi, viene eseguito il calcolo degli indici acustici. Il processo viene eseguito sul software Matlab®. I dati di input, in particolare gli indici di riduzione del suono, in dB, di ciascun componente della facciata, sono forniti dall'utente durante la fase di pre-elaborazione.



Schema della metodologia proposta, pag. 59.

ARTICOLO n°40

"NEARLY-ZERO ENERGY BUILDINGS: COST-OPTIMAL ANALYSIS OF BUILDING ENVELOPE CHARACTERISTICS"

Autore: Loukaidou K., Michopoulos A., Zachariadis Th.

Sede editoriale: Procedia Environmental Sciences 38, pp. 20-27

Anno di pubblicazione: 2017

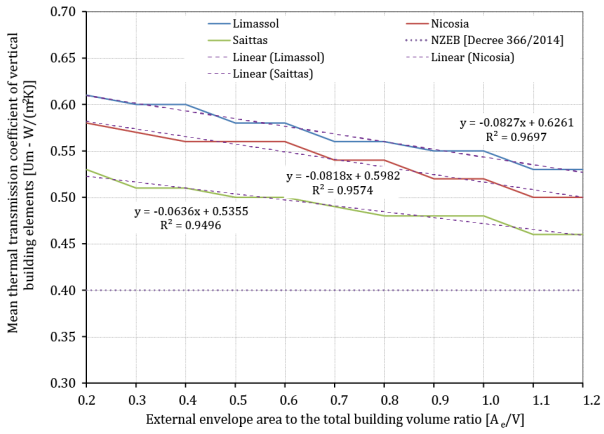
PAROLE CHIAVE (da documento): Nearly Zero Energy Building, building envelope, cost-benefit analysis, thermal insulation, glazing properties, energyPlus
APPROCCI METODOLOGICI: Calcolo costo globale
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio residenziale

ABSTRACT (sintesi)

Il consumo di energia nel settore dell'edilizia continua ad aumentare in tutto il mondo e, pertanto, la determinazione delle soluzioni ottimali in termini di costi per edifici a energia quasi zero rappresenta una seria sfida. Il presente studio si concentra sulle caratteristiche termiche ottimali dell'involucro dell'edificio, tra cui l'isolamento termico su parete, tetto e piano terra, nonché le proprietà ottimali della finestra, al fine di ottenere edifici a energia quasi zero nelle condizioni climatiche di Cipro. Una procedura scientifica sistematica e robusta è stata adattata per determinare i livelli di rendimento energetico che portano al costo minimo del ciclo di vita. Sono state eseguite simulazioni energetiche di diversi edifici di celle di prova di riferimento, sulla base della superficie esterna dell'involucro rispetto al rapporto totale del volume dell'edificio, e sono stati calcolati i livelli di prestazione ottimali prendendo in considerazione tre diverse aree climatiche di Cipro.

SINTESI DEI CONTENUTI

L'obiettivo di questo studio è investigare e analizzare i livelli ottimali di prestazione energetica con un approccio ottimale ai costi in linea con l'EPBD recast e i requisiti nZEB. Secondo la metodologia, sono state individuate due principali variabili di progettazione energetica relative all'involucro edilizio al fine di ottenere i livelli ottimali di prestazione energetica: la trasmittanza termica degli elementi esterni dell'edificio tra cui parete, tetto e piano terra, e le caratteristiche termiche della fenestrazione esterna. L'analisi di ogni edificio test-cell di riferimento è stata suddivisa in tre fasi: la valutazione energetica, la valutazione del cost-optimal e calcoli del livello di prestazione energetica ottimale. La valutazione energetica è stata condotta mediante il software di simulazione dinamica dell'energia EnergyPlus, considerando come variabili lo spessore dell'isolamento esterno della parete esterna, del tetto e del piano terra e le caratteristiche termo-ottiche. Il quadro metodologico del regolamento europeo 244/2012/UE è stato eseguito per calcolare il valore attuale netto (NPV) e valutare i livelli di prestazione energetica ottimali in termini di costi degli edifici delle celle di prova di riferimento attraverso il calcolo del costo globale. L'ultima fase del metodo di ottimizzazione era il calcolo dei livelli di prestazione energetica degli edifici testati delle celle di riferimento esaminati.



I coefficienti di trasmissione termica media ottimale per gli elementi di costruzione verticali [Um] in relazione all'area esterna al rapporto totale del volume dell'edificio A_e/V, pag.26.

ARTICOLO n°41

"ASSESSMENT OF COST OPTIMAL SOLUTIONS FOR HIGH PERFORMANCE MULTI-FAMILY BUILDINGS IN IRAN"

Autore: Mohammadhossein Alvand, Zahra Gholami, Maria Ferrara, Enrico Fabrizio

Sede editoriale: Procedia Environmental Sciences 111, pp. 318-327

Anno di pubblicazione: 2017

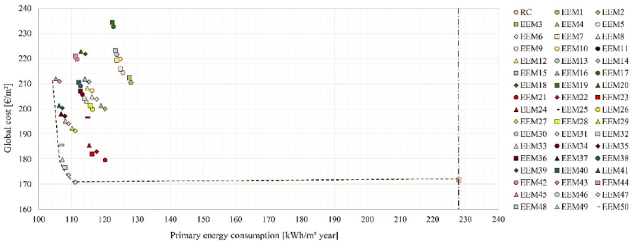
PAROLE CHIAVE (da documento): high performance, buildings simulation, energy efficiency measures, cost optimal level, energy performance, multi-family building
APPROCCI METODOLOGICI: Calcolo costo globale
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio residenziale

ABSTRACT (sintesi)

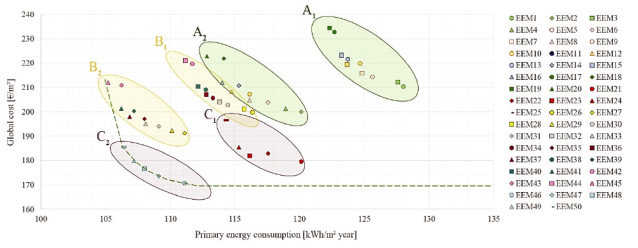
Secondo i parametri internazionali proposti per la riduzione della domanda di energia, il governo iraniano, per limitare la crescita della domanda energetica interna, ha fissato alcune politiche di efficienza energetica. A questo proposito, questo studio propone varie soluzioni per studiare la fattibilità di migliorare le prestazioni di un tipico edificio plurifamiliare esistente nel contesto iraniano, per ottenere un rendimento elevato con livelli adeguati di costi ottimali di rendimento energetico utilizzando l'approccio del costo globale definito dalla legislazione dell'UE. Precisamente 50 diversi pacchetti di misure di efficienza energetica sono stati analizzati in termini di prestazioni economiche ed energetiche tenendo conto degli effetti del diverso isolamento termico dell'involucro, del sistema di ombreggiamento, dei tipi di finestre e dei sistemi altamente efficienti oltre alla fonte di energia solare rinnovabile.

SINTESI DEI CONTENUTI

Il presente studio si propone di studiare le prestazioni energetiche e le soluzioni ottimali in termini di costi per un edificio plurifamiliare in un contesto iraniano seguendo l'approccio europeo ottimale sotto il profilo dei costi e tenendo conto della legislazione iraniana. L'edificio analizzato è un edificio plurifamiliare multipiano situato a Shiraz. I principali passaggi per trovare le soluzioni ottimali in termini di costi prevedono la definizione di misure di efficienza energetica (EEM) riguardante l'involucro dell'edificio, i sistemi energetici e lo sfruttamento delle fonti energetiche rinnovabili, la valutazione delle prestazioni energetiche di diversi pacchetti di EEM e valutazione dell'impatto di tali misure sulla prestazione energetica e il calcolo del costo globale di ciascun pacchetto di EEM e definizione del livello ottimale di costo. Per calcolare la quantità precisa di energia richiesta per il riscaldamento e il raffreddamento relativi a ciascun pacchetto di EEM, la valutazione energetica è stata eseguita tramite il software di simulazione dinamica EnergyPlus. Questo è uno dei primi studi di questo tipo in contesto iraniano che prende in considerazione contemporaneamente l'efficienza energetica e l'ottimizzazione dei costi, utilizzando il quadro metodologico comparativo definito per il contesto europeo. I risultati rivelano che edifici multi-familiari ad alte prestazioni in Iran e in tutte le condizioni climatiche simili possono essere raggiunti con sistemi energetici avanzati, un livello medio di isolamento termico, collettori solari termici e con un gran numero di pannelli fotovoltaici, anche se il livello ottimale dei costi dipende direttamente da adeguate sovvenzioni finanziarie e politiche governative sul prezzo dell'elettricità rinnovabile.



Costo globale rispetto al consumo di energia primaria netto dell'edificio in analisi e delle altre EEMs, pag. 325.



Impatto di varie soluzioni di sistema su scala più ampia, pag. 326.

ARTICOLO n°42

"PROBABILISTIC LIFE CYCLE COSTING OF EXISTING BUILDINGS RETROFIT INTERVENTIONS TOWARDS nZE TARGET: METHODOLOGY AND APPLICATION EXAMPLE"

Autore: E. Di Giuseppe, M. Iannaccone, M. Telloni, M. D'Orazio, C. Di Perna

Sede editoriale: Energy & Buildings 144, pp. 416-432

Anno di pubblicazione: 2017

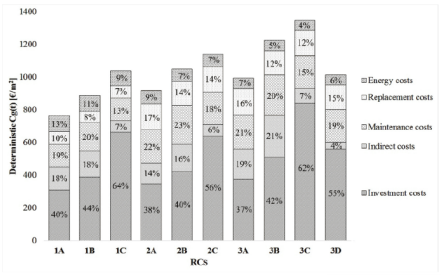
PAROLE CHIAVE (da documento): nZEB, building retrofit, energy efficiency, life Cycle Costing, global Cost, probabilistic assessment, uncertainty analysis, Sensitivity analysis
APPROCCI METODOLOGICI: Calcolo costo globale, sensitivity analysis, Monte Carlo Simulation
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio residenziale

ABSTRACT (sintesi)

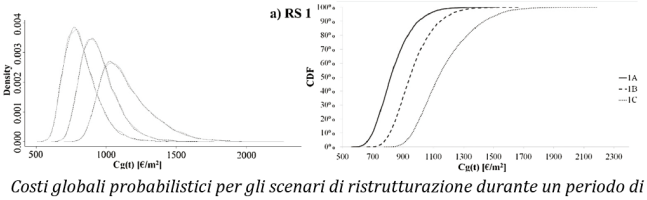
Una delle principali sfide per il raggiungimento degli standard nZE negli edifici esistenti è la questione economica: l'evidenza di guadagni monetari dei risparmi energetici a fronte di elevati costi di investimento sembra ancora piuttosto limitata agli occhi degli investitori. In questo contesto, i metodi LCC hanno acquisito molta importanza negli ultimi anni. Tuttavia, presentano una limitazione dovuta alle notevoli semplificazioni e ipotesi solitamente fatte per i parametri di input che possono influenzare i risultati. Per superare questo limite, questo lavoro suggerisce un LCC probabilistico basato sull'incertezza e l'analisi della sensibilità tramite metodi Monte Carlo e lo illustra attraverso un caso studio di costruzione in diversi scenari di retrofit avvistando l'obiettivo nZEB. Il documento dimostra le potenzialità di un LCC probabilistico nel fornire un supporto decisionale realistico per gli investimenti per progetti efficienti dal punto di vista energetico.

SINTESI DEI CONTENUTI

Questo lavoro propone una metodologia probabilistica LCC basata sull'analisi dell'incertezza e della sensibilità tramite l'approccio Monte Carlo. La metodologia consente di confrontare gli EEM alternativi sulla base della domanda di energia primaria e dei costi globali identificando l'alternativa più efficace minimizzando la probabilità di superare le soglie di costo. La metodologia è illustrata attraverso una edificio unifamiliare caso-studio con diversi scenari di rinnovamento energetico che avvistano l'obiettivo nZEB. L'approccio probabilistico al LCC richiede di quantificare le funzioni di densità di probabilità dei parametri (PDF) di input del modello per condurre il calcolo in termini probabilistici e per formare la simulazione Monte Carlo. Poiché la qualità del risultato (PDF del costo globale) dipende dal numero di simulazioni effettuate e dallo schema di campionamento utilizzato, in questo lavoro si utilizzano le sequenze di Sobol come tecnica di campionamento quasi casuale, al fine di generare campioni il più uniformemente possibile ed eseguire efficacemente l'analisi di sensibilità attraverso la decomposizione basata sulla varianza. Come conseguenza della procedura i costi globali risultanti nell'analisi probabilistica devono essere valutati in base alla sua distribuzione probabilistica. Attraverso la Sensitivity Analysis, si ottengono due serie di indici di sensibilità per ciascun input: il "primo ordine" e Indici "total order". Inoltre, lo studio ha evidenziato l'importanza della durata dei componenti, a causa dell'impatto significativo dei possibili costi di sostituzione sui risultati e di una tendenza particolare per i relativi indici di sensibilità, a causa dei prelievi di input durante il processo MC quando la durata del componente è vicino al periodo di calcolo LCC selezionato.



Elementi di costo individuali della valutazione deterministica dei costi globali per ciascun caso di ristrutturazione durante un periodo di calcolo di 30 anni, pag. 422.



Costi globali probabilistici per gli scenari di ristrutturazione durante un periodo di calcolo di 30 anni. Funzioni di densità di probabilità ottenute dal campionamento Sobol (linee continue) e dalle simulazioni BRS di riferimento (linee tratteggiate) e Funzioni di distribuzione cumulativa, pag. 425.

ARTICOLO n°43

"COST-OPTIMAL ENERGY EFFICIENCY LEVELS ARE THE FIRST STEP IN ACHIEVING COST EFFECTIVE RENOVATION IN RESIDENTIAL BUILDINGS WITH A NEARLY-ZERO ENERGY TARGET"

Autore: M. Ferreira, M. Almeida, A. Rodrigues

Sede editoriale: Energy & Buildings 133, pp. 724 -737

Anno di pubblicazione: 2016

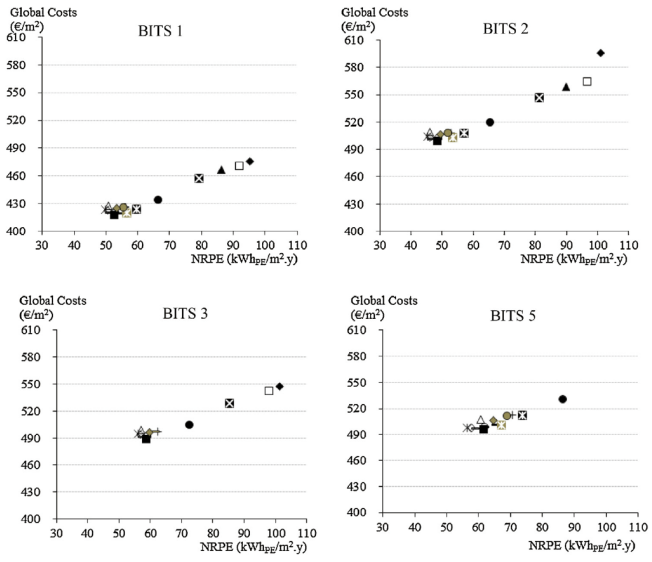
PAROLE CHIAVE (da documento): cost-optimality, nZEB, cost effectiveness, energy savings, residential buildings, climatic zones, Portugal
APPROCCI METODOLOGICI: Calcolo costo globale
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio residenziale

ABSTRACT (sintesi)

In Europa, gli ultimi aggiornamenti della direttiva sulle prestazioni energetiche degli edifici hanno introdotto concetti duplici, vale a dire il fabbisogno energetico ottimale in termini di costi e gli edifici a energia quasi zero (nZEB). Sebbene questi concetti siano correlati, il costo ottimale si concentra sui costi, mentre il nZEB dà la priorità alle prestazioni energetiche e all'uso delle energie rinnovabili raccolte sul posto. Per comprendere come questi due concetti possano essere articolati per potenziare il risparmio energetico nello stock di edifici portoghesi, sono stati analizzati edifici di riferimento rappresentativi dello stock di edifici residenziali. Ciò ha permesso di confrontare i pacchetti di rinnovo ottimizzati in termini di costi con quelli che portano a livelli di energia quasi pari a zero, con i costi più bassi. Questa valutazione chiarisce su quanto sia possibile procedere in modo economicamente vantaggioso in un processo di ristrutturazione quando l'obiettivo è zero energia.

SINTESI DEI CONTENUTI

Al fine di confrontare e valutare i diversi possibili pacchetti di rinnovo, è stata sviluppata una LCCA dei diversi scenari possibili per selezionareil livello più vantaggioso delle prestazioni energetiche. Per ogni scenario di ristrutturazione, viene calcolato l'utilizzo di energia primaria non rinnovabile (NRPE) e il valore attuale netto (NPV) dei costi globali per la durata del calcolo. I costi globali comprendono i costi di investimento, i costi di manutenzione, i costi di sostituzione e i costi energetici. I calcoli energetici hanno seguito il regolamento portoghese per le prestazioni termiche degli edifici residenziali secondo la norma ISO 13790, determinando gli intervalli complessivi annuali di utilizzo dell'energia dell'energia primaria. I costi di investimento e manutenzione sono stati calcolati utilizzando il software Cype® che genera prezzi per i lavori di costruzione in Portogallo. Gli scenari di ristrutturazione derivano dalla combinazione di diversi sistemi tecnici integrati nell'edificio (BITS) con diverse misure di rinnovamento dell'involucro. L'analisi si concentra sul confronto tra le misure di ristrutturazione che raggiungono il livello ottimale dal punto di vista del costo avvicinandosi al target nZEB.



Confronto tra le misure di ristrutturazione per l'involucro degli edifici, pag. 735.

Questo studio intende contribuire efficacemente allo sviluppo della definizione portoghese nZEB sotto la direttiva EPBD e del quadro metodologico dell'UE. In questo contesto, presenta la limitazione di considerare solo gli edifici residenziali. Inoltre, essendo mirati a trovare i risultati per essere ampiamente utilizzati nel patrimonio edilizio esistente, i pacchetti di ristrutturazione che sono stati analizzati sono limitati alle misure di ristrutturazione e ai sistemi che sono comunemente usati nell'industria edilizia portoghese odierna.

ARTICOLO n°44

"A SUPPORTING METHOD FOR SELECTING COST-OPTIMAL ENERGY RETROFIT POLICIES FOR RESIDENTIAL BUILDINGS AT THE URBAN SCALE"

Autore: Chiara Delmastro, Guglielmina Mutani, Stefano Paolo Corgnati

Sede editoriale: Energy Policy 99, pp. 42-56

Anno di pubblicazione: 2016

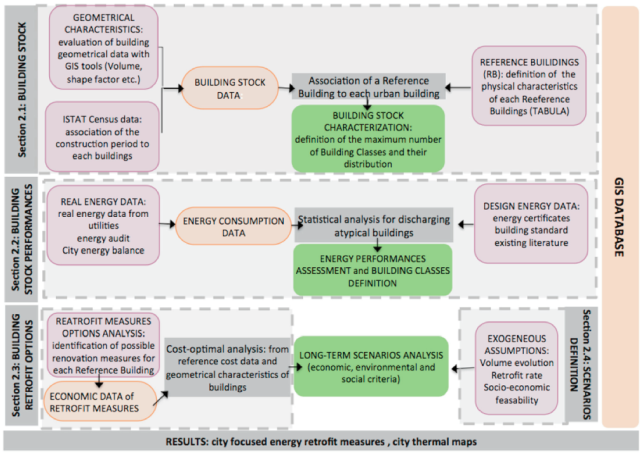
PAROLE CHIAVE (da documento): residential buildings, cost-optimal method, urban scale, space heating, urban energy planning, socio-economic factors
APPROCCI METODOLOGICI: Calcolo costo globale
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio residenziale

ABSTRACT (sintesi)

Al giorno d'oggi, in Europa, la sfida principale non è solo la costruzione di nuovi edifici ad alte prestazioni, ma anche la promozione di adeguate azioni di retrofit sugli edifici esistenti. Per aumentare i risultati raggiunti nei singoli edifici in un gruppo di edifici e per riflettere le dinamiche dello stock di edifici con costi accettabili sono necessari nuovi approcci. Questo documento presenta una nuova metodologia per aiutare i *decision makers* nel processo di pianificazione; l'approccio consente di simulare e analizzare l'evoluzione del patrimonio edilizio da una prospettiva energetica, economica e sociale su orizzonti a lungo termine e si basa su metodologie per la realizzazione di valutazioni delle prestazioni energetiche e sul Sistema Informativo Geografico per la creazione di un database e di mappe tematiche. L'approccio identifica il mix ottimale in termini di costi dei pacchetti di ristrutturazione, e gli edifici che devono essere prioritari e considera l'impatto dei fattori socio-economici.

SINTESI DEI CONTENUTI

Lo scopo di questo articolo è sviluppare una metodologia basata sul sistema di informazione geografica (GIS) per aiutare il processo decisionale nell'esecuzione di una pianificazione energetica a lungo termine considerando il patrimonio reale degli edifici e le caratteristiche della popolazione. Viene proposto un approccio per studiare la fattibilità socioeconomica e l'idoneità tecnica di diverse misure di ristrutturazione a livello urbano. Le valutazioni si basano sui consumi energetici del riscaldamento ambiente (SH) che rappresentano il servizio più energivoro del Nord Italia. La metodologia ottimale in termini di costi proposta nella rifusione EPBD è stata applicata a tutti gli edifici di riferimento dello stock al fine di indagare qualitativamente sul livello adeguato di prestazione energetica da promuovere. Secondo gli obiettivi del documento, la procedura è suddivisa in 4 fasi principali che consistono in: 1) la caratterizzazione del patrimonio edilizio, la creazione di una piattaforma GIS e l'identificazione degli edifici di riferimento; 2) analisi dei dati delle prestazioni di energia di riscaldamento dell'ambiente monitorato e simulato, associazione delle prestazioni energetiche agli edifici, identificazione del coefficiente di calibrazione urbana e validazione del modello con dati top-down; 3) la definizione di costo urbano ottimale del livello di rendimento energetico e 4) la definizione di fattori di fattibilità socio-economica e analisi di scenari. Questa ricerca rappresenta un primo passo necessario per l'implementazione di future analisi energetiche a livello urbano. Le attività future saranno svolte dal punto di vista del sistema energetico: a volte infatti, ciò che è vantaggioso a livello di edificio non è a livello di sistema e i risultati dovrebbero essere integrati nel sistema energetico.



Flow chart dell'approccio metodologico, pag. 44.

ARTICOLO n°45

"THE COST OPTIMAL METHODOLOGY FOR EVALUATING THE ENERGY RETROFIT OF AN EX-INDUSTRIAL BUILDING IN TURIN"

Autore: Becchio C., Ferrando D.G., Fregonara E., Milano N., Quercia C., Serra V.

Sede editoriale: Energy Procedia 78, pp. 1039-1044

Anno di pubblicazione: 2015

PAROLE CHIAVE (da documento): methodology, retrofit measures, environmental sustainability, economic sustainability, ex-industrial building, dynamic simulation
APPROCCI METODOLOGICI: Calcolo costo globale
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio ex industriale

ABSTRACT (sintesi)
Al giorno d'oggi, la ristrutturazione offre molte sfide e opportunità in un settore in cui la maggior parte dell'energia viene consumata dagli edifici esistenti. Il tasso di sostituzione degli edifici esistenti con i nuovi è intorno all'1-3% annuo. Le azioni di retrofit su larga scala possono determinare significativi risparmi energetici. La definizione dei requisiti minimi di rendimento energetico rappresenta un elemento chiave nei codici edilizi europei. Per questo motivo, la rifusione EPBD ha stabilito che gli Stati membri devono garantire che siano fissati i requisiti minimi di rendimento energetico al fine di raggiungere il livello ottimale di costi. Questo è definito come il livello di prestazione energetica che porta al costo più basso durante il ciclo di vita economico stimato.

SINTESI DEI CONTENUTI
Lo scopo del lavoro è quello di simulare una situazione reale, in cui un potenziale sviluppatore immobiliare consideri l'opportunità di investire in un progetto di retrofit di edifici ex-industriali. L'edificio in analisi è costituito da un edificio a due piani con una torre di tre piani all'estremità ed è situato nella zona nord di Torino. Questa porzione cittadina è caratterizzata da un ambiente urbano industriale con molti spazi vuoti. Attualmente, molti di questi spazi sono oggetto di importanti operazioni di miglioramento. L'edificio analizzato era una fabbrica di cavi elettrici, fabbricata nel 1888. Inizialmente si esegue la valutazione energetica dinamica per determinare l'utilizzo annuale complessivo di energia (compresi riscaldamento e raffreddamento degli spazi, ventilazione, illuminazione, apparecchiature) degli scenari ipotizzati in termini di energia erogata e di energia primaria. La simulazione energetica è stata condotta con riferimento all'uso corrente dell'edificio. L'edificio è diviso in 8 zone termiche. Per ogni scenario è stata condotta una simulazione dettagliata, utilizzando il file meteo IWEC (International Weather for Energy Calculations) di riferimento per Torino recuperato dal database dei file di dati meteorologici di EnergyPlus. Dopo la valutazione energetica, si esegue il calcolo del costo globale per ogni scenario al fine di selezionare lo scenario di costo globale più basso, che rappresenta il livello ottimale dal punto di vista dei costi. In questo modo è possibile analizzare i diversi scenari non solo in termini di consumi energetici, ma anche in quelli economici, che influenzano notevolmente le scelte di intervento degli investitori / utenti.

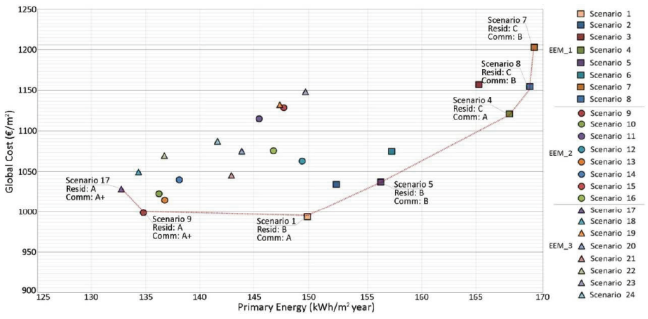


Grafico del cost-optimal, pag. 1043.

ARTICOLO n°46

"COST-OPTIMAL DESIGN FOR NEARLY ZERO ENERGY OFFICE BUILDINGS LOCATED IN WARM CLIMATES"

Autore: Paolo Maria Congedo, Cristina Baglivo, Delia D'Agostino, Ilaria Zacà

Sede editoriale: Energy 91, pp. 967-982

Anno di pubblicazione: 2015

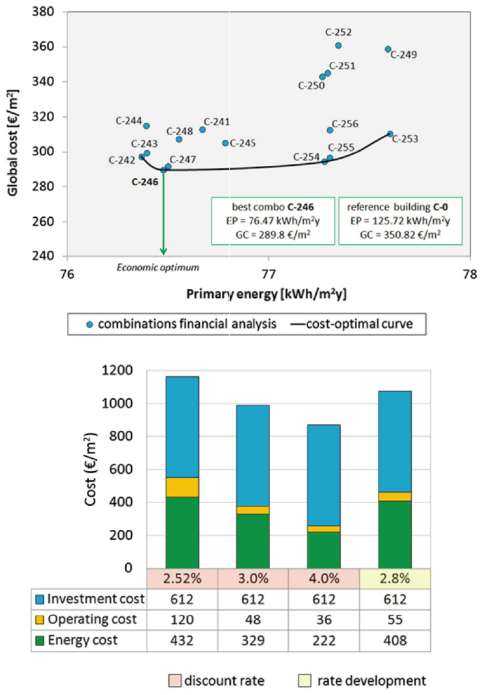
PAROLE CHIAVE (da documento): nearly zero energy buildings, EPBD recast, cost-optimality, energy performance, renewables, office
APPROCCI METODOLOGICI: Calcolo costo globale, sensitivity analysis
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio per uffici

ABSTRACT (sintesi)

Il miglioramento dell'efficienza energetica e l'integrazione delle energie rinnovabili negli edifici sono elementi chiave delle attuali politiche europee. Secondo la rifusione della direttiva EPBD, gli Stati membri devono prendere di mira gli nZEB e i requisiti minimi di rendimento energetico entro un quadro ottimale sotto il profilo dei costi entro il 2020. Questo studio riporta la metodologia comparativa riportata nell'EPBD, finalizzata alla creazione dell'ottimalità dei costi negli edifici per uffici situati in un clima caldo. Un certo numero di misure di efficienza energetica sono state selezionate e applicate alla dotazione e ai sistemi di un edificio per uffici di riferimento virtuale. Le caratteristiche tecniche e i calcoli delle prestazioni energetiche sono stati valutati per le configurazioni ottenute. Il consumo di energia primaria e i costi globali sono stati ricavati per identificare la configurazione ottimale dal punto di vista dei costi da un'analisi finanziaria e macroeconomica.

SINTESI DEI CONTENUTI

Questo studio è utile per supportare la progettazione di nZEB, per guidare le decisioni di investimento in base ai requisiti nazionali e per identificare le soluzioni ottimali in termini di prestazioni energetiche elevate e costi globali per il clima caldo e consente di ridurre la domanda di raffreddamento migliorando le condizioni termiche interne e utilizzando le risorse locali. Le fasi principali della metodologia comprendono la definizione dell'edificio di riferimento, l'identificazione delle misure di efficienza energetica, la creazione di varianti tecniche e combinazioni e la valutazione delle prestazioni energetiche e dei costi globali con analisi di sensibilità. Questa procedura ha permesso la progettazione di edifici per uffici a energia quasi zero, ottimali in termini di costi, situati in un clima caldo. Le misure tecnologiche efficienti sotto il profilo energetico devono essere applicate correttamente all'edificio di riferimento al fine di ridurre la sua domanda di energia. Diversi tipi di pareti, finestre e sistemi tecnici sono stati considerati come varianti per ottenere combinazioni altamente efficienti da confrontare in termini di prestazioni energetiche. L'ottimizzazione del consumo energetico dei sistemi HVAC e l'utilizzo di fonti rinnovabili sono un modo utile per ridurre i gas serra, i costi globali e l'inquinamento. Viene utilizzato un metodo di calcolo dinamico per la valutazione del consumo di energia di tutti gli usi principali per il fabbisogno energetico di riscaldamento e raffreddamento.



Curva costo-ottimale per le migliori sedici configurazioni e analisi della sensibilità del migliore , pag. 977.

ARTICOLO n°47

"IMPLEMENTING COST-OPTIMAL METHODOLOGY IN EXISTING PUBLIC BUILDINGS"

Autore: L. Aelenei, S. Paduos, H. Petran, J. Tarrés, A. Ferreira, V. Corrado, S. Camelo et al.

Sede editoriale: Energy Procedia 78, pp. 2022-2027

Anno di pubblicazione: 2015

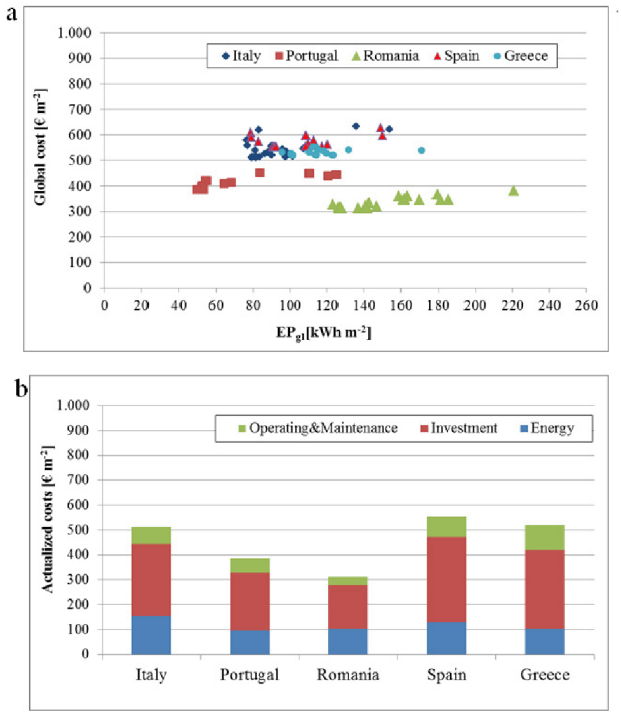
PAROLE CHIAVE (da documento): public building, nZEB, cost-optimal
APPROCCI METODOLOGICI: Calcolo costo globale
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio pubblico

ABSTRACT (sintesi)

Questo studio presenta alcuni risultati preliminari di un progetto europeo in corso, RePublic_ZEB, in cui viene condotta un'analisi per identificare i livelli ottimali di costo per gli edifici esistenti, verso le prestazioni di quasi zero edifici energetici (nZEB). L'analisi viene applicata all'edificio di riferimento per un edificio per uffici esistente in cinque diversi paesi: Italia, Portogallo, Romania, Spagna e Grecia. Lo strumento di valutazione utilizza una nuova procedura di ottimizzazione dei costi basata su una tecnica di ottimizzazione sequenziale della ricerca considerando l'applicazione di opzioni discrete e i risultati saranno presentati in termini di "pacchetto di misure" ottimali, consumo energetico e costi globali. Infine verrà eseguita un'analisi cross-country.

SINTESI DEI CONTENUTI

Il presente articolo fornisce alcuni dei risultati preliminari della metodologia applicata per l'identificazione dei livelli ottimali in termini di costi dei requisiti di rendimento energetico per cinque studi di casi: Italia, Portogallo, Romania, Spagna e Grecia. La metodologia è applicata a un edificio pubblico esistente di riferimento rappresentato dalla tipologia di ufficio, selezionato all'interno del progetto RePublic_ZEB. La nuova procedura di ottimizzazione dei costi energetici basata su una tecnica di ottimizzazione sequenziale della ricerca è stata utilizzata e applicata all'edificio di riferimento, per calcolare la prestazione energetica ottimale in termini di costi. La procedura si riferisce al modello sviluppato negli Stati Uniti. L'ottimizzazione dei costi è stata applicata al caso studio di riferimento comune considerando le differenze tra i cinque paesi in termini di: EEM, dati meteorologici (Milano, Lisbona, Bucarest, Barcellona e Atene), prezzo dell'energia e indicatori di energia primaria. Vengono calcolate le prestazioni energetiche degli edifici mediante lo standard EN15603:2008, che fornisce una procedura generale per valutare il fabbisogno di energia primaria considerando anche l'energia rinnovabile generata e localmente utilizzata. Lo studio sottolinea l'importanza di una definizione dettagliata delle misure di efficienza energetica e dei costi riferiti e dei costi energetici, in base all'utilizzo finale dell'edificio per ciascun paese.



(a) applicazione della procedura di ottimizzazione. (b) costi attualizzati della soluzione ottimale di costo, pag. 2027.

ARTICOLO n°48

"COST OPTIMAL RETROFITTING OF SHOPPING MALLS IN EUROPE"

Autore: Matthias Haase, Nicola Lolli, Kristian Stenerud Skeie, Federico Noris

Sede editoriale: Energy Procedia 78, pp. 2058-2063

Anno di pubblicazione: 2015

PAROLE CHIAVE (da documento): ergy retrofitting, cost optimal, performance simulation
APPROCCI METODOLOGICI: Calcolo costo globale
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio commerciale

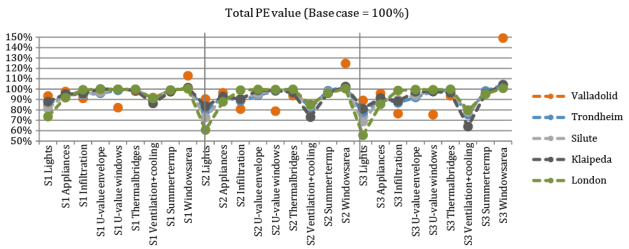
ABSTRACT (sintesi)

Lo scopo di questo studio è valutare le possibili azioni di retrofit con una visione ottimale dal punto di vista dei costi per i gestori dei centri commerciali. L'ottimizzazione dei costi è stata analizzata con strumenti di valutazione all'avanguardia, tenendo conto delle esigenze iniziali, operative e di manutenzione. Sono stati raccolti i costi delle misure di ammodernamento e sono state correlate misure di risparmio energetico.

Per ogni edificio sono stati calcolati i risparmi di energia e di energia primaria (PE) per un ampio numero di pacchetti che rappresentano "pratiche correnti", "migliori pratiche" e "soluzioni state of art". Dai risultati per tutti gli edifici di riferimento sono stati identificati i parametri più performanti rispetto al risparmio di energia primaria e ai valori attuali.

SINTESI DEI CONTENUTI

L'obiettivo di questo studio è valutare le possibili azioni di retrofit con una visione ottimale dal punto di vista dei costi per i gestori dei centri commerciali. L'ottimizzazione dei costi è stata analizzata con strumenti di valutazione all'avanguardia, tenendo conto delle esigenze iniziali, di gestione e di manutenzione. Per questo edificio di riferimento sono stati calcolati la domanda di energia e l'approvvigionamento energetico per un ampio numero di pacchetti che rappresentano "pratiche correnti", "migliori pratiche" e "soluzioni state of art". In seguito sono stati valutati i corrispondenti costi di investimento, i costi energetici e gli altri costi di gestione dei pacchetti pertinenti applicati agli edifici di riferimento selezionati. Dalla curva dei costi dei pacchetti per un edificio di riferimento è stato individuato il pacchetto con le migliori prestazioni in termini di energia erogata, energia primaria ed emissioni di CO_2 e il fabbisogno energetico ottimale per una media ponderata di tutti i tipi di riferimento per segmento di mercato. Al fine di proporre pacchetti di retrofitting ottimali in termini di costi, è necessaria un'analisi approfondita delle singole variabili del sotto-pacchetto,



Energia primaria totale (PE) di tutte le combinazioni di variabili e insiemi. I valori sono espressi come il rapporto tra il PE dei casi selezionati e il PE del caso base, pag. 2062.

utile per valutare quali variabili influiscono maggiormente sui risparmi energetici dei centri commerciali. Infine, viene eseguita un'analisi dei costi di ogni singola variabile per valutare l'economicità di ciascuna soluzione. In tal modo, è possibile stimare l'efficacia di diversi set di miglioramento e valutare gli effetti benefici in termini di costi e risparmi energetici.

ARTICOLO n°49

"COST-EFFECTIVE RENOVATION OF A MULTI RESIDENTIAL BUILDING IN SPAIN THROUGH THE APPLICATION OF THE IEA ANNEX 56 METHODOLOGY"

Autore: Silvia Domingo-Irigoyen, Ana Sánchez-Ostiz, Jorge San Miguel-Bellod

Sede editoriale: Energy Procedia 78, pp. 2385-2390

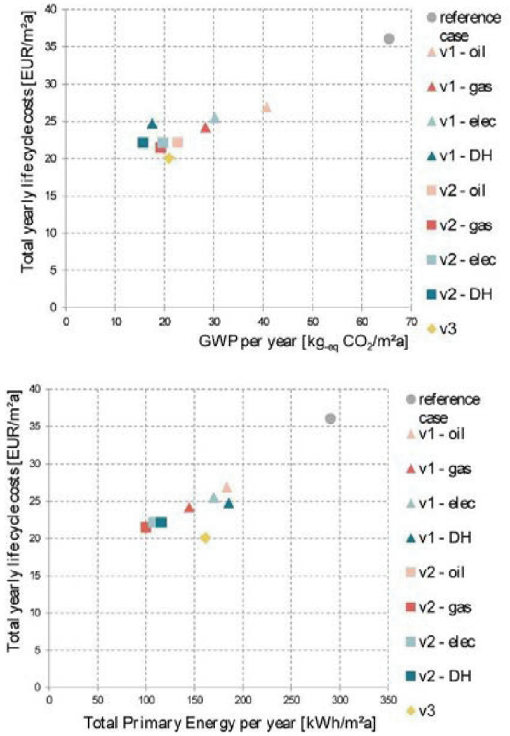
Anno di pubblicazione: 2015

PAROLE CHIAVE (da documento): building renovation, cost-effectiveness, carbon emissions optimization, EPDB, case study, district heating, envelope refurbishment
APPROCCI METODOLOGICI: Calcolo costo globale, Life Cycle Impact Assessment (LCIA)
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio residenziale

ABSTRACT (sintesi)
Questo documento presenta l'applicazione della metodologia sviluppata nell'Annex 56 dell'AIE ad un caso studio situato a Tudela, nel nord della Spagna. Il costo del ciclo di vita e la valutazione di impatto di tre scenari di ristrutturazione (compresi i diversi tipi di sistemi di riscaldamento in due di essi) e un caso di riferimento sono stati valutati. I risultati mostrano che tutti gli scenari di ristrutturazione studiati sono economicamente vantaggiosi, raggiungendo almeno una riduzione della domanda di riscaldamento del 40%. Il rinnovamento effettivamente eseguito, se sono installate ulteriori fonti rinnovabili sul posto, costituisce lo scenario più conveniente; tuttavia una ristrutturazione più profonda ha un consumo energetico finale inferiore e le emissioni di carbonio associate.

SINTESI DEI CONTENUTI

L'oggetto di studio è un edificio multi-residenziale con 20 abitazioni del 1970 situatonel nord della Spagna e rinnovato nel 2011. Per identificare il costo ottimale, gli studi parametrici di rinnovamento per calcolare il Life Cycle Cost (LCC) e Life Cycle Impact Analysis (LCIA) sono stati eseguiti in conformità con la metodologia sviluppata nel progetto. Prima di tutto, sono stati definiti tre pacchetti di rinnovamento più uno scenario di riferimento. Questi pacchetti di ristrutturazione includono diversi livelli di efficienza energetica, fonti di energia per il riscaldamento e l'acqua calda per usi domestici e ventilazione. La metodologia sviluppata in questo progetto consente il confronto di diversi scenari di ristrutturazione. Tuttavia nel processo decisionale altri aspetti, come la situazione sociale ed economica degli occupanti e i benefici collaterali del rinnovamento, devono essere presi in considerazione al fine di garantire il successo dell'intervento. Nell'edilizia popolare è necessario un profondo rinnovamento affinché gli occupanti possano permettersi l'uso del riscaldamento ed evitare il degrado urbano. In questo caso, la ristrutturazione che comprende l'installazione di ulteriori fonti rinnovabili sul posto costituisce lo scenario più conveniente. Pertanto, nonostante il budget limitato di questo rinnovamento, è stato usato saggiamente sfruttandolo al meglio.



(a) Curva totale dei costi del ciclo di vita annuo in termini di GWP; (b) Curva totale dei costi del ciclo di vita annuale in termini di energia primaria totale, pag. 2389.

ARTICOLO n°50

"ASSESSMENT OF COST-OPTIMAL ENERGY PERFORMANCE REQUIREMENTS FOR THE ITALIAN RESIDENTIAL BUILDING STOCK "

Autore: Vincenzo Corrado, Ilaria Ballarini, Simona Paduos

Sede editoriale: Energy Procedia 45, pp. 443-452

Anno di pubblicazione: 2014

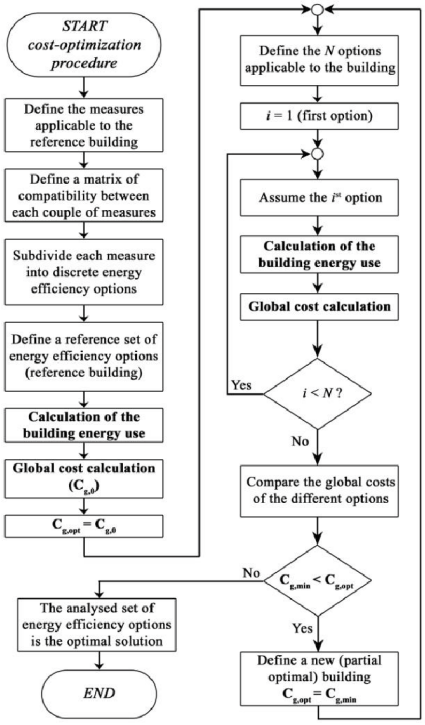
PAROLE CHIAVE (da documento): cost-optimal methodology, energy performance assessment, simplified energy model, reference building
APPROCCI METODOLOGICI: Calcolo costo globale
AMBITI / OGGETTI DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO: Edificio residenziale

ABSTRACT (sintesi)

La direttiva 2010/31 / UE stabilisce che gli Stati membri devono garantire che siano fissati requisiti minimi di rendimento energetico per gli edifici al fine di raggiungere livelli ottimali in funzione dei costi. Il documento presenta una metodologia per identificare i livelli ottimali in termini di costi per lo stock di edifici residenziali italiani, seguendo le linee guida che accompagnano il regolamento delegato della Commissione n. 244/2012. La metodologia è applicata a un edificio di riferimento del progetto IEE-TABULA e prende in considerazione diverse misure di efficienza energetica. Le prestazioni energetiche e i calcoli dei costi globali vengono eseguiti secondo UNI / TS 11300 e UNI EN 15459, rispettivamente. Viene applicata una nuova procedura di ottimizzazione dei costi basata su una tecnica di ottimizzazione della ricerca sequenziale che considera le opzioni discrete.

SINTESI DEI CONTENUTI

Il presente articolo fornisce una metodologia per identificare i livelli ottimali in termini di costi dei requisiti di prestazione energetica per lo stock di edifici residenziali italiani. La metodologia è applicata a un edificio di riferimento selezionato nell'ambito del progetto di ricerca europeo IEE-TABULA. La nuova procedura di ottimizzazione dei costi energetici si basa su una tecnica di ottimizzazione sequenziale della ricerca sviluppata negli Stati Uniti. Il metodo considera, per ciascuna misura di efficienza energetica, un numero discreto di opzioni descritte mediante parametri pertinenti. Vengono applicati e confrontati diversi pacchetti di misure di efficienza energetica: ogni pacchetto è un insieme di opzioni di efficienza energetica. Un pacchetto di riferimento di opzioni di efficienza energetica è assunto come punto di partenza del calcolo dell'ottimizzazione; il costo associato a ciascun pacchetto di opzioni di efficienza energetica è definito rispetto al set di riferimento. Successivamente, la procedura consente di identificare una sequenza di configurazioni che costituiscono gli "optimum parziali". Per passare da un parziale ottimale a quello successivo, tutti i parametri che caratterizzano i livelli di ogni misura di efficienza energetica vengono modificati uno alla volta. I risultati dimostrano l'efficacia della metodologia proposta, che consente di tenere conto simultaneamente di diverse soluzioni tecnologiche con un elevato numero di opzioni di efficienza energetica.



Flow chart della procedura di ottimizzazione dei costi, pag. 447.

BIBLIOGRAFIA

AELENEI L., PADUOS S., PETRAN H., TARRES J., FERREIRA A., CORRADO V., et al., (2015), *Implementing Cost-optimal methodology in existing public buildings*, Energy Procedia 78

ALVAND M., GHOLAMI Z., FERRARA M., FABRIZIO E., (2017), *Assessment of cost optimal solutions for high performance multy-family buildings in Iran*, Environmental Sciences 111

ASCIONE F., BIANCO N., DE STASIO C., MAURO G.M., VANOLI G.P., (2017), *A new comprehensive approach for cost optimal building design integrated with the multy-objective model predictive control of HVAC systems*, Sustainable Cities and Society 31

BAHADIR U., THOMOLLARI X., TOGAN V., (2018), *Evaluation of energy - cost efficient design alternatives for residential building*, Journal of Construction Engineering, Management & Innovation, Vol. 1

BECCHIO C., FERRANDO D.G., FREGONARA E., MILANO N., QUERCIA C., SERRA V., (2015), *The cost otpimal methodology for evaluating the energy retrofit on an ex-industrial building in Turin*, Energy Procedia 78

BELLIA L., BORRELLI M., DE MASI R.F., RUGGIERO S., (2018), *University building: energy diagnosis and refurbishment design with Cost-optimal approach. Discussion about the effect of numerical modelling assumption*, Journal of Building Engineering 18

CARPINO C., BRUNO R., ARCURI N., (2018), *Social housing refurbishment in Mediterranean climate: Cost-optimal analysis towards the nZEB target*, Energy & Buildings 174

CHEN S., GUAN J., LEVINE D.M., HAIYING L., YOWARGANA P., (2015), *Evaluation on retrofit of one existing residential building in North China: energy saving, environmental and economic benefit*, Energy Procedia 121

CONGEDO P.M., BAGLIVO C., D'AGOSTINO D., ZACA' I., (2015), *Cost-optimal design for nearly zero energy office buildings located in warm climates*, Energy 91

CORRADO V., BALLARINI I., PADUOS S., (2014), *Assessment of cost-optimal energy performance requirements for the italian residential building stock*, Energy Procedia 45

DELMASTRO C., MUTANI G., CORGNATI S.P., (2016), *A supporting method for selecting cost-optimal energy retrofit policies for residencial buildings at the urban scale*, Energy Policy 99

DI GIUSEPPE E., IANNACCONE M., TELLONI M., D'ORAZIO M., DI PERNA C., (2017), *Probabilistic Life Cycle Costing of existing buildings retrofit interventions towards nZE target: methodology and application example*, Energy & Buildings 144

DOMINGO-IRIGOYEN S., SANCHEZ-OSTIZ A., SAN MIGUEL-BELLOD J., (2015), *Cost-effective renovation of a multi-residential building in Spain through the application of the IEA Annex 56 Methodology*, Energy Procedia 78

FARAHANI A., WALLBAUM H., DALENBACK J., (2018), *Optimized maintenance and renovation scheduling in multyfamily buildings - a systematic approach based on conditions state and LCC of buildings component*, Construction Management and Economics

FERRARA M., FABRIZIO E., (2017), *Cost optimal nZEBs in future climate scenarios*, Energy Procedia 122

FERREIRA M., ALMEIDA M., RODRIGUES A., (2016), *Cost-optimal energy efficiency levels are the first step in achieving cost effective renovation in residential buildings with a nearly-zero energy target*, Energy & Buildings 133

FIRRANTELLO J., BAHNFLETH W., (2017), *Field measurement and modeling of UVC cooling coil irradiation for heating, ventilating and air conditioning energy use reduction - energy, IAQ and ecoonomic modeling*, Science and Technology for the Built Environment

GUARDIGLI L., BRAGADIN M.A., DELLA FORNACE F., MAZZOLI F., PRATI D., (2018), *Energy retrofit alternatives and cost – optimal analysis for large public housing stocks*, Energy & Buildings 166

GUAZZI G., BELLAZZI A., MERONI I., MAGRINI A., (2017), *Refurbishment design through cost-optimal methodology: the case study of a social housing in the northern Italy*, International Journal of Heat and Technology, Vol. 35

HAASE M., LOLLI N., SKELE K. S., NORIS F., (2015), *Cost optimal retrofitting of shopping malls in Europe*, Energy Procedia 78

HARRIS D., FITZGERALD L., (2017), *Life-cycle cost analysis (LCCA): a comparison of commercial flooring*, Facilities Vol. 35

HENDARTI R., (2018), *Life cycle cost comparison study of PV and concrete rooftop in Jakarta*, International Journal of Photoenergy, Vol. 2018

HUANG L., LIU Y., KRIGSVOLL G., JOHANSEN F., (2018), *Life Cycle Assessment and Life Cycle Cost of university dormitories in the southest China: case study of the univerity town of Fuzhou*, Journal of Cleaner Production 173

ISLAM H., JOLLANDS M., SETUNGE S., (2015), *Life Cycle Assessment and Life Cycle Cost implications of residential buildings - a review*, Renewable and Sustainable energy Reviews 42

JACHURA A., (2018), *Environmental - Economic analysis of the heating system for a single family building*, E3S Web Conferences 44

KAMING P., (2017), *Implementation of Life Cycle Costing for a commercial building: case of a residential apartment at Yogyakarta*, MATEC Web of Conferences 138

KARASEKA J., POJAR J., KALOCAI L., HERALOVAA R.S., (2018), *Cost optimum calculation of energy efficiency measures in the Czech Republic*, Energy Policy 123

KON O., (2017), *Determination of optimum thickness using economical analyse for exterior walls of building with different masses*, An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications, Vol.7 n°2

KONSTANTINIDOU C., PAPADOPOULOS A., LANG W., SANTAMOURIS M., (2018), *Life cycle and life cycle cost implications of integrated phase change materials in office buildings*, International Journal of Energy Research

LEE S., JOO J., KIM S., (2018), *Life cycle energy and cost analysis of thin flooring panels with enhanced thermal efficiency*, Journal of Asian Architecture and Building Engineering

LEIGH S., WON J., (2018), *A case study for design decisions on building service system using LCC analysis*, Journal of Asian Architecture and Building Engineering

LIUA L., ROHDIN P., MOSHFEGH B, (2016), *LCC* Assessment and Environmental impacts on the energy renovation on the multy-family building from 1890s, Energy and Buildings 133

LIUA L., ROHDIN P., MOSHFEGHA B., (2018), *Investigating cost-optimal refurbishment strategies for the medieval district of Visby in Sweden*, Energy & Building 158

LIUA M., MI B., (2017), *Life Cycle Cost Analysis of energy-efficient buildings subject to earthquakes*, Energy and Buildings 154

LOUKAIDOU K., MICHOPOULOS A., ZACHARIADIS TH., (2017), *Nearly-zero energy buildings: cost-optimal analysis of building envelope characteristics*, Procedia Environmental Sciences 38

LUAY N., DWAIKAT, KERUN N. ALI, (2018), *Green Buildings life cycle cost analysis and life cycle budget development: practical applications*, Journal of Building Engineering 18

MUMTAAZ SAYED S.S., SAWANT P.H., (2015), *Life-cycle cost and financial analysis of energy components in mass housing projects - a case study in sub-urban India*, International Journal of Sustainable Built Environment 4

ROBATI M., MCCARTY T., KOKOGIANNAKIS G., (2018), *Integrated Life Cycle Cost method for sustainable structural design by focusing on a benchmark office building in Australia*, Economic & Building 166

RODRIGUES C., KIRCHAIN R., FREIRE F., GREGORY J., (2018), *Streamlined anvironmental and cost life-cycle approach for building thermal retrofit: a case of residential buildings in south european climates,* Journal of Cleaner Production 172

SCHMIDTA M., CRAWFORD R., (2017), *Developing an integrated framework for assessing the Life Cycle Greenhouse gas emissions and Life Cycle Cost for buildings*, Procedia Engineering 196

SIMION C.P., NICOLESCU C., CIOC M., (2018), *Selection of energy efficiency projects for dwelling stock to achieve optimal project portfolio at the regional level by applying LCC*, Energies 11

TAGLIABUE L.C., MAININI A.G., CECCONI F., MALTESE S., DE ANGELIS E., ZANI A., (2017), *Thermal and economic efficiency of progressive retrofit strategies for school buildings by a statistical analysis based tool*, Building Simulation, International Building Performance Simulation Association

TOOSI H.A., BALADOR Z., GJERDE M., ALI VAKILI-ARDEBILI, (2018), *A life cycle cost analysis and environmental assessment on the photovoltaic system in buildings: two case studies in Iran,* Journal of Clean Energy Technologies, Vol. 6, n°2

UDAWATTHA C., HALWATURA R., (2017), *Life Cycle Cost of different walling material used for affordable housing in tropics*, Case Studies in Construction Materials 7

VALLEE J.C., FERRARA M., ASTOLFI A., FABRIZIO E., (2017), *Trade-off between sound insulation performance and cost-optimality in a residencial nZEB*, Energy Procedia 140

VAN DEN BOOMEN M., SCHOENMAKER R., WOLFERT A.R.M., (2017), *A Life Cycle Costing approach for discounting in age and interval replacement optimisation models for civil infrastructure assets*, Structure and Infrastructure Engineering Vol.14 n°1

WIRAJATI G.A, SANTOSA D.M.C., MULIATI N.K., (2017), *Audit energy and developing photovoltaic (PV) model for refrigeration laboratory building application*, Proceeding International Joint Conference on Science and Technology (IJCST)

ZEILER W., GVOZDENOVIC K., DE BONT K., MAASSEN W., (2016), T*oward cost-effective nearly zero energy buildings: the Dutch situation*, Science and Technology for the Built Environment 22

ZIEMSKI J., (2018), *The use of LCC method in running cost analysis of a single family house*, Economic and Environmental Studies, Vol. 18 n°1

04

ANALISI DELLA LETTERATURA

4.1 INTRODUZIONE

Il lavoro presentato nei precedenti capitoli si sviluppa attorno al concetto di sostenibilità economica durante l'intero ciclo di vita di un progetto. In particolare, come si evince dal capitolo 1 e dal capitolo 2, gli strumenti presi in considerazione sono l'approccio *Life Cycle Costing* e l'analisi del *Cost Optimal*.

Il tema del LCC è stato ampliamente trattato in letteratura. Questa metodologia è un potente strumento che consente di investigare le tipologie e l'ammontare dei costi sostenuti durante il ciclo di vita di un edificio o di una parte di esso, riconoscendo eventuali benefici derivanti dall'utilizzo di tale approccio. L'analisi del costo nel ciclo di vita è particolarmente utile nelle prime fasi del processo di progettazione, quando vengono confrontate opzioni alternative che soddisfano gli stessi requisiti prestazionali ma differiscono rispetto ai costi iniziali e di gestione per determinare quale sistema influisce sul risparmio netto massimo. La sostenibilità riguarda anche gli aspetti ambientali e sociali oltre quelli economici e gran parte degli studi utilizza la valutazione ambientale del ciclo di vita (LCA) con la valutazione del costo del ciclo di vita (LCCA). Alcuni studi hanno cercato di ottimizzare la progettazione strutturale degli edifici considerandone gli aspetti economici e ambientali, altri si focalizzano sugli impatti ambientali derivanti dalla produzione dei materiali confrontando i parametri di costi con i benefici, altri invece tengono conto dei costi di costruzione e delle quantità di emissioni di CO_2 dei materiali impiegati nel ciclo di vita di un edificio.

L'analisi dei livelli energetici ottimali in termini di costi è altresì importante per i proprietari o per le società che si occupano di patrimoni immobiliari. L'analisi del *Cost-Optimal* mira a individuare la soluzione progettuale ottimale in funzione dei costi, riducendo al minimo i costi globali, relativi sia all'investimento sia al funzionamento degli usi energetici nel corso del ciclo di vita dell'edificio. Come già detto in precedenza, gli Stati Membri sono impegnati a soddisfare i requisiti per il calcolo del livello ottimale utilizzando un quadro metodologico comparativo elaborato dalla Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio sulla prestazione energetica degli edifici, compresi i parametri pertinenti, quali le condizioni climatiche e l'accessibilità pratica delle infrastrutture energetiche.

Nella letteratura si trovano in particolare applicazioni su progetti di retrofit e di edilizia sociale con l'obiettivo di identificare la strategia di intervento ottimale per un miglioramento energetico.

In questo capitolo viene sviluppata un'analisi della letteratura in riferimento ai prodotti bibliografici raccolti e schedati nel capitolo 3. Del contributo bibliografico analizzato che parte dal 2015, vengono evidenziate le diverse declinazioni delle metodologie LCC e *Cost Optimal* e gli oggetti a cui è sottoposta l'analisi.

4.2 SVILUPPO NEL TEMPO DEI PRODOTTI BIBLIOGRAFICI RELATIVI ALLE METODOLOGIE *LIFE CYCLE COSTING* E *COST OPTIMAL*

Il concetto e il calcolo dei costi nel settore edilizio ha assunto un ruolo sempre più centrale negli ultimi anni. Attraverso un'indagine e un'analisi della letteratura si nota che la produzione dei testi e degli articoli scientifici che trattano questo tema è in continua crescita ed evoluzione. Le analisi economiche di un progetto sono decisamente incrementate negli ultimi anni, ma i contenuti della letteratura non trattano più solo l'approccio dell'analisi LCC, ma le analisi dei costi nel ciclo di vita edilizio vengono affiancate e sostenute anche da analisi energetiche, analisi ambientali e analisi dei rischi (Fig 15).

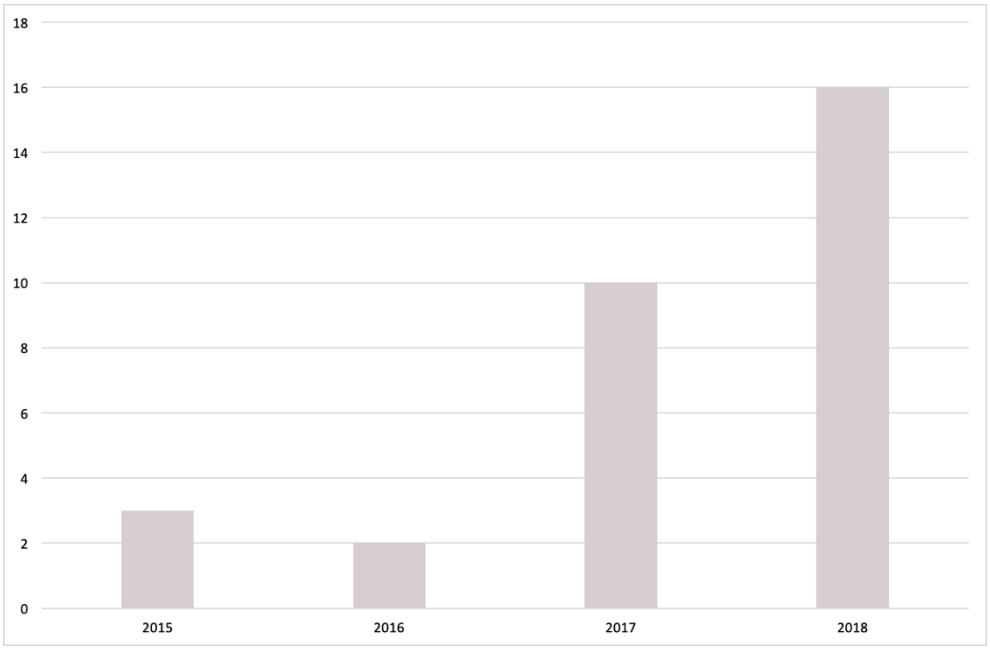


Fig. 14 Distribuzione temporale dei prodotti bibliografici relativi all'analisi LCC dal 2015 ad oggi.
Fonte: elaborazione dell'autrice

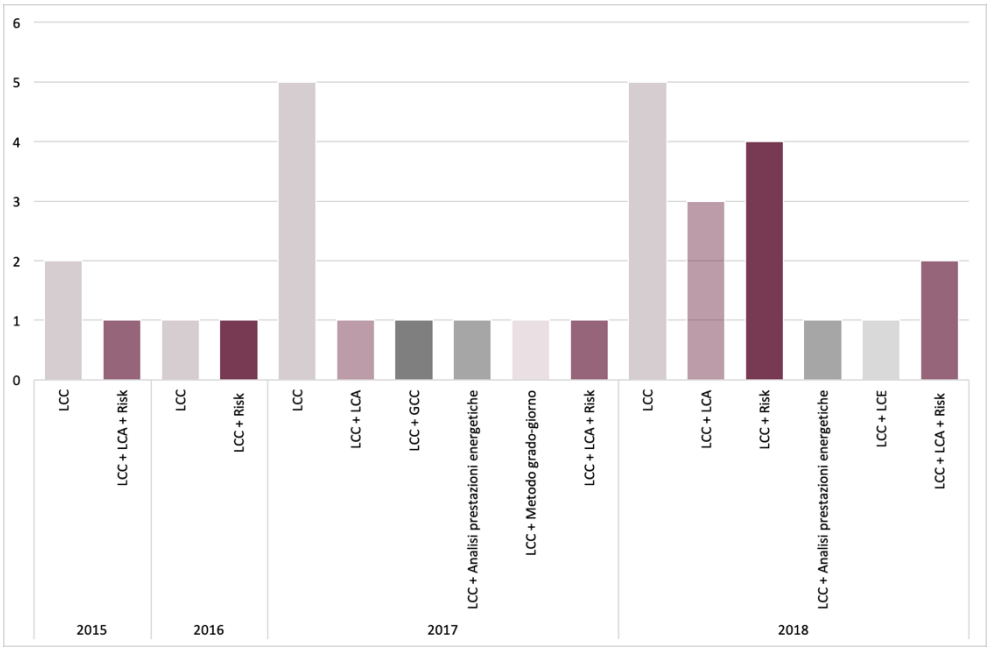


Fig. 15 Metodologia LCC applicata singolarmente/congiuntamente, dal 2015 ad oggi.
Fonte: elaborazione dell'autrice

La valutazione economica è anche la chiave della Direttiva europea 2010/31/EU per il calcolo dei livelli energetici ottimali in funzione dei costi. Il metodo di calcolo del costo globale, definito dalla norma UNI EN 15459:2007, prevede la valutazione dei costi di investimento, dei costi di esercizio che comprendono anche i costi relativi all'energia, dei costi di manutenzione e eventualmente dei costi di smaltimento.

Come si deduce dalla figura x, l'analisi dei costi ottimali viene spesso completata da un'analisi dei rischi, in particolare dall'Analisi della Sensibilità.

Un orientamento del 2012 che accompagna la Direttiva EPBD definisce l'analisi della sensibilità "*una pratica corrente delle valutazioni ex ante quando i risultati sono in funzione di ipotesi su parametri fondamentali il cui andamento futuro può avere un impatto significativo sul risultato finale".* Questa analisi permette quindi di individuare le voci di costo che più influiscono sul costo globale. Si tratta di uno strumento molto utile per il progettista che ha come obiettivo l'identificazione del livello di prestazione energetico ottimale in funzione dei costi.

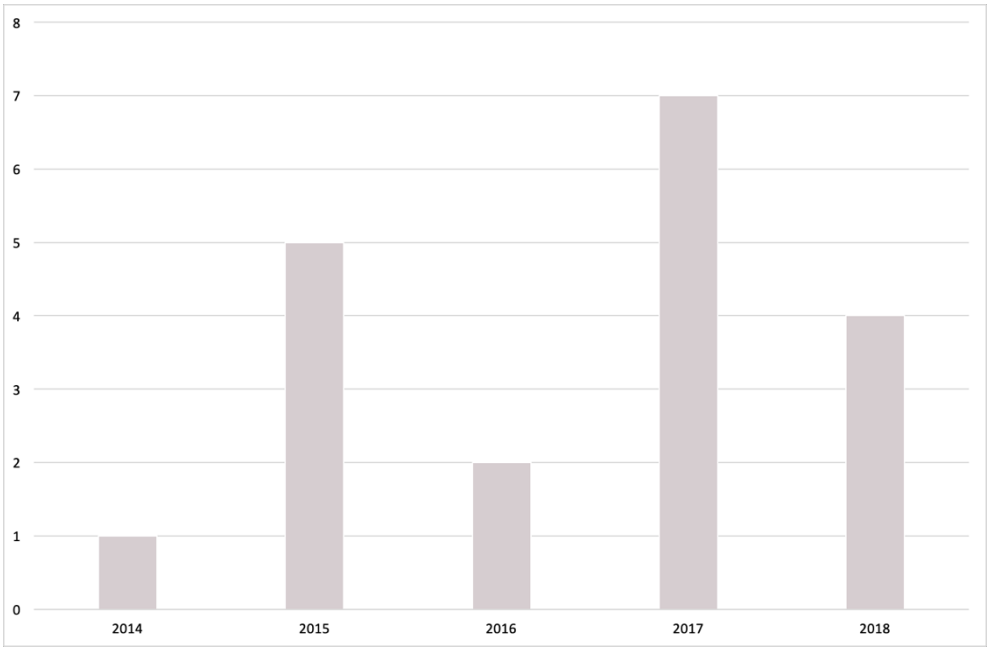


Fig. 16 Distribuzione temporale dei prodotti bibliografici relativi all'analisi *Cost Optimal* dal 2014 ad oggi.

Fonte: elaborazione dell'autrice

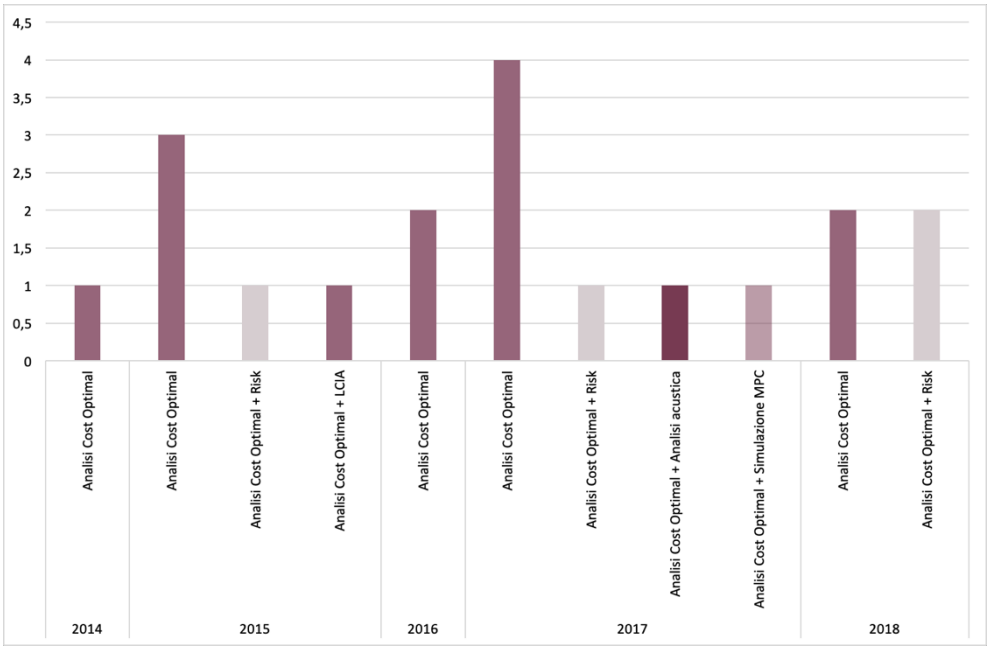


Fig. 17 Analisi *Cost Optimal* applicata singolarmente/congiuntamente, dal 2014 ad oggi.

Fonte: elaborazione dell'autrice

4.3 DECLINAZIONI DELLE METODOLOGIE LCC E *COST OPTIMAL* E I RELATIVI OGGETTI DI RIFERIMENTO PER L'APPLICAZIONE

In seguito alla raccolta e schedatura dei prodotti bibliografici, sono state analizzate nel dettaglio le metodologie LCC e *Cost Optimal*, identificandone diverse declinazioni. Come già accennato nel precedente paragrafo, spesso queste metodologie sono applicate sinergicamente ad altre, combinando talvolta anche differenti discipline scientifiche, quali Fisica tecnica dell'edificio, Statistica e altre.

Di seguito vengono illustrati gli approcci metodologici individuati nella letteratura e applicati congiuntamente all'analisi dei costi nel ciclo di vita (LCCA) e all'analisi *Cost Optimal* e i relativi articoli raccolti.

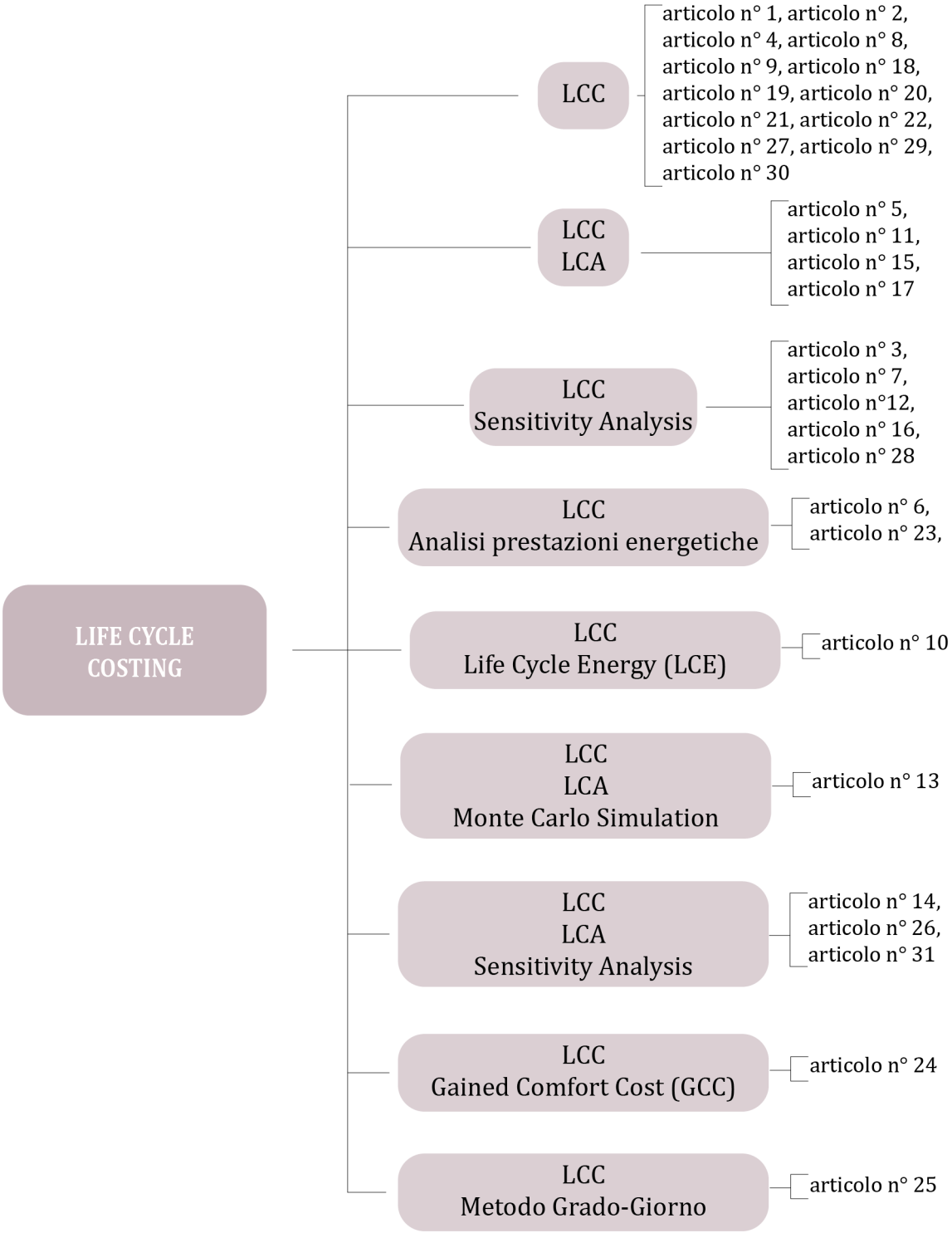


Fig. 18 Schema delle metodologie individuate nella letteratura analizzata e applicate congiuntamente all'analisi LCC e i relativi prodotti bibliografici

Fonte: elaborazione dell'autrice

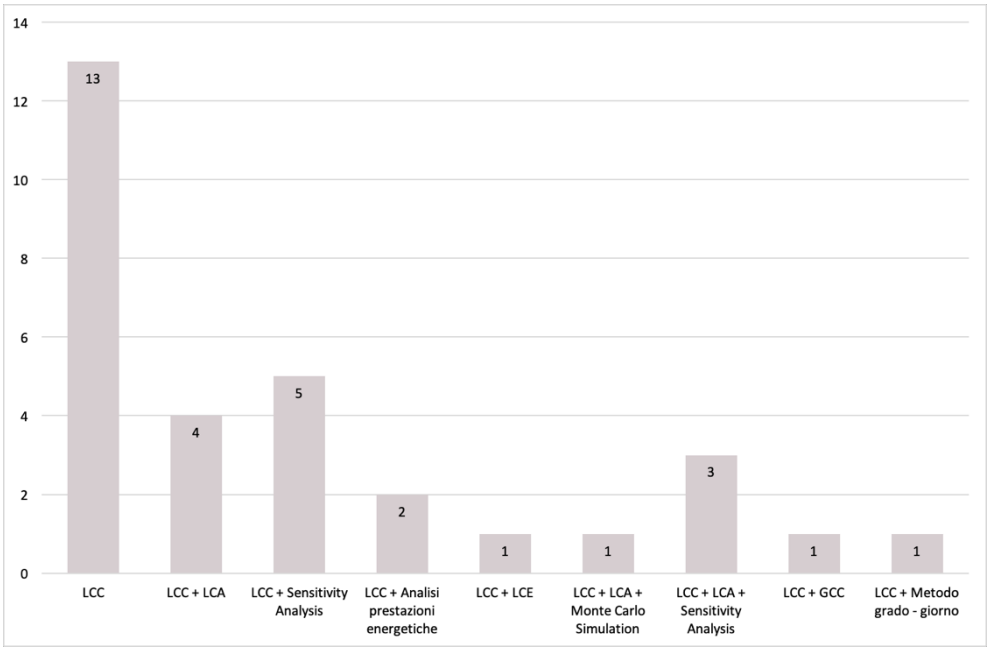


Fig.x Distribuzione degli articoli raccolti relativi all'analisi LCC raggruppati per metodologie applicate.

Fonte: elaborazione dell'autrice

Per quanto riguarda l'analisi dei costi nel ciclo di vita di vita edilizio (LCCA) sono stati complessivamente raccolti e analizzati 31 prodotti bibliografici. La maggior parte di questi sono relativi all'analisi LCCA applicata singolarmente, 4 articoli vedono l'approccio LCCA applicato congiuntamente all'analisi degli impatti ambientali (LCA), in altri vengono sviluppate analisi riguardo le prestazioni energetiche degli edifici (articolo n°6 e articolo n°23) e alcuni sviluppano il tema dell'analisi dei rischi: otto articoli, di cui in tre è applicata anche l'analisi LCA, utilizzano il modello deterministico attraverso l'Analisi della Sensibilità, mentre nell'articolo n°13 vengono analizzati i rischi attraverso il metodo probabilistico risolto attraverso il metodo *Monte Carlo Simulation*.

Nel caso del prodotto bibliografico n°25 *"Determination of optimum thicknesses using economical analyse for exterior walls of building with different masses"* l'analisi LCC viene affianca alla metodologia grado-giorno: questa metodologia di calcolo viene definita dalla norma UNI EN ISO 15927-6:2008- *prestazione termoigrometrica degli edifici – Calcolo e presentazione dei dati climatici. Parte 6: differenze di temperature cumulate (gradi giorno).* Le differenze di temperature cumulate si utilizzano per stimare l'energia che un edificio sfrutta per il sistema di riscaldamento.

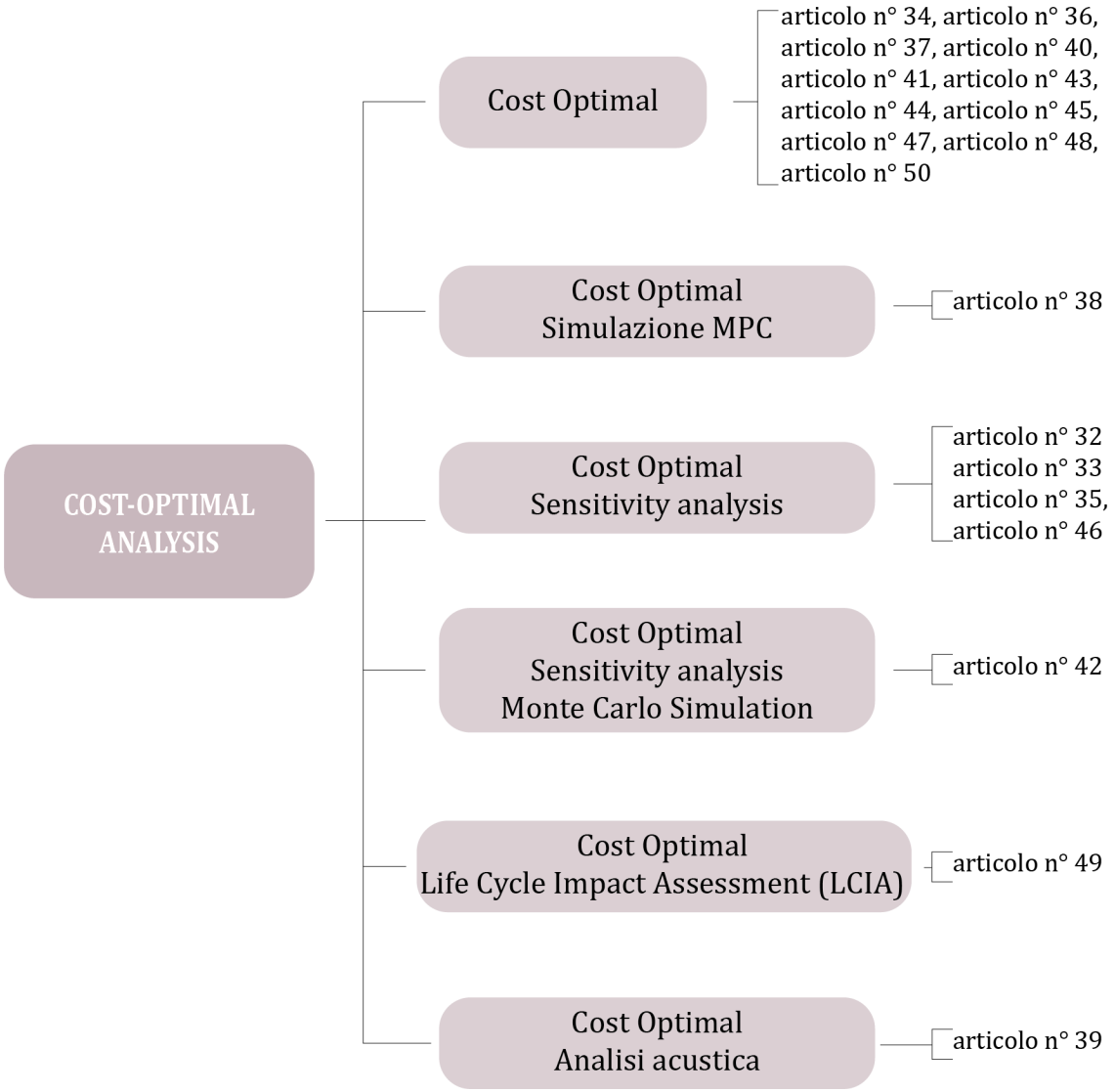


Fig. 19 Schema delle metodologie individuate nella letteratura analizzata e applicate congiuntamente all'analisi del *Cost Optimal* e i relativi prodotti bibliografici

Fonte: elaborazione dell'autrice

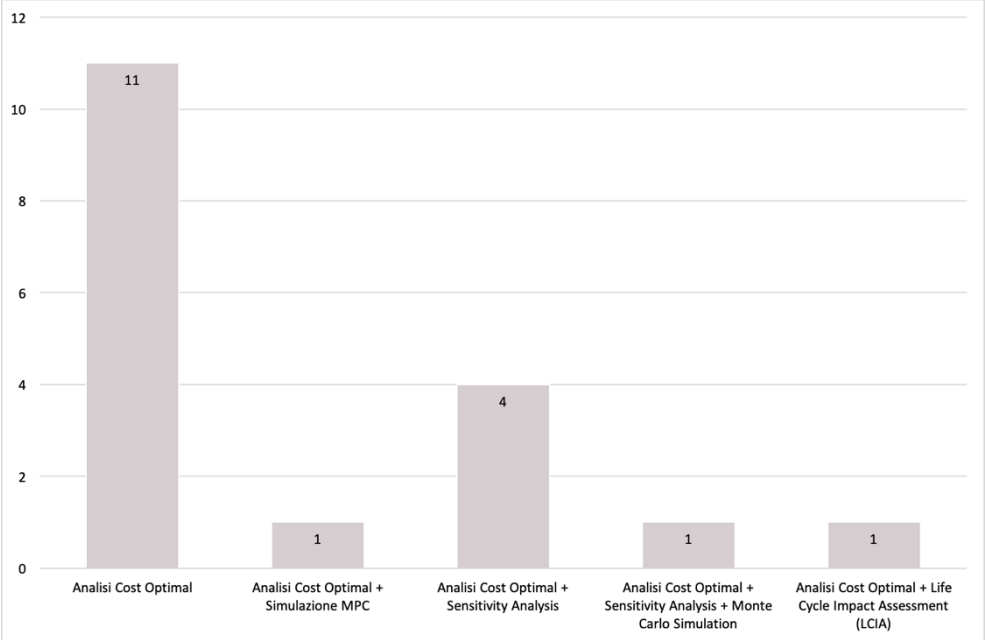


Fig.20 Distribuzione degli articoli raccolti relativi all'analisi *Cost Optimal* suddivisi per metodologie applicate
Fonte: elaborazione dell'autrice

Relativamente all'analisi del costo ottimale i prodotti bibliografici identificati sono in totale 19. In dodici articoli viene esclusivamente calcolato il costo globale con l'obiettivo di individuare e selezionare l'alternativa progettuale più vantaggiosa. Per determinare gli impatti dei parametri di input sul costo globale è stata anche applicata l'Analisi della Sensibilità (articolo n°32, articolo n°36, articolo n°46), mentre nell'articolo n°42 il costo globale è stato analizzato mediante una Simulazione Monte Carlo.
Nell'articolo n°38 il calcolo del costo globale è stato affiancato da un modello di controllo predittivo basato su simulazione (*Simulation based model predictive* - MPC) per le operazioni di riscaldamento e raffreddamento degli ambienti. Interessante è il prodotto bibliografico n°39, in cui al calcolo del costo globale relativo alle prestazioni energetiche dell'edificio è stata affiancata un'analisi relativa alle prestazioni di isolamento acustico.

Nel contesto socio-economico attuale, il costo è un fattore chiave del processo decisionale. La valutazione e la gestione delle diverse categorie dei costi è importante sia per i progetti di nuova costruzione sia per l'edilizia esistente, anche quelli di carattere storico.
Quando l'oggetto di interesse è il costo di costruzione di un edificio residenziale di nuova costruzione, il metodo LCC diventa utile. Si tratta di un metodo che incorpora le modalità già note di stima del costo del prodotto con una durata definita del suo ciclo di vita. In questo modo,

la decisione di costruire o acquistare una residenza può essere presa sulla base di premesse finanziarie razionali che tengono conto della prospettiva di sfruttamento a lungo termine, in cui, oltre ai costi di costruzione/acquisto e all'uso corrente, è importante anche ridurre i costi del ciclo di vita nella fase di scelta di una casa. La razionalizzazione di tale scelta è dettata anche da ragioni ambientali legate alla necessità di minimizzare i consumi energetici da fonti non rinnovabili dettate sia dalla limitata sufficienza delle risorse non rinnovabili sia dall'elevato livello di inquinamento ambientale associato al loro utilizzo.

Per quanto riguarda i contesti/oggetti di riferimento per l'applicazione delle metodologie per le analisi economiche, sono state individuate 8 macro categorie:

- Edifici residenziali;
- Edifici per uffici;
- Edifici per attività scolastiche;
- Edificio commerciale;
- Edificio per attività industriale;
- Componente edilizio;
- Infrastrutture;
- Sistema impiantistico.

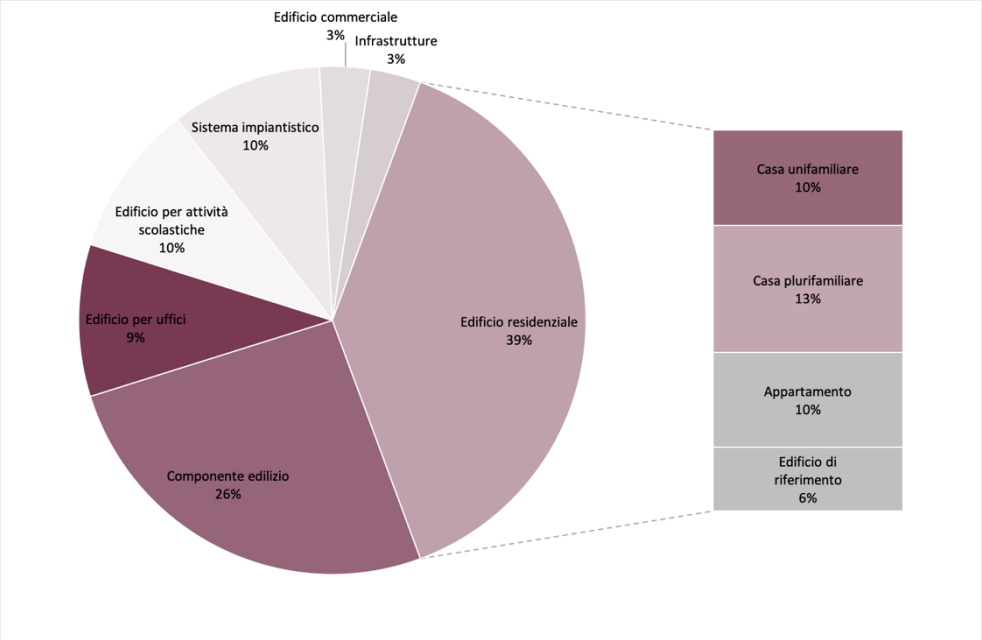


Fig.21 Contesti di applicazione di riferimento per l'applicazione della metodologia LCC.
Fonte: elaborazione dell'autrice

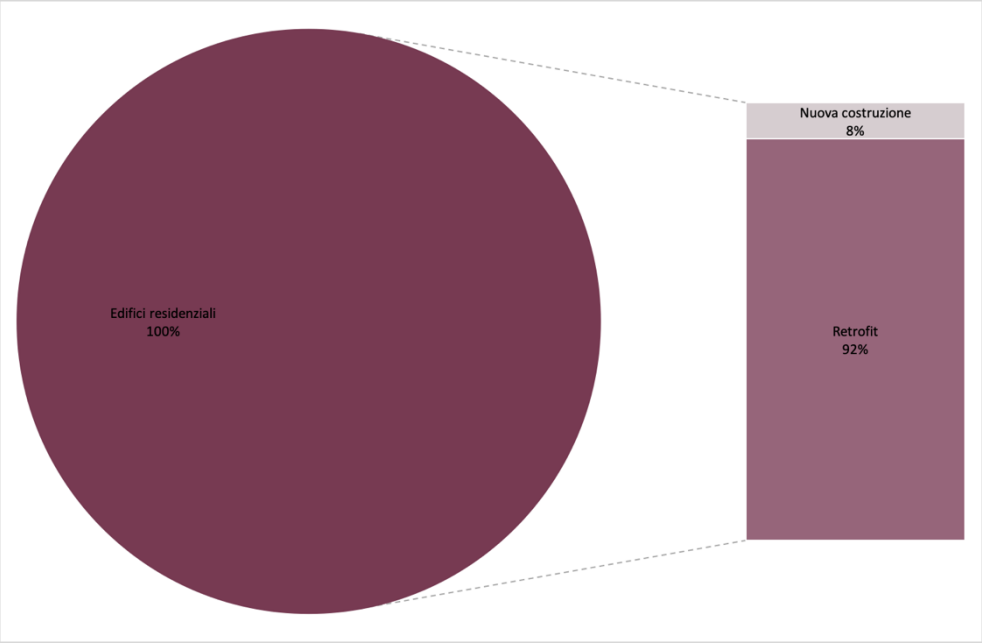


Fig.22 Percentuale dei campi di applicazione dell'LCC nel settore residenziale.
Fonte: elaborazione dell'autrice

La categoria degli edifici residenziali rappresenta il campo in cui vengono eseguite maggiormente analisi dei costi. Tra gli edifici residenziali sono state individuate diverse tipologie su cui vengono applicate le metodologie, tra cui case unifamiliari, case plurifamiliari,

appartamenti e "edifici di riferimento". Per edifici di riferimento si intendono edifici tipo definiti indicati all'interno del progetto TABULA che vengono utilizzati come oggetto di studio.
L'edilizia esistente spesso presenta la necessità di interventi di retrofit. L'analisi LCC o il calcolo del costo globale vengono svolte in relazione ad interventi di riqualificazione energetica, spesso con l'obiettivo di raggiungere condizioni nZEB.
Le analisi vengono applicate anche a casi di edifici di nuova costruzione, in cui il calcolo e la valutazione dei costi consente di individuare la scelta più conveniente per i componenti edilizi e impianti tecnologici da installare.
Si trovano spesso casi in cui vengono eseguite simulazioni su edifici di riferimento per analizzare e individuare soluzioni ottimali in base ad aree geografiche, condizioni climatiche, talvolta sperimentando e proponendo nuove modalità di approccio alle metodologie consolidate, come nel prodotto bibliografico *"Evaluation of energy-cost efficient design alternatives for residential buildings*".
Parte dell'edilizia esistente è categorizzata come edilizia di carattere storico. Gli edifici storici, in generale, richiedono un approccio individuale a causa della loro eterogeneità, poiché il tipo di costruzione, i materiali, il valore del patrimonio e l'uso possono variare notevolmente e per i gestori di edifici storici è importante anche un uso efficiente dell'energia, in modo tale da soddisfare i requisiti di base per l'ambiente interno, i costi di gestione e le prestazioni ambientali, preservando al tempo stesso il valore del patrimonio. Molti edifici perdono parte del loro valore patrimoniale a causa di misure inadeguate come l'isolamento termico e la sostituzione delle finestre. Ad esempio l'articolo n°28 "*LCC assessment and environmental impacts on the energy renovation of a multy-family building from the 1890s"* presenta l'analisi LCC applicata su un edificio residenziale plurifamiliare degli anni '90 del XIX secolo che viene trattato come edificio storico protetto. Lo scopo di questo articolo è trovare un pacchetto di misure di efficientamento energetico ottimale in termini di costi ed esplorare gli effetti di specifici obiettivi energetici predefiniti per un edificio plurifamiliare svedese di fine '800. L'obiettivo è la riduzione del consumo energetico del 50% entro il 2050 rispetto al 1995 e mostrare gli effetti dei diversi obiettivi energetici, il tasso di sconto reale, il prezzo dell'elettricità e l'ubicazione geografica sul consumo energetico, il LCC, l'energia primaria e le emissioni di CO_2.
Gli edifici di carattere pubblico, tra cui edifici per uffici, edifici commerciali e edifici per attività scolastiche, sono caratterizzati da elevati costi di gestione e di manutenzione, che spesso superano i costi iniziali di investimento. Interessante è l'articolo n°23 "*Life Cycle Cost Analysis*

of energy-efficient buildings subject to earthquakes", in cui l'analisi LCC è integrata con un'analisi sismica, calcolando eventuali costi futuri di riparazione e sostituzione per gli elementi danneggiati da terremoti.

Le analisi economiche vengono eseguite non solo su edifici, ma si trovano applicazioni che hanno come oggetti di studio elementi edilizi, sistemi impiantistici (come impianti fotovoltaici e sistemi HVAC) e altre relative a infrastrutture. Ne sono testimonianza una serie di prodotti bibliografici analizzati, tra cui l'articolo n°5 "*A life cycle cost analysis and environmental assessment on photovoltaic system in buildings: two case studies in Iran",* il n°12 "*A case study for design decisions on building service system using LCC analysis"*, il n°17 *"Audit energy and developing photovoltaic (PV) model for refrigeration laboratory building application"*, l'articolo n°22 *"Life Cycle Costing approach for discounting in age and interval replacement optimisation models for civil infrastructure assets"*.

I componenti edilizi sono di frequente oggetto di analisi, in quanto il loro impiego e utilizzo influisce altamente sui costi di manutenzione di un edificio. L'analisi economica dei componenti edilizi viene talvolta completata da un'analisi sulle prestazioni ambientali attraverso una LCA, che permette di calcolare l'energia incorporata del materiale e le emissioni di CO_2 nell'ambiente.

Anche la scelta dell'impianto di riscaldamento o raffreddamento e l'installazione di pannelli fotovoltaici giocano un ruolo fondamentale nel processo decisionale e l'analisi LCC, accompagnata a volte da analisi energetiche, permette di individuare l'alternativa progettuale più economica.

In aggiunta alla bibliografia consultata nei precedentemente, in questo capitolo si fa riferimento ad alcuni testi relativi al tema delle infrastrutture. Le infrastrutture sono caratterizzate da cicli di vita molto lunghi per cui il costo assume una posizione importante nella fase di gestione e manutenzione del bene. L'applicazione pratica del calcolo del LCC dell'infrastruttura è supportata in tutto il mondo da diverse norme e linee guida. Buoni esempi sono forniti dalla U.S. National Highway Federation[1], che presenta un'intera gamma di rapporti e casi di studio,

[1] FHWA. (2017). Webportal Federal Highway Administration. Retrieved from https://www.fhwa.dot.gov/infrastructure/asstmgmt/lcca.cfm

compreso un software di supporto. Altri esempi sono forniti dal Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti[2], dall'U.S. Transportation and Research Board[3], dalla World Road Association PIARC[4]. Le linee guida sottolineano l'importanza di un approccio probabilistico e l'importanza di affrontare l'incertezza nelle analisi LCC. L'analisi LCC per l'ottimizzazione della manutenzione è importante per i proprietari di beni, per i gestori patrimoniali e per i fornitori di servizi.

Nel prodotto bibliografico *Life Cycle Costing approach for discounting in age and interval replacement optimisation models for civil infrastructure assets* si svolge un'analisi LCC per un'infrastruttura civile e si fondono tre aree di competenza: ingegneria dell'affidabilità, economia ingegneristica (analisi LCC) e gestione degli asset infrastrutturali; vengono calcolati il valore attuale, il recupero del capitale e il valore equivalente attualizzato per utilizzarli successivamente in un modello di ottimizzazione della sostituzione e manutenzione negli anni.

Come già è stato ripetuto più volte, la maggior parte degli edifici del patrimonio edilizio è rappresentata dalle costruzioni esistenti, per cui i legislatori devono individuare soluzioni per promuovere la ristrutturazione di queste strutture. In questo contesto, l'analisi *Cost Optimal* può contribuire a individuare misure adeguate per sostenere la ristrutturazione di tali strutture. Le strategie di pianificazione e un'analisi costi-benefici dovrebbero essere accuratamente sviluppate, specialmente nel caso di progetti di ristrutturazione profonda con l'obiettivo di soddisfare i requisiti di edifici a energia quasi zero (nZEB).

Nel settore residenziale gli aspetti chiave negativi sono di solito rappresentati da condizioni di vita inaccettabili causate da edifici strutturalmente carenti o malsani e da condizioni sociali non sicure.

Gli edifici per attività scolastiche rappresentano una percentuale elevata dello stock dell'edilizia esistente più antica considerando che circa il 75% è stato costruito prima del 1980. Questo dimostra che la grande sfida, anche in questo settore, non è quella di costruire nuovi edifici a

[2] DOE, (2014), Life cycle cost handbook. Guidance for life cycle cost estimation and analysis. Washington, DC: U.S. Department of Energy.

[3] NCHRP, (2003). Report 483. Bridge life-cycle cost analysis. Washington, DC: Transportation Research Board. Retrieved from http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_483.pdf

[4] PIARC. (2017). Online library with best practices for LCCA. Retrieved from https://www.piarc.org/en/search.htm?q=life+cycle+costs

energia zero, ma di adeguare gli edifici esistenti verso nZEB attraverso un approccio ottimale in funzione dei costi.

Ne è testimonianza il prodotto bibliografico n°35 *"University building: energy diagnosis and refurbishment design with Cost-optimal approach. Discussion about the effect of numerical modeling assumption"* che propone un approccio metodologico per selezionare misure di risanamento degli edifici universitari, attraverso un'accurata diagnosi energetica che consente la caratterizzazione del rapporto tra edificio/sistema HVAC e le condizioni interne (principalmente legate al comfort termoigrometrico e di illuminazione).

In effetti, è possibile ottenere ristrutturazioni ad alte prestazioni ed economiche se nella fase iniziale della progettazione i progettisti dispongono di informazioni appropriate sull'edificio.

Di seguito si presentano grafici relativi agli oggetti di riferimento per l'applicazione dell'analisi LCC e *Cost Optimal* nel settore edilizio.

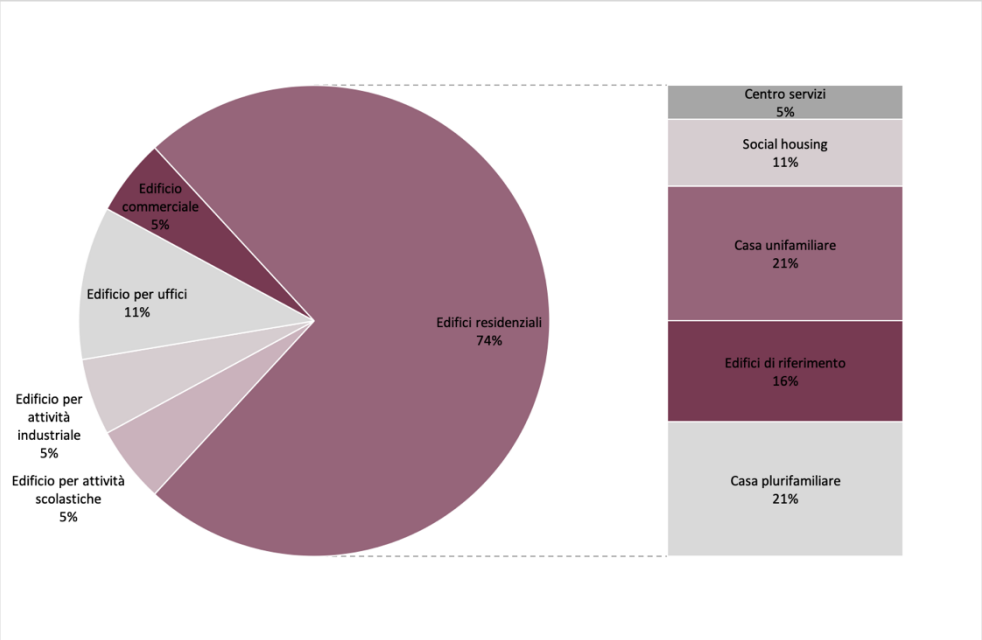


Fig.23 Oggetti di riferimento per l'applicazione della metodologia *Cost Optimal*

Fonte: elaborazione dell'autrice

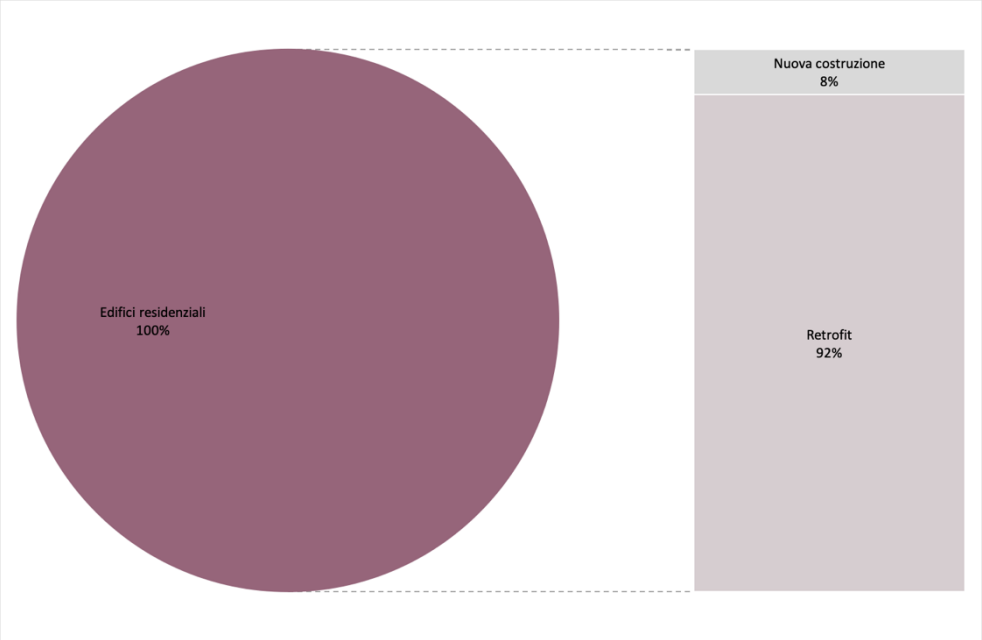


Fig.24 Percentuale dei campi di applicazione dell'analisi *Cost Optimal* nel settore residenziale
Fonte: elaborazione dell'autrice

4.4 CONTESTUALIZZAZIONE GEOGRAFICA E RICOGNIZIONE DELLE DISCIPLINE SCIENTIFICHE COINVOLTE NELLA LETTERATURA

Rispetto alla collocazione geografica in cui vengono effettuate applicazioni e studi per l'analisi dei costi, si possono notare notevoli differenze. L'analisi LCC, ormai tecnica consolidata, si dimostra uno strumento comune soprattutto in Europa e in Asia, mentre un contributo inferiore viene fornito dall'Australia e dall'America. Nel contesto italiano il ricorso a tale tipologia di analisi è di minor consuetudine rispetto agli altri Paesi europei.

In Europa i Paesi che maggiormente sviluppano la metodologia LCC sono quelli del nord (Svezia, Norvegia, Olanda), che si sono sempre posti in maniera sensibile nei confronti del tema della sostenibilità. Questi Paesi hanno un particolare interesse a studiare come ridurre l'impatto ambientale e migliorare la prestazione energetica degli edifici esistenti, prendendo decisioni relative alla ristrutturazione e mantenimento in seguito ad analisi dei costi nel ciclo di vita edilizio.
Anche i paesi dell'est Europa, come Polonia e Romania, si impegnano nel trovare soluzioni per il risparmio energetico per la riduzione delle emissioni di inquinanti ambientali per un miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici. L'implementazione di nuove tecnologie

nelle tecnologie di costruzione e installazione, riducendo il consumo energetico, promuovendo edifici a basso consumo energetico e aumentando l'acquisizione di energia da fonti rinnovabili dovrebbe essere la base per il raggiungimento degli obiettivi prefissati.
Tenendo in considerazione quindi sia aspetti economici sia ambientali, alcuni studi tra cui il n°1 e il n°2 propongono rispettivamente l'utilizzo della casa passiva (che è considerato il metodo più efficiente di razionalizzazione dei costi energetici in termini di risparmio nell'intero ciclo di vita) e l'installazione di una caldaia a condensazione a gas come fonte di calore, che consente un uso efficace dell'energia chimica contenuta nel combustibile a gas e ne riduce l'impatto sull'ambiente naturale e garantisce la redditività economica che consiste in un equilibrio tra i costi di investimento necessari e i costi energetici durante il funzionamento dell'edificio.

L'area asiatica mostra un particolare interesse dell'applicazione dell'analisi LCC su sistemi impiantistici, tra cui la possibilità di installazione di impianti fotovoltaici con i conseguenti benefici che se ne possono trarre, sia dal punto di vista economico sia energetico. Tali applicazioni vengono eseguite anche in conformità alle normative vigenti nei Paesi asiatici: ad esempio nell'articolo 17 *"Audit energy and developing photovoltaic (PV) model for refrigeration laboratory building application"* si sottoline che il programma del governo indonesiano ha fissato un obiettivo per l'energia rinnovabile nel mix energetico del 23% entro il 2025 e del 31% entro il 2050. A causa dell'elevato costo dei pannelli fotovoltaici, nei paesi asiatici dove viene proposto lo sviluppo di città solari, spesso il Ministero estende sussidi e prestiti a basso interesse per l'adozione di applicazioni solari fotovoltaiche.

Il campo di applicazione del contesto americano riguarda soprattutto il settore pubblico e l'applicazione sul singolo componente edilizio.
Interessante è il prodotto bibliografico n°21 *"Field measurement and modelinf of UVC cooling coil irradiation for heating, ventilating and air conditioning energy use reduction – ener, IAQ and economic modeling"* in cui ad un'analisi LCC per i costi di manutenzione e pulizia della bobina si un impianto di riscaldamento e raffreddamento viene affiancata un'analisi dell'impatto dell'irradiazione delle bobine sulla qualità dell'aria interna prevedendo attraverso una valutazione stocastica i tassi di infezione.

L'Australia offre un numero limitato di applicazioni LCC, ma queste vengono eseguite spesso congiuntamente con analisi ambientali focalizzandosi sulle emissioni di CO_2 che le alternative progettuali hanno nel corso della vita utile degli edifici.

Lo studio "*Integrated life cycle cost method for sustainable structural design by focusing on a benchmark office building in Australia"* potrebbe essere utilizzato come linea guida per ottimizzare le prestazioni delle strutture in calcestruzzo considerando l'efficienza dei materiali strutturali e dei sistemi costruttivi, ma ulteriori studi devono considerare l'impatto potenziale di altre forme strutturali (legno, acciaio e post tensionamento) sull'intero ciclo di vita degli edifici.

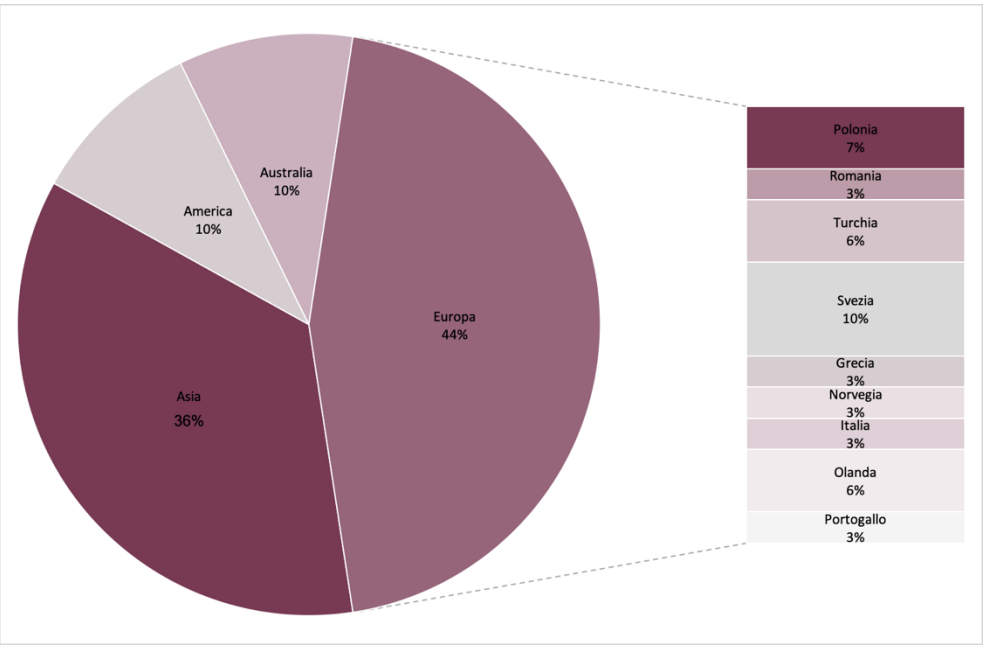


Fig.25 Distribuzione dei prodotti bibliografici relativi all'analisi LCC per contesto geografico

Fonte: elaborazione dell'autrice

Per quanto riguarda l'analisi del costo ottimale, metodologia sviluppata dai Paesi dell'Unione Europea, si può notare nella figura 26 che l'Italia mostra maggiori applicazioni e studi rispetto al resto d'Europa.

La letteratura analizzata fornisce diversi esempi di attuazione della metodologia EPBD: in "Social housing refurbishment in Mediterranean climate: Cost-optimal analysis towards the n-ZEB target" (prodotto bibliografico n°34) vengono analizzate e discusse diverse alternative di retrofit energetico per un'abitazione sociale soggetta alle condizioni climatiche del Mediterraneo, considerando anche le esigenze di raffreddamento. La ricerca si propone di indagare come le limitate prestazioni energetiche dell'edificio di riferimento influenzano il

raggiungimento dei livelli ottimali, identificando le soluzioni di retrofit più convenienti dal punto di vista economico, con particolare riferimento a quelle necessarie per il raggiungimento del marchio n-ZEB.

In riferimento all'articolo n°35 *"University building: Energy diagnosis and refurbishment design with costoptimal approach. Discussion about the effect of numerical modelling assumptions"* sono state identificate soluzioni ottimali in funzione dei costi che consentano il miglioramento delle condizioni di comfort, la riduzione delle emissioni inquinanti durante la fase di esercizio dell'edificio e il costo globale affrontando la questione della ristrutturazione energetica di un edificio universitario in un clima dominato dal riscaldamento del Sud Italia.

Nello studio n°37 *"Refurbishment design through cost-optimal methodology: The case study of a social housing in the northern Italy"* viene valutato un intervento di riqualificazione energetica di un edificio di edilizia con l'obiettivo nZEB. Vengono predisposti e combinati una serie di interventi di risanamento suddivisi in involucro, impianti e fonti rinnovabili, al fine di definire 18 diversi scenari da valutare, in modo tale da creare effetti sinergici che portano a risultati migliori rispetto alle singole misure. Le varianti sono definite come risultato globale e descrizione di un insieme completo di pacchetti applicati a un edificio che può essere composto da una combinazione di misure sull'involucro dell'edificio, tecniche passive, misure sui sistemi edilizi e/o misure basate su fonti energetiche rinnovabili.

L'articolo n°38 *"A new comprehensive approach for cost-optimal building design integrated with the multi-objective model predictive control of HVAC systems"* propone una metodologia che esegue un'ottimizzazione multistadio e multi-obiettivo al fine di rilevare la progettazione termica ottimale in presenza di un modello di strategia di controllo predittivo (MPC) per l'ottimizzazione del controllo del sistema HVAC. Questa procedura si basa sulle previsioni della domanda energetica degli edifici per la climatizzazione degli spazi, su un orizzonte di pianificazione adeguato, in funzione delle previsioni delle condizioni meteorologiche e dei profili di occupazione. Il sistema HVAC viene così controllato tenendo conto di queste previsioni, al fine di ottimizzare uno o più obiettivi, quali il consumo energetico, i costi di esercizio e il comfort termico. L'adozione di procedure MPC efficaci può comportare un risparmio energetico dell'ordine del 15-50% rispetto alle strategie di controllo tradizionali e un miglioramento del comfort termico.

L'articolo n°41 *"Assessment of cost optimal solutions for high performance multy-family buildings in Iran"* mira a studiare soluzioni ottimali in termini di prestazioni energetiche e di costi per un edificio plurifamiliare nel contesto iraniano, seguendo l'approccio europeo di ottimizzazione

dei costi e tenendo conto al tempo stesso della legislazione iraniana. Ciò viene fatto seguendo diverse fasi, ciascuna delle quali rappresenta un sotto-obiettivo: vengono definiti i pacchetti di misure di efficienza energetica (EEM) che possono essere applicate ad un edificio di riferimento per lo studio di un caso studio riguardante l'involucro edilizio, i sistemi energetici e lo sfruttamento delle fonti di energia rinnovabile. Successivamente viene valutato il rendimento energetico di diversi pacchetti di EEM e dell'impatto di queste misure sul rendimento energetico dell'edificio di riferimento e infine viene calcolato il costo globale di ciascun pacchetto di EEM e definito il livello ottimale in funzione dei costi. Inoltre, lo studio mira a verificare l'applicabilità di una metodologia europea ad un contesto che differisce dall'Europa sia dal punto di vista tecnico che economico.

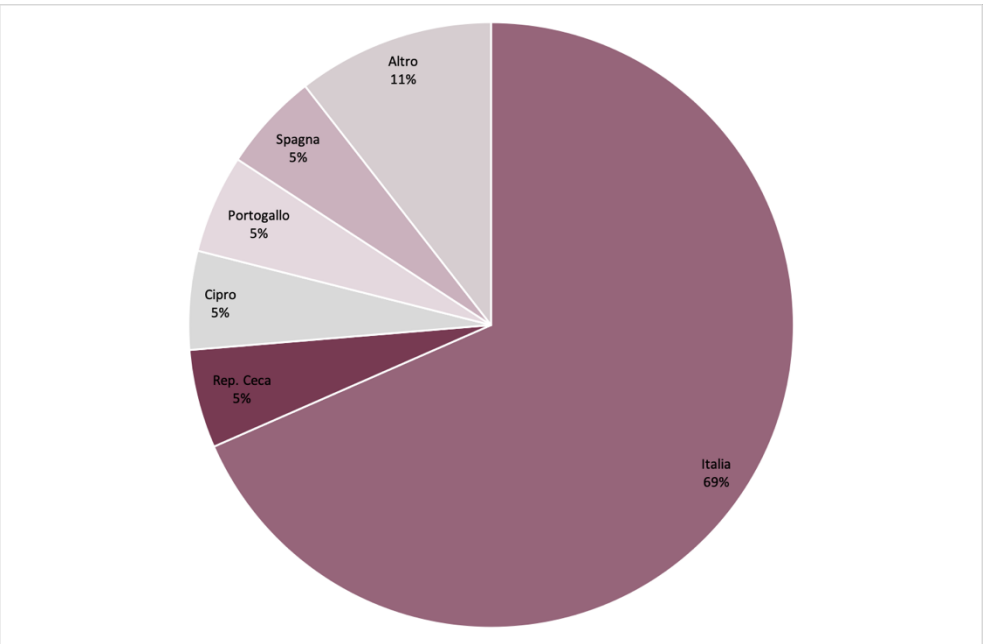


Fig.26 Distribuzione dei prodotti bibliografici relativi all'analisi *Cost Optimal* per contesto geografico
Fonte: elaborazione dell'autrice

Dei prodotti bibliografici e analizzati si può inoltre sottolineare che l'area disciplinare relativa alla Valutazione Economica dei Progetti è comune in tutti i testi. Questa disciplina scientifica viene frequentemente affiancata a Fisica dell'Edificio e Scienza e Tecnologia dei materiali per studi congiunti sulla sostenibilità economica ed ambientale del progetto.
Come già specificato precedentemente, le analisi LCC e *Cost Optimal* sono anche completate da eventuali analisi di rischio per la gestione delle incertezze che si presentano durante una

valutazione economica: le tecniche delle Probabilità e della Statistica affiancano quindi quelle delle valutazioni economiche.

Sono di seguito illustrate le distribuzioni relative alle aree disciplinari coinvolte nella letteratura, in riferimento agli articoli sul tema LCC e *Cost Optimal*.

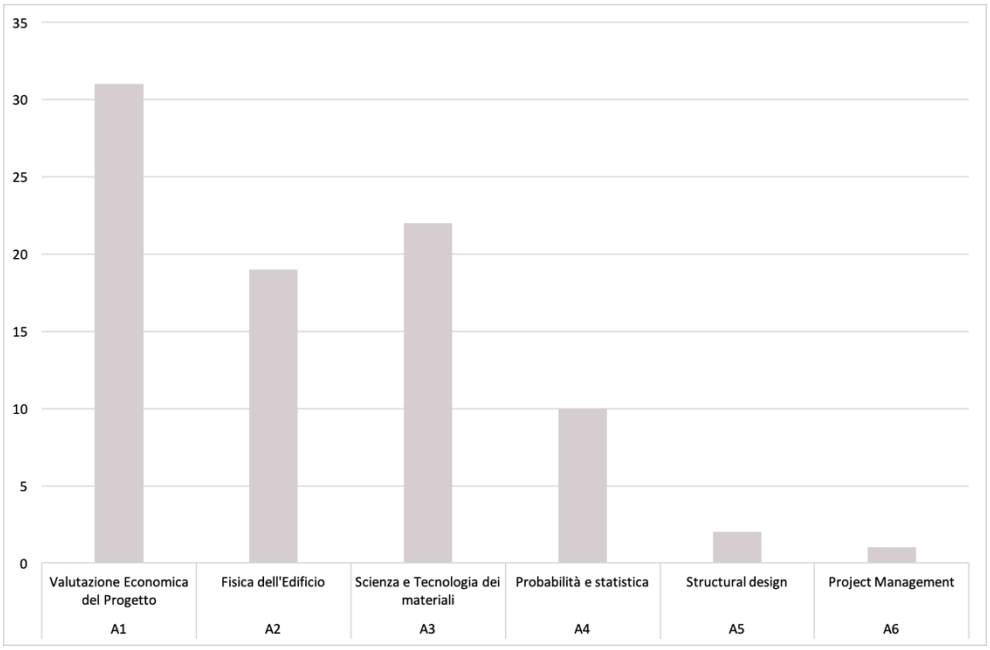


Fig.26 Prodotti bibliografici relativi all'analisi LCC in riferimento alle diverse aree delle discipline scientifiche

Fonte: elaborazione dell'autrice

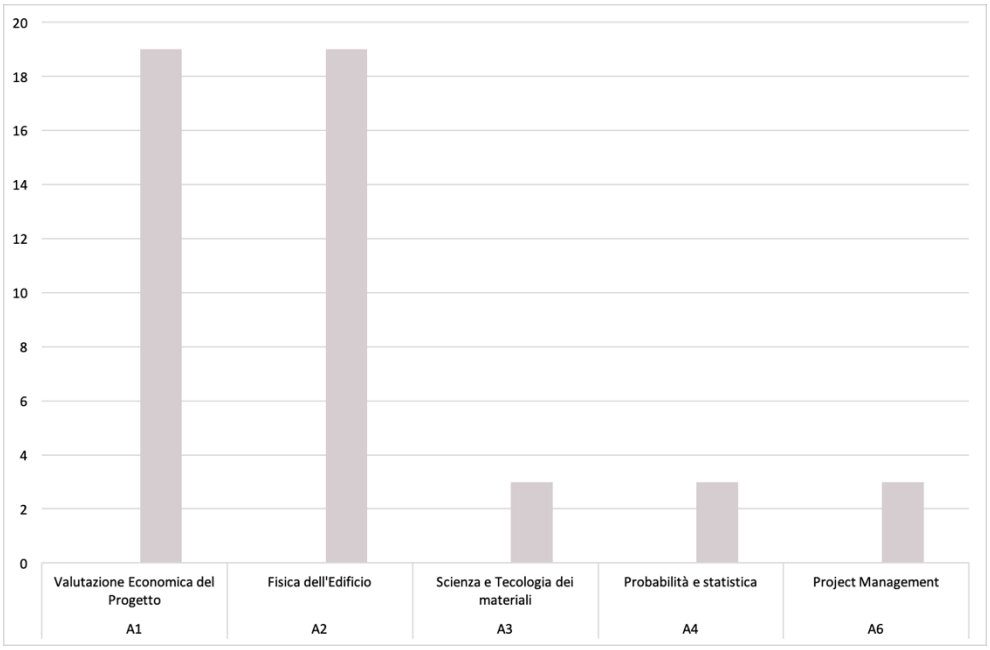


Fig.26 Prodotti bibliografici relativi all'analisi *Cost Optimal* in riferimento alle diverse aree delle discipline scientifiche

Fonte: elaborazione dell'autrice

Nelle seguenti tabelle vengono riassunti anno e luogo di pubblicazione dell'elaborato bibliografico e il relativo autore e sintetizzate le discipline coinvolte in riferimento all'analisi LCC.

Anno	Autore	Continente	A1	A2	A3	A4	A5	A6
2015	Islam H., Jollands M., Setunge S.	Oceania	X		X	X		
	Chen S., Guan J., Levine D.M. *et al.*	Asia	X	X	X			
	Mumtaaz Sayed S., Sawant P.H.	Asia	X	X	X			
2016	Liua L., Rohdin P., Moshfegh B.	Europa	X	X	X	X		
	Zeilr W. *et al.*	Europa	X	X	X			
2017	Schmidta M., Crawford R.H.	Oceania	X		X	X		
	Okan kon	Europa	X	X	X			
	Tagliabue L.C. *et al.*	Europa	X	X		X		
	Min Liua, Baoxia Mi	America	X	X			X	

	Van Den Boomen *et al.*	Europa	X			X		X
	Firrantello J., Bahnfleth W.	America	X	X				
	Udawattha C., Halwatura R.	Asia	X		X			
	Peter F Kaming	Asia	X					
	Harris D., Fitzgerald L.	America	X		X			
	Wirajati G.A *et al.*	Asia	X	X	X			
2018	Linn Liua *et al.*	Europa	X	X	X	X		
	Robati M. *et al.*	Oceania	X	X	X		X	
	Huang L., Liu Y. *et al.*	Europa	X		X			
	Rodrigues C. *et al.*	Europa	X		X	X		
	Seung-Bok Leigh, Jong-Seo Won	Asia	X	X		X		
	Papadopoulus A. *et al.*	Europa	X	X	X			
	Sungho Lee *et al.*	Asia	X	X	X			
	Dwaikat N.L., Ali N.K.	Asia	X					
	Religiana Hendarti	Asia	X	X	X			
	Abolfazl Farahani *et al.*	Asia	X	X	X	X		
	Jisoo Shim *et al.*	Europa	X	X				
	Toosi H.A., Balador Z. *et al.*	Asia	X		X			
	Bahadir U. *et al.*	Europa	X	X				
	Cezar-Petre Simion *et al.*	Europa	X	X		X		
	Jachura A.	Europa	X	X				
	Ziemski J.	Europa	X					

Tabella 2: Tabella di sintesi dei prodotti bibliografici relativi all'analisi LCC

Fonte: elaborazione dell'autrice

Anno	Autore	Stato	A1	A2	A3	A4	A6
2014	Corrado V. *et al.*	Italia	X	X			
2015	Domingo-Irigoyen S. *et al.*	Spagna	X	X	X		
	Haase M. *et al.*	Norvegia/Italia	X	X			
	Corrado V. *et al.*	Portogallo/Italia/Spagna/ Romania/Grecia	X	X			
	Congedo P.M. *et al.*	Italia	X	X	X		
	Fregonara E. *et al.*	Italia	X	X			
2016	Delmastro C. *et al.*	Italia	X	X			X
	Ferreira M. *et al.*	Portogallo	X	X			
2017	Di Giuseppe E. *et al.*	Italia	X	X		X	
	Alvand M. *et al.*	Italia	X	X			
	Loukaidou K. *et al.*	Cipro	X	X	X		
	Vallée J.C. *et al.*	Italia	X	X			
	Ascione F. *et al.*	Italia	X	X			
	Guazzi G. *et al.*	Italia	X	X			
	Ferrara M. *et al.*	Italia	X	X			
2018	Bellia L. *et al.*	Italia	X	X			X
	Carpino C. *et al.*	Italia	X	X			
	Guardigli L. *et al.*	Italia	X	X		X	X
	Karaseka J. *et al.*	Rep. Ceca	X	X		X	

Tabella 3: Tabella di sintesi dei prodotti bibliografici relativi all'analisi *Cost Optimal*

Fonte: elaborazione dell'autrice

Dall'analisi della letteratura sviluppata in questa review si conclude che:

- l'impiego degli approcci analizzati, ovvero *Life Cycle Costing* e *Cost Optimal*, è in continua evoluzione e oltre alle più comuni analisi per la gestione dei rischi e delle incertezze e analisi per gli impatti ambientali con cui vengono congiuntamente applicati, vengono sperimentate metodologie innovative e differenti che possono completare un'analisi economica;
- gli oggetti delle valutazioni economiche nel ciclo di vita del progetto non sono solamente a scala dell'edificio, ma si trovano applicazioni relative al singolo componente o su specifici sistemi impiantistici, come impianti fotovoltaici o sistema HVAC.
  Per quanto riguarda gli edifici non si applicano solo su edifici esistenti o per progetti di nuova costruzione, ma spesso vengono impiegati edifici di riferimento (presi ad esempio dal progetto TABULA) in modo tale da individuare l'intervento migliore da effettuare su quella tipologia;
- gli approcci per la valutazione economica sono approcci multidisciplinari, che non coinvolgono solamente l'area disciplinare della Valutazione Economica del Progetto per i calcoli dei costi nel ciclo di vita del progetti, ma vedono coinvolte anche discipline quali Fisica dell'Edificio (spesso si eseguono analisi e simulazioni energetiche o calcoli per le prestazioni fisiche dei componenti edilizi), Scienza e Tecnologia dei Materiali, ad esempio quando si effettuano analisi degli impatti ambientali in seguito alle emissioni di CO_2 da parte degli edifici o elementi di essi oppure quando vengono studiati i materiali e le loro caratteristiche al fine di introdurli efficacemente in un progetto di retrofit o ex novo; altre aree disciplinari coinvolte sono relative alla Probabilità e Statistica e al Project Management;
- relativamente al contesto geografico, queste metodologie sono utilizzate ormai in tutto il mondo: anche i Paesi in via di sviluppo, come quelli asiatici, non tralasciano gli studi per individuare le soluzioni progettuali più convenienti anche dal punto di vista dell'efficienza energetica.

BIBLIOGRAFIA

DOE, (2014), Life cycle cost handbook. Guidance for life cycle cost estimation and analysis. Washington, DC: U.S. Department of Energy.

FHWA. (2017). Webportal Federal Highway Administration. Retrieved from https://www.fhwa.dot.gov/infrastructure/asstmgmt/lcca.cfm

NCHRP, (2003). Report 483. Bridge life-cycle cost analysis. Washington, DC: Transportation Research Board. Retrieved from http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_483.pdf

PIARC. (2017). Online library with best practices for LCCA. Retrieved from https://www.piarc.org/en/search.htm?q=life+cycle+costs