

**LA VALUTAZIONE DELLA SOSTENIBILITÀ  
DEGLI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA  
DEGLI EDIFICI STORICI IN OTTICA LIFE CYCLE**



**LA VALUTAZIONE DELLA SOSTENIBILITÀ  
DEGLI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA  
DEGLI EDIFICI STORICI IN OTTICA LIFE CYCLE**

**POLITECNICO DI TORINO**

Dipartimento di Architettura e Design

Corso di Laurea Magistrale in Architettura per il Progetto Sostenibile

*Tesi di Laurea Magistrale*



Relatrice  
Elena Fregonara

Correlatrice  
Alice Barreca

Candidata  
Marta Vltale

*Dedico questa tesi alle mie nonne,  
Pietrina e Angela Maria.*

# ABSTRACT

La trasformazione degli edifici esistenti in edifici a energia quasi zero (NZEB), introdotta con la Direttiva 2010/31/UE, rimane una sfida attuale e costante, in particolare se si considerano gli edifici storici. E' ormai risaputo che l'edilizia è considerata un settore dal forte impatto ambientale, essendo il principale responsabile dei consumi energetici e delle emissioni di CO<sub>2</sub> a livello sia mondiale sia europeo.

Se consideriamo l'elevato numero di edifici antecedenti alla Seconda Guerra mondiale ancora in uso, appare evidente la necessità di intervenire sul patrimonio storico. Lo scopo di questa tesi è quindi duplice: prima di tutto si è voluto analizzare il tema dell'efficientamento energetico degli edifici storici dal punto di vista normativo e della letteratura e in secondo luogo si è voluto analizzare la presenza in letteratura di una connessione tra gli strumenti di valutazione economica dei progetti in ottica circolare in questo ambito di ricerca.

La ricerca condotta su questo tema è stata affrontata a partire dalle pubblicazioni, tra gli anni 2012-2021, che trattano la riqualificazione energetica su edifici storici avvalendosi dell'utilizzo di strumenti di valutazione economica-ambientale secondo una prospettiva di ciclo di vita, Life Cycle Costing (LCC), Life Cycle Assessment (LCA) e secondo il concetto Global Cost.

I risultati dell'analisi della letteratura confermano la presenza di un limitato numero di articoli sul tema poco omogenei a causa della grande complessità e diversificazione delle procedure d'intervento e delle limitazioni applicate dalle leggi di tutela sugli edifici storici. Le ricerche condotte hanno dimostrato la fattibilità anche economica degli interventi

di riqualificazione energetica su edifici storici connessa anche a interventi di totale trasformazione e cambio di destinazione d'uso. I risultati ottenuti confermano inoltre che le metodologie convenzionali (LCC, LCA e Cost Optimal) possono aiutare nella scelta delle alternative progettuali per il miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici storici.

# INTRODUZIONE

Nel corso della storia, il clima terrestre è sempre stato soggetto a cambiamenti naturali. Nell'arco degli ultimi 650.000 anni si stima che si siano verificati almeno sette cicli di gelo e disgelo dei ghiacciai, di cui l'ultima era glaciale è avvenuta circa 7000 anni fa. Si è osservato come questi cambiamenti siano una diretta conseguenza delle variazioni dell'orbita terrestre che modificano, di fatto, la quantità di energia solare che investe il nostro Pianeta, provocando fenomeni ambientali di frequenza, intensità e violenza mai visti nella storia umana e con essi sofferenze sociali e umane, sconvolgimento degli ecosistemi e della ricchezza di biodiversità che sostengono il nostro pianeta.<sup>1</sup>

Secondo l'IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change), gruppo intergovernativo di esperti sui cambiamenti climatici, le attività umane sono responsabili di oltre del 95% dell'emissioni di gas serra. Soprattutto nell'arco del XX secolo, il rilascio di questi gas ha avuto una funzione primaria nel cambiamento climatico,<sup>2</sup> con innalzamento delle temperature che si sono tradotte in effetti pericolosi per l'esistenza della nostra specie, con ripercussioni sulla salute umana e sugli ecosistemi.<sup>3</sup>

Poiché questi cambiamenti si stanno verificando più rapidamente di quanto previsto, si prospetta nei decenni futuri che la nostra società sarà chiamata ad affrontare sempre maggiori sfide, tra cui la probabile estinzione.

<sup>1</sup> [www.climate.nasa.gov](http://www.climate.nasa.gov)

<sup>2</sup> IPCC, Forth Assessment Report, *Climate Change 2007: The Physical Basis*, 2007.

<sup>3</sup> Kyoto Protocol: Greenhouse Gases (GHG) and global warming, 1997

Nel continuo processo di evoluzione e di adattamento, la nostra società è stata travolta da una nuova concezione, quella della Sostenibilità Ambientale. Si è visto come il modello di sviluppo "tradizionale" ha mostrato i primi segni di crisi intorno alla metà del secolo scorso, quando nel nostro quotidiano, si è cominciato a parlare sempre di più della scarsità delle risorse naturali e l'aumento di livelli dell'inquinamento. La società ha maturato nel corso degli ultimi cinquant'anni la consapevolezza che il benessere generale debba basarsi su una visione economica ma che debba necessariamente tener conto della qualità della vita da una parte e della salvaguardia ambientale e sociale dall'altra.<sup>4</sup>

Il mondo delle costruzioni è tra i principali responsabili della crisi climatica. Necessita dell'utilizzo di molteplici risorse materiali ed energetiche presenti in natura, le quali richiedono lavorazioni e infrastrutture specifiche per le procedure di estrazione e trasformazione delle materie prime in prodotti finiti. Spesso i processi utili, soprattutto nelle fasi iniziali, non possono essere controllati in modo mirato e questo genera importanti impatti sull'ecosistema.

Se si analizza il tessuto urbano si può notare come la gran parte delle strutture oggi esistenti sia stata costruita prevalentemente negli anni '60. Molte nazioni Europee come la Gran Bretagna, la Germania, ma anche Polonia, Italia e tante altre, videro letteralmente sparire i propri centri urbani durante la seconda guerra mondiale. In una stima è stato riportato come gli edifici distrutti in quel periodo siano compresi tra il 50 e l'80% del patrimonio edilizio delle singole città, lasciando una buona parte della popolazione senza una dimora. Da qui la necessità impellente, nel Secondo Dopoguerra, di creare nuove abitazioni nel minor tempo possibile.<sup>5</sup>

L'urgenza portò inevitabilmente ad un'attività edilizia frenetica, che costituisce quasi la totalità del patrimonio edilizio esistente e che necessita, con frequenza, di interventi di manutenzione che contribuiscono all'aumento, già elevato, del consumo di materie e di energia richiesti dal settore delle

costruzioni. Secondo i principali organi di controllo, si stima che a livello mondiale, su base annua, il settore delle costruzioni nel suo intero ciclo di vita, comporta:

- il 40% del consumo finale di energia prodotta in tutta l'Unione Europea;
- il 50% dell'utilizzo delle materie prime estratte;
- il 40% di emissione di gas serra;
- il 33% di produzione dei rifiuti;
- più del 25% d'utilizzo di acqua potabile.<sup>6</sup>

Il tema dell'efficienza energetica entra così nel nostro quotidiano. Oggi le normative in materia di efficientamento energetico per la riduzione dei consumi prevedono regole sempre più stringenti, permettendo la realizzazione di edifici sempre più performanti. A tal fine sono state create metodologie standardizzate per il calcolo della performance energetica degli edifici, come la metodologia Life Cycle Costing e il concetto Cost Optimal, i quali permettono di stabilire e calcolare tutte le componenti di costo legate all'intero ciclo di vita di un progetto o parte di esso.<sup>7</sup>

Il retrofit degli edifici esistenti è la più grande risorsa europea in termini di risparmio energetico ed emissioni che può svolgere un ruolo decisivo nel raggiungimento dell'obiettivo mondiale di riduzione di gas serra del 95% entro il 2050 rispetto ai livelli del 1990. L'interesse per il recupero del patrimonio costruito porta con sé diverse problematiche. Se da una parte risulta più semplice organizzare un lavoro di recupero per gli edifici risalenti al Secondo Dopoguerra, lo stesso non vale per il tessuto storico (Piderit, Agurto and Marín-Restrepo, 2019), il quale implica, da parte di chi interviene, una capacità di riconoscere i "valori" che l'edificio racchiude e le sue caratteristiche peculiari, tralasciando inoltre tutte le difficoltà date dai vincoli di tutela del patrimonio edilizio imposte dalla Soprintendenza dei Beni

Storici e Culturali.<sup>8</sup>

Sulla base di quanto detto, è stato sviluppato il lavoro di tesi, il quale si propone di analizzare e mettere in luce il tema dell'efficientamento energetico degli edifici storici dal punto di vista normativo e della letteratura, tra gli anni 2012-2021, attraverso gli strumenti di valutazione economica dei progetti in ottica Life Cycle. Se da una parte, infatti, il tema della sostenibilità economica in edilizia è presente in numerosi studi, esso non viene affrontato in egual misura quando si parla di edifici che presentano vincoli di tutela storico-artistica. L'intero percorso è stato mosso dall'obiettivo di individuare con chiarezza quali sono le procedure e le strategie di applicazione più ricorrenti e di comprendere quali sono le problematiche che ostacolano l'operazione di miglioramento dell'unità tutelata.

La struttura della tesi è articolata in quattro capitoli, preceduti da una prima parte introduttiva che fornisce un quadro generale e sintetico relativo ai concetti di "sviluppo sostenibile" e "sostenibilità ambientale" che hanno permesso l'avvio della ricerca sul tema della riqualificazione energetica e sostenibilità economica.

Il primo capitolo introduce il tema dello sviluppo sostenibile delineando le tappe fondamentali intraprese dalla comunità internazionale, inoltre, vengono delineate le principali normative adottate dalla Comunità Europea e delle strategie intraprese, concentrandosi principalmente sul settore edilizio e la sua regolamentazione in tema di efficientamento energetico e sostenibilità ambientale. Nella parte conclusiva del primo capitolo, sono trattati i principali strumenti di valutazione economico-ambientale, secondo il concetto di Life Cycle Thinking (LCT), che permettono di valutare le scelte progettuali secondo un concetto di ciclo di vita dell'edificio.

Nel secondo capitolo troviamo un approfondimento riguardo la disciplina giuridica vigente in Italia in materia di efficientamento energetico degli edifici, ponendo particolare attenzione agli edifici esistenti, analizzando l'evoluzione della normativa nazionale

e di come questa abbia recepito le direttive europee precedentemente descritte. Sono inoltre trattate le linee d'indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel patrimonio culturale e le strategie europee come il "Green Deal Europeo" e approfondendo la seconda missione del PNRR "Rivoluzione verde e transizione ecologica" che propone interventi per migliorare l'efficienza energetica del parco immobiliare pubblico e privato e la tutela del territorio. Nell'ultima parte sono riportati i principali protocolli di sostenibilità ambientale, internazionali e nazionali, che si applicano a edifici esistenti e storici.

Nel terzo capitolo sono state raccolte le pubblicazioni, testi e articoli di riviste scientifiche, che trattano la valutazione degli interventi di riqualificazione energetica del patrimonio storico costruito attraverso l'uso degli strumenti di valutazione economica-ambientale quali Life Cycle Costing (LCC), Life Cycle Assessment (LCA), Cost Optimal e applicazioni integrate nel periodo temporale 2012-2021. Tutti gli articoli individuati sono stati inseriti in una tabella sintetica che descrive le informazioni relative all'articolo e alle caratteristiche dell'edificio; successivamente è stata creata una scheda descrittiva per ogni articolo, che racchiudesse le informazioni dell'oggetto di studio, delle metodologie e strategie d'intervento adottate e dei risultati ottenuti.

Nell'ultimo capitolo viene condotta un'analisi della letteratura raccolta e schedata nel capitolo precedente. Per ogni articolo è stato analizzato il contesto, le metodologie attuate e l'edificio oggetto di studio, ponendo l'attenzione al contesto geografico, all'anno e al tipo di pubblicazione, alla destinazione d'uso del caso studio e del suo stato di conservazione. Si è voluto inoltre condurre uno studio della letteratura attraverso un'analisi bibliometrica effettuata con il programma VOSviewer, che permette di analizzare in maniera più approfondita le pubblicazioni raccolte, fornendo ad esempio le connessioni tra pubblicazioni e informazioni relative alla terminologia utilizzata dagli autori.

<sup>4</sup> I tre pilastri della Sostenibilità: Economica, Sociale, Ambientale.

<sup>5</sup> LOWE K., (2013), *Il continente selvaggio. L'Europa alla fine della seconda guerra mondiale*, Laterza, parte I

<sup>6</sup> UNEP (United Nations Environment Programme).

<sup>7</sup> FREGONARA E., (2015), *Valutazione sostenibilità progetto. Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali*, Franco Angeli, Milano.

<sup>8</sup> M. B. Piderit, S. Agurto, L. Marín-Restrepo, *Reconciling energy and heritage: Retrofit of heritage buildings in contexts of energy vulnerability*, Sustainability, vol. 11, n. 3, 2019, doi: 10.3390/su11030823.

# INDICE

<b>ABSTRACT</b>	<b>7</b>
<b>INTRODUZIONE</b>	<b>9</b>
<b>INDICE</b>	<b>13</b>
<b>CAPITOLO I</b>	<b>17</b>
<b>1.1 LA SOSTENIBILITÀ ECONOMICO-AMBIENTALE DEGLI EDIFICI</b>	<b>17</b>
1.1.1 Il contesto internazionale	18
<b>1.2 SOSTENIBILITÀ NEL QUADRO REGOLAMENTATIVO</b>	<b>23</b>
1.2.1 Le direttive comunitarie	23
1.2.2 A Renovation Wave for Europe: Greening our Buildings, Creating Jobs, Improving Lives	26
1.2.3 Green Public Procurement (GPP) e Sustainable Public Procurement (SPP)	27
1.2.4 Recovery and Resilience Plan (RRP) – Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR)	30
<b>1.3 GLI APPROCCI DI VALUTAZIONE AL CICLO DI VITA</b>	<b>31</b>
1.3.1 Il concetto Life Cycle Thinking (LCT)	31
1.3.2 L'approccio Life Cycle Costing (LCC)	33
1.3.3 Il concetto di Cost Optimal	39
1.3.4 L'approccio Life Cycle ASSESSMENT (LCA)	40
<b>1.4 BIBLIOGRAFIA CAPITOLO I</b>	<b>42</b>
<b>CAPITOLO II</b>	<b>45</b>
<b>2.1 INTRODUZIONE</b>	<b>45</b>
<b>2.2 OSTACOLI ALL'ADOZIONE DI SOLUZIONE DI RETROFIT NEL PATRIMONIO COSTRUITO</b>	<b>47</b>
<b>2.3 STRATEGIE EUROPEE PER IL RECUPERO ENERGETICO NELL'EDILIZIA STORICA E MONUMENTALE</b>	<b>48</b>
2.3.1 A Renovation Wave for Europe: Greening Our Buildings, Creating Jobs, Improving Lives	48
2.3.2 Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza – PNRR: Missione 2 “Rivoluzione verde e transizione ecologica”	50
2.3.3 Il progetto 3ENCULT	53

2.3.4 La UNI EN 16883:2017. Linee guida per migliorare la prestazione energetica degli edifici storici	55
<b>2.4 IL QUADRO NORMATIVO ITALIANO</b>	<b>56</b>
2.4.1 Attuazione della Direttiva 2002/91/CE	60
2.4.2 Attuazione della Direttiva 2009/28/CE	64
2.4.3 Attuazione della Direttiva 2010/31/UE	64
2.4.4 Attuazione della Direttiva 2018/844/UE	65
2.4.5 Le competenze regionali e recepimento della normativa a livello locale	66
2.4.6 La deroga come strumento	69
<b>2.5 LINEE GUIDA PER IL MIGLIORAMENTO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA NEL PATRIMONIO CULTURALE – MIC</b>	<b>72</b>
<b>2.6 IL PATRIMONIO CULTURALE ARCHITETTONICO ITALIANO</b>	<b>73</b>
2.6.1 Il retrofit energetico degli edifici storici e vincolati	77
<b>2.7 PROTOCOLLI OPERATIVI SU BASE VOLONTARIA</b>	<b>79</b>
<b>BIBLIOGRAFIA CAPITOLO II</b>	<b>90</b>
<b>CAPITOLO III</b>	<b>95</b>
<b>3.1 INTRODUZIONE</b>	<b>95</b>
<b>3.2 SCHEDATURA DEGLI ARTICOLI: TABELLA SINTETICA</b>	<b>96</b>
<b>3.3 LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA DELLE PUBBLICAZIONI</b>	<b>104</b>
<b>3.4 SCHEDATURA SINTETICA DEI PRODOTTI BIBLIOGRAFICI</b>	<b>107</b>
<b>CAPITOLO IV</b>	<b>169</b>
<b>4.1 INTRODUZIONE</b>	<b>169</b>
<b>4.2 ANALISI DEI DIVERSI APPROCCI METODOLOGICI NELLA LETTERATURA SELEZIONATA</b>	<b>170</b>
4.2.1 Analisi dei prodotti bibliografici in base all'anno di pubblicazione	172
4.2.2 Analisi dei prodotti bibliografici in base al paese di pubblicazione	174
4.2.3 Analisi dei prodotti bibliografici in base al tipo di pubblicazione	176
4.2.4 Analisi dei prodotti bibliografici in base alla destinazione d'uso degli edifici	179
4.2.5 Analisi dei prodotti bibliografici in base al tipo di tutela degli edifici	180
<b>4.3 ANALISI BIBLIOMETRICA</b>	<b>182</b>
4.3.1 VOSviewer	182
4.3.2 Costruzione mappe di co-occorrenza con software VOSviewer	185
4.3.3 Procedura guidata per l'elaborazione degli elaborati	186
4.3.4 Applicazione/Risultati	189
<b>4.4 BIBLIOGRAFIA CAPITOLO IV</b>	<b>196</b>

<b>CONCLUSIONI</b>	<b>199</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>202</b>
<b>RINGRAZIAMENTI</b>	<b>208</b>

# CAPITOLO I

## VALUTAZIONE DELLA SOSTENIBILITÀ ECONOMICO-AMBIENTALE DEI PROGETTI

### 1.1 LA SOSTENIBILITÀ ECONOMICO-AMBIENTALE DEGLI EDIFICI

La costruzione di edifici ha un ruolo determinante sull'ambiente; secondo i dati del Global Alliance for Buildings and Construction, il campo dell'edilizia risulta essere il responsabile del 50% di utilizzo di materie prime estratte, 33% di produzione di rifiuti, 40% di emissione di gas serra, 25% d'impiego di acqua potabile e del 40% del consumo di energia prodotta. Ecco perché l'edilizia sostenibile è stata recentemente identificata come uno dei mercati guida per il prossimo futuro di tutto il mondo. Ha il potenziale e la capacità di rispondere alle esigenze del mercato, la forza dell'industria mondiale e la necessità di sostenerla attraverso l'attuazione di misure di politica pubblica.<sup>1</sup> Secondo la WCED (The World Commission on Environment and Development), la sostenibilità è:

*“lo sviluppo che soddisfa i bisogni del presente senza compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare i propri”.*<sup>2</sup>

Ciò significa che il concetto principale di sostenibilità è progettare edifici con una lunga durata, bassi costi di esercizio e manutenzione e un'elevata efficienza energetica. Secondo alcuni istituti, il settore delle costruzioni edili consuma il 40% dei materiali che entrano nell'economia globale.<sup>3</sup> Al fine di ridurre le emissioni di una struttura, la fase del suo

<sup>1</sup> Global Alliance for Buildings and Construction. [Online] <https://globalabc.org/>, consultato il 20 dicembre 2021.

<sup>2</sup> Definizione di «Sviluppo», rapporto Brundtland, 1987.

<sup>3</sup> California Integrated Waste Management Board, *Designing With Vision: A Technical Manual for Material Choices in Sustainable Construction*, California Environmental Protection Agency, California, CA, USA, 2000.

utilizzo assumerà sempre più importanza nella sua valutazione globale poiché rappresenta dall'80% al 90% dell'energia totale consumata durante il suo intero ciclo di vita, e la fase di fine vita assumerà maggior importanza per ridurre l'impatto delle materie prime impiegate e la quantità di rifiuti da demolizione conferiti in discarica.

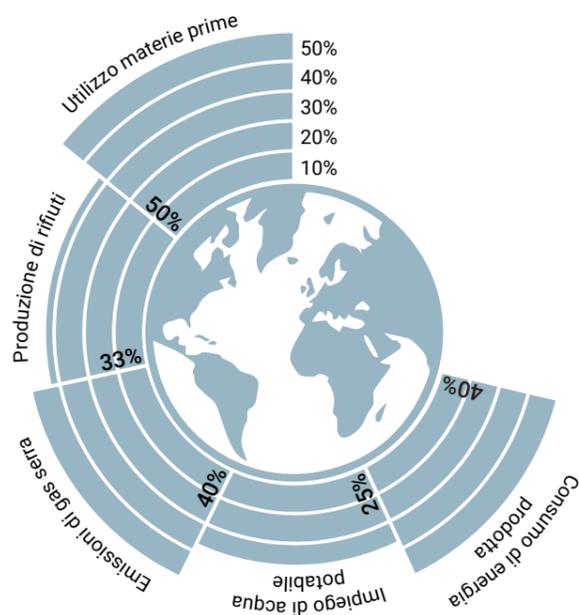


Fig. 1.1

Consumi ed emissioni provocate dal settore delle costruzioni (Elaborazione dell'autrice).

### 1.1.1 IL CONTESTO INTERNAZIONALE

I concetti di "sviluppo sostenibile" e "sostenibilità ambientale" sono oramai entrati a far parte della pratica progettuale, interessando principalmente nuovi edifici, ma coinvolgendo anche interventi su edifici esistenti (Bina, 2013).<sup>4</sup>

Ma quando il concetto di "sviluppo sostenibile" avuto inizio?

Per rispondere è necessario ripercorrere alcune date che sono state alla base dello sviluppo sostenibile e come questi eventi abbiano portato ad una correlazione tra i vari temi affrontati di seguito.

Il primo passo può essere ricondotto nel 1798,

<sup>4</sup> O. Bina, *The green economy and sustainable development: An uneasy balance?*, Environ. Plan. C Gov. Policy, vol. 31, n. 6, 2013.

quando l'economista e filosofo Thomas Robert Malthus nel suo saggio "Principi di economia politica", fu il primo a identificare una correlazione tra tecnologia (economia), popolazione e ambiente; mettendo in guardia sulla limitatezza delle risorse naturali in relazione alla demografia.

*"Lo sviluppo tecnologico senza riguardo per gli impatti ambientali e sociali porta conseguenze indesiderate: degrado di aria, acqua e suolo, perdita di biodiversità, esaurimento delle risorse e crescente disuguaglianza".*<sup>5</sup>

Di fatto Malthus affrontò, con largo anticipo, la questione che emerse dal rapporto "Limits to Growth",<sup>6</sup> pubblicato nel 1972 dal "Club of Rome". Nel rapporto emerge come l'attuale andamento economico (capitalismo), sociale (incremento della popolazione), e ambientale (inquinamento) avrebbero portato in breve tempo al collasso dell'economia, della società e dell'ambiente. Questo documento inaugurò una serie di dibattiti nel corso di tutto il XX secolo, dove al problema delle risorse limitate era necessario rispondere con una governance globale. Un primo tentativo venne dalla prima conferenza internazionale delle Nazioni Unite sull'ambiente, tenutasi a Stoccolma nel 1972. Risultato della conferenza fu la Dichiarazione di Stoccolma, dove si stabilirono 26 principi fondamentali che le nazioni partecipanti erano tenute ad adottare per una sana gestione dell'ambiente.<sup>7</sup>

Tuttavia, il termine "sviluppo sostenibile", rimase di fatto un concetto mutevole, questo era dovuto alla sua non chiara definizione che ha subito numerose modifiche nel tempo. Fu solo con il Rapporto Brundtland nel 1987, noto anche con il nome "Our Common Future", pubblicato dalla Commissione mondiale per l'ambiente e lo sviluppo World Commission on Environment and Development (WCED), che si ebbe la prima definizione di sviluppo sostenibile:

<sup>5</sup> Malthus T. (1798), *Principles of political economy*, Cambridge University Press, gennaio, 1989.

<sup>6</sup> CLUB OF ROME. (1972). *The limits to growth*. [Online] [https://collections.dartmouth.edu/teitexts/meadows/diplomatic/meadows\\_ltg-diplomatic.html](https://collections.dartmouth.edu/teitexts/meadows/diplomatic/meadows_ltg-diplomatic.html), consultato il 15 maggio 2022.

<sup>7</sup> Conferenza internazionale delle Nazioni Unite sull'ambiente, *Earth Summit*, Stoccolma. 5-16 giugno 1972.

*"Lo sviluppo sostenibile è uno sviluppo che soddisfa i bisogni del presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri".*<sup>8</sup>

Questa definizione è strettamente correlata alla compatibilità tra lo sviluppo delle attività economiche e la tutela dell'ambiente; con il termine "sostenibilità" diviene una vera e propria "indicazione generale di comportamento",<sup>9</sup> (Sgreccia, 1994). Nasce così il pensiero PPP Thinking (planet, people, prosperity) e della conseguente definizione dei tre pilastri della sostenibilità: economico, sociale e ambientale (Fig. 1.2). Nel 1994 l'International Council for Local Environmental Initiatives (ICLEI)<sup>10</sup> aggiunge un'ulteriore definizione di sviluppo sostenibile come:

*"lo sviluppo che offre servizi ambientali, sociali ed economici di base a tutti i membri di una comunità, senza minacciare l'operabilità dei sistemi naturali, edificati e sociali da cui dipende la fornitura di tali servizi".*<sup>11</sup>

Negli anni successivi seguirono varie conferenze e convegni internazionali, al fine di stabilizzare i livelli di concentrazione di gas serra nell'atmosfera in modo da annullare qualsiasi pericolosa interferenza delle attività umane sul sistema climatico, le Nazioni Unite hanno firmato la "Convenzione quadro sui cambiamenti climatici" durante la Conferenza delle Nazioni Unite sull'ambiente e lo sviluppo, tenutosi a Rio de Janeiro nel 1992. Il documento sottolinea, per la prima volta, i rischi ambientali portati dal progresso, impegnando i firmatari a perseguire l'obiettivo di riportare le emissioni di gas serra ai livelli del 1990 entro il 2000. Sempre nello stesso anno viene pubblicato "Beyond the Limits of

<sup>8</sup> WCED, (1987), *Our Common Future*, Brundtland Report. Definizione di "Sviluppo Sostenibile".

<sup>9</sup> E. Sgreccia, *Manuale di Bioetica. Volume I. Fondamenti ed etica biomedica*, Vita e Pensiero, Milano, 1994, p.174.

<sup>10</sup> ICLEI – Local Governments for Sustainability. È una rete globale di oltre 2500 governi locali e regionali impegnati nello sviluppo urbano sostenibile. Attivi in più di 125 paesi, influenzano la politica di sostenibilità e guidano l'azione locale per uno sviluppo a basse emissioni, al fine di un cambiamento sistemico per la sostenibilità urbana.

<sup>11</sup> ICLEI International Council for Local Environmental Initiatives, 1994, definizione di sviluppo sostenibile.

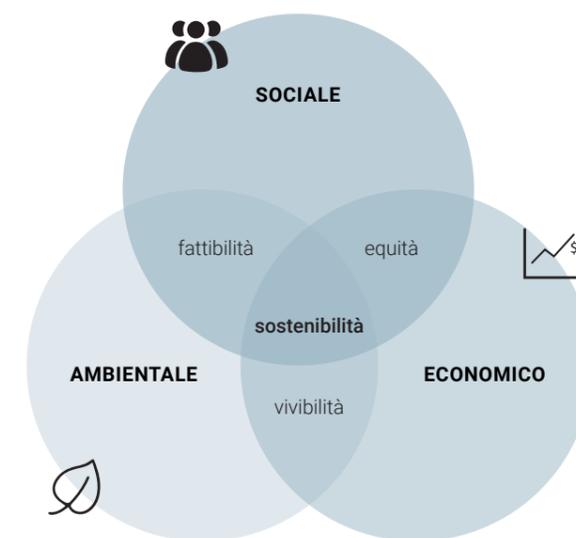


Fig. 1.2

I tre pilastri dello sviluppo sostenibile: economico-sociale-ambientale (Elaborazione dell'autrice).

Growth",<sup>12</sup> da cui si ricava l'equazione IPAT:

$$I = P \times A \times T$$

Impact = Population x Affluence x Technology

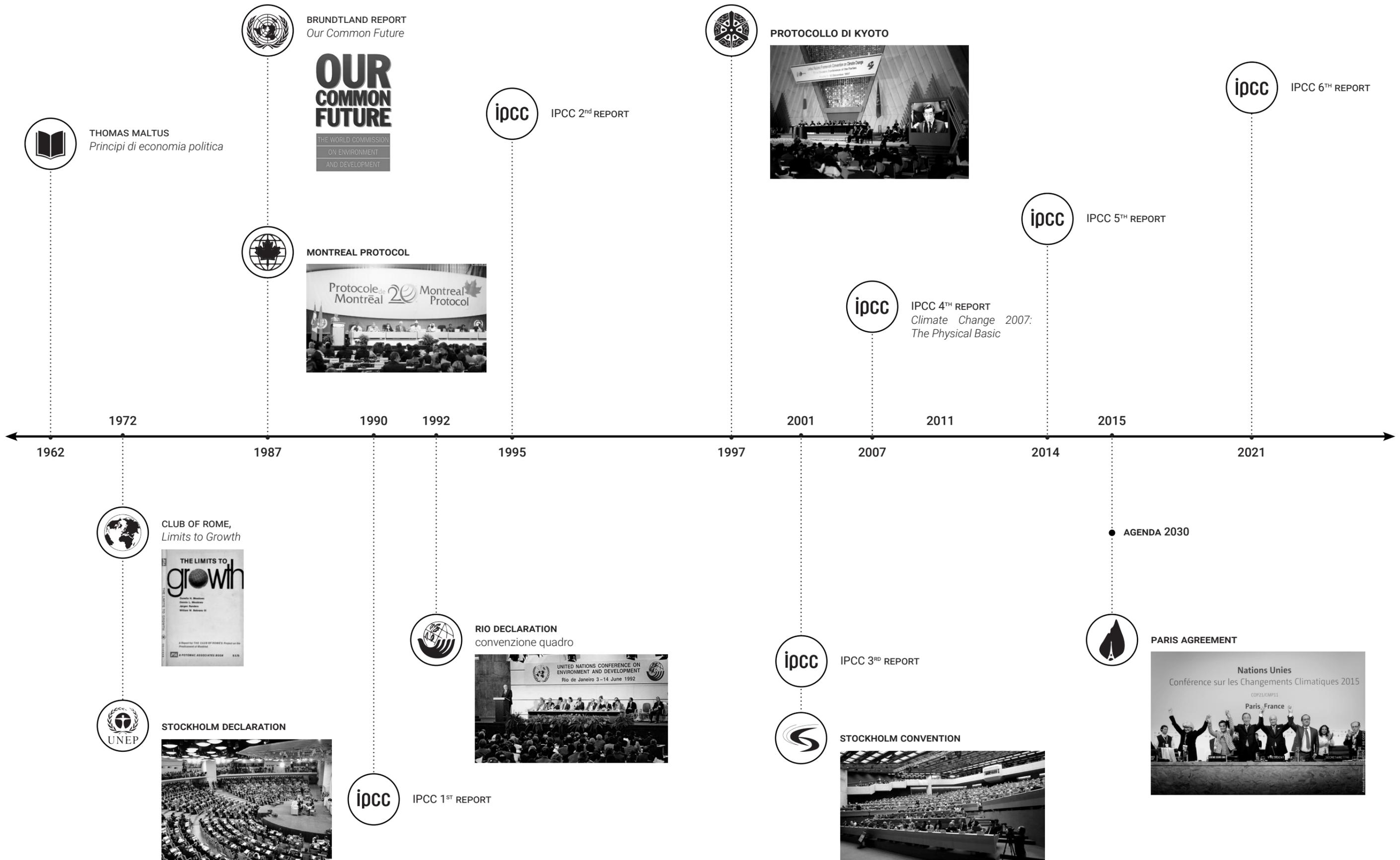
Nel 1997 si tiene la Conferenza delle Parti di Kyoto (COP3) della Convenzione ONU sui cambiamenti climatici. A seguito della conferenza viene stipulato il "Protocollo di Kyoto",<sup>13</sup> uno dei più importanti strumenti giuridici internazionali volti a contrastare il cambiamento climatico, l'accordo impegna "le parti" ad una riduzione quantitativa delle loro emissioni di gas serra (Greenhouse Gases-GHG), tenuti i responsabili dei cambiamenti climatici e del conseguente riscaldamento globale. L'obiettivo dichiarato è ridurre le emissioni totali dei paesi sviluppati di almeno il 5% rispetto ai livelli del 1990 tra il 2008 e il 2012.

Nel 2007, per il raggiungimento degli obiettivi espressi nel "Protocollo di Kyoto", l'Unione Europea ha adottato un piano denominato "Climate Energy

<sup>12</sup> CLUB OF ROME (1992), *Beyond the Limits to Growth*, The Donatella Meadows project.

[Online] <https://donellameadows.org/archives/beyond-the-limits-to-growth/>, consultato il 15 maggio 2022.

<sup>13</sup> Conferenza delle Parti di Kyoto COP3, 11 dicembre 1997 – Protocollo di Kyoto.



Package 20-20-20<sup>14</sup>, valido fino al 2020, in cui l'UE ha fissato tre obiettivi principali da perseguire entro il 2020:

- ridurre del 20% le emissioni di gas a effetto serra;
- ridurre del 20% i consumi;
- aumentare del 20% il consumo di energia da fonti rinnovabili.

Il piano mostra come, da quel momento in avanti, la politica energetica europea si sia focalizzata principalmente sulla configurazione di un'economia che tenga conto del consumo energetico, mediante una riduzione delle emissioni di anidride carbonica e, nel medesimo periodo, amplificando la percentuale di produzione di energia rinnovabile, coinvolgendo principalmente il campo delle costruzioni. L'obiettivo a lungo termine è ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> fino all'80% e intervenire nei settori più importanti, in particolare l'ambiente costruito. La strategia esposta finora è quella di affrontare il fatto che oggi la terra sta affrontando profondi cambiamenti climatici, proprio a causa dei gas climalteranti chiamati GHG, quindi in assenza di azioni specifiche, potrebbe essere in difficoltà nel giro di pochi anni. L'International Energy Agency (IEA) ha mostrato che tra 1971 e il 2014 il consumo energetico mondiale ha registrato un aumento del 92%, percentuale di cui il settore delle costruzioni ha dato un contributo significativo.

Nel 2009, in occasione della Conferenza Mondiale sullo Sviluppo Sostenibile (UNCSD), denominata Rio+20,<sup>15</sup> la comunità internazionale rinnova il proprio impegno per lo sviluppo sostenibile, conclusasi con la pubblicazione del documento "The Future We Want",<sup>16</sup> il quale avvia numerosi processi, sia su scala nazionale che internazionale, su tematiche fondamentali per il pianeta. Nel 2015, durante la Terza Conferenza Internazionale

<sup>14</sup> "Climate Energy Package 20-20-20", varato nel marzo 2007 e adottato dal Parlamento europeo nel dicembre 2008. [Online] [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020\\_it#tab-0-1](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_it#tab-0-1), consultato il 10 maggio 2022.

<sup>15</sup> Conferenza Mondiale sullo Sviluppo Sostenibile (UNCSD), 23 dicembre 2009 – Rio+20.

<sup>16</sup> Rio+20, "The Future We Want", 2009.



Fig. 1.3

"Agenda 2030": i 17 Obiettivi (Rielaborazione dell'autrice da: <https://www.agenziacoese.gov.it/comunicazione/agenda-2030-per-lo-sviluppo-sostenibile/>).

sul Finanziamento allo Sviluppo, le Nazioni Unite concordano con 193 nazioni l'approvazione dell'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile (Fig. 1.3). Tale documento, che si compone di 17 obiettivi, articolati in 169 "target" e 240 indicatori, impone ai governi firmatari il raggiungimento di tali obiettivi entro il 2030.<sup>17</sup>

Sempre nello stesso anno si svolge a Parigi la Conferenza internazionale sul clima, in cui viene firmato l'Accordo di Parigi, in occasione della 21<sup>a</sup> sessione della conferenza delle parti (COP21).<sup>18</sup> Tale documento prevede che tutti i paesi firmatari si impegnino nell'avviare politiche al fine di limitare le emissioni di gas serra fino ad arrivare ad una economia ad impatto "zero" entro il 2050, allo scopo di mantenere a lungo termine l'aumento della temperatura terrestre al di sotto dei 2°C cercano di limitarlo entro 1.5°C, raggiungendo così i livelli pre-industriali. Nel 2016, si riunisce la Conferenza

<sup>17</sup> Terza Conferenza Internazionale sul Finanziamento allo Sviluppo, 25 settembre 2015 – Agenda 2030.

<sup>18</sup> Conferenza internazionale di Parigi, 12 dicembre 2015 – Accordo di Parigi.

delle Nazioni Unite sull'edilizia abitativa e lo sviluppo urbano sostenibile denominata Habitat III. Lo scopo è raggiungere un modello di sviluppo urbano sostenibile per far fronte all'aumento di popolazione in aree urbane, contrastare la povertà, e creare una "Nuova Agenda Urbana". Significativo è il fatto che sia il primo vertice delle Nazioni Unite che si sia tenuto dopo l'adozione dell'Agenda 2030 e gli Accordi di Parigi.<sup>19</sup>

## 1.2 SOSTENIBILITÀ NEL QUADRO REGOLAMENTATIVO

Dopo aver delineato tutte le tappe fondamentali intraprese dalla comunità internazionale nel paragrafo precedente, si vuole affrontare il quadro normativo di riferimento adottato dalla Comunità Europea in tema di sostenibilità. Come detto pocanzi, l'Unione Europea si è sempre posta in prima linea nella lotta contro al cambiamento climatico, con il Protocollo di Kyoto (1997), come primo punto di riferimento per la creazione di strategie a lungo termine per il raggiungimento degli obiettivi climatici, e con l'Agenda 2030 e degli accordi di Parigi (2015), per il miglioramento dell'efficienza energetica e la produzione di energia proveniente da fonti rinnovabili. Il paragrafo in questione si concentrerà sul settore edilizio e la sua regolamentazione; secondo l'analisi condotta dalla Commissione Europea, infatti, questo settore mostra un notevole potenziale, in quanto è possibile ridurre le emissioni di circa il 90% entro il 2050.

### 1.2.1 LE DIRETTIVE COMUNITARIE

Fin dagli anni '70, l'Europa ha adottato una serie di regole comuni per la tutela ambientale. "La politica dell'Unione in materia ambientale contribuisce a perseguire i seguenti obiettivi:

- *salvaguardia, tutela e miglioramento della qualità dell'ambiente;*
- *protezione della salute umana;*

<sup>19</sup> Conferenza delle Nazioni Unite sull'edilizia abitativa e lo sviluppo urbano sostenibile, 17-20 ottobre 2016 – Habitat III.

- *utilizzazione accorta e razionale delle risorse naturali;*
- *promozione sul piano internazionale di misure destinate a risolvere i problemi dell'ambiente a livello regionale o mondiale e, in particolare, a combattere i cambiamenti climatici".<sup>20</sup>*

Queste regole, definite Direttive, sono atti legislativi che il Parlamento Europeo congiuntamente al Consiglio può adottare per il raggiungimento degli obiettivi fissati e fornisce tutte le indicazioni agli Stati membri, definendo che "La direttiva vincola lo Stato membro cui è rivolta per quanto riguarda il risultato da raggiungere, salvo restando la competenza degli organi nazionali in merito alla forma e ai mezzi".<sup>21</sup> Poiché la disciplina giuridica è in continuo mutamento, possiamo affermare che in ambito comunitario i principali documenti riguardanti la valutazione dell'impatto ambientale e certificazione energetica sono i seguenti.

La Direttiva 2002/91/CE, definita EPDB.<sup>22</sup> È la prima Direttiva riferita al rendimento energetico degli edifici, e viene attuata per far fronte alle limitazioni imposte dal Protocollo di Kyoto (1997); si pone l'obiettivo di "promuovere il miglioramento del rendimento energetico degli edifici nella Comunità [...]".<sup>23</sup>

Al suo interno troviamo i criteri, articolati in 17 articoli, per i quali la riduzione dell'uso energetico impiegato nel settore edilizio può essere attuata. Di seguito vengono riportati i principali articoli. L'articolo 3 "Adozione di una metodologia",<sup>24</sup> stabilisce che gli Stati devono adottare una metodologia di calcolo per la prestazione energetica degli edifici, e che questa deve essere stabilita sia a livello nazionale che regionale, tenendo conto della normativa

<sup>20</sup> Trattato sul funzionamento dell'Unione Europea, art. 191, comma 1.

<sup>21</sup> Trattato sul funzionamento dell'Unione Europea, art. 288, comma 3.

<sup>22</sup> Direttiva 2002/91/CE, del Parlamento e del Consiglio europeo del 16 dicembre 2002 sul rendimento energetico nell'edilizia. [Online] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0091&from=EN>, consultato il 10 maggio 2022.

<sup>23</sup> Direttiva 2002/91/CE, del Parlamento e del Consiglio europeo sul rendimento energetico nell'edilizia, 16 dicembre 2002, art. 1.

<sup>24</sup> Direttiva 2002/91/CE, art. 3.

già vigente nel paese. L'articolo 4 "Fissazione di requisiti di rendimento energetico",<sup>25</sup> stabilisce che gli Stati devono inoltre fissare i requisiti in materia di rendimento energetico calcolati secondo la metodologia citata nell'art. 3, potendo distinguere tra edifici di nuova costruzione ed esistenti. In questo caso la direttiva specifica che tale decisione può essere non attuata dagli Stati membri per alcune categorie di edifici, come "edifici e monumenti ufficialmente protetti come patrimonio designato o in virtù del loro speciale valore architettonico o storico, nei casi in cui il rispetto delle prescrizioni implicherebbe un'alterazione inaccettabile del loro carattere o aspetto".<sup>26</sup>

L'articolo 7 "Attestato di certificazione energetica",<sup>27</sup> introduce l'Attestato di Prestazione Energetica (EPC), di validità di 10 anni e su base volontaria, il quale può essere messo a disposizione al proprietario o ad un futuro acquirente. In riferimento all'art. 4, comma 3, vi è la possibilità di escludere alcuni edifici.

La Direttiva 2010/31/CE, definita EPBD recast,<sup>28</sup> emanata nel maggio 2010, abroga la precedente Direttiva dal 1 febbraio 2012, rendendo di fatto obbligatorio l'Attestato di Prestazione Energetica (EPC) per tutti i nuovi edifici nell'Unione Europea; dovrà essere adottata dagli Stati membri entro e non oltre il 9 luglio 2012. La Direttiva vuole chiarire, ampliare e rafforzare i regolamenti precedenti, senza alterare gli obiettivi, i principi di base e il ruolo di ciascuno Stato membro. Inoltre, ha lo scopo di promuovere il rinnovamento di tutti gli edifici attraverso l'utilizzo di nuovi dispositivi e velocizzare la ristrutturazione di edifici esistenti, entro il 2050, per il miglioramento della performance energetica.

L'articolo 3 "Adozione di una metodologia di calcolo della prestazione energetica degli edifici",<sup>29</sup> stabilisce l'adozione di una metodologia standardizzata

<sup>25</sup> Direttiva 2002/91/CE, art. 4.

<sup>26</sup> Direttiva 2002/91/CE, art. 4, comma 3.

<sup>27</sup> Direttiva 2002/91/CE, art. 7.

<sup>28</sup> Direttiva 2010/31/UE, del Parlamento e del Consiglio europeo del 19 maggio 2010 sulla Prestazione energetica nell'edilizia (rifusione).  
[Online] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0031&from=LT>

<sup>29</sup> Direttiva 2010/31/CE, art. 3.

per il calcolo della performance energetica degli edifici, sia nuovi che esistenti, per tutti gli Stati membri. L'articolo 4 "Fissazione di requisiti minimi di prestazione energetica",<sup>30</sup> introducendo un importante nuovo concetto di "minimo" e "ottimale in funzione dei costi", stabilendo così che "Gli Stati membri adottano le misure necessarie per garantire i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici o delle unità immobiliari al fine di raggiungere livelli ottimali in funzione dei costi".<sup>31</sup>

Nell'articolo 5 "Calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica",<sup>32</sup> stabilisce un "[...] quadro metodologico comparativo per il calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi dei requisiti minimi di prestazione energetica per gli edifici e gli elementi edilizi",<sup>33</sup> conformemente a quanto stabilito nell'Allegato III; andando a stabilire le tipologie di edifici da prendere come "edifici di riferimento" per il calcolo del fabbisogno di energia finale e primaria, calcolando i costi (valore attuale netto) durante l'intero ciclo di vita economica dell'edificio/componente.

Il quadro metodologico è stato attuato dalle Linee guida formalizzate nel "Regolamento Delegato (UE) n. 244/2012 della Commissione del 16 gennaio 2012"<sup>34</sup> per il calcolo dei livelli ottimali in termini di costi dei requisiti minimi di prestazione energetica per gli edifici/componenti; dove il concetto di "costo ottimale" o "Cost Optimal" è inteso come "il costo più basso che può garantire la quantità di energia necessaria per soddisfare il fabbisogno energetico dell'edificio durante il suo ciclo di vita economico stimato".<sup>35</sup> In aggiunta alla precedente EPBD, introduce un nuovo concetto nell'articolo 9 di edifici a energia quasi a zero, definiti nZEB – nearly Zero

<sup>30</sup> Direttiva 2010/31/CE, art. 4.

<sup>31</sup> Direttiva 2010/31/CE, art. 4, comma 1.

<sup>32</sup> Direttiva 2010/31/CE, art. 5.

<sup>33</sup> Direttiva 2010/31/CE, art. 5, comma 1.

<sup>34</sup> Commissione Europea (2012), Regolamento delegato (UE) n. 244/2012 della Commissione Europea del 16 gennaio 2012 che integra la direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio sulla prestazione energetica nell'edilizia istituendo un quadro metodologico comparativo per il calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e degli elementi edilizi.

<sup>35</sup> Fregonara E., (2015), *Valutazione sostenibilità progetto. Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali*, Franco Angeli, Milano, p. 16.

Energy Building.

L'articolo 9 "Edifici a energia quasi zero",<sup>36</sup> stabilisce che "entro il 31 dicembre 2020, tutti gli edifici di nuova costruzione siano edifici a energia quasi zero e, dopo il 31 dicembre 2018, gli edifici di nuova costruzione occupati e di proprietà delle autorità pubbliche siano edifici a energia quasi zero".<sup>37</sup> Stabilisce inoltre che gli Stati hanno l'obbligo di elaborare "piani nazionali" per promuovere la costruzione di edifici a energia quasi zero, che comprendano un'applicazione dettagliata nella pratica della definizione di suddetti edifici, oltre a dare informazioni sulle politiche e sulle misure finanziarie da adottare per la promozione degli edifici nZEB. L'Attestato di Prestazione Energetica (EPC), introdotto dalla precedente Direttiva, viene ripreso e aggiornato dall'EPBD recast nell'articolo 11-12, rispettivamente "Attestato di prestazione energetica" e "Rilascio dell'attestato di prestazione energetica", per "consentire ai proprietari o locatari dell'edificio o dell'unità immobiliare di valutare e raffrontare la prestazione energetica",<sup>38</sup> stabilendo a quale tipologia edilizia l'EPC debba essere rilasciato.

La Direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica,<sup>39</sup> emanata il 25 ottobre 2012, si concentra maggiormente sull'imporre ulteriori limiti sull'uso di strumenti volti al miglioramento dell'efficienza energetica all'interno dell'UE. Gli unici articoli che effettivamente parlano degli edifici sono individuati nell'articolo 4 "Ristrutturazione edilizia",<sup>40</sup> dove viene chiesto agli Stati membri di creare strategie per la ristrutturazione del parco immobiliare presente sul territorio, stabilisce inoltre, che gli Stati devono stabilire "politiche" volte ad incentivare tali procedure. Nell'articolo 5 intitolato "Ruolo esemplare degli edifici degli enti pubblici"<sup>41</sup> ci si riferisce a tutti gli edifici di enti pubblici in cui "Gli Stati membri

<sup>36</sup> Direttiva 2010/31/CE, art. 9.

<sup>37</sup> Direttiva 2010/31/CE, art. 9, comma 1, lettere A) e B).

<sup>38</sup> Direttiva 2010/31/CE, art. 11, comma 1.

<sup>39</sup> Direttiva 2012/27/UE, del Parlamento e del Consiglio europeo del 25 ottobre 2012 sull'Efficienza energetica, modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE.  
[Online] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0027&from=EN>, consultato il 11 maggio 2022.

<sup>40</sup> Direttiva 2012/27/UE, art. 4.

<sup>41</sup> Direttiva 2012/27/UE, art. 5.

dispongono che le misure di efficienza energetica siano destinate prioritariamente agli edifici del governo centrale con la più bassa prestazione energetica, laddove ciò è efficiente in termini di costi e tecnicamente possibile".<sup>42</sup>

Infine vi è la Direttiva 2018/844/UE, emanata il 30 maggio 2018, e rappresenta l'ultimo testo inerente la prestazione energetica nell'edilizia, la quale revisiona le Direttive 2012/27/UE e 2010/31/CE, andando a modificare in parte la EPBD recast. Obiettivo principale è quello di raggiungere "lo sviluppo di un sistema energetico sostenibile, competitivo, sicuro e decarbonizzato".<sup>43</sup>

In particolare l'articolo 2 bis "Strategia di ristrutturazione a lungo termine",<sup>44</sup> imponendo l'obbligo per gli Stati membri di "stabilire una strategia a lungo termine per sostenere la ristrutturazione del parco nazionale di edifici [...], al fine di ottenere un parco immobiliare decarbonizzato e ad alta efficienza energetica entro il 2050, facilitando la trasformazione efficace in termini di costi degli edifici esistenti in edifici a energia quasi zero",<sup>45</sup> con l'obiettivo di ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> di circa l'85-90% rispetto al 1990. Tale strategia deve comprendere:

A. Un resoconto del parco immobiliare nazionale.

B. L'individuazione di approcci per una ristrutturazione efficace in termini di costi, tenendo conto del tipo di edificio e della sua ubicazione.

C. La creazione di politiche volte per favorire una ristrutturazione degli edifici con interventi mirati che possano contenere i costi d'intervento.

D. Fornire una panoramica delle politiche adottate per andare a contrastare quei segmenti del parco immobiliare con le prestazioni peggiori;

E. Politiche che devono essere rivolte a tutti gli edifici pubblici;

<sup>42</sup> Direttiva 2012/27/UE, art. 5.

<sup>43</sup> DIRETTIVA 2018/844/UE, considerazioni (1).

<sup>44</sup> Direttiva 2018/844/UE, art. 2 bis.

<sup>45</sup> Direttiva 2018/844/UE, art. 2 bis, comma 1.

F. Una raccolta delle iniziative che promuovono dispositivi intelligenti nonché la promozione di formazione di figure professionali nel campo dell'efficienza energetica nel settore edile;

G. Fornire una previsione economica del risparmio energetico che si intende ottenere.

La "ristrutturazione a lungo termine" permetterà di avere un parco immobiliare ad alta performance energetica, trasformando gli edifici esistenti in edifici nZEB attraverso interventi mirati che permettano il contenimento dei costi.<sup>46</sup>

### 1.2.2 A RENOVATION WAVE FOR EUROPE: GREENING OUR BUILDINGS, CREATING JOBS, IMPROVING LIVES

Come detto nei precedenti paragrafi, l'Europa si pone l'obiettivo strategico di ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> del 55% entro il 2050. Per attuare questi cambiamenti la Commissione europea ha varato il Green Deal europeo, il quale contiene al suo interno una serie d'iniziative volte a perseguire gli obiettivi fissati. Il rinnovamento degli edifici pubblici e privati è un'azione essenziale ed è stata individuata nel Green Deal Europeo come un'iniziativa chiave per promuovere l'efficienza energetica nel settore, guidando al contempo la transizione verso l'energia pulita. Per perseguire questa duplice ambizione di guadagni energetici e crescita economica, il 14 ottobre 2020 la Commissione ha pubblicato la strategia "A Renovation Wave for Europe – Greening Our Buildings, Creating Jobs, Improving Lives"<sup>47</sup> per promuovere il rinnovamento nell'UE. Il comunicato affronta nella prima parte le caratteristiche del nostro parco immobiliare, il cui 85%, vale a dire 220 milioni di unità abitative, si stima essere antecedente al 2001. Se si tiene conto della poca prestazione sotto il profilo energetico di questi edifici e che, tra gli edifici esistenti quasi l'85–95 % sarà ancora in uso fino al 2050, si comprendono le necessità di andare a intervenire su tale settore;

<sup>46</sup> Direttiva 2018/844/UE, art. 2 bis, comma 1, lettere dalla A) alla G).

<sup>47</sup> COM(2020) 662 finale, del 14 ottobre 2020. [Online] <https://www.mite.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/life/Ondata%20di%20ristrutturazioni%20per%20Europa.pdf>, consultato il 11 maggio 2022.

a cui "è imputabile circa il 40% del consumo totale di energia dell'UE e il 36% delle emissioni di gas a effetto serra associate a questo consumo".<sup>48</sup>

Per ottenere tali risultati l'Europa dovrebbe intervenire intensamente sul parco immobiliare, arrivando a ridurre il 60% delle emissioni di CO<sub>2</sub> e il 14–18% del consumo energetico per riscaldamento e raffrescamento. Data la natura ad alta intensità di manodopera del settore edile, in gran parte dominato dalle imprese locali, le ristrutturazioni edilizie possono anche svolgere un ruolo cruciale nella ripresa economica europea dopo la pandemia da COVID-19, arrivando a creare circa 160'000 posti di lavoro nel settore.<sup>49</sup>

- Al fine di raggiungere tali obiettivi la "Renovation Wave" esprime i sette principi fondamentali sulla quale si basa:
- efficienza energetica al primo posto.
- accessibilità economica.
- decarbonizzazione e integrazione delle rinnovabili.
- concetto di ciclo di vita e circolarità.
- standard sanitari e ambientali elevati.
- affrontare in contemporanea la duplice sfida della transizione verde e digitale.
- rispetto dell'estetica e della qualità architettonica.<sup>50</sup>

Nella Fig. 1.4 è una rappresentazione schematica che individua la "Renovation Wave" all'interno del Green Deal europeo.

<sup>48</sup> COM(2020) 662 finale, del 14 ottobre 2020, p. 1.

<sup>49</sup> Commissione europea, *Employment and Social Developments in Europe, Annual review*, 2019.

<sup>50</sup> COM(2020) 662 finale – 2. Principi fondamentali per la ristrutturazione degli edifici a orizzonte 2030 e 2050, p. 3-4.

### 1.2.3 GREEN PUBLIC PROCUREMENT (GPP) E SUSTAINABLE PUBLIC PROCUREMENT (SPP)

Per capire come il Green Public Procurement (GPP) sia entrato a far parte delle strategie individuate dall'Europa per il raggiungimento della sostenibilità ambientale, bisogna comprendere le motivazioni che hanno portato l'Unione Europea verso un'economia di tipo circolare. L'economia circolare (CE) raffigurata in Fig. 1.5, è un modello economico nel quale un prodotto, una volta terminata la sua funzione, viene reintrodotta, dove possibile, in un nuovo ciclo di produzione per la creazione di nuovi materiali. In questo modo si allunga la vita del prodotto iniziale, il quale genera ulteriore valore, senza andare a esaurire nuove materie prime.<sup>51</sup> L'economia circolare deve essere integrata in ogni fase del nostro sistema, come mostrato in Fig. 1.6.<sup>52</sup>

Nel 2018 il Parlamento Europeo ha approvato il "Pacchetto sull'economia circolare"<sup>53</sup> che fissa gli obiettivi per il riuso e riciclo dei materiali (Fig. 1.7). Secondo l'UE la gestione degli appalti pubblici può svolgere un ruolo chiave nella promozione dell'economia circolare; richiedendo dei criteri d'intervento all'interno del sistema di appalti nelle principali aree d'intervento:

- progettazione del prodotto;
- produzione sostenibile;
- materie prime seconde;
- miglior gestione dei rifiuti;
- consumo sostenibile.<sup>54</sup>

Queste aree riguardano sia le imprese sia le pubbliche amministrazioni in qualità di acquirenti.

<sup>51</sup> Falaschi V., *W.HOUSE: Architettura e Sostenibilità nel nuovo ecoquartiere Alc.Este di Ferrara*, Politecnico di Torino, 2020–2021, p.15.

<sup>52</sup> Ellen MacArthur Foundation (2012), *Towards the circular economy. Economic and business rationale for an accelerating transition*, in Report, p.24.

<sup>53</sup> COM(2015) 614, del 2 dicembre 2015.

<sup>54</sup> Wirahadikusumah, R.; Abdul, M.; Messah, Y.; Aulia M., *Introducing sustainability principles into the procurement of construction works—case of Indonesian developers*, int. J. constr. Manag., 2019.

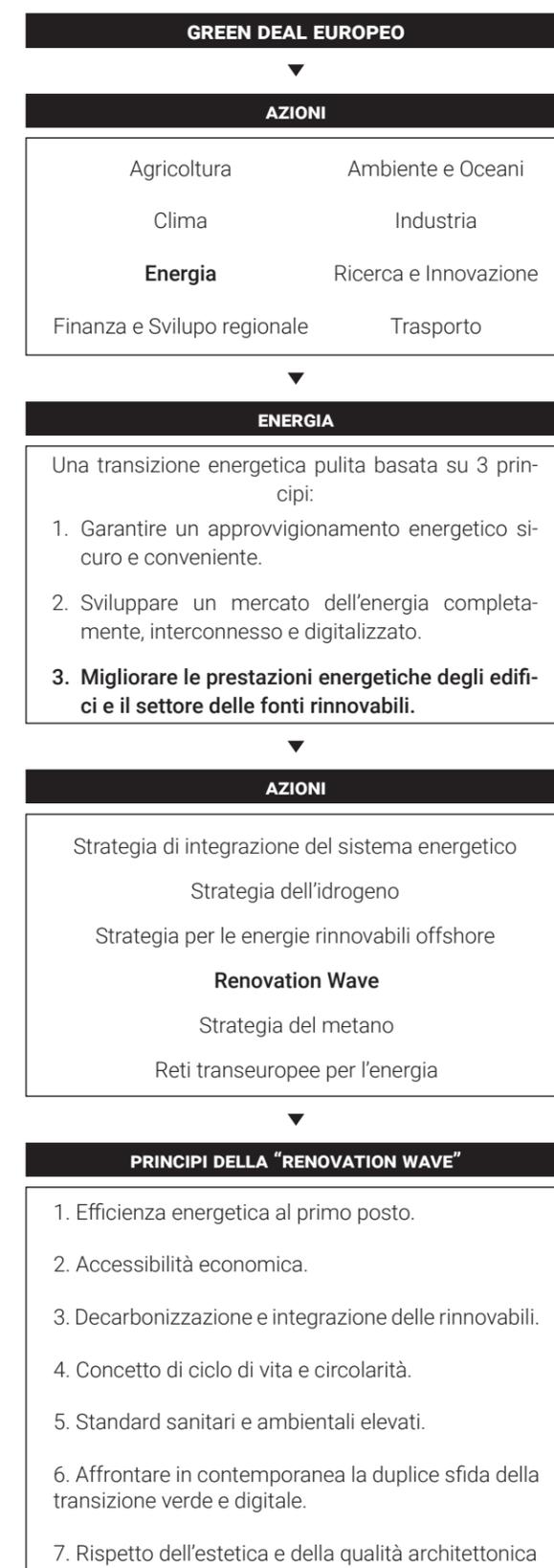


Fig. 1.4

Schema dal Green Deal europeo e i principi della Renovation Wave (Elaborazione dell'autrice).

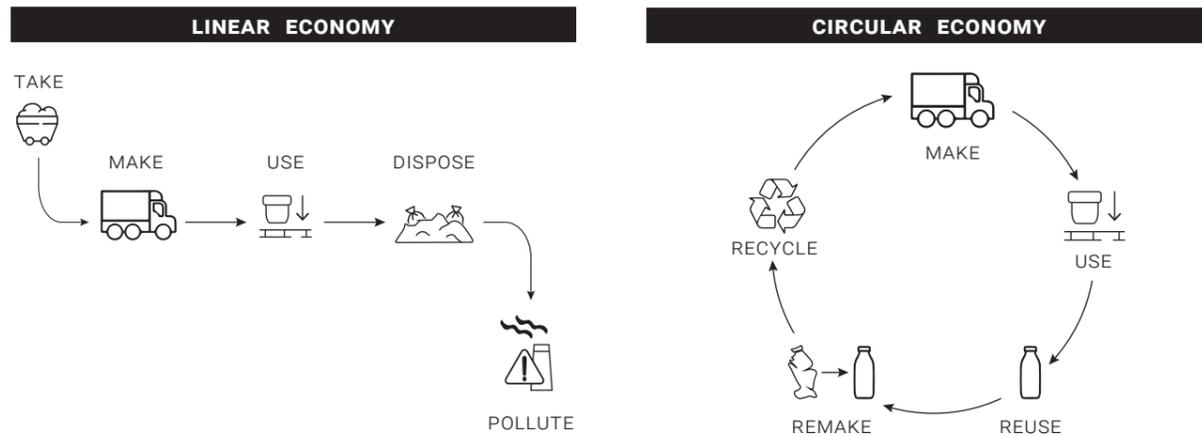


Fig. 1.5

Schema che pone a confronto l'economia lineare con quella circolare (Rielaborazione dell'autrice da: <https://www.rts.com/blog/the-circular-economy-what-is-it-and-why-does-it-matter/>).

Aumentare il ciclo di vita dei componenti edilizi permette di diminuire sia la produzione di nuovi componenti sia di generare rifiuti.<sup>55</sup> La Commissione Europea definisce il Green Public Procurement (GPP), in italiano Acquisti sostenibili della Pubblica Amministrazione, come:

*“L'approccio in base al quale le Amministrazioni Pubbliche integrano i criteri ambientali in tutte le fasi del processo di acquisto, incoraggiando la diffusione di tecnologie ambientali e lo sviluppo di prodotti validi sotto il profilo ambientale, attraverso la ricerca e la scelta dei risultati e delle soluzioni che hanno il minore impatto possibile sull'ambiente lungo l'intero ciclo di vita”.*<sup>56</sup>

Il GPP mira quindi a incorporare le considerazioni ambientali nei processi di appalto e a guidarle nella selezione di beni, servizi e opere che hanno il minor impatto sull'ambiente e sulla salute umana.<sup>57</sup> Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare pubblica il *“Piano d'azione per la sostenibilità ambientale dei consumi della pubblica amministrazione”*<sup>58</sup> definito in seguito PAN GPP, approvato con D. Interm. 135/2008 e modificato dal seguente Decreto 10 aprile 2017.<sup>59</sup> Obiettivo del PAN GPP è quello di aumentare la diffusione del GPP nelle pubbliche amministrazioni adottando dei “Criteri Ambientali Minimi” definiti CAM dividendoli in:

- CRITERI FONDAMENTALI. Sono quei criteri che possono essere utilizzati dalle pubbliche

<sup>55</sup> Sanchez, B.; Rausch, C.; Haas, C.; Saari, R., *A selective disassembly multi-objective optimization approach for adaptive reuse of building components*, *Ris. Conserv. Riciclare*, 2020, vol. 154, 104605.

<sup>56</sup> Schizzerotto F., *I principali provvedimenti europei ed italiani in materia di Green Public Procurement*, *Riv. giur. Ambiente*, 2004, vol. 6, p. 967.

<sup>57</sup> Direttiva 2004/17/CE e 2004/18/CE.

<sup>58</sup> Piano d'azione per la sostenibilità ambientale dei consumi della pubblica amministrazione – PAN GPP, approvato tramite il D. Interm. n°135 dell'11 aprile 2008 modificato dal Decreto 10 aprile 2017. [Online] [https://www.mite.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/GPP/all.to\\_19\\_PAN\\_GPP\\_definitivo\\_21\\_12\\_2007.pdf](https://www.mite.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/GPP/all.to_19_PAN_GPP_definitivo_21_12_2007.pdf), consultato il 16 maggio 2022.

<sup>59</sup> Decreto 10 aprile 2017, *Condizioni, limiti, modalità e termini di decorrenza delle agevolazioni fiscali e contributive in favore di micro e piccole imprese localizzate nelle zone franche urbane delle regioni dell'obiettivo Convergenza*, pubblicato sulla G.U. n° 234 del 6 ottobre 2017.

**% DI PREPARAZIONE PER IL RIUTILIZZO E RICICLO DEI RIFIUTI DEI MATERIALI**



**% DI SMALTIMENTO IN DISCARICA DEI RIFIUTI**



Fig. 1.7

Schema degli obiettivi fissati nel “Pacchetto sull'economia circolare” (Elaborazione dell'autrice).

amministrazioni senza effettuare verifiche aggiuntive o aumento dei costi;

- CRITERI GLOBALI. Sono quei criteri che richiedono un maggiore sforzo di verifica e costi più alti rispetto ad altri prodotti con la stessa funzionalità.

Questi criteri prevedono che:

- il design di un prodotto deve poter essere assemblabile e recuperabile;
- i prodotti siano materialmente ed energeticamente più leggeri;
- i materiali devono poter essere riciclabili;
- la durata di vita dei beni deve essere estesa;
- deve essere promossa l'innovazione tecnologica.<sup>60</sup>

<sup>60</sup> Commissione Europea, *Public procurement for a circular Economy. Good practice and guidance*, Environment, 2017. [Online] [https://ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/Public\\_procurement\\_circular\\_economy\\_brochure.pdf](https://ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/Public_procurement_circular_economy_brochure.pdf), consultato il 15 maggio 2022.

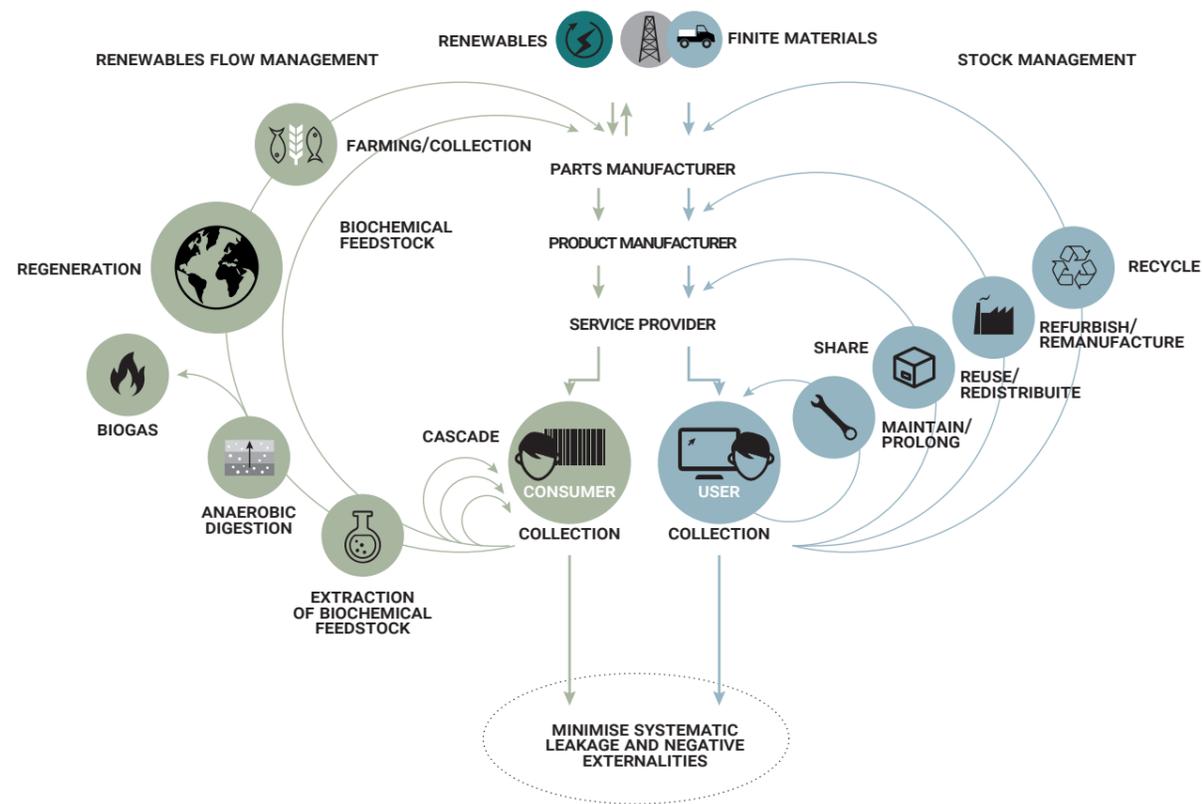


Fig. 1.6

Schema del sistema di economia circolare, dove la gestione del flusso di energie rinnovabili (Rielaborazione dell'autrice da: [www.ellenmacarthurfoundation.org](http://www.ellenmacarthurfoundation.org)).

Nel contesto italiano troviamo il D.Lgs. n. 163/2006 "Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture",<sup>61</sup> il quale recepisce le Direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE, prevede che "ogniquale volta sia possibile" devono essere tenute in considerazione gli aspetti di tutela ambientale nell'individuazione delle "specifiche tecniche".<sup>62</sup> L'obbligo di tener in considerazione nelle scelte la componente ambientale è in linea con la strategia europea che emerge dalla "Integrated Product Policy-IPP",<sup>63</sup> Libro Verde sulla politica integrata relativa ai prodotti,<sup>64</sup> il quale si basa sulla constatazione che un prodotto/servizio, sviluppato sul concetto dell'analisi del ciclo di vita, possa agevolare il raggiungimento degli obiettivi fissati. Infatti, l'IPP, ha come obiettivo quello di rafforzare ed orientare le politiche ambientali riguardanti i prodotti e servizi per promuovere lo sviluppo di un mercato più "ecologico" ed equo.

Nel corso degli anni le organizzazioni dell'ONU e dell'Unione Europea hanno stabilito parametri sempre più stringenti chiarendo che per raggiungere pienamente la sostenibilità, negli appalti pubblici, la sfera ambientale deve relazionarsi con quella sociale (SRPP, Socially Responsible Public Procurement) integrandosi con essa; si va a definire così il SPP "Sustainable Public Procurement", in italiano "Appalti Pubblici Sostenibili". Questi sono un processo mediante il quale le autorità pubbliche cercano di raggiungere l'equilibrio appropriato tra i tre pilastri dello sviluppo sostenibile – economico, sociale e ambientale – quando acquistano beni, servizi o lavori in tutte le fasi del progetto, garantendo benefici non solo all'organizzazione, ma anche alla società e all'economia, riducendo al minimo i danni all'ambiente.

<sup>61</sup> D.Lgs. n. 163 12 del 12 aprile 2006

<sup>62</sup> D. Lgs. 12 aprile 2006 n. 163, art 68 "Specifiche tecniche".

<sup>63</sup> IPP è un approccio che tenta di ridurre l'impatto ambientale dei prodotti nell'arco dell'intero ciclo di vita.

<sup>64</sup> Libro Verde sulla politica integrata relativa ai prodotti, Comunicazione 302/03, Bruxelles 7 febbraio 2001. [Online] [https://www.mite.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/GPP/all.to\\_7\\_Libro\\_Verde\\_IPP\\_COM\\_2001\\_68.pdf](https://www.mite.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/GPP/all.to_7_Libro_Verde_IPP_COM_2001_68.pdf), consultato il 20 marzo 2022.

#### 1.2.4 RECOVERY AND RESILIENCE PLAN (RRP) – PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR)

Nel corso del 2020, la crisi sanitaria da Covid-19 ha colpito l'economia italiana più di altri Paesi europei, facendo crollare il prodotto interno lordo dell'8,9%, a fronte di un calo medio nella Comunità Europea del 6,2%.<sup>65</sup> La BCE, attraverso il Pandemic Emergency Purchase Programme, ha introdotto strumenti per il controllo dello spread tramite l'acquisto di titoli pubblici e privati.<sup>66</sup> Oltre a questo, i governi europei hanno attivato una serie di accordi di lavoro a orario ridotto che hanno sostenuto i flussi di reddito per i dipendenti e alleggerito i costi del lavoro per i datori di lavoro, tra cui lo strumento SURE<sup>67</sup> e lo strumento di sostegno alla crisi pandemica quasi privo di condizioni del MES.<sup>68</sup> Il programma d'intervento denominato Next Generation EU (NGEU),<sup>69</sup> è la risposta che l'Unione Europea ha adottato per contrastare la pandemia e rappresenta un'opportunità di sviluppo, investimenti e riforme, tramite varie azioni:

- investimenti e riforme per accelerare la transizione ecologica e digitale;
- miglioramento della formazione delle lavoratrici e dei lavoratori;
- conseguimento di una maggiore equità di genere, territoriale e generazionale.<sup>70</sup>

All'interno del programma Next Generation EU (NGEU) si inserisce il Piano Nazionale di Ripresa

<sup>65</sup> PNRR – Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza. [Online] <https://www.governo.it/sites/governo.it/files/PNRR.pdf>

<sup>66</sup> PEPP – Pandemic Emergency Purchase Programme - è uno strumento non convenzionale adottato dalla Banca Centrale Europea per affrontare la crisi economica scaturita dalla pandemia da Covid-19.

<sup>67</sup> SURE – Supporto agli Stati Membri per aiutare a proteggere i posti di lavoro e i lavoratori. [Online] [https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/economy-finance/sure\\_factsheet\\_it.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/economy-finance/sure_factsheet_it.pdf)

<sup>68</sup> MES – Meccanismo Europeo di Stabilità. [Online] [https://www.bancaditalia.it/media/fact/2019/mes\\_riforma/index.html?dotcache=refresh](https://www.bancaditalia.it/media/fact/2019/mes_riforma/index.html?dotcache=refresh), consultato il 20 marzo 2022.

<sup>69</sup> Next Generation EU è spesso definito dai media «Recovery Fund» (Fondo per la ripresa).

<sup>70</sup> PNRR, p. 5.

e Resilienza (PNRR), la cui componente principale è il Dispositivo per la Ripresa e Resilienza (Recovery and Resilience Facility, RRF). Il dispositivo RRF richiede agli Stati membri di presentare un pacchetto di investimenti e riforme, con 750 miliardi di euro, tramite il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), il quale si compone di 6 Missioni e 16 Componenti (Fig. 1.8).

<b>M1</b>	DIGITALIZZAZIONE, INNOVAZIONE, COMPETITIVITÀ, CULTURA E TURISMO
<b>M2</b>	RIVOLUZIONE VERDE E TRANSIZIONE ECOLOGICA
<b>M3</b>	INFRASTRUTTURE PER UNA MOBILITÀ SOSTENIBILE
<b>M4</b>	ISTRUZIONE E RICERCA
<b>M5</b>	INCLUSIONE E COESIONE
<b>M6</b>	SALUTE

Il programma è fortemente incentrato sull'inclusione di genere e sul sostegno all'istruzione, alla formazione e all'occupazione dei giovani. Gli impatti ambientali indiretti sono valutati e ridotti al minimo secondo il principio "nessun danno significativo" per l'ambiente che ha ispirato il NGEU. Il piano prevede un ambizioso programma di riforme, con il governo che intende attuare quattro principali riforme contestuali: pubblica amministrazione, giustizia, semplificazione legislativa e promozione della concorrenza. La struttura sovrintende all'attuazione del piano ed è responsabile dell'invio delle richieste di pagamento alla Commissione Europea, a seconda del raggiungimento degli obiettivi previsti. Oltre a questa struttura di coordinamento, esistono strutture di valutazione e di controllo.

D'altra parte, le autorità competenti sono responsabili dei singoli investimenti e delle singole riforme e trasmettono le loro relazioni alla struttura centrale di coordinamento. Il governo dovrà inoltre istituire dei gruppi di lavoro a livello locale per aiutare le amministrazioni territoriali a migliorare la loro capacità di investimento e semplificare le procedure, stimando che gli investimenti previsti nel piano avranno un impatto significativo sulle principali variabili macroeconomiche. "Nell'ultimo triennio

dell'orizzonte temporale (2024-2026), l'occupazione sarà più alta di 3,2 punti percentuali".<sup>71</sup> Nel secondo capitolo verranno approfonditi i temi inerenti alla riqualificazione degli edifici, trattati nella Missione 2 "Rivoluzione verde e transizione ecologica".

#### 1.3 GLI APPROCCI DI VALUTAZIONE AL CICLO DI VITA

In questo paragrafo si vogliono approfondire le tematiche della riqualificazione energetica degli edifici, attraverso l'uso di strumenti metodologici a supporto delle decisioni in ambito estimativo per la valutazione economica-ambientale dei progetti. Nel settore delle costruzioni queste metodologie rappresentano un importante strumento a supporto dei progettisti, i quali devono poter orientare le proprie scelte verso soluzioni che comprendano l'impatto economico, sociale e ambientale. In questo senso la componente di costo assume un ruolo centrale per la riuscita di un progetto sostenibile.<sup>72</sup>

##### 1.3.1 IL CONCETTO LIFE CYCLE THINKING (LCT)

L'approccio *Life Cycle Thinking*, sviluppato a partire dagli anni '50, è definito come "un approccio per la valutazione degli impatti di un sistema – inclusi i costi – fondato sulla premessa che il consumo di un prodotto/servizio comporta molteplici attività correlate fra loro".<sup>73</sup>

L'obiettivo dell'approccio del *Life Cycle Thinking* è portare a una riduzione e ottimizzazione delle risorse utilizzate nel ciclo di vita di un prodotto; valuta di fatto gli impatti che un prodotto ha nel suo intero ciclo di vita, inclusi i costi di produzione, rendendo così possibile andare a identificare e a proporre delle alternative progettuali al fine di ottimizzare le risorse negli eventuali impatti ambientali, come la diminuzione delle emissioni inquinanti e allo stesso tempo provvedere al miglioramento

<sup>71</sup> Piano Nazionale Di Ripresa E Resilienza, p. 5.

<sup>72</sup> Fregonara E., *op. cit.*, p.99.

<sup>73</sup> *ibid.*

PNRR		
MISSIONI	COMPONENTI	AGENDA 2030
<b>M1.</b> Digitalizzazione, innovazione, competitività, cultura e turismo.	C1. Digitalizzazione, innovazione nella PA C2. Digitalizzazione, innovazione e competitività nel sistema produttivo C3. Turismo e cultura 4.0	
<b>M2.</b> Rivoluzione verde e transizione ecologica.	C1. Economia circolare e agricoltura sostenibile C2. Energia rinnovabile, idrogeno, rete e mobilità sostenibile C3. Efficienza energetica e riqualificazione degli edifici C4. Tutela del territorio e della risorsa idrica	     
<b>M3.</b> Infrastrutture per una mobilità sostenibile.	C1. Investimenti sulla rete ferroviaria C2. Intermodalità e logistica integrata	
<b>M4.</b> Istruzione e ricerca.	C1. Potenziamento dell'offerta dei servizi di istruzione: dagli asili nidi alle università C2. Dalla ricerca all'impresa	
<b>M5.</b> Inclusione e coesione.	C1. Politiche per il lavoro C2. Infrastrutturano sociali, famiglie, comunità e terzo settore C3. Interventi speciali per la coesione territoriale	   
<b>M6.</b> Salute.	C1. Reti di prossimità, strutture e telemedicina per l'assistenza sanitaria territoriale C2. Innovazione, ricerca e digitalizzazione del servizio sanitario nazionale	 

Fig. 1.8

Schema del PNRR, raffigurante le Missioni, i Componenti e gli obiettivi dell'Agenda 2030 (Elaborazione dell'autrice).

delle prestazioni socio-economiche del prodotto.

Permette di fatto di inserire in un'unica soluzione finale le tre componenti della sostenibilità: sociale, economica e ambientale.

Per progettare in maniera sostenibile secondo il metodo *Life Cycle Thinking* occorre perseguire, dalla fase iniziale alla fase di fine vita i seguenti obiettivi:"

- *minimizzare l'uso delle risorse;*
- *scegliere materiali e risorse energetiche con minor impatto;*
- *ottimizzare la vita utile dell'edificio;*
- *estendere la vita dei materiali;*
- *facilitare il disassemblaggio".<sup>74</sup>*

Avvalersi dell'approccio *Life Cycle Thinking* (LCT), vuol dire avvalersi di un nuovo modo di pensare che trova la sua attuazione tramite strumenti come: il *Life Cycle Costing* (LCC), il *Life Cycle Assessment* (LCA), il *Social Life Cycle Assessment* (SLCA) e il *Life Cycle Sustainable Assessment* (LCSA).

### 1.3.2 L'APPROCCIO LIFE CYCLE COSTING (LCC)

L'approccio *Life Cycle Costing* (LCC) è uno strumento nato per la valutazione economica di diverse soluzioni alternative selezionate per lo sviluppo di un progetto, definito dalla norma "ISO 15686-5:2017 – *Building and Constructed Assets. Service-Life Planning. Part 5-Life Cycle Costing*",<sup>75</sup> la quale fornisce requisiti e linee guida per l'esecuzione di analisi dei costi del ciclo di vita.

L'analisi LCC permette dunque di confrontare diversi scenari ed alternative progettuali, arrivando alla costruzione di veri e propri "pacchetti ottimali" di prestazione energetica che definiscano in maniera univoca gli interventi applicabili all'edificio in modo

da ottenere delle prestazioni quanto più ottimali sia in termini energetici che economici durante l'intero ciclo di vita dell'edificio. È perciò uno strumento fondamentale di supporto nella fase decisionale, utile anche alla scelta relativa all'opportunità o meno di investire nel progetto.

Ma cosa si intende per ciclo di vita di un edificio?

Nell'analisi LCC tale concetto considera tutte le fasi che caratterizzano l'intero ciclo di vita "dalla culla alla tomba". Ci sono sei fasi e sono:

1. AVVIO
2. PIANIFICAZIONE
3. PROGETTAZIONE
4. COSTRUZIONE
5. ESERCIZIO, MANUTENZIONE, SOSTITUZIONE
6. FINE DI VITA, SMALTIMENTO

Di seguito vengono illustrate le fasi di vita correlate al *Whole Life Cost* e al *Life Cycle Cost*, differenziando ulteriormente *Life Cycle Cost in construction* e *Life Cycle Cost in use* (Fig. 1.9). Questa continuità in tutte le sue fasi consente quindi di determinare il costo globale di un progetto, determinato non solo dai costi di costruzione ma da tutte le spese inerenti al mantenimento dell'edificio per tutto l'arco della sua vita utile. Secondo la norma ISO 15686-5:2007, il concetto di *Global Cost* è il fondamento della metodologia LCC, in quanto rappresenta il costo globale di un edificio o parte di esso dalla primissima fase iniziale fino allo smaltimento o della sua demolizione (Fuller, 2016) ed altri costi relativi, come:

- i costi iniziali di progetto, di acquisto e di costruzione;
- i costi legati all'attività manutentiva, comprendendo le attività di controllo e verifica;
- i costi legati ai consumi per il funzionamento

<sup>74</sup> Nicoletta M., De Falco F., (2018), *Verso una "sostenibilità programmata": Valutazioni LCA e LCC per la progettazione di coperture piane*, Ingenio, p. 3.

<sup>75</sup> Norma ISO 15686-5:2017 – *Building and Constructed Assets. Service-Life Planning. Part 5-Life Cycle Costing*, giugno 2017.

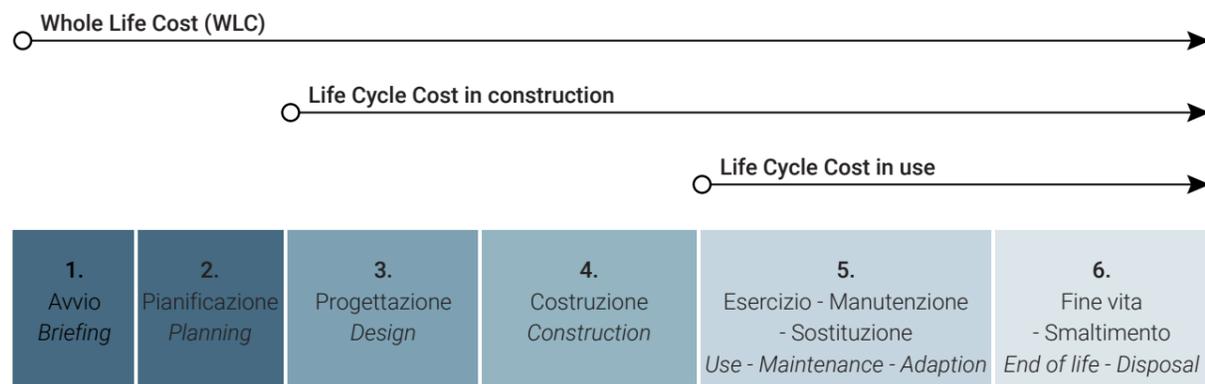


Fig. 1.9

Rappresentazione del ciclo di vita edilizio: Whole Life Cost, Life Cycle Cost in construction e Life Cycle Cost in use (Rielaborazione dell'autrice da: FREGONARA E., (2015), Valutazione sostenibilità progetto. Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali, Franco Angeli, Milano, p. 20).

VALUTAZIONE DELLA SOSTENIBILITÀ ECONOMICO-AMBIENTALE DEI PROGETTI // Gli approcci di valutazione al ciclo di vita

dell'edificio;

- i costi di fine vita, che sono: smaltimento, riciclo, recupero/riuso.<sup>76</sup>

Vanno inoltre considerate le seguenti voci di costo riguardanti:

- i costi energetici e idrici;
- i valori residui: valori di rivendita/recupero/ costi di smaltimento.

Il concetto di Global Cost, tratto dal Documento CEN (Comitato Europeo di Normalizzazione), rappresenta una categoria di costo volta all'armonizzazione della metodologia nell'Unione Europea per il calcolo della performance energetica. La sua applicazione è definita dalla norma Standard EN 15459:2008 – Prestazione energetica degli edifici – Procedura di valutazione economica dei sistemi energetici degli edifici, che prevede la modalità di calcolo:

- metodo del costo globale (Global Cost).
- valore attualizzato (altro metodo).

Secondo la EN 15459:2008, il Global Cost è

<sup>76</sup> Fuller S., (2016), *Life Cycle Cost Analysis, Whole Building Design Guide (WBDG)*.  
[Online] <https://www.wbdg.org/resources/life-cycle-cost-analysis-lcca>.

formulato come:<sup>77</sup>

$$CG(\tau) = C_i + \sum_{i=0}^N [(C_{a,i(j)} * Rd(i)) - V_{f,\tau(j)}]$$

In cui:

$CG(\tau)$ : rappresenta il Global Cost riferito all'anno iniziale  $t_0$ ;

$C_i$ : rappresenta i costi di investimento iniziali non attualizzati;

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

$R_d(i)$ : 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  $t_0$ ).

Dove il fattore di attualizzazione  $R_d$  può essere espresso come:

$$R_d = 1 / (1+R_r)^p$$

In cui:

$R_r$ : rappresenta il saggio di sconto reale;

<sup>77</sup> Fregonara E., *op. cit.*, p. 23.

$p$ : il periodo di riferimento;

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

$$LCC = \sum_{i=0}^N [(C_t / (1+r)^t]$$

Dove:

$C_t$ : è la somma dei costi rilevanti;

$N$ : rappresenta il numero di anni del periodo considerato;

$r$ : rappresenta il saggio di sconto.

Distinguendo tra le componenti dei costi rilevanti si possono distinguere differenti componenti di costo di investimento iniziale ( $C_i$ ), quella di costo di gestione ( $C_g$ ) e quella di manutenzione ( $C_m$ ), ottenendo la seguente formula:

$$LCC = C_i + \sum_{i=0}^N [C_g + C_m / (1+r)^t \pm V_r (1 / (1+r)^N)]$$

In cui:

$LCC$ : 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 manufatto, dei materiali o componenti.

Nell'analisi LCC il *valore residuo* di un bene può essere sia positivo, se il bene ha mantenuto un valore alla fine del suo ciclo di vita, sia negativo nel caso in cui non l'abbia mantenuto e debba essere smaltito. Osservando la formula espressa

precedentemente possiamo affermare che il costo nel ciclo di vita dipenda da numerosi fattori, come il tasso di sconto o il tasso d'interesse, nonché dal tipo e dalla qualità del materiale utilizzato e dal tipo di gestione e manutenzione a cui il bene è sottoposto. Per costi *rilevanti* si intendono dunque:<sup>78</sup>

- i *costi di costruzione*, che si presentano nella fase iniziale e che sono relativi non solo all'edificio in sé, ma anche, eventualmente, a quelle opere a completamento del progetto (aree verdi, parcheggi, ecc.) e includono anche le spese di progettazione;
- i *costi di esercizio* o di gestione ( $C_g$ ), tra i quali ad esempio i costi di riscaldamento, acqua calda sanitaria e energia elettrica, tasse, che sono distribuiti lungo tutto il periodo di tempo considerato dall'analisi;
- i *costi di manutenzione* ( $C_m$ ) sono i costi sostenuti per mantenere l'edificio in funzione e sono anch'essi distribuiti nell'arco temporale considerato;
- i *costi di fine vita* da considerarsi solo in caso ci sia la necessità di effettuare una demolizione e il successivo smaltimento dell'opera e dunque non sia presente un valore residuo.

Mentre per costi non rilevanti si intendono le esternalità caratterizzate dalla non monetizzabilità e, dunque, sono esclusi dall'analisi:

- i *costi non di costruzione* (costo del terreno, tasse, interessi e spese finanziarie, ecc.);
- i *ricavi* remunerati dalle vendite o dagli affitti.

L'insieme delle due categorie di costi rappresenta il Whole Life Cost, una categoria di costo che include il Life Cycle Cost (Fig. 1.10 – 1.11).

Se si considerano gli aspetti metodologici l'analisi LCC prevede i seguenti passaggi:"

#### 1. Definizione dell'obiettivo dell'analisi;

<sup>78</sup> Norma ISO 15686-5:2017 (en) – *Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 5: Life-cycle costing*.

FASI DEL CICLO DI VITA EDILIZIO - Life cycle phases in the construction sector

<b>1.</b> Avvio <i>Briefing</i>	<b>2.</b> Pianificazione <i>Planning</i>	<b>3.</b> Progettazione <i>Design</i>	<b>4.</b> Costruzione <i>Construction</i>	<b>5.</b> Esercizio - Manutenzione - Sostituzione <i>Use - Maintenance - Adaption</i>	<b>6.</b> Fine vita - Smaltimento <i>End of life - Disposal</i>
---------------------------------------	--	---	---	--	--

- Costi in fase di acquisizione
- Costi non di costruzione
- Costi in fase di acquisizione
- Costi non di costruzione
- Costi di esercizio
- Costi di manutenzione
- Costi di sostituzione
- Costi di hand back
- Costi di smaltimento
- Costi di demolizione

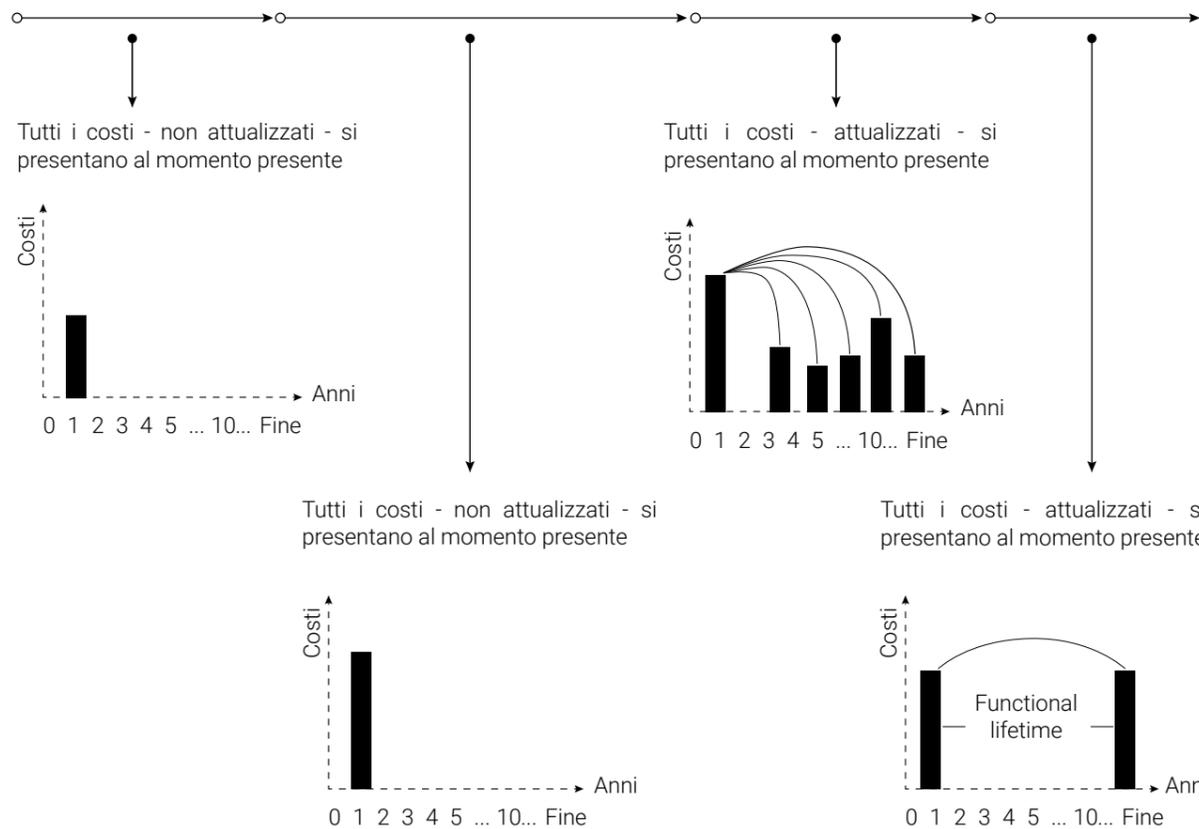


Fig. 1.10

I costi suddivisi in categorie lungo le sei fasi del ciclo di vita edilizio e rispettive attualizzazioni (Rielaborazione dell'autrice 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).

FASI DEL CICLO DI VITA EDILIZIO - Life cycle phases in the construction sector

<b>1.</b> Avvio <i>Briefing</i>	<b>2.</b> Pianificazione <i>Planning</i>	<b>3.</b> Progettazione <i>Design</i>	<b>4.</b> Costruzione <i>Construction</i>	<b>5.</b> Esercizio - Manutenzione - Sostituzione <i>Use - Maintenance - Adaption</i>	<b>6.</b> Fine vita - Smaltimento <i>End of life - Disposal</i>
---------------------------------------	--	---	---	--	--

- Costi in fase di acquisizione
- Costi non di costruzione
- Costi in fase di acquisizione
- Costi non di costruzione
- Costi di esercizio
- Costi di manutenzione
- Costi di sostituzione
- Costi di hand back
- Costi di smaltimento
- Costi di demolizione

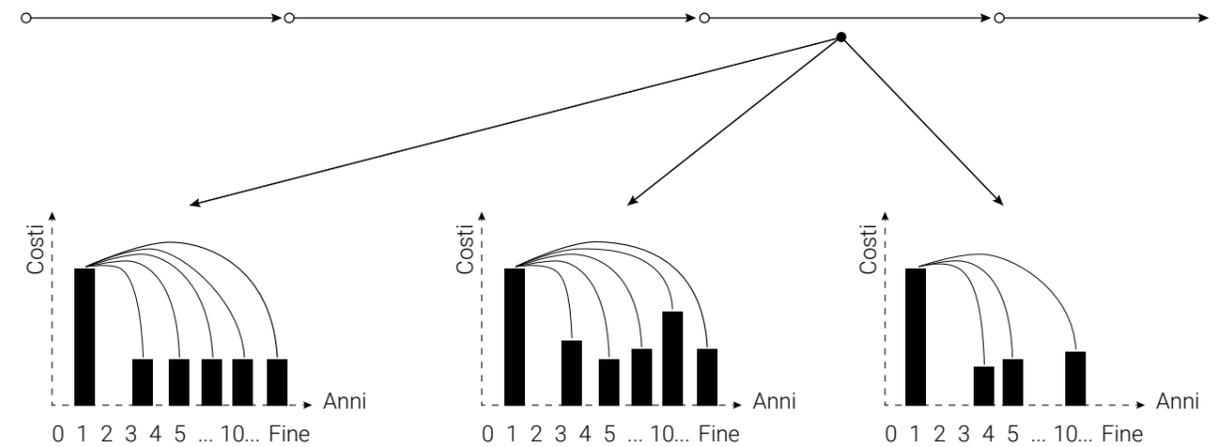


Fig. 1.11

I costi suddivisi in categorie lungo le sei fasi del ciclo di vita edilizio e rispettive attualizzazioni (Rielaborazione dell'autrice 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).

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<sup>79</sup>.

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

I quali possono essere approfonditi ulteriormente in 15 passaggi, definiti step, che caratterizzano l'analisi LCC."

Step 1. Identificazione dello scopo principale dell'analisi LCC;

<sup>79</sup> Fregonara E., op. cit., pp. 113-114.

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.<sup>80</sup>

Particolarmente importante è lo "Step 2 Identificazione preliminare dei parametri e dei requisiti dell'analisi",<sup>81</sup> è il passaggio dove lo scopo dell'analisi viene individuato, poiché progetti diversi possono portare a variazioni importanti nei costi di gestione e manutenzione.

La componente d'impatto ambientale, necessaria per la realizzazione di un progetto sostenibile, viene valutata durante lo "Step 3 Identificazione delle relazioni fra analisi di sostenibilità e LCC",<sup>82</sup> qui vengono osservate attentamente le relazioni tra le metodologie LCA e LCC. Queste due metodologie possono essere utilizzate in vari modi, ad esempio analizzate congiuntamente per una valutazione più ampia e completa; ma anche in maniera integrata, vale a dire che i risultati di un'analisi LCC possono essere utilizzati come dati di input per l'analisi LCA; oppure usati come due criteri di valutazione. In Fig. 1.12 vengono mostrate le possibili combinazioni tra le due metodologie LCC e LCA.

<sup>80</sup> *ivi.*, pp. 114.

<sup>81</sup> *ivi.*, p. 115.

<sup>82</sup> *ivi.*, p. 116.

Nello "Step 4 Identificazione del periodo di analisi e dei metodi di valutazione economica",<sup>83</sup> si valuta la durata temporale per la quale deve essere svolta l'analisi LCC. Questo periodo di analisi può essere valutato sia sull'intero ciclo di vita del bene sia su un determinato periodo di tempo. Il rapporto tempo-denaro è dunque di estrema importanza per la valutazione delle categorie di costo ed è valutato attraverso la definizione di indicatori economici che rappresentano gli output dell'analisi LCC riportati di seguito (Fig. 1.13).

- Net Present Value (NPV), viene utilizzato per calcolare la somma dei flussi di cassa scontati inclusivo dei costi e ricavi/benefici. Nell'analisi LCC i ricavi corrispondono a risparmi e l'NPV può anche essere chiamato NPC (Net Present Cost).

$$NVP = \sum_{i=0}^N C_t / (1+r)^t$$

C<sub>t</sub>: rappresenta il totale dei costi rilevanti;

N: rappresenta il numero di anni del periodo considerato;

r: rappresenta il tasso di sconto.

- Payback Period (PBP), nella versione non attualizzata (Simple PB-SPB) o nella versione scontata (Discounted PB-DPB), rappresenta il tempo necessario per recuperare i costi di investimento iniziali, a fronte di un certo risparmio annuo.

$$SBP = O_i / R_{my}$$

O<sub>i</sub>: rappresenta l'esborso iniziale o l'investimento;

R<sub>my</sub>: rappresenta il ricavo medio annuo.

- Net Savings (NS) e il Net Benefits (NB), rappresentano il valore attuale dei risparmi/benefici dell'esercizio, al netto degli ulteriori costi di investimento attualizzati, necessari per ottenere gli stessi ritorni/risparmi.

$$NS = LCC_{BC} - LCCA$$

<sup>83</sup> *ivi.*, p. 117.



Fig. 1.12

Sinergia tra la metodologia LCC e LCA (Rielaborazione dell'autrice da: E. Fregonara, Valutazione sostenibilità progetto, Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali, Franco Angeli 2015, p.117).

LCCBC: rappresenta il caso base;

LCCA: rappresenta il caso alternativo.

Se NS risulta positivo allora il caso alternativo è migliore di quello di base.

- Savings to Investment Ratio (SIR), esprime il rapporto tra quanto risparmiato in fase operativa e gli ulteriori costi di investimento senza considerare alcun valore residuo.

$$SIR = O_s / A_i$$

O<sub>s</sub>: rappresentano i risparmi operativi;

A<sub>i</sub>: rappresentano i costi di investimento aggiuntivi.

- Adjusted Internal Rate of Return (AIRR), misura la performance annuale di un progetto in un periodo di riferimento tenendo conto dei reinvestimenti intermedi. Il calcolo dell'AIRR implica le stesse ipotesi precedentemente fatte per il calcolo di NS e SIR.

$$AIRR = (1 + r) (SIR)^{1/N} - 1$$

### 1.3.3 IL CONCETTO DI COST OPTIMAL

A livello europeo si fa riferimento alla Direttiva EPBD recast,<sup>84</sup> trattata nel precedente paragrafo "1.2.1 Le direttive comunitarie", e al Regolamento Delegato 244/20 12/UE244, i quali definiscono il concetto di Cost Optimal. In particolare nella Direttiva EPBD recast, con l'art. 4 "Fissazione di requisiti minimi di

<sup>84</sup> Direttiva 2010/31/CE.

INDICATORI	CONDIZIONI DI ACCETTABILITÀ
NVP	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)

Fig. 1.13

Indicatori di valutazione economica (Rielaborazione dell'autrice da: E. Fregonara, Valutazione sostenibilità progetto, Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali, Franco Angeli 2015, p.94).

prestazione energetica"<sup>85</sup> e l'art. 5 "Calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica",<sup>86</sup> si arriva a definire il Cost Optimal come "il costo più basso che può garantire la quantità di energia necessaria per soddisfare il fabbisogno energetico dell'edificio durante il suo ciclo di vita economico stimato",<sup>87</sup> (Fregonara, 2015). Attraverso il calcolo del costo globale dei singoli componenti che vanno a definire l'edificio è possibile arrivare a definire il costo ottimale come mostrato in Fig. 1.14, in cui vengono mostrati due differenti immagini.

Nell'immagine A) si possono osservare i diversi pacchetti d'intervento (quadrato azzurro), i quali vengono inseriti in un sistema di coordinate x, y. Dove il valore di Global Cost espresso in euro/m<sup>2</sup>, è messo in relazione con i diversi pacchetti d'intervento ai quali corrisponde una specifica classe

<sup>85</sup> Direttiva 2010/31/CE, art. 4.

<sup>86</sup> Direttiva 2010/31/CE, art. 5.

<sup>87</sup> Fregonara E., *op. cit.*, p. 16.

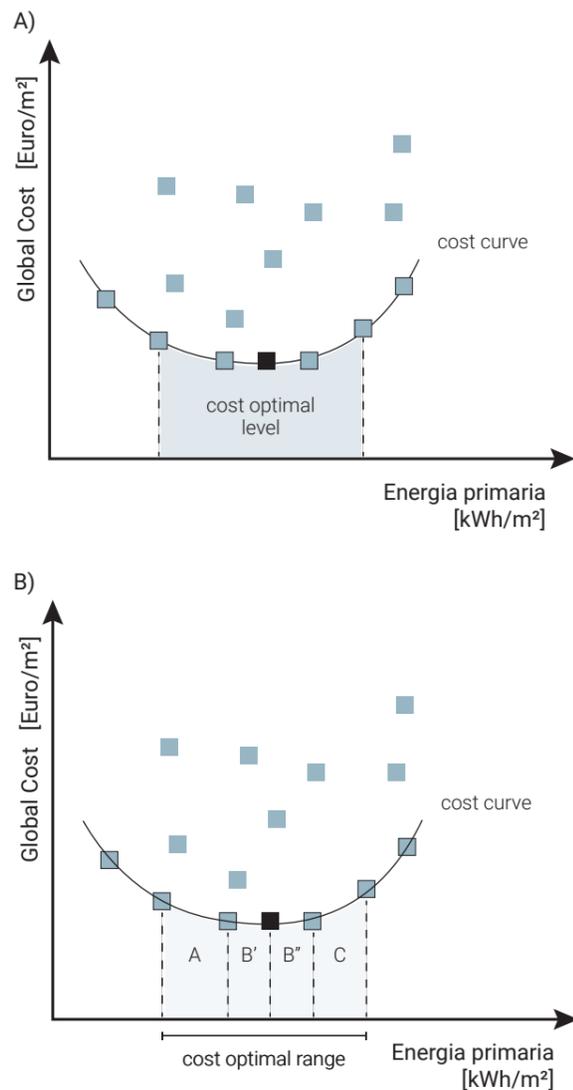


Fig. 1.14

Cost Optimal (Rielaborazione dell'autrice. Fonte: FREGONARA E., (2015), Valutazione sostenibilità progetto. Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali, Franco Angeli, Milano, p. 16).

energetica rapportata al consumo espressa in kWh/m<sup>2</sup> anno. Se si uniscono i pacchetti con i costi più bassi si può ottenere la cost curve sulla quale è possibile determinare il cost optimal level nel punto minimo, e il cost optimal range che corrisponde all'intervallo dei valori minimi. Nell'immagine B) è possibile osservare come nel cost optimal level siano individuate diverse classi energetiche (A, B, C) dei singoli pacchetti, in questo caso la cost curve può essere segmentata in funzione delle funzioni ottimali.

### 1.3.4 L'APPROCCIO LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)

La metodologia del Life Cycle Assessment (LCA), viene considerata una delle tecniche più consolidate e il principale strumento operativo del Life Cycle Thinking. La Commissione Europea ha emanato una serie di standard classificati M/350 al fine di individuare un insieme di regole specifiche per l'applicazione della metodologia sopracitata.

A livello internazionale la metodologia Life Cycle Assessment è regolamentata dallo Standard ISO 14040:2006,<sup>88</sup> redatto dal Comitato Tecnico ISO/TC 207 (Fig. 1.15); è definita come: "compilazione e valutazione attraverso tutto il ciclo di vita dei flussi in entrata ed uscita, nonché i potenziali impatti ambientali, di un sistema di prodotto",<sup>89</sup> e permette di valutare la sostenibilità energetico-ambientale di un prodotto, e si suddivide in quattro fasi di lavoro:

- **GOAL AND SCOPE DEFINITION** – definizione degli obiettivi e dei "confini del sistema".
- **LIFE CYCLE INVENTORY** – compilazione dell'inventario con i flussi in entrata (input) e in uscita dal sistema analizzato (output).
- **LIFE CYCLE IMPACT ASSESSMENT** – stima degli impatti ambientali.
- **LIFE CYCLE INTERPRETATION** – analisi critica dei risultati e formulazione di eventuali strategie d'intervento.

Potenzialmente quindi le sue applicazioni sono innumerevoli:

- sviluppo e Miglioramento di prodotti/processi;
- marketing Ambientale;
- pianificazione strategica;

<sup>88</sup> UNI EN ISO 14040:2006 "Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework", luglio 2006.

<sup>89</sup> UNI EN ISO 14040 – Gestione ambientale Valutazione del ciclo di vita Principi e quadro di riferimento, p. 8. [Online] [https://www.cittametropolitana.mi.it/export/sites/default/Responsabilita\\_sociale\\_impresa/Documenti/14040\\_2006.pdf](https://www.cittametropolitana.mi.it/export/sites/default/Responsabilita_sociale_impresa/Documenti/14040_2006.pdf)

- attuazione di una politica pubblica.

Nella figura 1.15 viene mostrata la ISO/TC 207 con i tre sottogruppi SC3, SC5 E SC7.

La SC3 identifica tre tipi di etichette, Type I, Type II e Type III su base volontaria; la SC5 regola la serie di standard LCA ISO 14040-44; la SC7 introduce le normative sulla gestione di emissioni di CO<sub>2</sub>.

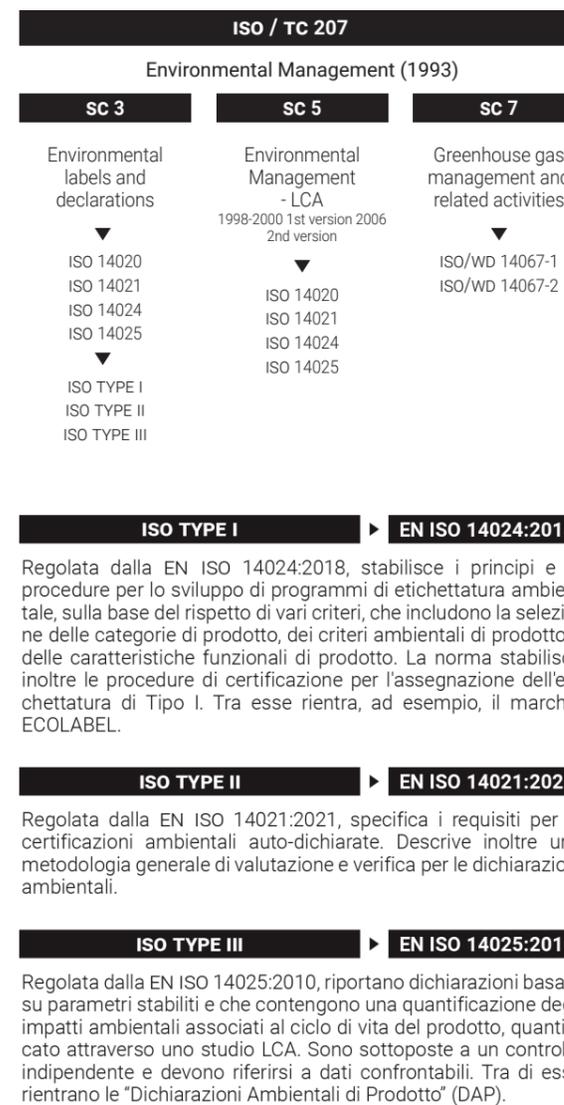


Fig. 1.15

Schema della norma ISO-TC207 – Environmental Management, recante le etichette ambientali SC3, SC5 e SC7 (Rielaborazione dell'autrice da: THIEBAT F., (2019). Life Cycle Design: an experimental tool for designers, Politecnico di Torino, Springer Series, Torino, p 33).

L'applicazione di questa metodologia nel settore dell'edilizia permette di quantificare la sostenibilità ambientale delle diverse fasi costruttive delle soluzioni progettuali di costruzione, manutenzione e demolizione.

Obiettivo finale è passare da un modello di progettazione lineare, attualmente utilizzato (che prevede il consumo continuo di materie prime e la produzione di rifiuti), a un modello "circolare" che è in grado di rispettare le risorse, modificando il "punto di arrivo" ovvero la fase di demolizione in "un punto di partenza" per altri interventi.

Di conseguenza, valutare la qualità ambientale del progetto significa includere nell'analisi l'intero ciclo di vita dell'edificio, ovvero le fasi di produzione del materiale, trasporto e installazione, manutenzione e sostituzione durante l'esercizio e smaltimento futuro. In questo modo si ottiene un'analisi di tipo "dalla culla alla tomba".

Nonostante i costi elevati e le indubie difficoltà, quali la complessità di prevedere le future transizioni, delle interazioni esterne (edificio-ambiente) e interne (tra componenti) e la mancanza di banche dati, questa metodologia permette, una volta definiti i "confini del sistema" o "campo di analisi", di misurare gli impatti ambientali nelle varie fasi, ed identificare quelle di maggiore impatto, così da comprendere le prestazioni ambientali di ogni processo produttivo.

#### 1.4 BIBLIOGRAFIA CAPITOLO I

CALIFORNIA INTEGRATED WASTE MANAGEMENT BOARD, (2000), *Designing With Vision: A Technical Manual for Material Choices in Sustainable Construction*, California Environmental Protection Agency: California, CA, USA, 2000.

CLUB OF ROME, (1992), *Beyond the Limits to Growth*, The Donatella Meadows project.

CLUB OF ROME, (1972), *The limits to growth*.

COMMISSIONE EUROPEA, (2001), *Libro Verde sulla politica integrata relativa ai prodotti*, Comunicazione 302/03, Bruxelles, 7 febbraio 2001.

COMMISSIONE EUROPEA, (2011), *Rio+20: Towards a green economy and better governance*, Brussels, 20 giugno 2011.

COMMISSIONE EUROPEA, (2012), *Trattato sul funzionamento dell'Unione Europea*, Bruxelles, 26 ottobre 2012.

CONFERENZA DELLE NAZIONI UNITE SULL'EDILIZIA ABITATIVA E LO SVILUPPO URBANO SOSTENIBILE, (2016), *Habitat III*, Quito, 17-20 ottobre 2016.

CONFERENZA DELLE PARTI DI KYOTO (COP3), (1997), *Protocollo di Kyoto*, Kyoto, 11 dicembre 1997.

CONFERENZA GENERALE DELL'UNESCO, (2001), Dichiarazione Universale sulla Diversità Culturale UNESCO, Parigi, 2 novembre 2001.

CONFERENZA INTERNAZIONALE DELLE NAZIONI UNITE SULL'AMBIENTE, (1972), *Earth Summit*, Stoccolma, 5 - 16 giugno 1972.

CONFERENZA INTERNAZIONALE DI PARIGI, (2015), *Accordo di Parigi*, Parigi, dicembre 2015.

CONFERENZA MONDIALE SULLO SVILUPPO SOSTENIBILE (UNCSD), (2009), *Rio+2023*, dicembre 2009.

DECRETO LEGISLATIVO 12 aprile 2006, n. 163 – *Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE*.

DIRETTIVA EUROPEA 2002/91/CE, del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2002 sul rendimento energetico nell'edilizia.

DIRETTIVA EUROPEA 2004/17/CE, del Parlamento europeo e del Consiglio del 31 marzo 2004 che coordina le procedure di appalto degli enti erogatori di acqua e di energia, degli enti che forniscono servizi di trasporto e servizi postali.

DIRETTIVA EUROPEA 2004/18/CE, del Parlamento europeo e del Consiglio del 31 marzo 2004, relativa al coordinamento delle procedure di aggiudicazione degli appalti pubblici di lavori, di forniture e di servizi.

DIRETTIVA EUROPEA 2010/31/UE, EPBD recast del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia.

DIRETTIVA EUROPEA 2012/27/UE, del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 25 ottobre 2012 sull'Efficienza energetica, modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE.

DIRETTIVA EUROPEA 2018/844, del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30 maggio 2018 che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica.

FALASCHI V., *W.HOUSE: Architettura e Sostenibilità nel nuovo eco-quartiere Alc.Este di Ferrara*, Tesi di Laurea Specialistica in Architettura per il Progetto Sostenibile, rel. Walter Nicolino, Politecnico di Torino, a.a. 2020–2021.

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

ISO 15686-5:2017 – *Building and Constructed Assets. Service-Life Planning. Part 5-Life Cycle Costing*, giugno 2017.

MALTHUS T., (1798), *Principles of political economy*, Cambridge University Press, gennaio, 1989.

NAZIONI UNITE: TERZA CONFERENZA INTERNAZIONALE SUL FINANZIAMENTO ALLO SVILUPPO, (2015), *Agenda 2030*, Addis Abeba, 25 settembre 2015.

BINA O., (2013), *The green economy and sustainable development: An uneasy balance?*, Environ. Plan. C Gov. Policy 31.

PARLAMENTO EUROPEO, (2008), *Climate Energy Package 20-20-20*, marzo 2007.

REGOLAMENTO DELEGATO (UE) n. 244/2012 della Commissione Europea del 16 gennaio 2012 che integra la direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio sulla prestazione energetica nell'edilizia istituendo un quadro metodologico comparativo per il calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e degli elementi edilizi.

SANCHEZ, B., RAUSCH, C., HAAS, C., SAARI R., (2020), *A selective disassembly multi-objective optimization approach for adaptive reuse of building components*, Ris. Conserv. Riciclare 154.

SCHIZZEROTTO F., (2004), *I principali provvedimenti europei ed italiani in materia di Green Public Procurement*, Riv. giur. Ambiente 6.

SGRECCIA E., (1994), *Manuale di Bioetica. Volume I. Fondamenti ed etica biomedica*, Vita e Pensiero, Milano.

UNI EN ISO 14040:2006 – *Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework*.

WIRAHADIKUSUMAH R., ABDUL M., MESSAH, Y., AULIA M., (2021), *Introducing sustainability principles into the procurement of construction works - case of Indonesian developers*, Int. J. constr. Manag. 21.

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

# CAPITOLO II

## LA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA NEGLI EDIFICI STORICI

### 2.1 INTRODUZIONE

La metodologia LCC, consolidata su scala internazionale, viene utilizzata per comparare alternative progettuali e tecnologiche che implicano diversi costi nel ciclo di vita edilizio. Lo sviluppo di tale approccio è supportato da diversi fattori che differiscono tra loro su scala nazionale, come il contesto culturale in cui si opera, il parco immobiliare esistente e la capacità di convertire in metodologie i limiti posti dai costi di costruzione. Il parco immobiliare storico rappresenta il punto focale sul quale questa tesi vuole porre l'attenzione.

Secondo l'United Nations Environment Programme - UNEP (Programma delle Nazioni Unite per l'ambiente),<sup>1</sup> gli edifici europei sono responsabili di circa il 40% del consumo energetico totale in Europa. Le statistiche europee mostrano come circa il 38% degli edifici esistenti sia stato costruito prima del 1960, il 45% tra il 1961 e il 1990 e solo il 17% è successivo a tale periodo. Data la storia del nostro continente, possiamo presumere che molti di essi abbiano valori culturali, architettonici, sociali e patrimoniali e che necessitano, quindi, di un'attenzione speciale per scopi di conservazione. Soluzioni di retrofit su misura, denominate anche "misure" o "pacchetti d'interventi", rappresentano ad oggi l'unica soluzione possibile e la più grande risorsa europea in termini di risparmio energetico che può svolgere un doppio ruolo, necessario al raggiungimento degli obiettivi del 2050. Se da una parte, infatti, queste soluzioni sono volte a

<sup>1</sup> UNEP, 1972, (che ha sede ufficiale a Nairobi, Kenya) è un organo sussidiario dell'Assemblea generale delle Nazioni Unite, istituito a seguito della Conferenza di Stoccolma sull'ambiente umano. All'UNEP sono affidate funzioni di studio e operative, per fornire assistenza tecnica ai paesi in via di sviluppo, anche nel settore della legislazione ambientale.

ridurre le emissioni di gas serra dell'80-95%, rispetto ai livelli del 1990, determinando un miglioramento delle condizioni degli edifici, agendo anche sul comfort interno percepito dagli utenti e riducendo la domanda di energia, dall'altra risultano fondamentali per poter intervenire sull'edificio in maniera mirata, in modo tale che non si vadano ad alterare le caratteristiche storiche-culturali, garantendo l'uso continuato degli edifici nel tempo e di conseguenza la loro conservazione.<sup>2</sup>

La DIRETTIVA (UE) 2018/844 definisce che: "è opportuno promuovere la ricerca e la sperimentazione di nuove soluzioni in grado di migliorare la prestazione energetica degli edifici e dei siti storici, garantendo allo stesso tempo la protezione e la conservazione del patrimonio culturale. [...]".<sup>3</sup>

Introducendo un'importante novità nell'articolo 2 bis, "Strategia di ristrutturazione a lungo termine",<sup>4</sup> il quale dichiara che: "ogni Stato membro stabilisce una strategia a lungo termine per sostenere la ristrutturazione del parco nazionale di edifici residenziali e non residenziali, sia pubblici che privati, al fine di ottenere un parco immobiliare decarbonizzato e ad alta efficienza energetica entro il 2050, facilitando la trasformazione efficace in termini di costi degli edifici esistenti in edifici a energia quasi zero",<sup>5</sup> il quale specificati gli obblighi per le strategie come: "

A) Identificare parte del parco immobiliare nazionale, sulla base di edifici già ristrutturati nel 2020; B) identificare le strategie più efficaci in "termini di costi" seconda la tipologia di edificio in questione, quindi prendendo in esame anche la zona climatica; C) potenziare le strategie politiche rivolte alla "ristrutturazione profonda degli edifici" in modo da avere "ristrutturazioni mirate ed efficaci in termini

di costi"; queste devono inoltre rivolgersi a tutti quei segmenti del parco immobiliare che non soddisfano le prestazioni minime (D); inoltre; le politiche devono riguardare tutti gli "edifici pubblici" (E).

L'articolo 2 bis specifica inoltre che venga effettuata "una rassegna delle iniziative nazionali volte a promuovere le tecnologie intelligenti ed edifici e comunità interconnessi, nonché le competenze e la formazione nei settori edile e dell'efficienza energetica".<sup>6</sup>

- Queste strategie di ristrutturazione a lungo termine comprendono secondo la Direttiva UE 2018/844:
- un resoconto del parco immobiliare nazionale, basato su campionario di edifici ristrutturati nel 2020;
- la ricerca e l'individuazione di approcci mirati in termini di costi-benefici, tenendo conto della tipologia edilizia, della zona climatica e, qual ora possibile, di un livello soglia degli interventi che tengano conto del ciclo di vita edilizio;
- l'introduzione di un sistema alternativo di "passaporto" di ristrutturazione degli edifici;
- l'attuazione di politiche e azioni che stimolano ristrutturazioni efficaci degli edifici in termini di costi.<sup>7</sup>

Il patrimonio costruito Italiano fortemente caratterizzato dalla presenza di "edifici storici",<sup>8</sup> rappresenta un'importante risorsa culturale e materiale per i nostri territori e costituisce oltre che un "bene pubblico" una testimonianza della memoria storica locale. Poiché preservare significa mantenere l'integrità, l'identità e l'efficienza funzionale di un bene culturale, il processo di ristrutturazione può essere

<sup>2</sup> Dipartimento Unità l'Efficienza Energetica dell'ENEA, Bertini I., Federici A., Ferrari S., Manduzio L., Martini C., Pandolfi E., Poggi, Michele Preziosi M., Viola C., *Rapporto annuale. Efficienza energetica*, 2019. [Online] <https://www.enea.it/it/sequici/pubblicazioni/pdf-vo-lumi/2019/raee-2019.pdf>, consultato il 1 giugno 2022.

<sup>3</sup> Direttiva (UE) 2018/844, del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30 maggio 2018 che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica.

<sup>4</sup> Direttiva 2018/844/UE, art. 2 bis.

<sup>5</sup> Direttiva 2018/844/UE, art. 2 bis, comma 1.

<sup>6</sup> Direttiva 2018/844/UE, art. 2 bis, comma 1, lettera F.

<sup>7</sup> Direttiva (UE) 2018/844 – Dipartimento per le Politiche Europee.

<sup>8</sup> Per "edificio storico" si intende la classificazione secondo il D.Lgs. 42/2004 – Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio.

Art. 12 – Verifica dell'interesse culturale.

Art. 13 – Dichiarazione dell'interesse culturale.

Art. 54 – Beni inalienabili.

Art. 128 – Notifiche effettuate a norma della legislazione precedente, comma 2

un'opportunità per migliorare la funzionalità attiva ed evitare il degrado del nostro patrimonio costruito.

Tali interventi si inseriscono in un quadro complesso di attività che afferiscono alle tematiche trattate in due diversi ambiti disciplinari, discipline che via via si stanno sempre maggiormente integrando e trovando punti di incontro: il restauro degli edifici;

- la riqualificazione volta a migliorare il funzionamento energetico degli edifici.

Nell'ultimo decennio sono aumentate le pubblicazioni che trattano strategie per migliorare l'efficienza energetica degli edifici con valore storico-culturale e architettonico (Cardinale et al., 2013). Il bisogno di equilibrio tra riduzione del consumo energetico e principi di conservazione è stato il criterio dominante a causa di una sempre maggiore esigenza di preservare l'integrità fisica degli edifici storici. Tuttavia, la variabilità delle costruzioni storiche non consente di individuare in letteratura strategie di retrofit che possano essere considerate esemplari applicabili a tutti gli edifici.<sup>9</sup>

## 2.2 OSTACOLI ALL'ADOZIONE DI SOLUZIONE DI RETROFIT NEL PATRIMONIO COSTRUITO

Molte delle limitazioni e dei problemi che impediscono progetti di riqualificazione energetica degli edifici storici, non sono né puramente sociali né puramente tecnici, ma piuttosto sono il risultato combinato di questioni socio-tecniche e, soprattutto, di carattere normativo-legislativo.<sup>10</sup>

Ogni Stato membro dispone di un proprio sistema normativo sia per la tutela del patrimonio culturale sia per l'efficienza energetica; sebbene esistano norme comuni, come le Direttive EPBD in materia di interventi di riqualificazione energetica che

richiedono a ciascuno Stato membro il recepimento nella legislazione nazionale, i paesi europei non hanno parametri standard per la valutazione e la protezione del patrimonio culturale (S. Jurošević, 2016).<sup>11</sup> Oltre a ciò, è emerso che in letteratura ci sono ancora molte lacune riguardante lavori che espongano in maniera approfondita il rapporto tra conservazione e sostenibilità energetica in ambito normativo (Litti, Audenaert and Braet, 2013).<sup>12</sup>

Le politiche di efficientamento energetico degli edifici storici in Europa sono correlate alla definizione del loro "valore", il quale è determinante per stabilire il giusto tipo d'interventi di efficienza energetica da effettuare; tuttavia, i bisogni degli utenti (come il comfort interno) sono spesso trascurati in questo processo. Soprattutto nel contesto italiano il restauro ritiene necessario mantenere gli elementi storici esistenti, che sono carichi di una memoria unica di valori culturali e sociali, intatti.<sup>13</sup> Questa considerazione apre la discussione su un livello diverso del dibattito, particolarmente vivo attualmente in Italia, dove la questione della sostituzione di materiali ed elementi di una struttura storica si scontra con il concetto di preservare se possibile tutte le parti della struttura.

Se si guarda all'edificio storico come "espressione del periodo storico nel quale è stato realizzato, del gusto, dell'arte di costruire e delle conoscenze tecniche caratteristiche del contesto geografico nel quale è ubicato."<sup>14</sup> si comprende la difficoltà a confrontarsi con un patrimonio "sensibile", con il rischio di intaccare irrimediabilmente il suo valore storico-architettonico. Sebbene già da tempo esista un solido legame che intercorre tra la disciplina del restauro e la legislazione riguardante la tematica del consolidamento strutturale, soprattutto nel contesto italiano (Righi et al., 2017), non vi è ancora un

<sup>11</sup> Jurošević E. R. G. S., "Energy Efficiency and Comfort of Historic Buildings," in Second International Conference on Energy Efficiency and Comfort of Historic Buildings, 2016, pp. 296-299.

<sup>12</sup> Litti G., Audenaert A., Braet J., *Energy Retrofitting in Architectural Heritage, Possible Risks Due to the Missing of a Specific Legislative and Methodological Protocol*, The European Conference on Sustainability, Energy and the Environment.

<sup>13</sup> Pracchi V., *Historic buildings and energy efficiency*, Hist. Environ. Policy Pract., vol. 5, n. 2, pp. 210-225, 2014.

<sup>14</sup> Stara M., *Riqualificazione energetica dell'edilizia storica. Criticità e strategie d'intervento*, [tesi di dottorato], Università degli Studi di Cagliari, 2012-2013.

vero e proprio dialogo per quanto riguarda il tema dell'efficientamento energetico; la cui mancanza viene sottolineata anche all'interno delle "Linee d'indirizzo" condotte dal MIC nel 2013.<sup>15</sup>

Le Direttive Europee volte al miglioramento delle prestazioni termiche dell'involucro edilizio, stabiliscono requisiti molto severi sulla trasmittanza termica delle varie parti che compongono l'edificio, senza valutare la possibilità di miglioramento "nel suo insieme".<sup>16</sup> Il risultato è una sostituzione di elementi originali con nuove strutture che, indipendentemente dal loro migliore funzionamento, non sempre sono compatibili con le caratteristiche storiche dell'edificio in cui sono poste.<sup>17</sup>

Secondo alcuni studi (Pracchi, 2014) i miglioramenti nel comportamento energetico degli edifici storici dovrebbero essere in linea con le pratiche di conservazione; inoltre i miglioramenti non dovrebbero intervenire sull'edificio in modo da forzare il raggiungimento degli standard previsti per le nuove costruzioni. Infine, si può aggiungere un'ulteriore limitazione: spesso viene accettato come vero il concetto che se un edificio è storico o di alto valore culturale allora sia anche caratterizzato da un maggior consumo di energia. Spesso vi è dunque un vero e proprio pregiudizio, smentito più volte sia dalla comunità scientifica sia da numerosi studi (Pracchi, 2014; Ruggeri et al., 2020; Posani, Veiga and de Freitas, 2021), che dimostrano che è possibile arrivare a dei livelli di trasmittanza termica, nell'involucro edilizio, al di sotto degli standard nazionali anche negli edifici storici.<sup>18</sup> A seguito di quanto detto si possono riassumere che i principali ostacoli all'adozione di soluzioni di retrofit (Fig. 2.1) siano:

- di carattere legislativo;

<sup>15</sup> Crova C., Linee di indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel patrimonio culturale. Architettura, centri e nuclei storici ed urbani, pp. 1-200, 2013.

<sup>16</sup> Martínez-Molina A., Tort-Ausina I., Cho S., Vivancos J. L., (2016), *Energy efficiency and thermal comfort in historic buildings: A review*, Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 61, pp. 70-85.

<sup>17</sup> Poggi M., *La nuova prestazione energetica dell'edilizia storica e monumentale*, Energia, ambiente e innovazione, vol. 4, pp. 66-71, 2016.

<sup>18</sup> Litt G., Audenaert A., Braet J., *Energy Retrofitting in Architectural Heritage, Possible Risks Due to the Missing of a Specific Legislative and Methodological Protocol*, The European Conference on Sustainability, Energy and the Environment.

- relativi alla sostenibilità degli interventi.

Le soluzioni per il superamento delle limitazioni è quello di analizzare i casi singolarmente cercando di trovare la soluzione più auspicabile per ogni singolo edificio, e di ottenere un equilibrio sia in materia di efficientamento energetico che di tutela dei beni, in modo tale da soddisfare entrambe le discipline.

### 2.3 STRATEGIE EUROPEE PER IL RECUPERO ENERGETICO NELL'EDILIZIA STORICA E MONUMENTALE

Se nel primo capitolo si è affrontato l'aspetto legislativo rivolto all'efficientamento energetico in generale, in questo si vuole approfondire la normativa rivolta all'ambito del recupero energetico del costruito storico.

Va precisato che nelle Direttive UE, emanate dal 2002 ad oggi, non si parla di edificio "storico" bensì di edificio "esistente".

Le strategie normative descritte di seguito auspicano ad un approccio olistico, al fine di proporre metodologie diversificate per ciascun caso.

#### 2.3.1 A RENOVATION WAVE FOR EUROPE: GREENING OUR BUILDINGS, CREATING JOBS, IMPROVING LIVES

Nel capitolo 1 abbiamo introdotto il tema del "Green Deal Europeo" e le strategie ad esso connesse. In questo paragrafo si vogliono approfondire le tematiche del Green Deal sotto l'aspetto della riqualificazione energetica del parco immobiliare esistente quale uno degli obiettivi principali della Renovation Wave Strategy, pubblicata dalla Commissione Europea il 14 ottobre 2020, si vogliono migliorare le prestazioni energetiche degli edifici. La Commissione mira a raddoppiare almeno i tassi di ristrutturazione nei prossimi dieci anni, quasi 35 milioni di edifici entro 2030, e ad assicurarsi che i lavori di ristrutturazione portino a una maggiore efficienza energetica e delle risorse. Ciò migliorerà la qualità della vita delle persone che vivono negli edifici e le utilizzano, ridurrà le emissioni di

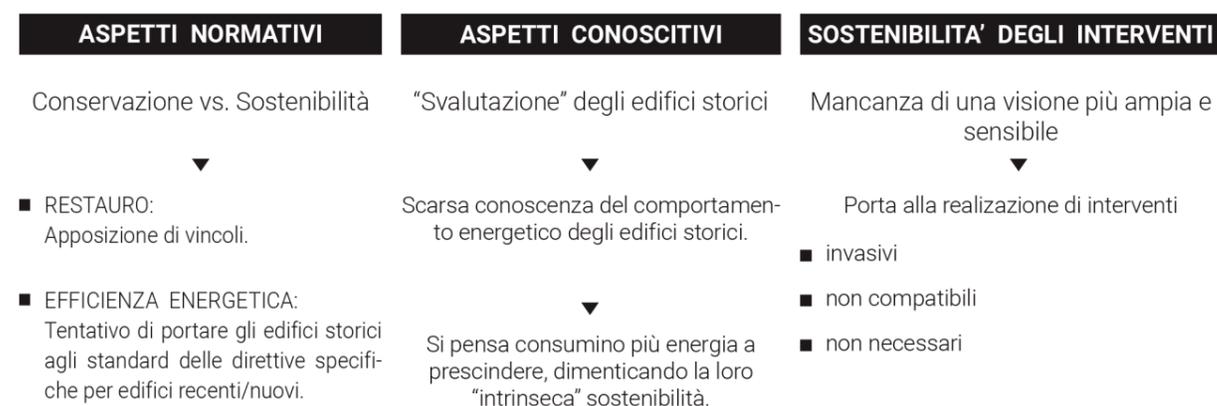


Fig. 2.1 Schematizzazione delle principali criticità riscontrate in letteratura nelle pratiche di efficientamento energetico di edifici storici (Elaborazione dell'autrice).

gas serra in Europa, promuoverà la digitalizzazione e migliorerà il riutilizzo e il riciclaggio dei materiali. Come precedentemente affermato, il parco immobiliare europeo rappresenta l'espressione della diversità culturale e della storia del nostro continente.

Se si considera che il 40% del tessuto edilizio europeo è stato edificato prima del 1960 con tecniche costruttive che escludevano strategie per il risparmio energetico (come isolamento termico e infissi poco performanti), non sorprende che la gran parte di esso risulti obsoleto e non sia efficiente sotto il profilo energetico va inoltre aggiunto che molti di questi edifici continuano a utilizzare combustibili fossili e tecnologie energivore obsolete per il riscaldamento e il raffrescamento.

Ricordiamo che gli edifici sono responsabili di circa il 40% del consumo energetico dell'UE e del 36% delle emissioni di gas serra derivanti dall'energia, ma solo l'1% di essi ogni anno è sottoposto a ristrutturazioni efficienti dal punto di vista energetico, è quindi l'efficienza energetica a rappresentare un'importante frontiera nelle strategie politiche e l'edilizia è una delle aree che deve essere rafforzata.<sup>19</sup>

Per raggiungere gli obiettivi climatici entro il 2030,

<sup>19</sup> Queste cifre si riferiscono all'uso e al funzionamento degli edifici, includono le emissioni indirette nel settore dell'energia elettrica e termica ma non danno conto del loro intero ciclo di vita. Si stima che il carbonio incorporato nelle costruzioni sia responsabile di circa il 10 % delle emissioni annue totali di gas a effetto serra nel mondo, cfr. IRP, Resource Efficiency and Climate Change, 2020, e Environment Emissions Gap Report 2019 delle Nazioni Unite.

la Commissione ha delineato una serie di strategie che permetteranno di ridurre le emissioni nette di gas serra di almeno il 55% entro il 2030, rispetto ai livelli del 1990. Per fare questo, l'UE dovrebbe ridurre le emissioni di gas serra degli edifici del 60%, il consumo finale di energia del 14% e il consumo di energia per riscaldamento e raffreddamento del 18%. Pertanto, l'UE deve concentrarsi urgentemente sul rendere i nostri edifici più efficienti dal punto di vista energetico, con minori emissioni di carbonio e più sostenibili durante tutto il loro ciclo di vita. L'applicazione dei principi dell'economia circolare alle ristrutturazioni edilizie ridurrà le emissioni di gas serra associate ai materiali da costruzione.<sup>20</sup> La strategia darà priorità all'azione in tre aree:

1. decarbonizzazione del riscaldamento e del raffreddamento;
2. combattere la povertà energetica e gli edifici con le prestazioni peggiori;
3. ristrutturazione di edifici pubblici quali scuole, ospedali ed edifici amministrativi.

La Commissione propone di abbattere le barriere esistenti lungo tutta la catena di ristrutturazione, dall'ideazione di un progetto al suo finanziamento

<sup>20</sup> COMUNICAZIONE DELLA COMMISSIONE AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSIGLIO, AL COMITATO ECONOMICO E SOCIALE EUROPEO E AL COMITATO DELLE REGIONI Un'onda di ristrutturazioni per l'Europa: inverdire gli edifici, creare posti di lavoro e migliorare la vita [Online] <https://www.mite.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/life/Ondata%20di%20ristrutturazioni%20per%20Europa.pdf>, consultato il 2 maggio 2022.

e completamento, con una serie di misure politiche, strumenti di finanziamento e strumenti di assistenza tecnica. La strategia includerà le seguenti azioni:

#### AZIONI DEL RENOVATION WAVE FOR EUROPE

- Ampliare il mercato dei prodotti e servizi da costruzione sostenibili, compresa l'integrazione di nuovi materiali e soluzioni biocompatibili, e rivedere la legislazione sulla commercializzazione dei materiali da costruzione, nonché sulla regolamentazione di "recycling" e "reuse" dei materiali.
- Aumentare la capacità di progettare e attuare progetti di ristrutturazione, dall'assistenza tecnica alle autorità nazionali e locali alla formazione e allo sviluppo delle competenze per i lavoratori nel settore green jobs.
- Creazione del New European Bauhaus, un progetto interdisciplinare lanciato il 20 ottobre 2020 che mira a promuovere idee su un'architettura rispettosa dell'ambiente. Il progetto si è concluso nell'estate del 2021 con l'annuncio di venti progetti vincitori, suddivisi in 10 categorie diversificate.
- Aumentare le comunicazioni di informazioni sulla prestazione energetica degli edifici per stabilire migliori incentivi per le ristrutturazioni del settore pubblico e privato, inclusa l'introduzione graduale di standard minimi obbligatori di prestazione energetica per gli edifici esistenti, norme aggiornate per le certificazioni di prestazione energetica.
- Garantire finanziamenti accessibili e mirati, anche attraverso le iniziative "Renovate" e "Power Up" nel meccanismo per la ripresa e la resilienza nell'ambito del Next Generation EU Recovery plan, con regole che semplifichino le procedure per chiedere incentivi per i finanziamenti privati.
- Sviluppare approcci centrati sul territorio affinché le comunità integrino soluzioni rinnovabili e digitali e creino distretti a energia zero.
- Ampliare il mercato dei prodotti e servizi da costruzione sostenibili, compresa l'integrazione di nuovi materiali e soluzioni biocompatibili, e rivedere la legislazione sulla commercializzazione dei materiali da costruzione, nonché sulla regolamentazione di "recycling" e "reuse" dei materiali.

La Renovation Wave mira dunque innescare una trasformazione su larga scala dell'ambiente costruito in tutti gli Stati europei e può essere una grande opportunità per avviare un processo lungimirante per coniugare sostenibilità e stile.

### 2.3.2 PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA – PNRR: MISSIONE 2 "RIVOLUZIONE VERDE E TRANSIZIONE ECOLOGICA"

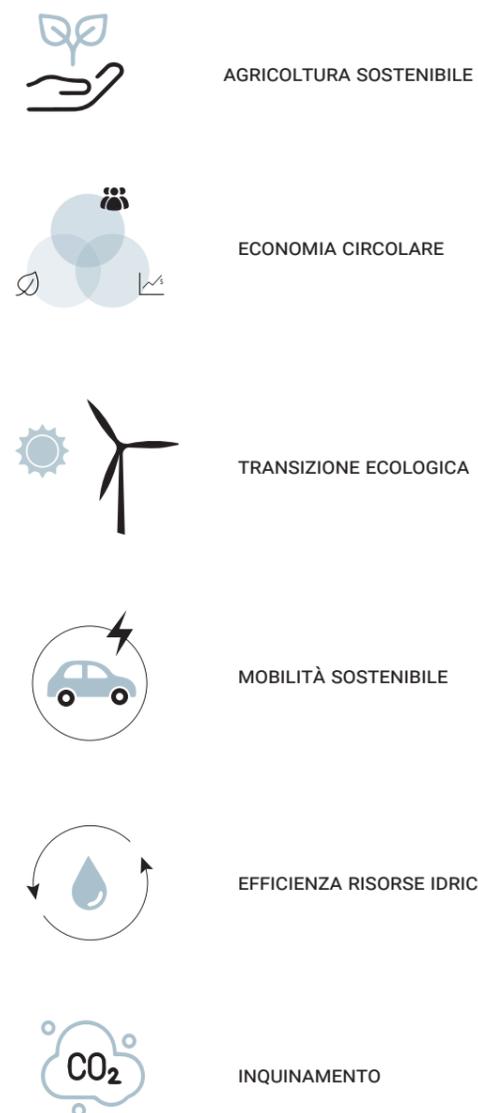
Come già precedentemente detto nel primo capitolo, il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), rappresenta un'opportunità unica per l'Italia, che possiede un patrimonio unico sia culturale che naturalistico, con agroecosistemi e biodiversità. Il PNRR prevede 6 Missioni, corrispondenti alle sei grandi aree di intervento previste dal Next Generation EU, e di 16 Componenti.

- M1** DIGITALIZZAZIONE, INNOVAZIONE, COMPETITIVITÀ, CULTURA E TURISMO
- M2** RIVOLUZIONE VERDE E TRANSIZIONE ECOLOGICA
- M3** INFRASTRUTTURE PER UNA MOBILITÀ SOSTENIBILE
- M4** ISTRUZIONE E RICERCA
- M5** INCLUSIONE E COESIONE
- M6** SALUTE

In questo paragrafo andremo ad approfondire la Missione 2 "Rivoluzione verde e transizione ecologica", per la quale sono stanziati complessivamente ben 59 mld di euro, si pone l'obiettivo di dare l'avvio a una radicale trasformazione ecologica, permettendo al nostro Paese il raggiungimento di obiettivi complessi e finora difficilmente raggiungibili.

La transizione ecologica costituisce uno dei principali pilastri del "Next Generation EU".

Insieme agli altri obiettivi europei e internazionali



come gli accordi di Parigi, il "Sustainable Development Goals" e il "Green Deal europeo", si pongono come soluzione per il raggiungimento degli obiettivi per una progressiva e completa decarbonizzazione del sistema "Net-Zero" e promuovono l'adozione di soluzioni di economia in chiave Life Cycle, per proteggere la natura e la biodiversità per garantire un sistema equilibrato, dal punto di vista sociale, ambientale e economico. Nello specifico la M2 si occupa di:

Ma la struttura della Missione è più complessa e si articola in quattro componenti principali (M2C), ognuna delle quali contiene una serie di indicazioni su investimenti e riforme atti a favorire la transizione ecologica del Paese.

#### M2C1 AGRICOLTURA SOSTENIBILE ED ECONOMIA CIRCOLARE

La componente M2C1 cerca di perseguire un duplice percorso verso la piena sostenibilità ambientale. Da un lato, rafforzando le infrastrutture di cernita e raccolta dei rifiuti, migliorando la digestione efficiente e sostenibile dei rifiuti e dall'altro riducendo il divario tra le aree agricole del nord e del sud. Tra i vari investimenti figurano:

- *realizzazione nuovi impianti di gestione rifiuti e ammodernamento di impianti esistenti;*
- *progetti "faro" di economia circolare;*
- *sviluppo logistica per i settori agroalimentare, pesca e acquacoltura, silvicoltura, floricoltura e vivaismo;*
- *parco Agrisolare;*
- *innovazione e meccanizzazione nel settore agricolo e alimentare;*
- *isole verdi;*
- *green communities;*
- *cultura e consapevolezza su temi e sfide ambientali*.<sup>21</sup>

#### M2C2 ENERGIA RINNOVABILE, IDROGENO, RETE E MOBILITÀ SOSTENIBILE

2. M2C2 – Energia rinnovabile, idrogeno, rete e mobilità sostenibile

Nella componente M2C2 sono previsti investimenti per aumentare la quota di energia generata da energie rinnovabili (FER) nel sistema, in linea con gli obiettivi di decarbonizzazione europei e nazionali. Inoltre, secondo la strategia, il potenziamento e la digitalizzazione dell'infrastruttura di rete è prevista per accogliere una maggiore produzione di FER, migliorarne la resilienza a fenomeni climatici estremi e facilitare la produzione, la distribuzione e l'uso finale dell'idrogeno. L'obiettivo è sviluppare trasporti locali più sostenibili come leva per migliorare la qualità della vita nel suo insieme e stabilire

<sup>21</sup> PNRR, M2C1, pp. 124-128.

una leadership industriale e di ricerca e sviluppo internazionale nelle principali catene di transizione. Tra i vari investimenti riportiamo:"

- *sviluppo agro-voltaico;*
- *promozione rinnovabili per le comunità energetiche e l'auto-consumo;*
- *promozione impianti innovativi (incluso off-shore);*
- *sviluppo biometano;*
- *rafforzamento smart grid;*
- *interventi su resilienza climatica delle reti;*
- *produzione in aree industriali dismesse;*
- *sperimentazione dell'idrogeno per il trasporto stradale;*
- *sperimentazione dell'idrogeno per il trasporto ferroviario;*
- *ricerca e sviluppo sull'idrogeno;*
- *rafforzamento mobilità ciclistica;*
- *sviluppo trasporto rapido di massa;*
- *sviluppo infrastrutture di ricarica elettrica;*
- *rinnovo flotte bus, treni verdi;*
- *supporto a start-up e venture capital attivi nella transizione ecologica".<sup>22</sup>*

#### **M2C3** EFFICIENZA ENERGETICA E RIQUALIFICAZIONE DEGLI EDIFICI

La componente M2C3 mira a migliorare l'efficienza energetica dei parchi immobiliari pubblici e privati e stimolare gli investimenti locali, la creazione di posti di lavoro, la resilienza sociale e l'integrazione delle energie rinnovabili. Tali investimenti sono incentrati su:"

<sup>22</sup> *ivi*, pp. 131-142.

- *piano di sostituzione di edifici scolastici e di riqualificazione energetica;*
- *efficientamento degli edifici giudiziari;*
- *ecobonus e Sismabonus fino al 110 per cento per l'efficienza energetica e la sicurezza degli edifici;*
- *sviluppo di sistemi di teleriscaldamento".<sup>23</sup>*

#### **M2C4** TUTELA DEL TERRITORIO E DELLA RISORSA IDRICA

La componente M2C4 si attiva per migliorare la capacità di prevedere gli effetti del cambiamento climatico attraverso avanzati sistemi integrati di monitoraggio e analisi, prevedendo e confrontando gli effetti del cambiamento climatico sul dissesto idrogeologico e sulla vulnerabilità territoriale. Le misure attuate dal PNRR Task 2 mirano a facilitare la transizione in modo equo e inclusivo, colmando i divari tra le regioni italiane, al fine di facilitare la trasformazione del Paese sviluppando e rafforzando competenze e consapevolezza delle tematiche affrontate. Tra le varie misure rientrano:"

- *realizzazione di un sistema avanzato ed integrato di monitoraggio e previsione;*
- *misure per la gestione del rischio di alluvione e per la riduzione del rischio idrogeologico;*
- *interventi per la resilienza, la valorizzazione del territorio e l'efficienza energetica dei comuni;*
- *semplificazione e accelerazione delle procedure per l'attuazione degli interventi contro il dissesto idrogeologico;*
- *tutela e valorizzazione del verde urbano ed extraurbano;*
- *digitalizzazione dei parchi nazionali;*
- *rinaturalizzazione dell'area po;*
- *ripristino e tutela dei fondali e degli habitat marini;*

<sup>23</sup> *ivi*, pp. 144-146.

- *adozione di programmi nazionali di controllo dell'inquinamento atmosferico;*
- *investimenti in infrastrutture idriche primarie per la sicurezza dell'approvvigionamento idrico;*
- *riduzione delle perdite nelle reti di distribuzione dell'acqua, compresa la digitalizzazione e il monitoraggio delle reti;*
- *investimenti nella resilienza dell'agrosistema irriguo per una migliore gestione delle risorse idriche;*
- *investimenti in fognatura e depurazione".<sup>24</sup>*

#### **2.3.3 IL PROGETTO 3ENCULT**

Durante il periodo 2010-2014 l'Europa ha ideato una serie di programmi con l'obiettivo di dimostrare la realizzabilità di riduzioni significative della domanda di energia degli edifici storici, attraverso il retrofitting efficiente dal punto di vista energetico degli stessi, pur mantenendo e rispettando il valore e il carattere del patrimonio, creando così un approccio interdisciplinare tra la conservazione e la sostenibilità ambientale. Ne è un esempio il progetto 3ENCULT (Efficient Energy for EU Cultural Heritage),<sup>25</sup> ideato nell'ambito del VII Programma Quadro di Ricerca e Sviluppo e finanziato da fondi europei (Fig. 2.2). La metodologia applicata al progetto si può riassumere in sei fasi:

1. **PROGRAMME.** Nella prima fase si vanno a delineare gli obiettivi in termini di risparmio energetico.
2. **PRE-ASSESSMENT.** Nella seconda fase si procede all'analisi del manufatto utilizzando metodi non invasivi.
3. **PROPOSALS.** Nella terza fase si procede alla stesura di tutti i possibili interventi cui l'edificio potrebbe

<sup>24</sup> PNRR, M2C1, pp. 150-155.

<sup>25</sup> Il progetto 3ENCULT (Efficient Energy for EU Cultural Heritage) è finanziato dal VII Programma Quadro (FP7) della Commissione Europea (CE). L'attenzione principale in questa guida è sull'involo dell'edificio, le finestre, la ventilazione, le soluzioni passive e attive di efficienza energetica. [Online] [https://www.3encult.eu/en/deliverables/Documents/WP3\\_D3.6\\_20130527\\_P21\\_Technical\\_guide\\_EE\\_options\\_for\\_local\\_governments.pdf](https://www.3encult.eu/en/deliverables/Documents/WP3_D3.6_20130527_P21_Technical_guide_EE_options_for_local_governments.pdf), consultato il 27 febbraio 2022.

essere sottoposto per il raggiungimento degli obiettivi.

4. **PROCESS.** Nella quarta fase gli operatori si confrontano sulle possibili soluzioni da adottare, coinvolgendo gli stakeholders ed esperti dei vari settori, e studiandone assieme i possibili effetti.
5. **PROJECT.** Nella quinta fase vi è la realizzazione degli interventi scelti precedentemente.
6. **POST-ASSESSMENT.** Nell'ultima fase, a lavori ultimati, è previsto un monitoraggio completo, il quale riguarda i risultati ottenuti a seguito degli interventi.

Questo programma ha richiesto una stretta collaborazione tra esperti afferenti a diverse discipline (progettazione, conservazione e gestione dell'energia), nonché tutti i soggetti direttamente coinvolti, come nel caso di edifici tutelati proprietari (utenti e autorità competenti), con requisiti e competenze; al fine di valutare le soluzioni tecniche utili per il retrofit energetico degli edifici storici, basate sull'analisi di otto casi studio (Fig. 2.3).

Alla fine dell'analisi condotta è stato redatto di un manuale tecnico "Energy efficiency solutions for historic buildings: a handbook",<sup>26</sup> indirizzato ad architetti, ingegneri e restauratori. Dal lavoro svolto si può concludere che sebbene uno degli obiettivi principali del progetto fosse quello di cercare di identificare fattori replicabili in contesti diversi, non è stato possibile creare un'unica soluzione universalmente applicabile, in quanto ogni edificio storico è unico e ha la sua complessità e specificità. Il progetto propone invece un "insieme di pratiche" volte a trovare la soluzione più adatta per ogni caso specifico; solo così è possibile ottenere interventi che sappiano coniugare materiali storici con nuovi fabbisogni energetici e far sì che queste architetture continuino a sopravvivere. Si è visto come gli interventi che hanno prodotto gli esiti più positivi sono stati quelli che hanno coinvolto il maggior numero di professionisti, tra cui stakeholders, progettisti, conservatori ed esperti nell'ambito energetico. Pertanto è assodabile che solo con un approccio

<sup>26</sup> Troy A., EURAC research, Zeno Bastian Passive House Institute, (2014), *Energy efficiency solutions for historic buildings. A handbook*, Birkhäuser.

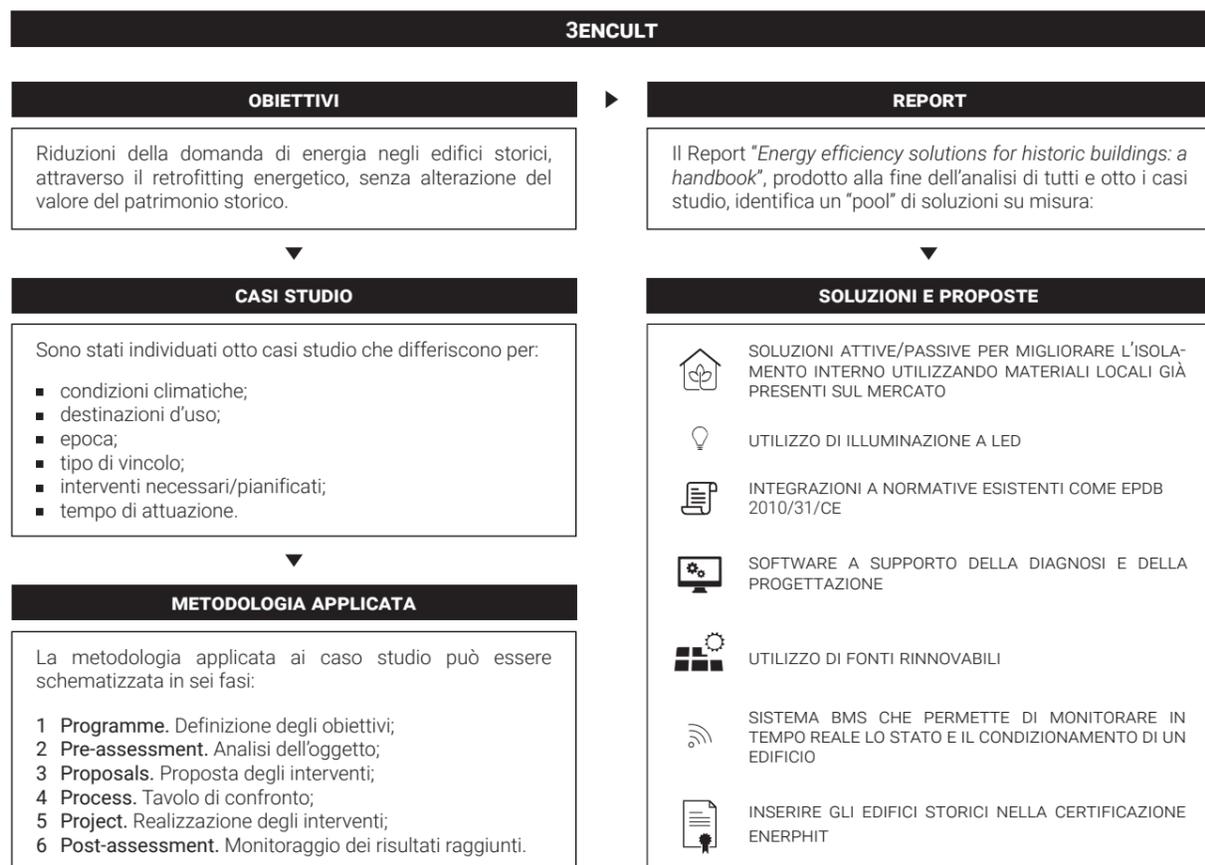


Fig. 2.2

Schema del progetto europeo 3ENCULT e del suo funzionamento (Elaborazione dell'autrice).

olistico e multidisciplinare possiamo garantire l'applicazione di soluzioni efficienti dal punto di vista energetico di alta qualità per ogni caso di studio. Infine, gli esperti coinvolti nel progetto hanno suggerito alcune integrazioni per quanto riguarda gli edifici storici nell'ambito della Direttiva EPBD 2010/31/CE, raccomandano ispezioni regolari degli impianti HVAC, la stesura di certificazione energetica per gli edifici storici e un'indagine che stabilisca i potenziali risparmi d'energia. Questo desiderio è stato in parte soddisfatto nell'ultima stesura dell'EPBD del 2018, anche se essa non è specifica gli edifici storici, ma riguarda tutti gli edifici esistenti.

### 2.3.4 LA UNI EN 16883:2017. LINEE GUIDA PER MIGLIORARE LA PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI STORICI

La UNI EN 16883:2017,<sup>27</sup> emessa dal CEN/TC 346 "Conservation of Cultural Heritage" (Conservazione dei beni culturali – Linee guida per migliorare la prestazione energetica degli edifici storici) è entrata a far parte dell'organismo di regolamentazione italiano il 15 giugno 2017 e si riferisce collettivamente a tutti i beni, mobili e immobili, di carattere storico, senza distinzione di tipologia, epoca o tipo di tutela nonché a quelli che sono stati censiti come beni culturali. Fornisce linee guida per un approccio metodologico al fine di migliorare le prestazioni energetiche andando a ridurre sia i consumi energetici che le emissioni di CO<sub>2</sub>.<sup>28</sup>

È quindi un processo interattivo da seguire quando sono necessarie considerazioni speciali per trovare un equilibrio sostenibile tra uso dell'edificio, prestazione energetica e conservazione. Questo modello integra gli standard esistenti di prestazione energetica per gli edifici non storici e dimostra come tali standard possono essere applicati in modo appropriato con particolare attenzione agli edifici storici e

storici-tutelati. La norma mira anche a considerare la gestione sostenibile degli edifici, tenendo conto della loro conservazione e del loro utilizzo a lungo termine, e propone di ottimizzare i sistemi tecnologici esistenti (prima della sostituzione) per sfruttare appieno le ultime tecnologie prima di prendere in considerazione ulteriori interventi. La normativa fornita indica la procedura ottimale per la scelta degli interventi migliorativi in base a tre distinti elementi:

1. **INDAGINE.**
2. **DEFINIZIONE DEGLI OBIETTIVI**
3. **VALUTAZIONE POST-OCCUPAZIONE.**

Al suo interno è possibile trovare i seguenti riferimenti normativi

- EN 16096:2012 Conservation of cultural property – Condition survey and report of built cultural heritage.<sup>29</sup>
- EN 16247-2:2014 Energy audits – Part 2: Buildings.

Di seguito si richiamano i tre interventi citati:

1. **INDAGINE.** In questa fase si effettua un'indagine di tutte le caratteristiche che compongono l'edificio allo scopo di determinare la necessità, o meno, nell'installazione di dispositivi volti al miglioramento delle prestazioni energetiche. Tale procedura deve essere affiancata dalla valutazione del reale utilizzo dell'energia impiegata, avvalendosi anche delle normative già in uso per gli edifici non storici; ciò nonostante, in alcuni casi, potrebbe essere necessario fare affidamento sulla valutazione dell'efficienza energetica appropriata all'utenza, andando ad avviare una valutazione che

<sup>27</sup> UNI EN 16883:2017, 15 giugno 2017. [Online] <https://anie.it/prestazione-energetica-degli-edifici-storici-arriva-la-uni-en-168832017/#.YiCwd-jMKM9>, consultato il 3 marzo 2022.

<sup>28</sup> Per "beni mobili" si intendono i manufatti artistici, gli oggetti etnografici, gli strumenti scientifici e tecnologici, gli strumenti musicali ecc, gli oggetti archeologici ritrovati in beni immobili, sotto terra o subacquei. Per "beni immobili" si intendono edifici, siti, strutture di valore storico e architettonico e siti di valore archeologico.

<sup>29</sup> EN 16096 Conservation of cultural property – Condition survey and report of built cultural heritage. La presente norma europea fornisce linee guida per un rilevamento delle condizioni del patrimonio culturale costruito. Afferma come la condizione del patrimonio culturale costruito debba essere valutata, documentata, registrata e rendicontata; può essere applicata a tutto il patrimonio culturale costruito come edifici, rovine, ponti e altre strutture in piedi. Il patrimonio culturale costruito comprende edifici e strutture significativi protetti e non protetti. I siti archeologici e i paesaggi culturali non sono trattati in questo standard.

Fig. 2.3

Elenco degli otto casi studio del progetto europeo 3ENCULT (Elaborazione dell'autrice).

- |  |   |
|--|---|
| <p><b>I</b> Pesa Pubblica, Bolzano, Italia<br/>Anno di costruzione: Fine del XIII secolo.<br/>Destinazione d'uso: Locale commerciale/residenziale.</p> <p><b>II</b> Palazzo d'Accursio, Bologna, Italia<br/>Anno di costruzione: Inizio del XIII secolo.<br/>Destinazione d'uso: Sede museo/Pubblica Amministrazione.</p> <p><b>III</b> Palazzina della Viola, Bologna, Italia<br/>Anno di costruzione: XV secolo.<br/>Destinazione d'uso: Sede Università di Bologna.</p> <p><b>IV</b> Fæstningens Materialegård, Copenhagen, Danimarca<br/>Anno di costruzione: 1756.<br/>Destinazione d'uso: Uffici pubblici.</p> | <p><b>V</b> Scuola Monumentale, Innsbruck, Austria<br/>Anno di costruzione: 1931.<br/>Destinazione d'uso: Edificio scolastico.</p> <p><b>VI</b> Magazzino, Potsdam, Germania<br/>Anno di costruzione: XIX secolo.<br/>Destinazione d'uso: Residenziale/uffici/esposizione.</p> <p><b>VII</b> Scuola di ingegneria industriale, Salamanca, Spagna<br/>Anno di costruzione: 1968.<br/>Destinazione d'uso: Edificio scolastico.</p> <p><b>VIII</b> Strickbau, Appenzello, Svizzera<br/>Anno di costruzione: XVII secolo.<br/>Destinazione d'uso: Rifugio alpino.</p> |
|--|---|

tenga conto in maniera particolare dei dati in ingresso. Molto spesso, infatti, i dati forniti per il modello di calcolo non tengono conto delle caratteristiche peculiari degli edifici storici. Per ovviare a tale problematica il modello consiglia l'utilizzo di dati basati direttamente sull'edificio.

2. **DEFINIZIONE DEGLI OBIETTIVI.** Una volta conclusa la prima parte, è possibile definire gli obiettivi da raggiungere, i quali possono essere modificati in un secondo momento durante la procedura. È importante che ogni azione venga gestita con una strategia di gestione dell'edificio a lungo termine. A questo punto se l'analisi stabilisce che non sia necessario alcun miglioramento si termina il lavoro, se invece è necessario un miglioramento, si procede con la seconda fase del processo di selezione dell'intervento. Le azioni per migliorare l'efficienza energetica degli edifici storici possono includere:

- modifiche all'edificio;
- Approvvigionamento e gestione dell'energia;
- comportamento dell'utente.

Questo processo, eseguito da un gruppo multidisciplinare di esperti, si basa sullo schema rischi-benefici e ha il fine di identificare le migliori soluzioni possibili in termini di costi, scartando le soluzioni tecnologiche non adatte. Si otterrà un catalogo contenente le misure probabili, le quali saranno valutate individualmente in modo da assicurare il raggiungimento degli obiettivi prefissati nella prima fase d'indagine. In questa fase c'è la possibilità che si verifichino circostanze impreviste o la necessità di modifiche, soprattutto nel caso di edilizia storica, in caso avvenga ciò è necessario un monitoraggio costante in corso d'opera.

3. **VALUTAZIONE POST-OCCUPAZIONE.** Quest'ultima parte prevede la valutazione delle misure adottate dall'edificio nella post-occupazione, le analisi condotte devono assicurare la riuscita delle misure adottate e il raggiungimento degli obiettivi prefissati. La norma raccomanda, inoltre, una costante manutenzione dell'edificio come miglior forma di prevenzione e conservazione della struttura. La Commissione sostiene numerosi progetti di

ristrutturazione edilizia in tal senso, nonché progetti di ricerca e innovazione con il principale programma di finanziamento "Europe Horizon", con un budget di 95,5 miliardi di euro.

Questi programmi hanno il compito di facilitare l'impatto della ricerca e dell'innovazione nello sviluppo, nel sostegno e nell'attuazione delle politiche dell'Unione Europea, affrontando nel contempo le sfide globali. Oltre a questo, il loro obiettivo è quello di supportare la ricerca e la diffusione delle nuove tecnologie e creare nuovi posti di lavoro, in modo da stimolare la crescita economica e promuovere un ambiente di ricerca competitivo all'interno dell'UE.

#### 2.4. IL QUADRO NORMATIVO ITALIANO

Il nostro paese è caratterizzato dalla più grande percentuale di patrimonio culturale, storico e artistico, con oltre 3.400 musei, circa 2.100 aree e parchi archeologici. Se poi si considera il Patrimonio UNESCO su un totale di 1154 siti (897 siti culturali, 218 naturali e 39 misti) presenti in 167 Paesi del mondo, l'Italia detiene ben 58 siti di cui 5 siti naturali e 8 paesaggi culturali.

Sebbene l'importanza della salvaguardia del patrimonio artistico e naturalistico ha da sempre caratterizzato il nostro Paese, nel corso del Novecento sono state introdotte nuove disposizioni in ambito di efficientamento energetico negli edifici; queste nuove regolamentazioni hanno portato ad un dibattito internazionale sulla tutela del patrimonio storico-artistico e la sua riqualificazione. In Italia, con l'articolo 9 della Costituzione, si stabilisce che:

*“La Repubblica promuove lo sviluppo della cultura e la ricerca scientifica e tecnica. Tutela il paesaggio e il patrimonio storico e artistico della Nazione. Tutela l'ambiente, la biodiversità e gli ecosistemi, anche nell'interesse delle future generazioni”.*<sup>30</sup>

Sebbene la Costituzione risale al 1947, in Italia si comincia a parlare di normativa riguardante

<sup>30</sup> COSTITUZIONE DELLA REPUBBLICA ITALIANA, *Principi fondamentali*, art. 9, 27 dicembre 1947.

Tabella delle principali norme italiane in materia di efficientamento energetico (Elaborazione dell'autrice).

QUADRO NORMATIVA ITALIANA	
<p><b>1976   LEGGE N. 373</b> "NORME PER IL CONTENIMENTO DEL CONSUMO ENERGETICO PER USI TERMICI NEGLI EDIFICI"</p>	<p><b>1978   LEGGE N. 457</b> "NORME PER L'EDILIZIA RESIDENZIALE"</p>
<p><b>1991   LEGGE N. 10</b> "NORME PER L'ATTUAZIONE DEL PIANO ENERGETICO NAZIONALE IN MATERIA DI USO RAZIONALE DELL'ENERGIA, DI RISPARMIO ENERGETICO E DI SVILUPPO DELLE FONTI RINNOVABILI DI ENERGIA"</p>	<p><b>1993   D.P.R. N. 412</b> "REGOLAMENTO RECANTE NORME PER LA PROGETTAZIONE, L'INSTALLAZIONE, L'ESERCIZIO E LA MANUTENZIONE DEGLI IMPIANTI TERMICI DEGLI EDIFICI AI FINI DEL CONTENIMENTO DEI CONSUMI DI ENERGIA"</p>
ATTUAZIONE DIRETTIVA 2002/91/CE	ATTUAZIONE DIRETTIVA 2009/28/CE
<p><b>2005   D.LGS. N. 192</b> "ATTUAZIONE DELLA DIRETTIVA 2002/91/CE RELATIVA AL RENDIMENTO ENERGETICO NELL'EDILIZIA"</p>	<p><b>2011   D.LGS. N. 28</b> "ATTUAZIONE DELLA DIRETTIVA 2009/28/CE SULLA PROMOZIONE DELL'USO DELL'ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI, RECANTE MODIFICA E SUCCESSIVA ABROGAZIONE DELLE DIRETTIVE 2001/77/CE E 2003/30/CE"</p>
<p><b>2006   D.LGS. N. 311</b> "DISPOSIZIONI CORRETTIVE ED INTEGRATIVE AL D.LGS. 192/05"</p>	
<p><b>2009   D.M. 26 GIUGNO</b> "LINEE GUIDA NAZIONALI PER LA CERTIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI"</p>	
ATTUAZIONE DIRETTIVA 2010/31/UE	ATTUAZIONE DIRETTIVA 2018/844/UE
<p><b>2013   D.L. N. 63</b> "DISPOSIZIONI URGENTI PER IL RECEPIMENTO DELLA DIRETTIVA 2010/31/UE SULLA PRESTAZIONE ENERGETICA NELL'EDILIZIA PER LA DEFINIZIONE DELLE PROCEDURE D'INFRAZIONE AVVIATE DALLA COMMISSIONE EUROPEA"</p>	<p><b>2020   D.LGS. N. 48</b> "ATTUAZIONE DELLA DIRETTIVA 2018/844 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO, DEL 30 MAGGIO 2018, CHE MODIFICA LA DIRETTIVA 2010/31/UE SULLA PRESTAZIONE ENERGETICA NELL'EDILIZIA E LA DIRETTIVA 2012/27/UE SULL'EFFICIENZA ENERGETICA"</p>
<p><b>2013   LEGGE N. 90</b> "DECRETO ECOBONUS" CONVERSIONE, CON MODIFICAZIONI, DEL D.LGS. 4 GIUGNO 2013, N. 63</p>	
<p><b>2015   D.M. 26 GIUGNO</b> "APPLICAZIONE DELLE METODOLOGIE DI CALCOLO DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE E DEFINIZIONE DELLE PRESCRIZIONI E DEI REQUISITI MINIMI DEGLI EDIFICI"</p>	
<p>l'efficientamento energetico nel 1975, con l'emanazione del primo Piano Energetico Nazionale (PEN),<sup>31</sup> al quale seguirono numerose edizioni e aggiornamenti della politica energetica italiana, tutt'oggi in rapida evoluzione. Di seguito sono riportate le principali norme italiane in ambito di efficientamento energetico (Tab. 2.1).</p>	<p><b>1976 - Legge n. 373, "Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici".</b><sup>32</sup></p> <p>A seguito della crisi energetica degli anni '70,<sup>33</sup> viene emanata la prima legge sul contenimento dei consumi energetici, riguardante la regolazione delle prestazioni, dell'installazione e del funzionamento</p>
<p><sup>31</sup> PEN – Piano Energetico Nazionale. [Online] <a href="https://www.linkiesta.it/blog/2012/10/il-piano-energetico-nazionale-un-obiettivo-primario-di-cui-si-sente-il/">https://www.linkiesta.it/blog/2012/10/il-piano-energetico-nazionale-un-obiettivo-primario-di-cui-si-sente-il/</a>, consultato il 27 febbraio 2022.</p>	<p><sup>32</sup> LEGGE 30 marzo 1976, n. 373. [Online] <a href="https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/1976/06/07/076U0373/sg">https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/1976/06/07/076U0373/sg</a></p> <p><sup>33</sup> La crisi energetica, cominciata nel 1973, fu causata dalla decisione degli Stati arabi, produttori di petrolio, di tagliare del 25% le esportazioni del greggio verso i paesi occidentali, colpevoli di aver sostenuto lo Stato d'Israele durante la guerra del Kippur.</p>

dei vari componenti delle apparecchiature per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria; la legge permette di implementare il consumo energetico grazie a nuovi sistemi di progettazione relativi all'isolamento termico e delle apparecchiature e dei nuovi involucri edilizi. Sebbene venga riconosciuta l'importanza del contenimento energetico, negli edifici storici l'applicazione di tale norma è affidata alla discrezione dei sindaci e alle commissioni edilizie comunali. La legge è stata successivamente modificata dalla Legge n. 10 del 1991.

**1978 – Legge n. 457, “Norme per l’edilizia residenziale”.**<sup>34</sup>

Riguardante le norme per il recupero del patrimonio preesistente, l’art. 31 definisce:

- gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria;
- gli interventi di restauro e di risanamento conservativo;
- gli interventi di ristrutturazione edilizia;
- gli interventi di ristrutturazione urbanistica;

L'applicazione di tale norma è articolata secondo il grado della tipologia di intervento (Fig. 2. 4).



Fig. 2.4

Interventi di recupero del patrimonio edilizio esistente (Rielaborazione dell'autrice da: [https://www.bosettiegatti.eu/info/norme/statali/1978\\_0457.htm](https://www.bosettiegatti.eu/info/norme/statali/1978_0457.htm)).

<sup>34</sup> LEGGE 5 agosto 1978, n. 457 – Norme per l’edilizia residenziale. [Online] [https://www.bosettiegatti.eu/info/norme/statali/1978\\_0457.htm](https://www.bosettiegatti.eu/info/norme/statali/1978_0457.htm)

Per i beni sottoposti a vincolo in quanto considerati di interesse artistico e storico o immobili di notevole interesse pubblico, si rinvia alla Legge n. 1497/39,<sup>35</sup> che richiede l’Autorizzazione Statale ex Ministero dell’Istruzione (ora Beni e Attività Culturali) per apportare modifiche o riparazioni.

**1991 - Legge n. 10/91 “Norme per l’attuazione del piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell’energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia”.**<sup>36</sup>

Questa legge sostituisce e aggiorna la legge 373/76 e altre normative ad essa collegate, viene considerata una vera e propria innovazione nel campo dell’efficientamento, poiché introdusse il concetto di sistema edificio-impianto, tramite una metodologia di valutazione del bilancio energetico sia invernale che estivo. Inoltre, tale sistema evidenziava come i consumi potevano essere ridotti soprattutto grazie all’utilizzo di energie rinnovabili (o similari) definite dall’articolo 1, comma 3 come: “sole, vento, l’energia idraulica, le risorse geotermiche, le maree, il moto ondoso e la trasformazione dei rifiuti organici e inorganici o di prodotti vegetali. Sono altresì considerate fonti di energia assimilate alle fonti rinnovabili di energia: la cogenerazione, intesa come produzione combinata di energia elettrica o meccanica e di calore, il calore recuperabile nei fiumi di scarico e da impianti termici, da impianti elettrici e da processi industriali, nonché le altre forme di energia recuperabile in processi, in impianti e in prodotti ivi compresi i risparmi di energia conseguibili nella climatizzazione e nell’illuminazione degli edifici con interventi sull’involucro edilizio e sugli impianti”,<sup>37</sup> e non solo al miglioramento della stratigrafia dell’involucro dell’edificio (con l’isolamento delle partizioni verticali, orizzontali e di copertura) e quindi al miglioramento delle prestazioni energetiche.

<sup>35</sup> LEGGE 29 giugno 1939, n. 1497 – Protezione delle bellezze naturali. [Online] [https://www.naturaitalia.it/static/temp/allegati\\_natura\\_italia/biodiversita/normativa/Legge\\_1497\\_del\\_1939.pdf](https://www.naturaitalia.it/static/temp/allegati_natura_italia/biodiversita/normativa/Legge_1497_del_1939.pdf)

<sup>36</sup> LEGGE 9 gennaio 1991, n. 10 – Norme per l’attuazione del piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell’energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia. [Online] [https://www.bosettiegatti.eu/info/norme/statali/1991\\_0010.htm](https://www.bosettiegatti.eu/info/norme/statali/1991_0010.htm)

<sup>37</sup> LEGGE 10/91, art. 8.

Per il recupero del patrimonio preesistente l’applicazione della norma si rifà alla Legge n. 457/78, art. 31; mentre per i beni sottoposti a vincolo “d’interesse artistico e storico” si fa affidamento alla Legge 1497/1939 (e alle successive modifiche).

Si introduce inoltre una prima suddivisione del territorio nazionale con la definizione delle zone climatiche o aree geografiche o zone climatiche, classificate con periodi precisi di esercizio (A, B, C, D, E, F) e, ogni periodo con precise misurazioni di temperatura, velocità del vento e del coefficiente di esposizione solare (Fig. 2.5).

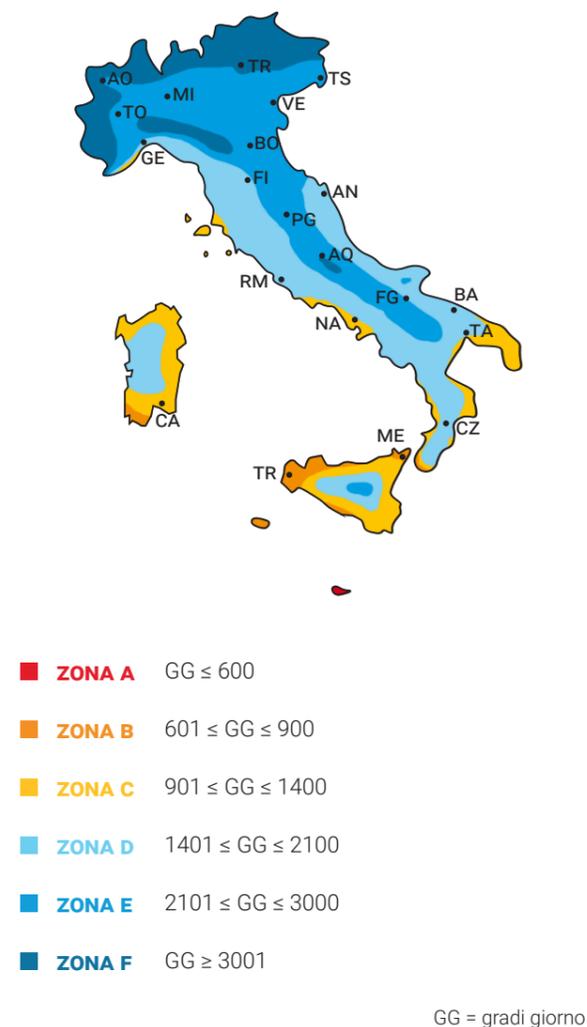


Fig. 2.5

Interventi di recupero del patrimonio edilizio esistente (Rielaborazione dell'autrice da: [https://www.bosettiegatti.eu/info/norme/statali/1978\\_0457.htm](https://www.bosettiegatti.eu/info/norme/statali/1978_0457.htm))

Tale legge fu in seguito modificata e integrata da varie normative, dimostrando la volontà di contrasto del consumo energetico nel settore edilizio.

**1993 – D.P.R. 412/93 “Regolamento recante norme per la progettazione, l’installazione, l’esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia”.**<sup>38</sup>

Modificata in seguito dal DPR 551/99<sup>39</sup> e dal DM 178/05<sup>40</sup> del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, attua la legge 10/1991 e reca norme e disposizioni per gli adempimenti del settore impiantistico. Suddivide il territorio nazionale in zone climatiche in funzione dei gradi giorno (GG), mantenendo la suddivisione in sei zone climatiche (dalla A alla F). Il D.P.R. introduce la classificazione generale degli edifici per categorie e destinazione d’uso, distinguendo in otto categorie (Tab. 2.2).

Nell’art. 5 comma 2, si definisce il rendimento globale medio stagionale dell’impianto termico come il “il prodotto dei seguenti rendimenti medi stagionali”,<sup>41</sup> suddividendoli in:

- rendimento di produzione;
- rendimento di regolazione;
- rendimento di distribuzione;
- rendimento di emissione.

<sup>38</sup> DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA 26 agosto 1993, n. 412 – Regolamento recante norme per la progettazione, l’installazione, l’esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia. [Online] [https://www.anit.it/wp-content/uploads/2015/03/DPR\\_412\\_93.pdf](https://www.anit.it/wp-content/uploads/2015/03/DPR_412_93.pdf), consultato il 7 giugno 2022.

<sup>39</sup> DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA 21 dicembre 1999, n. 511 – Regolamento recante modifiche al d.P.R. 26 agosto 1993, n. 412, in materia di progettazione, installazione, esercizio e manutenzione degli impianti termici degli edifici, ai fini del contenimento dei consumi di energia. [Online] [https://www.bosettiegatti.eu/info/norme/statali/1999\\_0551.htm](https://www.bosettiegatti.eu/info/norme/statali/1999_0551.htm), consultato il 7 giugno 2022.

<sup>40</sup> DECRETO MINISTERIALE 2 agosto 2005, n. 178 – Norme per l’attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell’energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia. [Online] <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/1993/10/14/093G0451/sg>, consultato il 7 giugno 2022.

<sup>41</sup> D.P.R. 412/93, art. 5, comma 2.

Classificazione delle categorie e destinazione d'uso secondo il D.P.R. 412/1993 (Elaborazione dell'autrice).

**CATEGORIE**

Gli edifici sono classificati in base alla loro destinazione d'uso nelle seguenti categorie

**E.1 EDIFICI ADIBITI A RESIDENZA**

- E.1.1 Abitazioni adibite a residenza con carattere continuativo, quali abitazioni civili e rurali, collegi, conventi, case di pena, caserme;
- E.1.2 Abitazioni adibite a residenza con occupazione saltuaria, quali case per vacanze, fine settimana e simili;
- E.1.3 Edifici adibiti ad albergo, pensione ed attività similari;

**E.2 EDIFICI ADIBITI A UFFICI**

Publici o privati, indipendenti o contigui a costruzioni adibite anche ad attività industriali o artigianali, purché siano da tali costruzioni scorponabili agli effetti dell'isolamento termico;

**E.3 EDIFICI ADIBITI A OSPEDALI, CLINICHE O CASE DI CURA**

Sono compresi quelli adibiti a ricovero o cura di minori o anziani nonché le strutture protette per l'assistenza ed il recupero dei tossico-dipendenti e di altri soggetti affidati a servizi sociali pubblici;

**E.4 EDIFICI ADIBITI AD ATTIVITA' RICREATIVE, ASSOCIATIVE O DI CULTO**

- E.4.1 Edifici quali cinema e teatri, sale di riunione per congressi.
- E.4.2 Edifici quali mostre, musei e biblioteche, luoghi di culto.
- E.4.3 Edifici quali bar, ristoranti, sale da ballo;

**E.5 EDIFICI ADIBITI AD ATTIVITA' COMMERCIALI**

Sono compresi gli edifici quali negozi, magazzini di vendita all'ingrosso o al minuto, supermercati, esposizioni;

**E.6 EDIFICI ADIBITI AD ATTIVITA' SPORTIVE**

- E.6.1 Piscine, saune e assimilabili;
- E.6.2 Palestre e assimilabili;
- E.6.3 Servizi di supporto alle attività sportive;

**E.7 EDIFICI ADIBITI AD ATTIVITA' SCOLASTICHE****E.8 EDIFICI ADIBITI AD ATTIVITA' INDUSTRIALI ED ARTIGIANALI****2.4.1 ATTUAZIONE DELLA DIRETTIVA 2002/91/CE****2005 – D.Lgs. 192/05 “Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia”.<sup>43</sup>**

Tale decreto recepisce la Direttiva 2002/91/CE tre anni dopo ed è considerato il principale riferimento normativo in materia di certificazione energetica, in quanto stabilisce che *“i criteri, le condizioni e le modalità per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici al fine di favorirne lo sviluppo, la valorizzazione e l'integrazione delle fonti rinnovabili e la diversificazione energetica, contribuire a conseguire gli obiettivi nazionali di limitazione delle emissioni di gas a effetto serra posti dal Protocollo di Kyoto, promuovendo la competitività dei comparti più avanzati attraverso lo sviluppo tecnologico”*.<sup>44</sup>

<sup>43</sup> DECRETO LEGISLATIVO 19 agosto 2005, n. 192 – Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia. [Online] <http://www.publiccontrolli.it/192.pdf>, consultato il 7 giugno 2022.

<sup>44</sup> D.L. 192/05, art. 1, comma 1.

È la prima legge a riconoscere il ruolo e le responsabilità degli organismi di certificazione, poiché *“promuove il miglioramento della prestazione energetica degli edifici tenendo conto delle condizioni locali e climatiche esterne, nonché delle prestazioni relative al clima degli ambienti interni e all'efficacia sotto il profilo dei costi”*,<sup>45</sup> introducendo:

- metodologia di calcolo delle prestazioni energetiche integrate degli edifici, attraverso il pacchetto di specifica tecnica uni/ts 11300;
- applicazione dei requisiti minimi di prestazioni energetiche negli edifici di nuova realizzazione o interventi sul patrimonio preesistente (tab. 2.3);
- criteri con standard minimi per la certificazione energetica;
- ispezioni e manutenzioni degli impianti di climatizzazione;
- fissare i requisiti professionali e criteri di accreditamento per gli esperti e gli organismi a cui affidare la certificazione energetica e l'ispezione degli impianti di climatizzazione;
- favorire la formazione e l'aggiornamento degli operatori del settore;
- sostenere lo sviluppo, il miglioramento e l'integrazione negli edifici delle fonti rinnovabili, attraverso l'informazione e la sensibilizzazione degli utenti finali.

Nei casi riguardanti le ristrutturazioni di edifici esistenti, il decreto richiede un'applicazione differenziata a seconda della tipologia di intervento. Sono numerose, infatti, le situazioni in cui gli edifici sono esclusi dall'applicazione dello statuto, come edifici industriali, artigianali e agricoli non residenziali, gli edifici segregati, gli impianti ivi installati e i beni soggetti a normativa e tutela del D.Lgs. n. 42/04, qualora l'osservanza di tali disposizioni comporti una modifica inaccettabile del suo carattere o aspetto, soprattutto storico o artistico. Inoltre sempre in riferimento agli edifici esistenti nell'art. 3 bis si dispongono le strategie di ristrutturazione a

<sup>45</sup> D.L. 192/05, art. 1, comma 1.

lungo termine per i lavori di decarbonizzazione del parco immobiliare degli edifici esistenti in ottica dei costi in edifici a energia quasi a zero o nZEB.

**2006 – D.Lgs. 311/06 “Disposizioni correttive ed integrative al D.Lgs. 192/05”.<sup>46</sup>**

A completamento e correzione del precedente D.Lgs. 192/05, va a imporre ulteriori limiti di trasmittanza rispetto a quelli stabiliti dal D.Lgs. 192/05 (Tab. 2.4); dispone inoltre l'accesso agli interventi o sgravi fiscali per i lavori di miglioramento delle prestazioni energetiche di edifici e fabbriche.

A seguito della più recenti Direttive Europee, l'Italia ha ampliato la propria normativa in materia, emanando nel 2008 il D.Lgs. n. 115 (Direttiva di attuazione 2006/32/CE), il quale stabilisce una serie di norme volte al miglioramento dell'efficienza energetica degli usi finali di energia. Tali misure oltre a contribuire al miglioramento e alla sicurezza dell'approvvigionamento energetico, tutelano l'ambiente dal punto di vista del rapporto costi-benefici riducendo le emissioni di gas serra.

Tale decreto introduce una novità nella metodologia per il calcolo delle prestazioni energetiche, rispetto alle leggi precedenti, prendendo in considerazione anche la componente impiantistica e l'eventuale utilizzo di fonti rinnovabili, insieme alla componente strutturale dell'edificio. Il Decreto stabilisce inoltre i seguenti punti:

- impone il mercato immobiliare a notificare il consumo energetico degli edifici posti sul mercato immobiliare;
- predisposizione da parte delle regioni, in accordo con gli enti locali, di un programma di sensibilizzazione dei cittadini e di riqualificazione energetica del parco immobiliare territoriale;
- stabilisce per legge i livelli di prestazione energetica e isolamento per tutte le categorie di edifici nuovi e sulle parti ristrutturati degli edifici

<sup>46</sup> DECRETO LEGISLATIVO 29 dicembre 2006, n. 311 – Disposizioni correttive ed integrative al D.Lgs. 192/05. [Online] <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2007/02/01/007G0007/sg>, consultato il 7 giugno 2022.

<sup>42</sup> D.P.R. 412/93 Art. 5, comma 2.

Tab. 2.3  
Limiti di trasmittanza U secondo il D.Lgs. 192/2005 (Elaborazione dell'autrice).

D.LGS. 192/2005					
<b>VALORI LIMITE DELLA TRASMITTANZA TERMICA U DELLE STRUTTURE VERTICALI OPACHE ESPRESSE IN W/M²K</b>			<b>VALORI LIMITE DELLA TRASMITTANZA TERMICA U DELLE STRUTTURE ORIZZONTALI OPACHE ESPRESSE IN W/M²K</b>		
ZONA CLIMATICA	DAL 1° GENNAIO 2006	DAL 1° GENNAIO 2009	ZONA CLIMATICA	DAL 1° GENNAIO 2006	DAL 1° GENNAIO 2009
A	0,85	0,72	A	0,80	0,68
B	0,64	0,54	B	0,60	0,51
C	0,57	0,46	C	0,55	0,44
D	0,50	0,40	D	0,46	0,37
E	0,46	0,37	E	0,45	0,34
F	0,44	0,35	F	0,41	0,33
<b>VALORI LIMITE DELLA TRASMITTANZA TERMICA U DELLE STRUTTURE TRASPARENTI COMPRENSIVE DEGLI INFISSI ESPRESSE IN W/M²K</b>			<b>VALORI LIMITE DELLA TRASMITTANZA CENTRALE TERMICA U DEI VETRI ESPRESSE IN W/M²K</b>		
ZONA CLIMATICA	DAL 1° GENNAIO 2006	DAL 1° GENNAIO 2009	ZONA CLIMATICA	DAL 1° GENNAIO 2006	DAL 1° GENNAIO 2009
A	5,50	5,00	A	5,00	5,00
B	4,00	3,60	B	4,00	3,00
C	3,30	3,00	C	3,00	2,30
D	3,10	2,80	D	2,60	2,10
E	2,80	2,50	E	2,40	1,90
F	2,40	2,20	F	2,30	1,60

Tab. 2.4  
Limiti di trasmittanza U secondo il D.Lgs. 311/2006 (Elaborazione dell'autrice).

D.LGS. 311/2006					
<b>VALORI LIMITE DELLA TRASMITTANZA TERMICA U DELLE STRUTTURE VERTICALI OPACHE ESPRESSE IN W/M²K</b>			<b>VALORI LIMITE DELLA TRASMITTANZA TERMICA U DELLE STRUTTURE ORIZZONTALI OPACHE, COPERTURE E PAVIMENTI SU LOCALI NON RISCALDATI O VERSO L'ESTERNO (VALORE FRA PARENTESI) ESPRESSE IN W/M²K</b>		
ZONA CLIMATICA	DAL 1° GENNAIO 2008	DAL 1° GENNAIO 2010	ZONA CLIMATICA	DAL 1° GENNAIO 2008	DAL 1° GENNAIO 2010
A	0,72	0,62	A	0,42 (0,74)	0,38 (0,65)
B	0,54	0,48	B	0,42 (0,55)	0,38 (0,49)
C	0,46	0,40	C	0,42 (0,49)	0,38 (0,42)
D	0,40	0,36	D	0,35 (0,41)	0,32 (0,36)
E	0,37	0,34	E	0,32 (0,38)	0,30 (0,33)
F	0,35	0,33	F	0,31 (0,36)	0,29 (0,32)
<b>VALORI LIMITE DELLA TRASMITTANZA TERMICA U DELLE STRUTTURE TRASPARENTI COMPRENSIVE DEGLI INFISSI ESPRESSE IN W/M²K</b>			<b>VALORI LIMITE DELLA TRASMITTANZA CENTRALE TERMICA U DEI VETRI ESPRESSE IN W/M²K</b>		
ZONA CLIMATICA	DAL 1° GENNAIO 2008	DAL 1° GENNAIO 2010	ZONA CLIMATICA	DAL 1° GENNAIO 2008	DAL 1° GENNAIO 2010
A	5,50	4,60	A	4,50	3,70
B	3,60	3,00	B	3,40	2,70
C	3,00	2,60	C	2,30	2,10
D	2,80	2,40	D	2,10	1,90
E	2,40	2,20	E	1,90	1,70
F	2,20	2,00	F	1,70	1,30

esistenti;

- rende obbligatorio, negli edifici di nuova costruzione, l'utilizzo di energia solare per l'uso domestico di acqua calda, o nel caso di ristrutturazione o installazione degli impianti termici esistenti, il raggiungimento di almeno il 50% del fabbisogno totale di acqua calda;
- rende obbligatorio, negli edifici di nuova costruzione, l'utilizzo di protezioni solari passive esterne per la riduzione dell'uso di impianti di raffreddamento.

Sia il D.Lgs. 192/2005 che il 311/2006 non impongono l'obbligo di efficientamento energetico agli edifici storici qualora questo comporti alterazione al carattere storico-artistico dell'edificio.

In ambito europeo intanto si andava a delinearne la Direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici, la quale rese necessaria la revisione del quadro normativo italiano con il D.Lgs. 115/08 "Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE".<sup>47</sup> Tale decreto si pone l'obiettivo di migliorare l'efficienza energetica degli usi finali dell'energia sotto il profilo costi e benefici, della sicurezza dell'approvvigionamento energetico e alla tutela dell'ambiente, tramite un "rapporto" contenente gli strumenti di programmazione e monitoraggio, tra cui:

- valutazioni sul raggiungimento degli obiettivi indicativi nazionali;
- analisi dei risultati conseguiti;
- dati dei livelli di efficienza energetica presenti sul territorio nazionale, avvalendosi anche dei dati ottenuti dalle regioni e dalle province autonome.<sup>48</sup>

<sup>47</sup> DECRETO LEGISLATIVO 30 maggio 2008, n. 115 – Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE. [Online] [https://www.bossettiagatti.eu/info/norme/statali/2008\\_0115.htm](https://www.bossettiagatti.eu/info/norme/statali/2008_0115.htm), consultato il 7 giugno 2022.

<sup>48</sup> D.Lgs. 115/08, art. 5, comma 1.

Dopo l'emanazione del decreto vi fu una fase di transizione nella quale si introdusse uno strumento sostitutivo, la "qualificazione energetica". Tale strumento rimase in vigore fino all'uscita del Decreto Ministeriale 26/06/2009 "Linee Guida nazionali per la Certificazione Energetica".<sup>49</sup>

### 2009 – DM del 26 giugno "Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici", MiSE

Il Decreto reintroduce, insieme al D.Lgs. 28/11, l'obbligatorietà di attestazione energetica degli edifici, che precedentemente era stata annullata dalla Legge 133/08, per edifici nuovi e preesistenti. Il decreto adotta l'Attestato di Certificazione Energetica (ACE), il quale, ha una durata di dieci anni e contiene importanti informazioni riguardanti:

- l'efficienza energetica;
- le classi di prestazione energetica, calcolati secondo l'Allegato A paragrafo 3:

$EP_{gl} = EP_i + EP_{acs} + E_{pe} + EP_{ill} <$  ai limiti dell'allegato C del d.lgs. 311/2006.

$EP_{gl}$ : Indice di prestazione energetica globale;

$EP_i$ : Indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale, UNI/TS 11300 – Parte 1;

$EP_{acs}$ : Indice di prestazione energetica per la produzione dell'acqua calda sanitaria, UNI/TS 11300 – Parte 2;

$E_{pe}$ : Indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva;

$EP_{ill}$ : Indice di prestazione energetica per l'illuminazione artificiale;

- le indicazioni riguardanti gli interventi di riqualificazione energetica;
- i valori di riferimento a norma di legge.

<sup>49</sup> DECRETO MINISTERIALE 26 giugno 2009 – Linee Guida nazionali per la Certificazione Energetica. [Online] [https://www.mise.gov.it/images/stories/normativa/DM\\_Linee\\_guida\\_APE\\_allegato1.pdf](https://www.mise.gov.it/images/stories/normativa/DM_Linee_guida_APE_allegato1.pdf), consultato il 7 giugno 2022.

#### 2.4.2 ATTUAZIONE DELLA DIRETTIVA 2009/28/CE

2011 – D.Lgs. 28/11 “Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell’uso dell’energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE”.<sup>50</sup>

Attua la Direttiva 23/04/2009 n. 28 e definisce gli strumenti, i meccanismi, gli incentivi e il quadro istituzionale, finanziario e giuridico necessari per il raggiungimento degli obiettivi dell’Agenda 2020, stabilendo l’obbligo di utilizzo di energia prodotta da fonti alternative per la copertura dei consumi del fabbisogno energetico (riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria) di almeno il 50% sul consumo finale lordo di energia negli edifici preesistenti e di nuova costruzione ed “edificio sottoposto a ristrutturazione rilevante”, il quale può ricadere in due diverse categorie:

A) edificio esistente soggetto a ristrutturazione integrale degli elementi edilizi costituenti l’involucro;

B) “edificio esistente soggetto a demolizione e ricostruzione anche se è in manutenzione straordinaria”.<sup>51</sup>

<sup>50</sup> DECRETO LEGISLATIVO 3 marzo 2011, n. 28 – Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell’uso dell’energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE. [Online] [https://www.bossettiegatti.eu/info/norme/statali/2011\\_0028.htm](https://www.bossettiegatti.eu/info/norme/statali/2011_0028.htm), consultato il 7 giugno 2022.

<sup>51</sup> D.Lgs. 28/11, art. 1, lettera ii)

#### 2.4.3 ATTUAZIONE DELLA DIRETTIVA 2010/31/UE

2013 – D.L. 63/13 “Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell’edilizia per la definizione delle procedure d’infrazione avviate dalla Commissione europea”.<sup>52</sup>

Denominato anche “Decreto Ecobonus”, recepisce la Direttiva 2010/31/UE (in seguito convertita, con modificazioni, dalla Legge 90/13), data l’urgenza del tema relativo alla riqualificazione energetica del patrimonio immobiliare del paese in conformità alle leggi UE il decreto completa e approfondisce in maniera più esaustiva cosa si intende per “edificio di riferimento” e per “edificio a energia quasi a zero” andando a introdurre il concetto di livelli di efficienza energetica ottimali in termini di costi.

Ha in seguito aggiornato il D.Lgs. 192/15 decretando il passaggio dalla certificazione ACE (Attestato di Certificazione Energetica) a quella APE (Attestato di Prestazione Energetica).

Le norme e i requisiti minimi riportati nella norma si riferiscono alle nuove costruzioni, alle ristrutturazioni rilevanti e agli usi energetici di edifici preesistenti; mentre, per le categorie di edifici ricadenti nell’ambito della disciplina D.Lgs. 42/04, recanti codici del paesaggio e dei beni culturali, vi è l’obbligo di certificazione energetica e di esercizio, ispezione e manutenzione degli impianti tecnici.

Presto, però, si scoprì che il D.Lgs. 63/13 concedeva l’istituzione della deroga automatica per qualsiasi edificio di valore culturale. Tale falla fu coperta in breve dalla legge di conversione 90/13, che istituisce l’obbligo di autorizzazione da parte dell’autorità competente nel caso di edifici d’importanza storico-artistica sottoposti a tutela.

<sup>52</sup> DECRETO LEGGE 4 giugno 2013, n. 63 – Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell’edilizia per la definizione delle procedure d’infrazione avviate dalla Commissione europea. [Online] <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2013/06/05/13G00107/sg>, consultato il 7 giugno 2022.

2013 – Legge 90/13, “Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell’edilizia per la definizione delle procedure d’infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale”.<sup>53</sup>

Noto anche con Decreto Ecobonus, recepisce la Direttiva 2010/31/UE, “promuove il miglioramento della prestazione energetica degli edifici tenendo conto delle condizioni locali e climatiche esterne, nonché delle prescrizioni relative al clima degli ambienti interni e all’efficacia sotto il profilo dei costi”,<sup>54</sup> e contiene le modifiche al D.Lgs. 192/2005 nonché la proroga degli incentivi fiscali.

Tale decreto contiene inoltre i “requisiti minimi” e le nuove linee guida riguardanti il miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici, tra cui l’introduzione del calcolo della classe energetica e il nuovo aspetto grafico dell’APE. Infine fornisce alle figure tecniche le indicazioni per le stesure delle relazioni riguardanti i consumi energetici relativi agli impianti.

2015 – D.M. del 26 giugno “Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici”.<sup>55</sup>

Il seguente decreto adegua “Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici”, ai sensi dell’articolo articolo 6, comma 12, del D.Lgs. 19 agosto 2005, n. 192, convertito nella legge 90/2013. Fornendo tre documenti essenziali, i quali, oltre a completare il quadro legislativo in materia di efficienza energetica, stabilisce delle nuove linee guida per il calcolo della prestazioni energetiche (APE

<sup>53</sup> LEGGE 3 agosto 2013, n. 90 – Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell’edilizia per la definizione delle procedure d’infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale. [Online] [https://www.bossettiegatti.eu/info/norme/statali/2013\\_0090.htm](https://www.bossettiegatti.eu/info/norme/statali/2013_0090.htm), consultato il 4 marzo 2022.

<sup>54</sup> Direttiva 2010/31/CE, art. 1, comma 1.

<sup>55</sup> DECRETO MINISTERIALE 26 giugno 2015 – Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici. [Online] [https://www.la-certificazione-energetica.net/normative\\_certificazione\\_energetica\\_italia.html](https://www.la-certificazione-energetica.net/normative_certificazione_energetica_italia.html), consultato il 4 marzo 2022.

2015), ai fini del raggiungimento dei requisiti minimi di prestazione energetica negli edifici sia nuovi che esistenti sottoposti a ristrutturazione, tenendo in considerazione le condizioni climatiche delle realtà territoriali e delle indicazioni sul clima degli ambienti interni in relazione dei costi. In breve, possiamo elencare i principali aspetti delle nuove linee guida:

- le linee prevedono una metodologia di calcolo semplificata qualora la certificazione APE sia per edifici di piccole dimensioni, con prestazioni energetiche di modesta qualità. Tale procedura è finalizzata a ridurre i costi a carico dei cittadini;
- stabilisce un format comune APE, il quale deve contenere tutti i dati relativi all’efficienza energetica dell’edificio e delle fonti rinnovabili che si andranno a utilizzare, al fine di consentire ai cittadini non esperti di valutare e confrontare edifici diversi senza troppa difficoltà;
- stabilisce uno schema comune, per tutto il territorio nazionale (SIAPE), per l’informazione della qualità energetica dell’immobile.

#### 2.4.4 ATTUAZIONE DELLA DIRETTIVA 2018/844/UE

2020 – D.Lgs. 48/20, “Attuazione della direttiva (UE) 2018/844 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 30 maggio 2018, che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell’edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull’efficienza energetica”.<sup>56</sup>

Il decreto recepisce la Direttiva UE 2018/844, che modifica la direttiva 2010/31/UE (prestazione energetica) e la direttiva 2012/27/UE (efficienza energetica), sulla prestazione energetica dell’edilizia denominata anche Direttiva EPBD – Energy Performance

<sup>56</sup> DECRETO LEGISLATIVO 10 giugno 2020, n. 48 – Attuazione della direttiva (UE) 2018/844 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 30 maggio 2018, che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell’edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull’efficienza energetica. [Online] <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2020/06/10/20G00066/sg>, consultato il 4 marzo 2022.

Tab. 2.5  
Tabella sintetica delle principali norme in materia di efficientamento energetico con riferimento nella regione Piemonte (Elaborazione dell'autrice).

QUADRO NORMATIVA PIEMONTE	
<p><b>2007   L.R. N. 13</b> "RENDIMENTO ENERGETICO NELL'EDILIZIA "</p> <p><b>DELIBERE DELLA L.R. N. 13 DEL 2007</b></p> <p><b>2009   D.G.R. N. 43-11965</b> "CERTIFICAZIONE ENERGETICA"</p> <p><b>2009   D.G.R. N. 45-11967</b> "IMPIANTI SOLARI TERMICI, DA FONTI RINNOVABILI E SERRE SOLARI"</p> <p><b>2009   D.G.R. N. 46-11968</b> "TECNOLOGIE PER L'EFFICIENZA ENERGETICA "</p>	<p><b>2015   D.LGS. N. 3</b> "NUOVE DISPOSIZIONI"</p> <p><b>DELIBERE DELLA L.R. N. 3 DEL 2015</b></p> <p><b>2015   D.G.R. N. 24-2360</b> "ATTESTAZIONE DELLA PRESTAZIONE ENERGETICA - APE"</p> <p><b>2015   D.G.R. N. 29-3386</b> "TUTELA DELL'AMBIENTE"</p> <p><b>2015   D.G.R. N. 43-8097</b> "SANZIONI"</p>

of Buildings Directive,<sup>57</sup> va a modificare in più punti il D.Lgs. 192/2005. In breve, possiamo elencare i principali del decreto:

- contribuisce a migliorare l'efficienza energetica degli edifici tramite "l'applicazione di requisiti minimi alla prestazione di edifici nuovi, nonché edifici esistenti sottoposti a ristrutturazione ed elementi edilizi o sistemi tecnici per l'edilizia rinnovati o sostituiti";<sup>58</sup>
- facilitare lo sviluppo, il miglioramento e l'integrazione delle energie rinnovabili negli edifici;
- definire strategie nazionali a lungo termine per la ristrutturazione del parco immobiliare nazionale italiano;
- definire le modalità di esercizio, gestione, controllo, ispezione e manutenzione degli impianti per la climatizzazione invernale ed estiva al fine di ridurre il consumo energetico e le emissioni di CO<sub>2</sub>.

<sup>57</sup> L'obiettivo è di proseguire "lo sviluppo di un sistema energetico sostenibile, competitivo, sicuro e decarbonizzato", tenendo conto che al parco immobiliare, è riconducibile circa il 36 % di tutte le emissioni di CO<sub>2</sub> nell'Unione. La direttiva europea deve essere recepita dagli stati membri entro il 20 Marzo 2020. Entro tale data, gli Stati dovranno quindi provvedere ad adeguare leggi, regolamenti e procedure amministrative".  
[Online] <https://www.ediltecnico.it/65215/nuova-direttiva-ue-2018-844-efficienza-energetica-cosa-cambia/>, consultato il 4 marzo 2022.

<sup>58</sup> D.Lgs. 48/20, art. 2, comma 1, lettera A).

- "Perseguire la conoscenza dettagliata del parco immobiliare nazionale, della sua prestazione energetica e dei suoi consumi attraverso l'implementazione, la valorizzazione e il collegamento tra banche dati, mettendo tali informazioni a disposizione dei cittadini, delle imprese e della pubblica amministrazione anche al fine di sviluppare strumenti che incrementino il tasso di riqualificazione energetica degli edifici".<sup>59</sup>

#### 2.4.5 LE COMPETENZE REGIONALI E RECEPIMENTO DELLA NORMATIVA A LIVELLO LOCALE

Nella regione Piemonte (Tab. 2.5), la legge che disciplina e introduce la certificazione energetica è la Legge Regionale 13/07 che rende operativo il sistema di certificazione energetica regionale dal 1° ottobre 2009 tramite i seguenti decreti attuativi:

- D.G.R. n.43-11965;
- D.G.R. n.45-11967;
- D.G.R. n.46-11968.

La procedura per il rilascio della certificazione energetica si suddivide in tre step:

1. come primo passaggio vi è la valutazione della prestazione energetica dell'edificio;

<sup>59</sup> D.Lgs. 48/20, art. 2, comma F.

2. la sua classificazione rispetto ai relativi valori di riferimento;
3. il rilascio dell'Attestato di Certificazione Energetica (ACE) secondo il modello di cui all'allegato A della D.G.R. n. 4311965.

L'entrata in vigore della Legge n. 90 del 3 marzo 2013,<sup>60</sup> che modifica all'art. 1 il D.Lgs. n. 192, del 19 agosto 2005, il quale definisce e integra criteri, condizioni e modalità per il miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici, introduce le disposizioni per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE, estende obbligatoriamente la certificazione energetica APE degli edifici nuovi, nonché di edifici esistenti sottoposti a ristrutturazione, nel caso di: contratti di vendita; cessioni di proprietà; contratti di locazione e per pubblicità relative alla vendita di immobili.

#### 2007 - L.R. 13/2007 - Rendimento energetico nell'edilizia

La legge Regionale n° 17 del 28 maggio 2007, "Disposizioni in materia di rendimento energetico nell'edilizia",<sup>61</sup> recepisce e attua la Direttiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, relativa al rendimento energetico nell'edilizia, con lo scopo di promuovere il miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici esistenti e di nuova costruzione, al fine di favorire lo sviluppo, la valorizzazione e l'integrazione delle fonti rinnovabili e la diversificazione energetica.

Tale disposizione individua nelle fonti rinnovabili una soluzione ideale, purché esse siano a basso impatto ambientale, pertanto la norma specifica di

<sup>60</sup> LEGGE 3 agosto 2013, n. 90 – Conversione, con modificazioni, del D.L. 4 giugno 2013, n. 63. Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale.  
G.U. n. 181 del 3 agosto 2013.  
[Online] [https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/energia/file-e-allegati/normativa/Legge%2090\\_2013.pdf](https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/energia/file-e-allegati/normativa/Legge%2090_2013.pdf), consultato il 4 marzo 2022.

<sup>61</sup> LEGGE REGIONALE 28 maggio 2007, n. 13 – Disposizioni in materia di rendimento energetico nell'edilizia.  
[Online] [http://www.regione.piemonte.it/governo/bollettino/abbonati/2009/31/attach/dgr\\_11965\\_930\\_04082009\\_a1.pdf](http://www.regione.piemonte.it/governo/bollettino/abbonati/2009/31/attach/dgr_11965_930_04082009_a1.pdf), consultato il 4 marzo 2022.

tener conto della zona climatica di appartenenza del sito. La legge prevede inoltre che per edifici esistenti e di nuova costruzione, nonché in tutti i casi di compravendita o locazione degli edifici, sia obbligatoria "l'applicazione dei requisiti minimi e di prescrizioni specifiche in materia di prestazione energetica".<sup>62</sup> secondo l'art. 1, comma 2.

#### DELIBERE DI APPLICAZIONE DELLA L.R. 13/2007

#### D.G.R. 43-11965/2009 - Certificazione energetica<sup>63</sup>

Il D.G.R. n. 43-11965, specifica:

A) l'elenco dei professionisti abilitati al rilascio dell'attestato di certificazione energetica;

B) l'elenco dei soggetti in possesso di titoli di studio tecnico – scientifici;

C) le modalità di svolgimento del corso di formazione;

D) il modello dell'attestato di certificazione energetica e gli aspetti ad esso connessi;

E) la procedura di calcolo delle prestazioni energetiche da utilizzare per la certificazione;

F) il Sistema informativo per la certificazione energetica degli edifici".<sup>64</sup>

La certificazione energetica comprende la valutazione della prestazione energetica dell'edificio, la sua classificazione per confronto con opportuni valori di riferimento e la redazione di un attestato di certificazione. Le modalità di calcolo della prestazione invernale dell'involucro edilizio, della prestazione energetica primaria invernale, della prestazione energetica primaria dell'acqua calda sanitaria e della prestazione energetica estiva dell'involucro edilizio sono riprese dalla norma UNI/TS 11300. La certificazione dovrà inoltre riportare "l'indice di

<sup>62</sup> L.R. 13/2007, art. 1, comma 2.

<sup>63</sup> Deliberazione della Giunta Regionale n° 43, del 4 agosto 2009.  
[Online] [https://www.la-certificazione-energetica.net/normative-certificazione\\_energetica\\_piemonte/dgr\\_43-11965\\_piemonte.pdf](https://www.la-certificazione-energetica.net/normative-certificazione_energetica_piemonte/dgr_43-11965_piemonte.pdf), consultato il 4 marzo 2022.

<sup>64</sup> D.G.R. 43-11965/2009.

prestazione energetica globale  $EP_{gl}$ .

$$EP_{gl} = EP_i + EP_{acs} + EP_e + EP_{ill}$$

dove:

$EP_i$ : è l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale;

$EP_{acs}$ : l'indice di prestazione energetica per la produzione dell'acqua calda sanitaria;

$EP_e$ : l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva;

$EP_{ill}$ : l'indice di prestazione energetica per l'illuminazione artificiale.<sup>65</sup>

#### D.G.R. 45-11967/2009 - Impianti solari termici, da fonti rinnovabili e serre solari

La DGR 45-11967/2009 "Disposizioni attuative in materia di impianti solari termici, impianti da fonti rinnovabili e serre solari",<sup>66</sup> disciplina:

- i criteri per la determinazione della domanda di acqua calda sanitaria, modalità operative per l'installazione degli impianti fotovoltaici e loro allacciamento alla rete di distribuzione;
- i limiti di esclusione dei tradizionali volumi di costruzione calcolati per le serre solari e altri elementi edilizi sono progettati per raccogliere direttamente l'energia solare e aumentare in modo specifico il livello di isolamento.

Ai sensi dell'articolo 18 della legge regionale n. 13/2007, al fine di soddisfare il fabbisogno energetico annuo di acqua calda sanitaria, il proprietario o un soggetto legittimato ad installare un impianto solare termico integrato nella struttura dell'edificio, le cui dimensioni devono coprire 60% dei requisiti di fabbisogno energetico.

"Devono essere installati sistemi solari termici:

- edifici di nuova costruzione in cui è prevista l'installazione dell'impianto idricosanitario;
- edifici sottoposti a ristrutturazione con ristrutturazione dell'impianto termico; ristrutturazione di impianti termici;
- ampliamenti o sopraelevazioni di edifici esistenti in cui sia previsto un fabbisogno di acqua calda sanitaria;
- nuova installazione di impianti termici in edifici esistenti".<sup>67</sup>

Il fabbisogno di energia di acqua calda sanitaria, su base annua, deve essere calcolato tenendo conto dei valori indicati dalla norma tecnica UNI/TS 11300-2 per l'attività che richiede il maggior fabbisogno di energia termica.

#### D.G.R. 46-11968/2009 – Tecnologie per l'efficienza energetica

DGR n. 46-11968, "Aggiornamento del Piano regionale per il risanamento e la tutela della qualità dell'aria, stralcio di piano per il riscaldamento ambientale e il condizionamento",<sup>68</sup> ha l'obiettivo di individuare requisiti e strumenti volti a promuovere la diffusione di tecnologie a basse emissioni ed efficienza energetica e la governance della qualità dell'aria nella regione Piemonte, applicabili all'ambiente nel settore del riscaldamento e della climatizzazione. I punti principali della discussione sono:

- migliorare l'efficienza energetica complessiva degli impianti degli apparati edilizi, dei generatori di calore, degli impianti di distribuzione e condizionamento: la normativa è considerata uno strumento utile per il controllo dei consumi energetici legati alla climatizzazione e la riduzione delle emissioni legate alla climatizzazione. Gli edifici mantenuti stabiliscono livelli

<sup>67</sup> Barberis V., *Caratterizzazione del patrimonio edilizio esistente mediante gli attestati di prestazione energetica*, Tesi di Laurea Magistrale in Architettura per il progetto Sostenibile, rel. prof. Corrado V., prof.ssa Ballarini I., Politecnico di Torino, p. 12, a.a. 2020-2021.

<sup>68</sup> Deliberazione della Giunta Regionale n° 46, del 4 agosto 2009. [Online] [https://www.gse.it/normativa\\_site/GSE%20Documenti%20normativa/PIEMONTE\\_DGR\\_n46-11968\\_04\\_08\\_2009\\_e\\_smi.pdf](https://www.gse.it/normativa_site/GSE%20Documenti%20normativa/PIEMONTE_DGR_n46-11968_04_08_2009_e_smi.pdf), consultato il 7 marzo 2022.

<sup>65</sup> UNI/TS 11300 – Allegato 1 – *Indicazioni per il calcolo della prestazione energetica di edifici non dotati di impianto di climatizzazione invernale e/o di produzione di acqua calda sanitaria*.

<sup>66</sup> DGR 45-11967/2009.

minimi di prestazione e qualità, interventi volti a ridurre la domanda di energia;

- promuovere l'uso di tecnologie di alto livello per aumentare l'efficienza energetica dei generatori di calore, al fine di ridurre i consumi di carburante di circa il 20%, delle riduzioni del 50% - 80% di emissioni, soprattutto ossidi di azoto;
- promuovere l'utilizzo di energie a basso consumo per ridurre le emissioni di PM10 e NOx, con lo sviluppo di energia solare e termica e l'utilizzo di biomasse (soprattutto matrici lignocellulosiche);
- incoraggiare comportamenti etici da parte dei consumatori per limitare lo spreco di energia, come ad esempio limitare il riscaldamento invernale e il raffrescamento estivo.

#### 2015 - L.R. 3/2015 - Nuove disposizioni

La legge regionale 3/2015 "Disposizioni in materia di semplificazione",<sup>69</sup> abroga la precedente legge regionale n° 13, salvaguardando le deliberazioni già adottate dalla DGR n. 46-11968/2009.

#### DELIBERE DI APPLICAZIONE DELLA L.R. 3/2015

#### D.G.R. 24-2360/2015 - Attestazione della Prestazione Energetica

La DRG n° 24-360/2005, "Disposizioni regionali in materia di Attestazione della Prestazione Energetica",<sup>70</sup> disciplina:

- l'adozione di un sistema di accreditamento delle figure professionali abilitate al rilascio di attestati di prestazione energetica;
- le modalità di svolgimento dei corsi di formazione e aggiornamento;

<sup>69</sup> LEGGE REGIONALE 11 marzo 2015, n. 3 – *Disposizioni regionali in materia di semplificazione*. [Online] <http://www.regione.piemonte.it/governo/bollettino/abbonati/2015/10/attach/I201503.pdf>, consultato il 7 marzo 2022.

<sup>70</sup> D.G.R. 24-2360/2015 – *Attestazione della Prestazione Energetica*. [Online] <https://www.anit.it/wp-content/uploads/2017/04/DGR-24-2360.pdf>, consultato il 7 marzo 2022.

- stabilire la qualità dei servizi di certificazione tramite il Sistema Informativo regionale per la Prestazione Energetica degli Edifici (SIPEE), utile per il monitoraggio dell'impatto dei sistemi di certificazione degli edifici in termini di adempimenti burocratici, oneri e benefici per i cittadini.

#### D.G.R. 29-3386/2016 - Tutela dell'ambiente

La DGR 29-3386/2016 attua la legge regionale n. 43/2000 "Disposizioni per la tutela dell'ambiente in materia di inquinamento atmosferico. Armonizzazione del Piano regionale per il risanamento e la tutela della qualità dell'aria con gli aggiornamenti del quadro normativo comunitario e nazionale",<sup>71</sup> e modifica la DGR n. 46-11968/2009.

#### D.G.R. 43-8097/2018 – Sanzioni

La DGR 43-8097/2018 "Attestazione della prestazione energetica degli edifici. Disposizioni in materia di controlli e sanzioni. Istituzione di un corso di raccordo formativo per certificatori energetici",<sup>72</sup> attua le seguenti direttive europee 28/2009, 2010/31 e 27/2012.

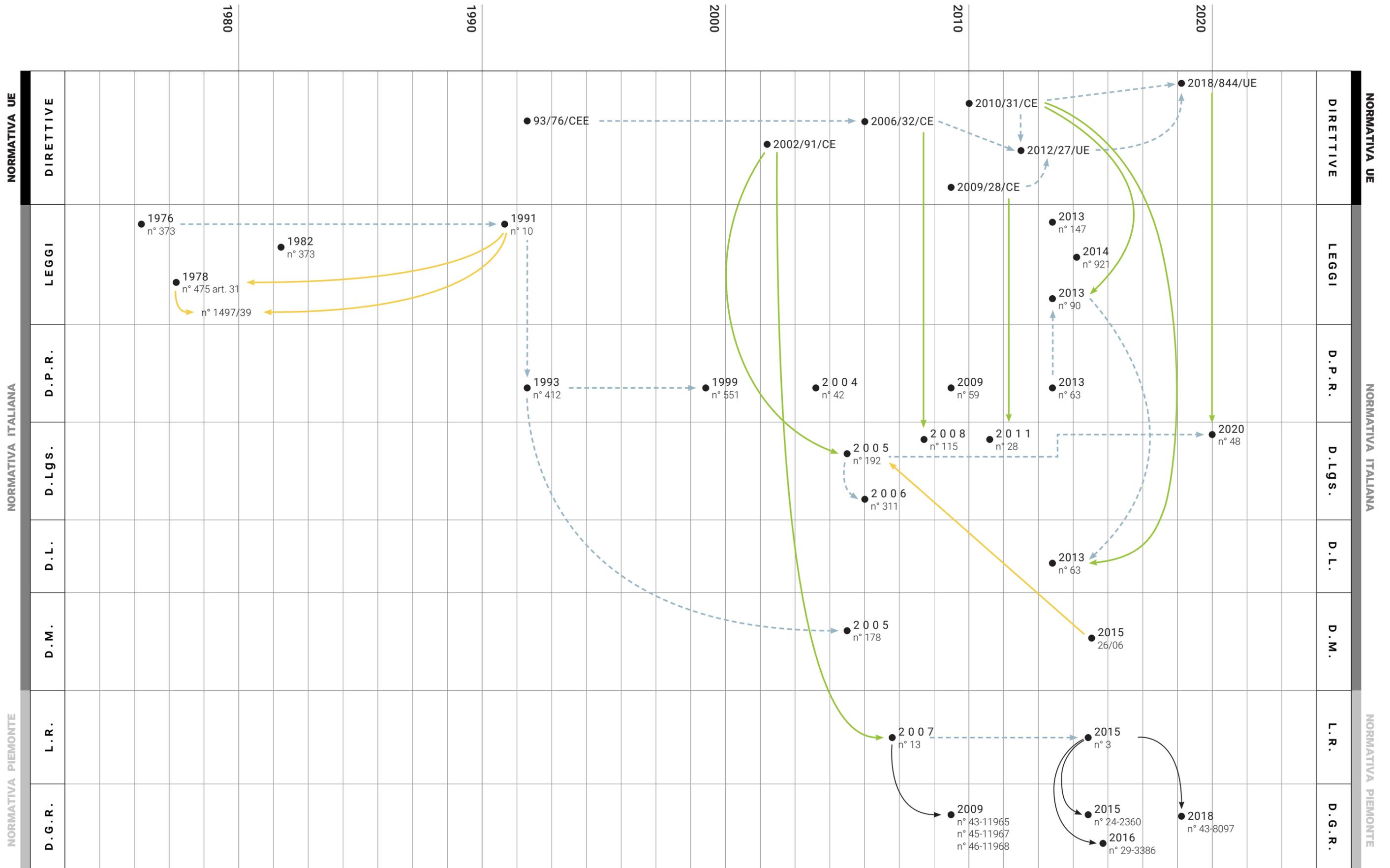
L'articolo n° 39 prevede che i governi locali prendano misure specifiche per migliorare l'efficienza energetica e utilizzare le fonti di energia rinnovabili, secondo la direttiva i controlli sulla qualità degli attestati di prestazione energetica sono svolti dall'Agenzia regionale per la protezione ambientale del Piemonte (ARPA), in accordo con la struttura regionale competente, in attuazione dell'articolo 40 della legge regionale n. 3 del 11 marzo 2015.

#### 2.4.6 LA DEROGA COME STRUMENTO

Come già citato nei paragrafi precedenti, vista l'elevata densità di edifici del patrimonio culturale italiano, risulta sempre difficile conciliare la necessità di ridurre i consumi del settore edilizio e al

<sup>71</sup> D.G.R. 29-3386 dle 30 maggio 2016. [Online] [http://www.regione.piemonte.it/governo/bollettino/abbonati/2016/23/attach/dgr\\_03386\\_930\\_30052016.pdf](http://www.regione.piemonte.it/governo/bollettino/abbonati/2016/23/attach/dgr_03386_930_30052016.pdf), consultato il 7 marzo 2022.

<sup>72</sup> D.G.R. 43-8097 del 14 dicembre 2018. [Online] [https://www.collegiogeometriella.it/repo/allegati\\_news/dgr\\_43\\_8097\\_del\\_14\\_12\\_2018\\_8b8a2a4711\\_1227.pdf](https://www.collegiogeometriella.it/repo/allegati_news/dgr_43_8097_del_14_12_2018_8b8a2a4711_1227.pdf), consultato il 7 marzo 2022.



---> MODIFICAZIONE/ABROGAZIONE

→ RECIPIIMENTO DELLE DIRETTIVE UE

→ RINVIO

→ DECRETI ATTUATIVI

---> MODIFICAZIONE/ABROGAZIONE

→ RECIPIIMENTO DELLE DIRETTIVE UE

→ RINVIO

→ DECRETI ATTUATIVI

contempo garantire la conservazione degli elementi caratteristici identitari. In Italia la tutela del bene viene spesso esercitata tramite l'utilizzo del vincolo il quale, cambia lo status dell'oggetto da un regime ordinario, in cui l'oggetto può essere usufruito liberamente dal proprietario, ad un regime speciale, il quale impone l'obbligo di proteggere l'oggetto affinché esso venga conservato per le generazioni future.

Dall'analisi della normativa emerge una profonda lacuna nella politica di tutela, la quale comporta situazioni spesso paradossali che vanno dal non uso del bene, al suo recupero con soluzioni prive di relazioni con il territorio circostante.<sup>73</sup>

L'utilizzo del vincolo, quindi, "non produce di per sé un uso "virtuoso" del bene";<sup>74</sup> al contrario, "è ormai concordemente accettato che i vincoli, nel senso stretto del termine, abbiano insito nella loro essenza un rischio di cristallizzazione di un'entità vitale che spesso finisce per danneggiare ciò che si voleva proteggere. Allo stesso modo, non si deve credere che il vincolare una testimonianza storica antica sia un'operazione indolore: per proteggere e conservare il nostro patrimonio non basta dire "questo non si può fare", ma è necessario essere propositivi, [...] e per far questo è necessario conoscere e comprendere le dinamiche che andiamo ad affrontare, come l'oggetto è stato attore dello sviluppo del territorio, quali sono i suoi legami con il presente, come e quanto potrà ancora entrare a far parte dell'evoluzione futura".<sup>75</sup>

Al contrario, se considerassimo la "conservazione come arricchimento dell'esistente" potremmo valutare l'efficientamento energetico come uno strumento che può soddisfare sia l'esigenza energetiche che quella della tutela, andando ad applicare soluzioni progettuali ricercate caso per caso.

<sup>73</sup> Bellini A., *Un bene non è tale se non è fruibile. La pura contemplazione non appartiene all'architettura*, Tema, n. 1/1998, p. 3.

<sup>74</sup> CONFERENZA DELLE REGIONI, *Più tutela, più valorizzazione*, maggio 2003.

<sup>75</sup> Donofrio Caviglione M., *Urbanistica e prassi della conservazione. L'esperienza di Genova*, Franco Angeli, Milano, 2004, pp. 133-134.

## 2.5 LINEE GUIDA PER IL MIGLIORAMENTO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA NEL PATRIMONIO CULTURALE – MIC

Le "LINEE DI INDIRIZZO PER IL MIGLIORAMENTO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA NEL PATRIMONIO CULTURALE. Architettura, centri e nuclei storici ed urbani",<sup>76</sup> elaborate dal Ministero della Cultura (MiC) rappresentano, per l'Italia, un testo fondamentale in grado di riunire gli ambiti di tutela e valorizzazione del patrimonio culturale con quella dell'efficientamento energetico; inoltre, si propone di orientare gli interventi di efficienza energetica in ottica del contenimento dei costi per le future applicazioni pratiche, di stimolare il dialogo tra i soggetti interessati, e di promuovere la ricerca scientifica in questa direzione.

Tale documento "non fornisce soluzioni pronte all'uso, né prescrive metodologie a carattere vincolante, in considerazione delle peculiarità dei beni interessati, della naturale evoluzione nel tempo delle tecnologie adoperate e dei futuri aggiornamenti normativi, ma può solo guidare l'intelligenza e la sensibilità del personale e dei progettisti per il raggiungimento istituzionale primario della protezione e conservazione del patrimonio culturale, ottimizzandone, laddove possibile, il livello di prestazione energetica".<sup>77</sup>

Il quadro all'interno del quale si è maturata la consapevolezza, a livello istituzionale e governativo, della necessità di un documento guida come questo, sta diventando sempre più chiaro nel tempo; infatti, gli interventi nella riqualificazione del patrimonio culturale, che costituisce il tratto distintivo di numerose città europee, sono alla base per raggiungere gli obiettivi del "pacchetto Clima-Energia" dell'Unione Europea e giocando un ruolo primario nella strategia europea di sviluppo sostenibile per "favorire l'identità dei territori e, più in generale, la riconoscibilità e il senso di appartenenza della società urbana nel suo complesso".<sup>78</sup>

<sup>76</sup> MiC, (2015), *LINEE DI INDIRIZZO PER IL MIGLIORAMENTO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA NEL PATRIMONIO CULTURALE Architettura, centri e nuclei storici ed urbani*, Ministero della Cultura.

<sup>77</sup> *ivi*, p. 6.

<sup>78</sup> Commissione Europea, 2006.

Tra gli obiettivi da perseguire vi sono la protezione, la conservazione e il miglioramento delle risorse, che introducono le politiche europee in un contesto più ampio su scala globale, anche in relazione all'aumento della popolazione mondiale e dei cambiamenti climatici; fenomeni che inevitabilmente influenzeranno la gestione del territorio e renderanno il "patrimonio storico" ancora più prezioso negli anni a venire, in Europa; in termini di gestione, renderanno sempre più importante il tema dell'efficienza energetica di questo grande segmento di edifici (Boriani, 2011). Le linee guida forniscono dunque una metodologia applicabile a numerosi casi, realmente esistenti in diversi contesti storici tutelati, che fanno riferimento alle normative in vigore di efficientamento energetico. Il testo, contenente numerose schede tecniche che contengono informazioni utili sui materiali, si suddivide in quattro capitoli.

Nel testo delle Linee Guida nel primo capitolo viene presentato il quadro normativo italiano di riferimento all'efficientamento energetico; proseguendo, si delineano le analisi dei caratteri tecnico-costruttivi dell'edilizia storica che permettono agli operatori di avere una miglior "conoscenza dei contesti" in cui si opera. Il quarto capitolo espone in maniera dettagliata gli interventi di retrofit energetico eseguiti secondo i principi del restauro:

- compatibilità;
- reversibilità;
- interventi minimi;
- operare in modo da rendere distinguibile il nuovo dall'antico;
- rispetto dell'autenticità.

Sempre nel quarto capitolo la sezione "Buone pratiche" racchiude dieci schede tecniche che racchiudono le caratteristiche dell'edificio e degli interventi effettuati (Fig. 2.6). In conclusione possiamo affermare che per una corretta riqualificazione del patrimonio culturale occorre che sia il progettista che il restauratore, nonché la Soprintendenza, lavorino l'uno al fianco dell'altro e si supportino a vicenda per poter attuare le

migliori strategie d'intervento (De Santoli, 2014).<sup>79</sup> È dunque necessaria una "progettazione integrata e aperta alla partecipazione e al confronto di più competenze".<sup>80</sup>

## 2.6 IL PATRIMONIO CULTURALE ARCHITETTONICO ITALIANO

Il concetto di salvaguardia del patrimonio artistico e naturalistico risale alla nascita della Repubblica italiana con l'art. 9 della Costituzione che recita: "La Repubblica promuove lo sviluppo della cultura e la ricerca scientifica e tecnica. Tutela il paesaggio e il patrimonio storico e artistico della Nazione".<sup>81</sup>

Lo Stato si assume dunque il compito di promozione, sviluppo e di elevazione culturale attraverso la valorizzazione del bene e superando la concezione puramente conservativa dei beni culturali.<sup>82</sup> Questi concetti sono alla base del "Codice dei beni culturali e del paesaggio", detto anche Codice Urbani, con il D.Lgs. 42/2004 "Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137".<sup>83</sup>

La parte II del Codice dei Beni Culturali, Capo 1, definisce all'art. 10 che "sono beni culturali le cose immobili e mobili appartenenti allo Stato, alle regioni, agli altri enti pubblici territoriali, nonché ad ogni altro ente ed istituto pubblico e a persone giuridiche private senza fine di lucro, ivi compresi gli enti

<sup>79</sup> De Santoli L., *Linee guida nazionali per l'efficienza energetica degli edifici storici*, in *Edifici storici. Restauro e risparmio energetico: Nuove tecnologie e nuove prospettive*, Atti del Convegno (Roma, Auditorium del MAXXI, 22 marzo 2014), Roma, 2014, pp. 17-19.

<sup>80</sup> Crova C., (2017), *Le linee guida di indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel patrimonio culturale. Architettura, centri e nuclei storici ed urbani: Un aggiornamento della scienza del restauro*, (a cura di), SCIENZA E BENI CULTURALI, XXXIII. Convegno Internazionale 2017. LE NUOVE FRONTIERE DEL RESTAURO: Trasferimenti, Contaminazioni, Ibridazioni, (p.186), Arcadia Ricerche.

<sup>81</sup> Costituzione della Repubblica italiana, art. 9.

<sup>82</sup> Cfr. P. Carpentieri, *La tutela del paesaggio e del patrimonio storico e artistico della nazione nell'art. 9 della costituzione*, Giustizia Amministrativa, 2006.

<sup>83</sup> Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42. [Online] [https://www.beniculturali.it/mibac/multimedia/MIBAC/documents/1226395624032\\_Codice2004.pdf](https://www.beniculturali.it/mibac/multimedia/MIBAC/documents/1226395624032_Codice2004.pdf), consultato il 4 giugno 2022.

VISTA GLOBALE



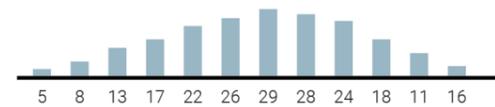
LOCALIZZAZIONE



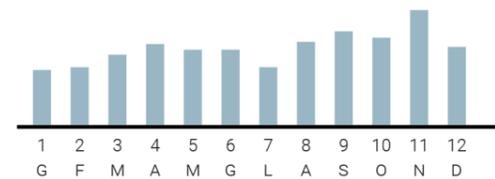
DATI CLIMATICI

Zona climatica: Csa

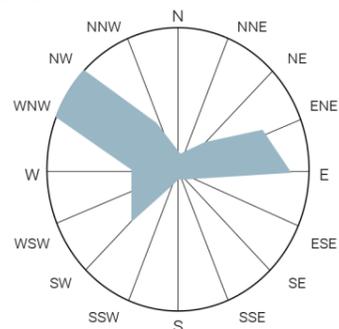
Temperature Massime Medie (°C)



Precipitazioni Medie (mm)



Venti Prevalenti



**TIPOLOGIA:** RECUPERO-CONVERSIONE-EFFICIENTAZIONE

**LOCALIZZAZIONE:** FORLIMPOLI (FORLÌ), ITALIA

**PROGETTISTI:** N! STUDIO

**DESTINAZIONE:** COMPLESSO MUSEALE

**DATAZIONE IMPIANTO ORIGINALE:** XIV SECOLO

**ANNO DI REALIZZAZIONE INTERVENTO:** 2005-2007

**COSTO:** 3.300.000 € (COMPLESSIVI)

La struttura si colloca nel centro cittadino di Forlìmpoli in Romagna, entro gli spazi di antiche fabbriche conventuali nell'isolato de' Servi, recuperate e trasformate nel museo della cucina dedicato a Pellegrino Artusi. L'intervento di riqualificazione ha riguardato principalmente le chiusure esterne: la presenza di elementi decorativi di pregio sulle facciate ha spinto ad adottare un isolamento interno, a cui è abbinata la sostituzione dei serramenti. L'allestimento degli spazi interni ha voluto differenziare il nuovo intervento dalle strutture esistenti, permettendo sempre una rilettura degli spazi originali dell'edificio. Luogo centrale del progetto è la suggestiva corte d'ingresso: la chiusura dello spazio porticato con un buffer space vetrato, oltre a migliorare le prestazioni termiche del sistema, introduce e connette la città a Casa Artusi.

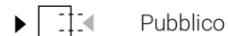
POSIZIONAMENTO



TESSUTO



USO



PROMISCUITÀ



TIPOLOGIA (ANTE-POST)

Convento - Museo

CARTTERI ENERGETICI

n.a.

MORFOLOGIA



FUNZIONI INSTALLATE



ISOLAMENTO A FODERA INTERNA

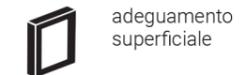
IN. 6



**UNITÀ TECNOLOGICA**  
chiusure verticali



**TIPO DI INTERVENTO**



**MATERIALI**

isolamento lungo tutto il perimetro interno dell'edificio

- STRATEGIE**
- ▶ contenimento termico
  - accumolo termico
  - captazione luminosa
  - schermatura
  - dispersione termica

SOSTITUZIONE DEI SERRAMENTI

IN. 7



**UNITÀ TECNOLOGICA**  
chiusure trasparenti verticali



**TIPO DI INTERVENTO**



**MATERIALI**

infissi in legno con vetrocamera a doppio vetro bassoemissivo

- STRATEGIE**
- ▶ contenimento termico
  - ▶ accumolo termico
  - ▶ captazione luminosa
  - schermatura
  - dispersione termica

SERRA NELL'AREA DI INGRESSO

IN. 24



**UNITÀ TECNOLOGICA**  
chiusure verticali



**TIPO DI INTERVENTO**



**MATERIALI**

chiusura di parte della corte porticata per realizzare una serra vetrata

- STRATEGIE**
- ▶ contenimento termico
  - ▶ accumolo termico
  - captazione luminosa
  - schermatura
  - dispersione termica

Fig. 2.6 Scheda illustrativa del progetto di efficientamento energetico di Casa Artusi (Rielaborazione dell'autrice da: MiC, LINEE DI INDIRIZZO PER IL MIGLIORAMENTO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA NEL PATRIMONIO CULTURALE Architettura, centri e nuclei storici ed urbani, Ministero della Cultura, 2015, pp. 112-113).

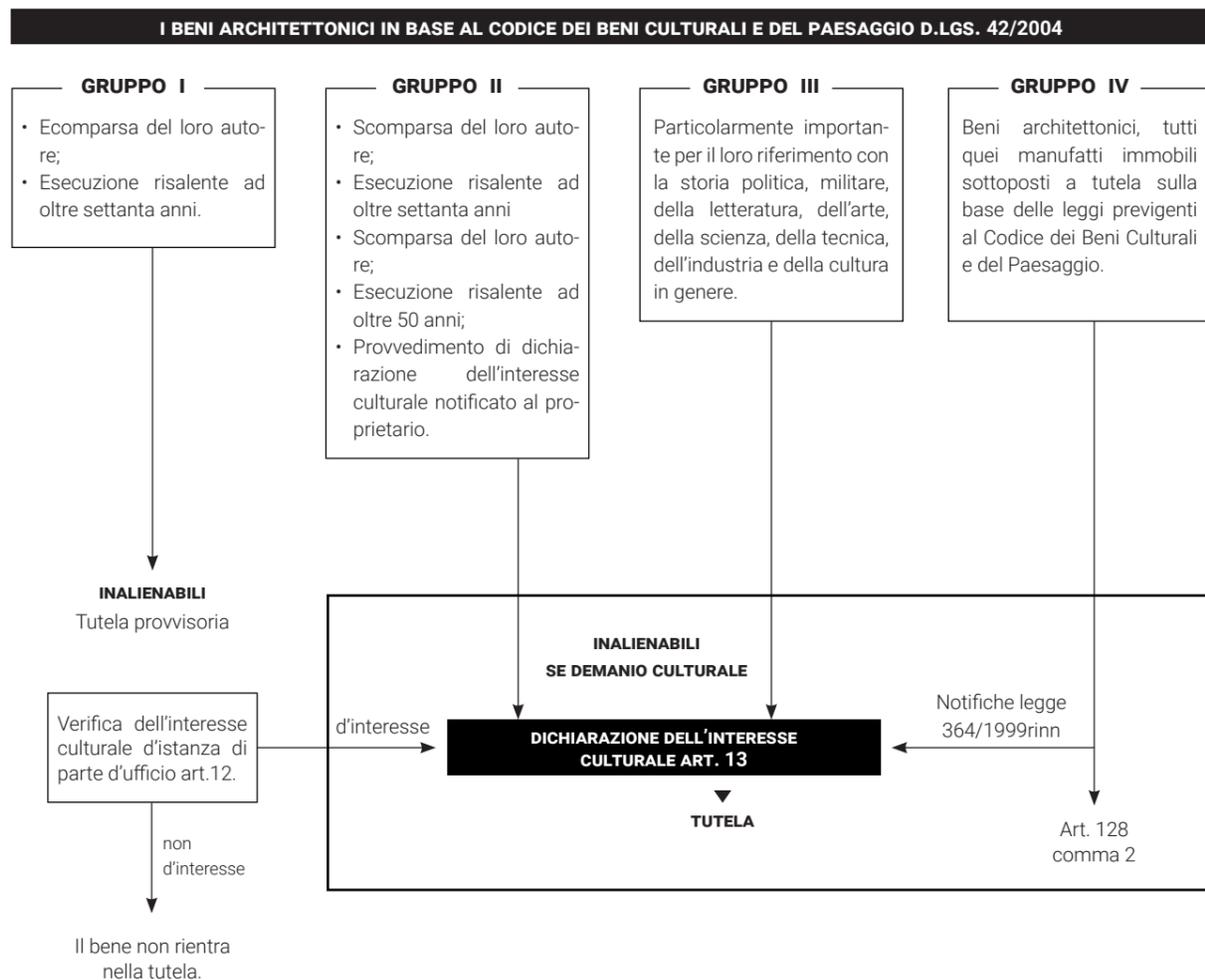


Fig. 2.7

Rappresentazione grafica del vigente regime di tutela dei beni architettonici in base al Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio, D.Lgs. 42/2004 (Rielaborazione dell'autrice da: Ministero della Cultura, (2015), LINEE DI INDIRIZZO PER IL MIGLIORAMENTO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA NEL PATRIMONIO CULTURALE Architettura, centri e nuclei storici ed urbani, p. 14).

*ecclesiastici civilmente riconosciuti, che presentano interesse artistico, storico, archeologico o etnoantropologico*,<sup>84</sup> distingue tra beni pubblici (attribuiti attraverso un processo di interesse culturale) e beni di appartenenza privata; nell'art. 3 e 6 definisce gli ambiti di tutela e di valorizzazione e disciplina i beni, mobili e immobili, soggetti a tutela secondo determinati requisiti (Fig. 2.7). Come accennato in precedenza, il tessuto urbano presente nella penisola italiana è sicuramente uno dei più antichi e ricchi al mondo, con un totale di 58 siti, ponendosi al di sopra di Cina, Spagna e Francia (Fig. 2.8); con oltre 4.000 musei, 6.000 aree archeologiche, 85.000 chiese soggette a tutela e 40.000 dimore storiche.<sup>85</sup>

<sup>84</sup> Codice dei Beni Culturali, Capo 1, art. 10, comma 1.

<sup>85</sup> FAI - Fondo Ambientale Italiano, 1975.

Tuttavia la mancanza di un censimento completo risulta difficile ottenere un numero preciso della reale consistenza del patrimonio e del suo stato di conservazione. La Costituzione assegna le competenze in materia di patrimonio culturale, suddividendole tra Stato e Regioni. Allo Stato secondo l'art. 117, compete la funzione di "tutela dell'ambiente, dell'ecosistema e dei beni culturali";<sup>86</sup> mentre assegna la funzione di "valorizzazione dei beni culturali e ambientali e promozione e organizzazione di attività culturali"<sup>87</sup> alle Regioni. I dati raccolti dal Ministero della Cultura rivela che tra il 1909 e il 2004 sono

<sup>86</sup> Costituzione Italiana, TITOLO V - LE REGIONI, LE PROVINCE, I COMUNI, art. 117, lettera s, p. 34.

<sup>87</sup> Costituzione Italiana, TITOLO V - LE REGIONI, LE PROVINCE, I COMUNI, art. 117, p. 34.

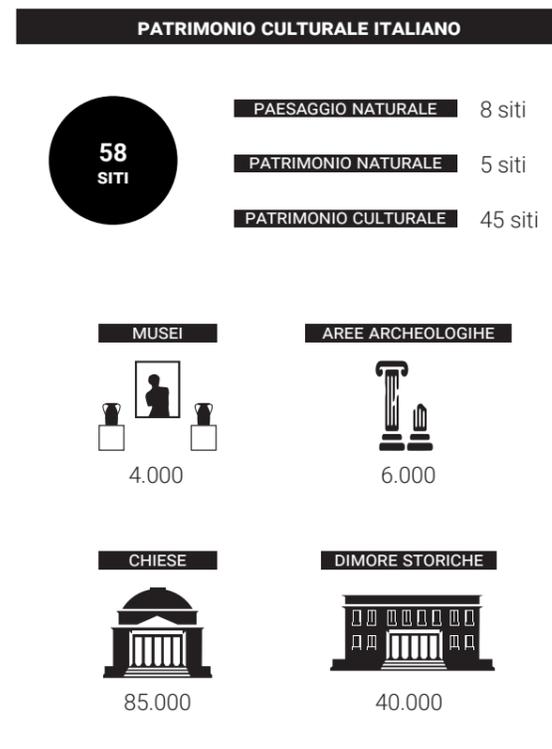


Fig. 2.8

Patrimonio culturale italiano suddiviso in paesaggio naturale, patrimonio naturale, patrimonio culturale. (Elaborazione dell'autrice).

stati vincolati 51.693 beni immobili (Tab. 2.6).<sup>88</sup>

### 2.6.1 IL RETROFIT ENERGETICO DEGLI EDIFICI STORICI E VINCOLATI

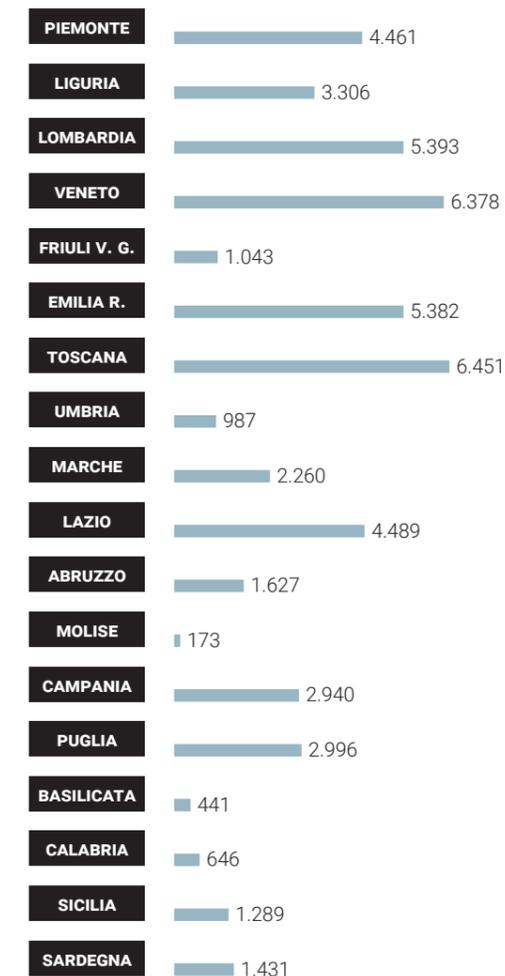
Risulta ormai evidente come lo sviluppo sostenibile legato al recupero del patrimonio architettonico passi attraverso le strategie di retrofit energetico. Ma quando questi due temi sono entrati a far parte dell'interesse scientifico?

Attraverso l'analisi di numerosi articoli (Cantin, 2010; Martínez-Molina et al., 2015; Loli et al., 2018) possiamo osservare che la quantità di pubblicazioni scientifiche sia cresciuta costantemente nel tempo, con un picco riscontrabile nei periodi di crisi economica; questo può essere ricondotto al fatto che durante i periodi di crisi vi sia una tendenza maggiore a promuovere politiche di risparmio che

<sup>88</sup> MINISTERO DEI BENI E DELLE ATTIVITÀ CULTURALI E DEL TURISMO. SEGRETARIATO GENERALE SERVIZIO I - COORDINAMENTO E STUDI, (2015), Mini-cifre della cultura, Gangemi, p. 8.

Tab. 2.6

Beni immobili (archeologici e architettonici) vincolati, anni di riferimento 1909-2004 (Rielaborazione dell'autrice da: MINISTERO DEI BENI E DELLE ATTIVITÀ CULTURALI E DEL TURISMO. SEGRETARIATO GENERALE SERVIZIO I - COORDINAMENTO E STUDI, (2015), Mini-cifre della cultura, Gangemi, p. 8).



includano anche la questione energetica.<sup>89</sup>

Martínez-Molina analizza le pubblicazioni scientifiche sul tema tra il 1978 e il 2014; nella sua ricerca riscontra come le pubblicazioni sul tema dell'efficienza energetica subiscano una forte caduta durante il periodo che va dal 1983 al 1998. Tra il 1999 e il 2010 i nuovi sviluppi nel campo della tecnologia e al conseguente miglioramento delle tecniche di analisi portarono un rinnovato interesse tra i ricercatori; ne è un esempio la termografia, che permette di effettuare una scansione dell'edificio in

<sup>89</sup> Loli A., Bertolin C., *Towards Zero-Emission Refurbishment of Historic Buildings: A Literature Review*, Buildings, vol. 8, n. 2, p. 22, 2018.

maniera non invasiva.<sup>90</sup>

Nel periodo successivo, 2005 e 2010, si cominciano a intravedere lavori di ricerca che puntano a trovare un equilibrio tra miglioramento energetico e tutela del patrimonio culturale. La pubblicazione della Direttiva EPBD recast del 2010 da ulteriore slancio al lavoro di ricerca; infatti, tra il 2010 al 2013, il numero di pubblicazioni che pongono attenzione ai temi di sviluppo sostenibile ed efficienza energetica acquistano una centralità nello scenario europeo.

Nell'ultimo periodo che va dal 2013 e il 2014 si può osservare come le ricerche comincino a analizzare tipologie di edificio sempre più variegate, aumentando il numero di pubblicazioni scientifiche trattano soluzioni per il miglioramento dell'efficienza energetica di edifici storici e tutelati. Sebbene il periodo di indagine si fermi al 2014, possiamo comprendere come nei successivi anni questo processo di ricerca ha subito un ulteriore slancio, anche grazie allo sviluppo di nuove tecnologie e materiali, fino all'emanazione della successiva Direttiva 2018/844/UE.

Guardando all'Italia è possibile intuire come gli edifici storici e vincolati siano ampiamente diffusi e rappresentino la maggior parte del costruito del nostro paese; secondo le stime più del 50% degli edifici italiani sono stati edificati prima della pubblicazione della Legge n. 373/76 "Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici",<sup>91</sup> che imponeva l'isolamento termico nell'involucro edilizio (Filippi, 2015); se si considera inoltre che il 30% delle strutture edilizie del nostro paese è stato costruito prima del 1945, in periodi storici molto diversi tra loro, si può comprendere come la maggior parte del nostro patrimonio edilizio risulti altamente energivoro (Fig. 2.10).<sup>92</sup>

Questi edifici, localizzati in tutta la penisola, si trovano in alta percentuale nei centri urbani e vengono spesso utilizzati dal settore terziario per svolgere funzioni pubbliche (musei, biblioteche,

<sup>90</sup> Martínez-Molina A., I. Tort-Ausina, S. Cho, J. L. Vivancos, *Energy efficiency and thermal comfort in historic buildings: A review*, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 61, pp. 70 – 85, 2016.

<sup>91</sup> LEGGE n. 373/76.

<sup>92</sup> Filippi M., *Remarks on the green retrofitting of historic buildings in Italy*, *Energy Build.*, vol. 95, pp. 15-22, 2015.

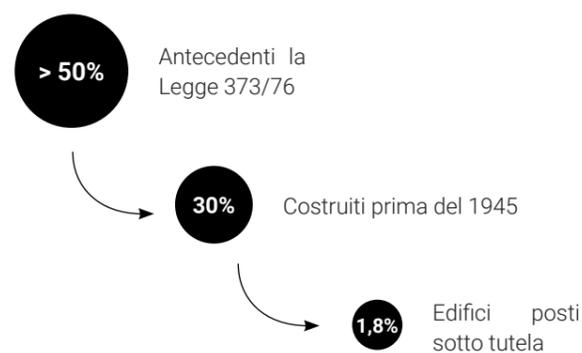
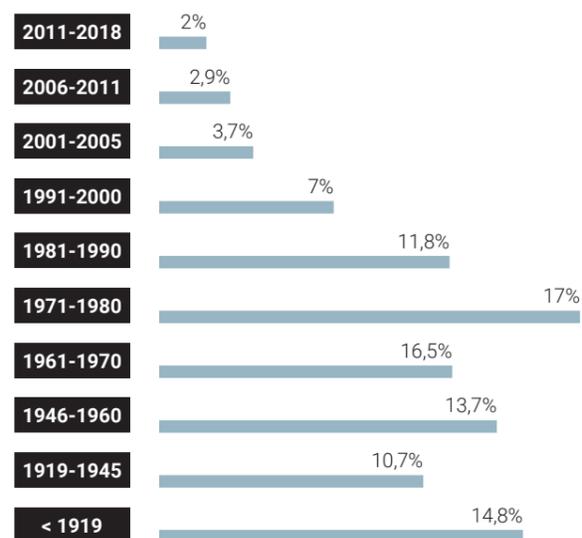


Fig. 2.10

Percentuale edifici residenziali per epoca di costruzione. Rielaborazione ad opera dell'autrice da: STERPIN 2020 – Strategia per la riqualificazione energetica del parco immobiliare nazionale, p. 5.

archivi, ecc.); sono generalmente considerati "edifici storici", ovvero soggetti a limitazione di conservazione secondo le modalità previste dal Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio.

Studi condotti sul patrimonio edilizio esistente e di nuova costruzione (Eurostat, 2009; Fasano, 2011), dimostrano che le limitazioni di consumo energetico, applicate solo alle nuove edificazioni, non possono essere sufficienti per il raggiungimento degli obiettivi richiesti dalle politiche europee sulla mitigazione degli effetti che tale settore

ha sull'ambiente.<sup>93</sup> Gli edifici, soprattutto quelli definiti "storici" ricoprono molto spesso un ruolo di primo piano nell'immagine della città italiana e finiscono per gravare pesantemente sul bilancio dell'intera amministrazione pubblica, che gestisce più di tremila dei circa cinquemila tra musei, palazzi e monumenti italiani ad un costo annuo di circa 250 milioni di euro.<sup>94</sup>

*"Sono proprio i costi energetici degli edifici di pregio a pesare sui bilanci della Pubblica Amministrazione in misura rilevante e crescente, a livello di costo unitario del vettore energetico ma anche per il decadimento della performance dell'edificio nel tempo, a scapito della conservazione, valorizzazione e fruizione degli stessi".*<sup>95</sup>

Tuttavia, è stata la stessa Unione Europea a svolgere un ruolo guida nell'EPBD nel 2010 incoraggiando l'efficienza energetica negli edifici pubblici. Questo esempio si è distinto nel maggio 2017 quando MiC (Ministero della Cultura) ed ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile) organizzarono la campagna nazionale "Patrimonio Culturale in classe A", alla quale partecipò l'allora ministro per i Beni e delle Attività Culturali e del Turismo Franceschini, il viceministro all'Economia Morando ed il presidente di ENEA Testa, e altri rappresentanti della pubblica amministrazione, delle istituzioni territoriali e del mondo accademico.<sup>96</sup>

L'evento si inserisce nell'iniziativa di attuazione del Protocollo d'Intesa firmato da MiC ed ENEA nel 2016, nonché nell'ambito della campagna nazionale "Italia in classe A", all'interno del programma triennale previsto di informazione e formazione

<sup>93</sup> Fasano G., (2011), *L'efficienza energetica nel settore civile*, Laboratorio Tecnografico ENEA, Frascati.

<sup>94</sup> De Troyer V., *Patrimonio Culturale in classe A: Manuale pratico per gli insegnanti*, Socrates, pp. 2017-2019, 2018.

<sup>95</sup> Poggi M., *La nuova prestazione energetica dell'edilizia storica e monumentale*, pp. 66-71, 2016.

<sup>96</sup> Patrimonio Culturale in classe A.

È un programma di efficientamento energetico che l'ENEA promuove nell'ambito della campagna "Italia in CLASSE A", con l'obiettivo di ridurre i consumi e migliorare la performance energetica nel settore dei beni culturali, ponendo contestualmente la PA al centro di un programma di innovazione che si integra ed è funzionale anche alla messa in atto delle politiche di Industria 4.0.

sull'efficienza energetica ai sensi del D.lgs. n. 102 del 2014 e del contributo dell'Italia all'iniziativa europea "2018 Anno europeo del Patrimonio Culturale".

A seguito di tale iniziativa, l'ENEA ha stabilito il compito di fornire laboratori, infrastrutture e personale altamente specializzato per effettuare ispezioni energetiche e realizzare progetti volti all'integrazione delle nuove tecnologie e al miglioramento dell'efficienza energetica, nonché individuare nuove opportunità di finanziamento e incentivazione per l'edilizia

## 2.7 PROTOCOLLI OPERATIVI SU BASE VOLONTARIA

Per ovviare alla necessità di ridurre l'impatto ambientale e di promuovere la sostenibilità nel settore edile, a partire dagli anni '90 sono stati sviluppati diversi protocolli di sostenibilità ambientale che permettono a professionisti del settore di progettare nuove costruzioni o intervenire su edifici già esistenti (Fig. 2.11).

I protocolli sono strumenti su base volontaria che permettono di verificare le prestazioni energetiche degli edifici su diversi criteri quali: la performance energetica, la qualità dei materiali, l'utilizzo di fonti idriche o l'impatto ambientale.

Ai fini della tesi verranno presi in esame i Protocolli che si applicano a edifici esistenti e storici. Di seguito si presenta in forma schematica i diversi protocolli (Fig. 2.12 – 2.13 - 2.14 – 2.15 – 2.16 – 2.17 – 2.18 – 2.19).

**PROTOCOLLI DI SOSTENIBILITÀ**

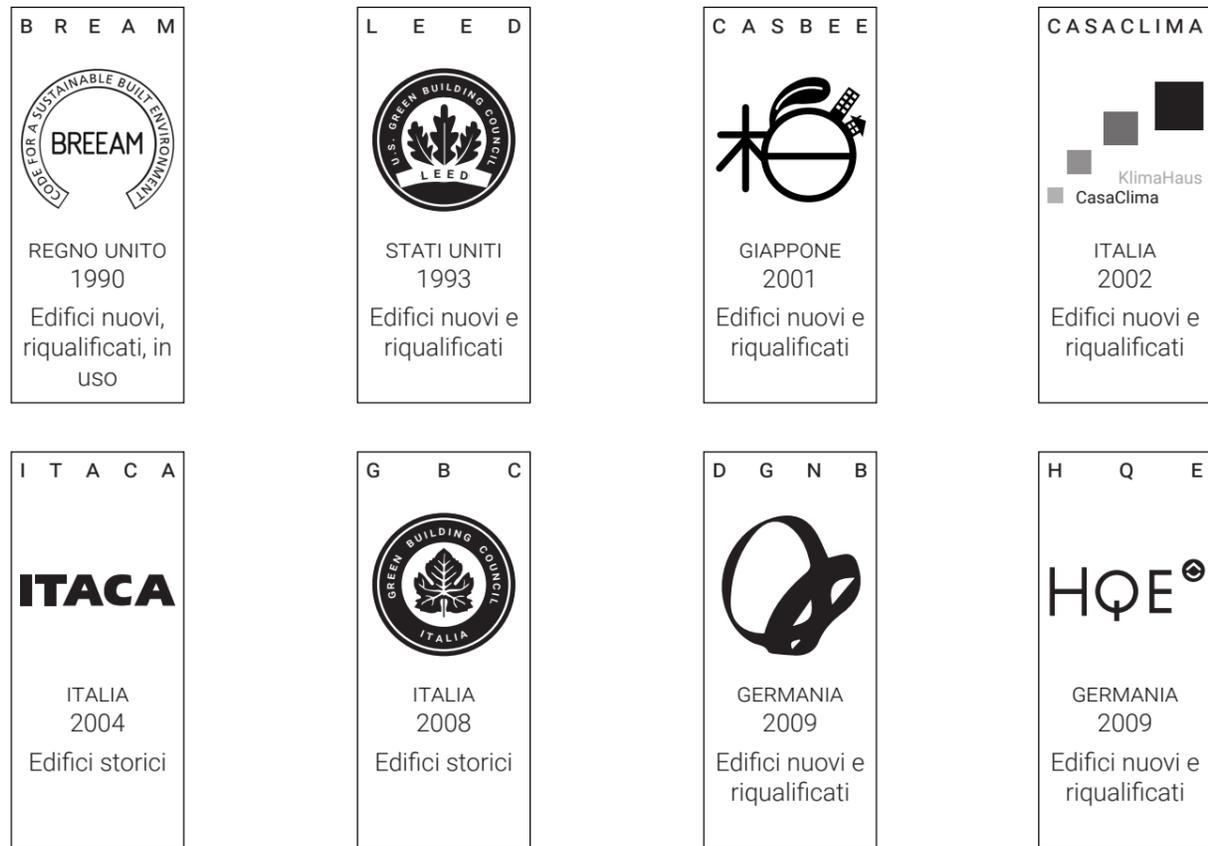


Fig. 2.11

Protocolli di sostenibilità energetico-ambientale degli edifici analizzati (Elaborazione dell'autrice).

## PROTOCOLLO INTERNAZIONALE

**B R E E A M**

Building  
 Research  
 Establishment  
 Environmental  
 Assessment  
 Method



**LUOGO:** Regno Unito  
**ANNO:** 1990

Il sistema di valutazione BREEAM è un Protocollo su base volontaria che assiste i progettisti e professionisti in tutte le fasi del ciclo edilizio, dalla costruzione alla ristrutturazione. La certificazione BREEAM è suddivisa da una prima certificazione intermedia (fase progettuale), e da una certificazione finale (fine costruzione). Il protocollo si suddivide in due famiglie distinte:

**FAMIGLIE**

- 1 | NUOVE COSTRUZIONI - BREEAM NEW CONSTRUCTION  
 RISTRUTTURAZIONI - BREEAM REFURBISHMENT
- 2 | EDIFICI ESISTENTI - BREEAM IN-USE

Nella certificazione BREEAM vi sono dieci categorie, che stabiliscono gli standard da raggiungere, il livello di sostenibilità delle pratiche viene valutato in funzione del raggiungimento di queste ultime:

**CATEGORIE**

- |                      |                             |
|----------------------|-----------------------------|
| 1 GOVERNANCE         | 6 MATERIALI                 |
| 2 SALUTE E BENESSERE | 7 RIFIUTI                   |
| 3 ENERGIA            | 8 USO DEL SUOLO ED ECOLOGIA |
| 4 TRASPORTI          | 9 INQUINAMENTO              |
| 5 ACQUA              | 10 INNOVAZIONE              |

Il protocollo BREEAM In-Use, per edifici esistenti, è composto da tre parti:

**PARTI**

- |                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| 1 ASSET PERFORMANCE               | Valuta la performance dell'edificio in sé, la forma, la costruzione, gli impianti e le apparecchiature esistenti ed è a carico dell'proprietà. |
| 2 BUILDING MANAGEMENT PERFORMANCE | Valuta la performance ambientale in termini di facility management ed è a carico del Facility/Building Manager.                                |
| 3 OCCUPIER MANAGEMENT             | Valuta gli aspetti organizzativi dei servizi e il comportamento degli utenti (solo negli uffici) ed è a carico del locatario.                  |

**RISULTATI**

La valutazione finale è definita tramite un sistema a punti, assegnati per ogni criterio che l'edificio soddisfa. Il punteggio viene in seguito ponderato, tramite "ponderazioni ambientali", ottenendo il punteggio finale tra il 30% e il 85%.

≥ 30%	PASS
≥ 45%	GOOD
≥ 55%	VERY GOOD
≥ 70%	EXCELLENT
≥ 85%	OUTSTANDING

Fig. 2.12

Protocollo BREEAM (Elaborazione dell'autrice da: <https://tools.breeam.com/projects/>).

# PROTOCOLLO INTERNAZIONALE

**L E E D**

Leadership  
Energy and  
Environmental  
Design



**LUOGO:** Stati Uniti

**ANNO:** 1993

È un sistema volontario, utilizzato a livello mondiale, nato negli Stati Uniti nel 1993 e sviluppato dalla U.S Green Building Council (USGBC). Il Protocollo LEED valuta il progetto edilizio per tutto l'iter progettuale e fornisce una valutazione della sostenibilità e dell'impatto dell'edificio in cinque aree principali.

## AREE

- 1 UBICAZIONE SOSTENIBILE
- 2 PROTEZIONE ED EFFICIENZA
- 3 EFFICIENZA ENERGETICA ED ENERGIA RINNOVABILE
- 4 CONSERVAZIONE DEI MATERIALI E DELLE RISORSE NATURALI
- 5 QUALITÀ AMBIENTALE INTERNA

Per un maggior controllo si è deciso di diversificare la certificazione per tutte le tipologie edilizie e di intervento.

## LEED

LEED ITALIA	LEED EXISTING BUILDINGS - OPERATIONS & MAINTENANCE
LEED CORE & SHELL	LEED FOR NEIGHBORHOOD
LEED COMMERCIAL INTERIOR	

**LEED EXISTING BUILDINGS - OPERATIONS & MAINTENANCE** Questa versione del Protocollo LEED è prevista per edifici esistenti e ristrutturazioni, prevede procedure diverse nelle parti più sensibili riguardanti edifici come le scuole, le strutture ospedaliere e spazi adibiti alla vendita.

Tutti i protocolli sopra citati si strutturano in sette sezioni a loro volta suddivise in due sotto categorie, prerequisiti e crediti; i prerequisiti sono obbligatori mentre i crediti sono volontari e possono essere scelti a seconda delle caratteristiche del progetto.

<b>SOSTENIBILITÀ DEL SITO</b> 1 prerequisito - 8 crediti max 26 punti	<b>GESTIONE DELLE ACQUE</b> 1 prerequisito - 3 crediti max 10 punti	<b>PRIORITÀ REGIONALE</b> 1 crediti max 4 punti
<b>ENERGIA E ATMOSFERA</b> 3 prerequisiti - 6 crediti max 35 punti	<b>MATERIALI E RISORSE</b> 1 prerequisito - 7 crediti max 14 punti	<b>INNOVAZIONE</b> 2 crediti max 6 punti
<b>QUALITÀ AMBIENTALE INTERNA</b> 2 prerequisiti - 8 crediti max 15 punti		

## RISULTATI

La certificazione finale è racchiusa nelle Classi di certificazione, ottenuta sommando i crediti obbligatori per ogni sezione, con il vincolo di ottenere un minimo di 40 punti e un massimo di 110.	<b>40-49</b> <b>BASE</b>
	<b>50-69</b> <b>ARGENTO</b>
	<b>60-79</b> <b>ORO</b>
	<b>&gt; 80</b> <b>PLATINO</b>

Fig. 2.13

Protocollo LEED (Elaborazione dell'autrice da: <https://www.certificazioneleed.com/>).

# PROTOCOLLO INTERNAZIONALE

**C A S B E E**

Comprehensive  
Assessment  
System for  
Built  
Environment  
Efficiency



**LUOGO:** Giappone

**ANNO:** 2001

Il sistema di valutazione CASBEE aiuta a comprendere le condizioni di sostenibilità delle città attraverso gli aspetti ambientali, sociali ed economici; misura la sostenibilità degli edifici attraverso diversi criteri di qualità rispetto al carico ambientale definito come emissioni di CO<sub>2</sub> pro capite all'anno. Il sistema CASBEE si basa su un processo di progettazione degli edifici suddiviso in cinque famiglie.

## FAMIGLIE

PRE-DESIGN - CASBEE-PD	RISTRUTTURAZIONI - CASBEE-RN
NUOVE COSTRUZIONI - CASBEE-NC	COSTRUZIONI TEMPORANEE - CASBEE-TC
EDIFICI ESISTENTI - CASBEE-EB	

## EDIFICI ESISTENTI - CASBEE-EB

Questo strumento di valutazione prende di mira il patrimonio edilizio esistente, sulla base delle registrazioni delle operazioni per almeno un anno dopo il completamento. È stato sviluppato per essere applicabile anche alla valutazione patrimoniale.

## RISTRUTTURAZIONI - CASBEE-RN

Vi è una crescente domanda di ristrutturazione del patrimonio edilizio, soprattutto nel mercato giapponese. Allo stesso modo di CASBEE for Existing Building, questo strumento si rivolge agli edifici esistenti. Può essere utilizzato per generare proposte per il monitoraggio del funzionamento dell'edificio, la messa in servizio e la progettazione di aggiornamento in vista di progetti ESCO (Energy Service Company), che saranno sempre più importanti in futuro, e per la ristrutturazione del patrimonio edilizio.

Le tre fasi principali del sistema di valutazione CASBEE su cui si basa la progettazione degli edifici.

## Meta-progetto

In questa fase sono presenti le condizioni che precedono il progetto vero e proprio, queste caratterizzano l'impatto ambientale, sociale ed economico. In questa fase vengono già valutate le prestazioni ambientali.

## Progetto

In questa fase viene elaborato il progetto grazie alle condizioni poste dalla prima fase, ha come obiettivo la sostenibilità seguendo un modello di buone pratiche.

## Post-progetto

In questa fase possono verificarsi aggiunte e modifiche, le quali permettono di raggiungere i requisiti di progetto sostenibile.

## RISULTATI

A seconda dell'esito della misurazione dei criteri di qualità rispetto al carico ambientale, il processo di valutazione porta a una valutazione su cinque, con ogni voto rappresentato da un determinato valore.

<b>C</b>	<b>SCARSO</b>
<b>B-</b>	<b>ABBASTANZA SCARSO</b>
<b>B+</b>	<b>BUONO</b>
<b>A</b>	<b>MOLTO BUONO</b>
<b>S</b>	<b>SUPERIORE</b>

Fig. 2.14

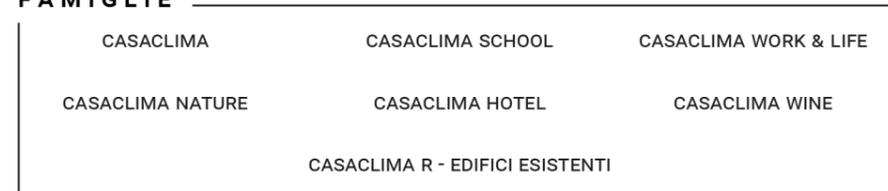
Protocollo CASBEE (Elaborazione dell'autrice da: <https://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/>).

# PROTOCOLLO NAZIONALE

C A S A C L I M A

Il Protocollo CasaClima nasce in Italia nel 2002 come Ente di certificazione di edifici passivi, patrocinato dalle regioni autonome come Bolzano. Nel 2006 prende il titolo di Agenzia, con l'obiettivo di ridurre l'uso di risorse, limitare l'impatto con l'ambiente e garantire il benessere delle persone. Il protocollo per essere accettato deve soddisfare standard energetici molto ristretti.

## FAMIGLIE



## CASA CLIMA R

CasaClima R è il Protocollo di certificazione CasaClima ideato per il risanamento degli edifici esistenti, a differenza del tradizionale protocollo di certificazione CasaClima, è pensata per interi edifici e per singole unità abitative in condominio; anche se segue lo stesso iter amministrativo della certificazione standard per le nuove costruzioni. La certificazione si compone una direttiva per l'involucro e una per impianti.

### Involucro

Nello studio dell'involucro il protocollo richiede:

- Trasmittanze termiche molto basse;
- Annullamento dei ponti termici;
- Controllo attivo per i ponti termici irrisolvibili;
- Verifica dell'efficienza dei sistemi di ombreggiamento estivo;
- Verifica della condensa interstiziale;
- Verifica in opera della tenuta all'aria.

### Impianti

Per gli impianti la Direttiva Tecnica CasaClima R definisce:

- Prescrizioni sui rendimenti del generatore;
- Obbligo di termoregolazione e contabilizzazione dal calore;
- Coibentazione del sistema di distribuzione del calore;
- Utilizzo di energia da fonti rinnovabili per la produzione di ACS.

## RISULTATI

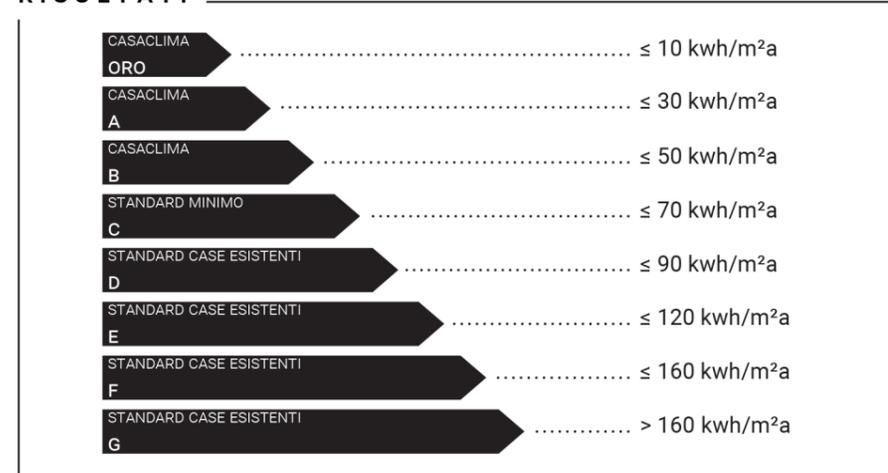


Fig. 2.15

Protocollo CASA CLIMA (Elaborazione dell'autrice da: <https://www.agenzia-casaclima.it/it/home-1.html>).

# PROTOCOLLO NAZIONALE

I T A C A

Istituto per l'inn. Trasparenza degli Appalti e la Compatibilità Ambientale

**ITACA**

LUOGO: Italia

ANNO: 2004

Il protocollo ITACA è uno dei più diffusi strumenti di valutazione del livello di sostenibilità energetica e ambientale degli edifici, come altri sistemi di rating permette di verificare le prestazioni ambientali di un edificio da diversi punti: salute umana, dispendio di energia, acqua e altre risorse; inoltre promuove la costruzione di edifici sempre più innovativi e l'utilizzo di materiali sostenibili prodotti a basso consumo energetico e capaci di garantire elevati livelli di comfort. Il protocollo è stato poi approvato il 15 Gennaio 2004 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome.

### COSTRUZIONE EDIFICI NUOVI



Nel caso di realizzazione di edifici nuovi il Protocollo Itaca serve a supporto per la realizzazione di edifici nZEB.

### RISTRUTTURAZIONE EDIFICI ESISTENTI



Nel caso di ristrutturazioni a edifici esistenti il Protocollo Itaca serve a supporto per la realizzazione di una riqualificazione con obiettivo nZEB.

Questo protocollo deriva dal modello internazionale di valutazione SBTool, si è sviluppato con estrema rapidità e ha saputo contestualizzare il metodo internazionale al territorio italiano e alle sue caratteristiche nazionali.

Questa articolazione determina la struttura gerarchica del protocollo suddivisa in Aree, Categorie e Criteri di valutazione. Le Aree di valutazione, che sono i cinque macro temi che determinano le caratteristiche di sostenibilità dell'intervento.

## AREE DI VALUTAZIONE



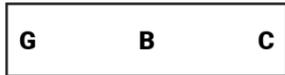
## RISULTATI

I criteri di valutazione per il calcolo del punteggio di prestazione sono organizzati in "schede di criteri" e sono raggruppati per categoria di riferimento.	85-100 A+
	70-85 A
	55-70 B
	40-55 C
	< 40 D

Fig. 2.16

Protocollo ITACA (Elaborazione dell'autrice da: [http://www.itaca.org/nuovosito/atti\\_protocolli\\_accordi.asp](http://www.itaca.org/nuovosito/atti_protocolli_accordi.asp)).

# PROTOCOLLO NAZIONALE



Green Building Council



LUOGO: Italia  
ANNO: 2008



Il Protocollo GBC è un sistema di rating volto a valutare il livello di sostenibilità del restauro e della ristrutturazione definisce gli edifici storici come "manufatti edilizi che costituiscono testimonianza materiale avente valore di civiltà".

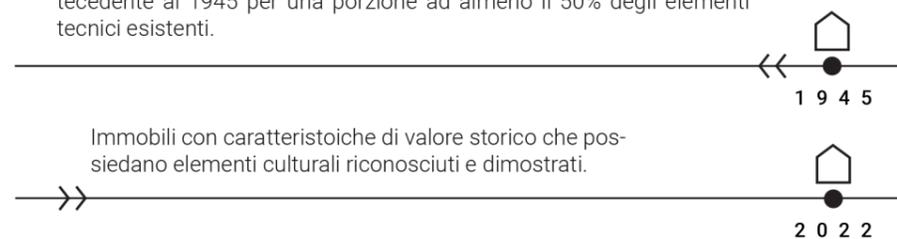
## FAMIGLIE

GBC HOME	GBC QUARTIERI	GBC HISTORIC BUILDING
----------	---------------	-----------------------

## GBC HISTORIC BUILDING

La certificazione riguarda interventi di restauro, recupero e riqualificazione di edifici storici integrati con nuove destinazioni d'uso che costituiscono "testimonianza materiale avente valore di civiltà". Gli interventi possono essere ristrutturazione di parti di edificio, interventi di rinnovo degli spazi interni o di parti rilevanti degli impianti di climatizzazione compatibilmente con la salvaguardia delle parti del manufatto da tutelare data la loro storicità.

Ai fini dell'applicazione del Protocollo GBC HB, l'edificio deve essere antecedente al 1945 per una porzione ad almeno il 50% degli elementi tecnici esistenti.



Immobili con caratteristiche di valore storico che possiedono elementi culturali riconosciuti e dimostrati.

La certificazione riguarda interventi di restauro, recupero e riqualificazione di edifici storici integrati con nuove destinazioni d'uso. Gli interventi possono essere ristrutturazione di parti di edificio, interventi di rinnovo degli spazi interni o di parti rilevanti degli impianti di climatizzazione compatibilmente con la salvaguardia delle parti del manufatto da tutelare data la loro storicità.

La sostenibilità nel processo di restauro viene poi misurata attraverso categorie di analisi che si traducono in requisiti applicabile all'edificio esistente. Le categorie di credito aiutano i progetti a ottenere miglioramenti nelle prestazioni energetiche e ambientali.

## CATEGORIE

1 VALORE STORICO	5 MATERIALI E RISORSE
2 SITI SOSTENIBILI	6 QUALITÀ AMBIENTALE INTERNA
3 EFFICIENZA IDRICA	7 INNOVAZIONE
4 ENERGIA E ATMOSFERA	8 PRIORITÀ REGIONALE

## RISULTATI

La certificazione finale è racchiusa nelle Classi di certificazione, ottenuta sommando i crediti obbligatori per ogni sezione, con il vincolo di ottenere un minimo di 40 punti e un massimo di 110.	40-49 BASE
	50-69 ARGENTO
	60-79 ORO
	> 80 PLATINO

Fig. 2.17

Protocollo GBC (Elaborazione dell'autrice da: <https://www.gbcoitalia.org/historic-building>).

# GBC HISTORIC BUILDING® - CHECK LIST

## Historic Value Maximum score: 20

YES	?	NO	Historic Value	Maximum score: 20
YES			Prereq. 1 Preliminary analysis	Mandatory
			Credito 1.1 Advanced analysis: energy audit	1 - 3
			I Level Analysis	1
			Advanced analysis: thermography	2
			Advanced analysis: thermography and thermic conductance	3
			Credito 1.2 Advanced analysis: diagnostic tests on materials and degradation	2
			Credito 1.3 Advanced analysis: diagnostic tests on structures and structural monitoring	1 - 3
			Diagnostic tests on structures	1 - 2
			Diagnostic tests on structures and structural monitoring	2 - 3
			Credito 2 Project reversibility	1 - 2
			Credito 3.1 Compatible end-use	1 - 2
			Credito 3.2 Chemical and physical compatibility of integrated materials	1 - 2
			Compatibility evaluation with fulfillment of the basic requirements	1
			Compatibility evaluation with fulfillment of the basic requirements and at least two complementary requirements	2
			Credito 3.3 Structural compatibility	2
			Credito 4 Sustainable restoration site	1
			Credito 5 Scheduled maintenance plan	2
			Credito 6 Specialist in restoration of architectural heritage and landscape	1

## Sustainable Sites Maximum score: 13

SI	?	NO	Sustainable Sites	Maximum score: 13
YES			Prereq. 1 Construction activity pollution prevention	Mandatory
			Credito 1 Brownfield redevelopment	2
			Credito 2.1 Alternative transportation: public transportation access	1
			Credito 2.2 Alternative transportation: bicycle storage and changing rooms	1
			Credito 2.3 Alternative transportation: low-emitting and fuel-efficient vehicles	1
			Credito 2.4 Alternative transportation: parking capacity	1
			Credito 3 Site development: open spaces recovery	2
			Credito 4 Stormwater design: quantity and quality control	2
			Credito 5 Heat island effect: non-roof and roof	2
			Outdoor paved surfaces	2
			High reflectance roofs	2
			Vegetated roofs	2
			Combination of high reflectance roofs and vegetated roofs	2
			Credito 6 Light pollution reduction	1

## Water Efficiency Maximum score: 8

YES	?	NO	Water Efficiency	Maximum score: 8
YES			Prereq. 1 Water use reduction	Mandatory
			Credito 1 Water efficient landscaping	1 - 3
			Outdoor or irrigation water consumption reduction 50%	1
			Outdoor and irrigation water consumption reduction 50%	2
			No irrigation required	3
			Credito 2 Water use reduction	1 - 3
			Credito 3 Water metering	1 - 2
			Mixed use building separated water meter	1
			High efficiency appliances and process water systems	1

## Energy & Atmosphere Maximum score: 29

YES	?	NO	Energy & Atmosphere	Maximum score: 29
YES			Prereq. 1 Fundamental commissioning of building energy systems	Mandatory
YES			Prereq. 2 Minimum energy performance	Mandatory
YES			Prereq. 3 Fundamental refrigerant management	Mandatory
			Credito 1 Optimize energy performance	1 - 17

Procedura semplificata per la determinazione della prestazione energetica dell'edificio 1 - 3  
Simulazione energetica in regime dinamico dell'intero edificio 1 - 17

YES	?	NO	Materials & Resources	Maximum score: 14
			Credito 2 Renewable energies	1 - 6
			Credito 3 Enhanced commissioning	2
			Credito 4 Enhanced refrigerant management	1
			Credito 5 Measurement and verification	3

## Materials & Resources Maximum score: 14

YES	?	NO	Materials & Resources	Maximum score: 14
YES			Prereq. 1 Storage and collection of recyclables	Mandatory
YES			Prereq. 2 Demolition and construction waste management	Mandatory
YES			Prereq. 3 Building reuse	Mandatory
			Credito 1 Building reuse: maintaining existing technical element and finishing	3
			Credito 2 Demolition and construction waste management	1 - 2
			Reduction of 75%	1
			Reduction of 95%	2
			Credito 3 Materials reuse	1 - 2
			Reused materials for the 15%	1
			Reused materials for the 20%	2
			Credito 4 Building product environmental optimization	1 - 5
			Third part certification	2
			Multicriteria certification	1 - 3
			Credito 5 Regional materials	1 - 2

## Indoor Environmental Quality Maximum score: 16

YES	?	NO	Indoor Environmental Quality	Maximum score: 16
YES			Prereq. 1 Minimum indoor air quality performance (IAQ)	Mandatory
YES			Prereq. 2 Environmental Tobacco Smoke (ETS) control	Mandatory
			Credito 1 Air monitoring	2
			Credito 2 Outdoor air delivery monitoring	2
			Credito 3.1 Construction IAQ management plan: during construction	1
			Credito 3.2 Construction IAQ management plan: before occupancy	1
			Credito 4.1 Low-emitting materials: adhesives and sealants	1
			Credito 4.2 Low-emitting materials: paints and coatings	1
			Credito 4.3 Low-emitting materials: flooring systems	1
			Credito 4.4 Low-emitting materials: composite wood and agrifiber products	1
			Credito 5 Indoor chemical and pollutant source control	1
			Credito 6.1 Controllability of systems: lighting	1
			Credito 6.2 Controllability of systems: thermal comfort	1
			Credito 7.1 Thermal comfort: design	1
			Credito 7.2 Thermal comfort: verification	2

## Innovation in design Maximum score: 6

YES	?	NO	Innovation in design	Maximum score: 6
			Credito 1 Innovation in design	1 - 5
			Credito 2 GBC Accredited Professional	1

## Regional priority Maximum score: 4

YES	?	NO	Regional priority	Maximum score: 4
			Credito 1 Regional priority	1 - 4

## Total Maximum score: 110

### GBC Historic Building® - 2016 Edition

100 points; 10 bonus points for Innovation in Design and Regional Priority  
Certified 40 - 49 points Silver 50 - 59 points Gold 60 - 79 points Platinum 80 and more



# PROTOCOLLO INTERNAZIONALE

**D G N B**

Deutsches  
Gesellschaft für  
Nachhaltiges  
Bauen

Il Protocollo DGNB nasce a Stoccarda nel 2009 nell'ambito dell'edilizia e del settore immobiliare, con il fine di promuovere la sostenibilità delle costruzioni e dei quartieri urbani; gli aspetti trattati dal sistema DGNB, applicabili agli edifici, sia nuovi che esistenti, e ai quartieri urbani, sono riconducibili a diversi aspetti: ambientali, economici, socio-culturali, funzionali e tecnologici.

La certificazione DGNB si basa su norme e standard europei anche se è possibile applicare tale protocollo in qualsiasi parte del mondo con adeguamenti alle condizioni climatiche, ai requisiti legali, alla lingua locale e alle differenze culturali del luogo, adeguando il sistema ai vincoli locali.

La certificazione prevede quattro fasi essenziali:

<p><b>1</b></p> <p><b>PREPARAZIONE E REGISTRAZIONE</b></p> <p>In questa fase vengono definiti i criteri e gli obiettivi della certificazione.</p>	<p><b>2</b></p> <p><b>PRESENTAZIONE DELLA DOCUMENTAZIONE</b></p> <p>In questa fase vengono revisionati i documenti per valutare la sostenibilità del progetto basandosi sui criteri stabiliti dal protocollo DGNB.</p>
<p><b>3</b></p> <p><b>TEST DI CONFORMITÀ</b></p> <p>In questa fase vengono esaminata la documentazione a un team di revisori, i quali eseguono una verifica per definire la conformità del progetto. Infine i risultati finali vengono convalidati dal comitato di certificazione DGNB (il processo prevede dalle sei alle otto settimane).</p>	<p><b>4</b></p> <p><b>ASSEGNAZIONE DEL CERTIFICATO</b></p> <p>Una volta approvato il progetto, la DGNB invia al cliente un avviso di certificazione; a questo segue l'aggiudicazione di un pre-certificato o certificato del progetto.</p>

## RISULTATI

I risultati della certificazione DGNB sono espressi in percentuale, a seconda della quale sono suddivisi in percentuale totale e per ciascuna categoria:

- 35% TOT - CERTIFICATED
- 50% TOT, 35% IN CIASCUNA CATEGORIA - BRONZE
- 65% TOT, 50% IN CIASCUNA CATEGORIA - SILVER
- 80% TOT, 65% IN CIASCUNA CATEGORIA - GOLD

Fig. 2.18

Protocollo DGNB (Elaborazione dell'autrice da: <https://www.tekno-ring.com/news/efficienza-energetica/dgnb-come-funzione-il-protocollo-di-sostenibilita-tedesco/>).

# PROTOCOLLO INTERNAZIONALE

**H Q E**

Haute  
Qualité  
Environnementale

Il Protocollo HQE nasce in Francia nel 1996 diventando il sistema di certificazione più utilizzato del paese sia per nuovi edifici che per edifici esistenti e si pone due obiettivi principali:

- il controllo degli impatti sull'ambiente esterno;
- la realizzazione di un ambiente interno confortante.

Con l'approccio HQE, i proprietari dei progetti hanno un controllo migliore sull'atto di costruire strutturando i loro obiettivi attorno a obiettivi concreti. La certificazione HQE si suddivide in 4 famiglie nelle quali sono distribuiti 14 obiettivi che, a loro volta, si suddividono in sotto-obiettivi per un totale di 52.



LUOGO: Francia  
ANNO: 2013

## FAMIGLIE

1  ECO-COSTRUZIONE	3  COMFORT
2  ECO-GESTIONE	4  SALUTE

Ogni obiettivo è associato a un livello di prestazione e il costruttore deve raggiungere un certo numero di ciascuna categoria di obiettivi per entrare nell'approccio HQE. Per ottenere "un approccio ambientale" è sufficiente eseguire i 14 obiettivi su un livello base, per la certificazione HQE invece è necessario garantire la buona riuscita di 7 obiettivi, 4 su un livello performante e tre su un livello di prestazioni elevato. Ciò viene eseguito attraverso l'assegnazione di punti per ogni criterio. Come i Protocolli ITACA, BREEM e LEED si basa su cinque aree di valutazione

## AREE DI VALUTAZIONE



## RISULTATI

A seconda dell'esito della misurazione dei criteri di qualità rispetto al carico ambientale, il processo di valutazione porta a una valutazione su cinque, con ogni voto rappresentato da un determinato valore.

- C SCARSO
- B- ABBASTANZA SCARSO
- B+ BUONO
- A MOLTO BUONO
- S SUPERIORE

Fig. 2.19

Protocollo HQE (Elaborazione dell'autrice da: [https://www.nextville.it/La\\_certificazione\\_ambientale\\_degli\\_edifici/382/HQE](https://www.nextville.it/La_certificazione_ambientale_degli_edifici/382/HQE)).

**BIBLIOGRAFIA CAPITOLO II**

ALLEGRO V., *Modellazione e simulazione energetica di un edificio storico. Il caso studio del conservatorio di musica Giuseppe Verdi di Torino*, Tesi di Laurea Magistrale in Architettura per il Restauro e la Valorizzazione del patrimonio, rel. Corgnati S. P., Capozzoli A., M. Sc. Arch. Spigliantini G., Politecnico di Torino, a.a. 2019.

BELLINI A., (1998), *Un bene non è tale se non è fruibile. La pura contemplazione non appartiene all'architettura*, Tema 1.

BELLOMO M., PONE S., (2011), *Il retrofit tecnologico degli edifici esistenti: Qualità dell'abitare, sostenibilità ambientale, rilancio economico*, Techne 1.

CROVA C., (2017), *Le linee guida di indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel patrimonio culturale. Architettura, centri e nuclei storici ed urbani: Un aggiornamento della scienza del restauro. Le Nuove Frontiere Del Restauro. Trasferimenti, Contaminazioni, Ibridazioni*, Atti Del XXXIII Convegno Internazionale Scienza e Beni Culturali, (Bressanone, 27-30 Giugno 2017), a Cura Di Guido Biscontin e Guido Driussi, 33.

DE SANTOLI L., (2014), *Linee guida nazionali per l'efficienza energetica degli edifici storici, in Edifici storici. Restauro e risparmio energetico: Nuove tecnologie e nuove prospettive*, Atti del Convegno (Roma, Auditorium del MAXXI, 22 marzo 2014), Roma.

DE TROYER V., (2018), *Patrimonio Culturale in classe A. Manuale pratico per gli insegnanti*, Socrates.

DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA 21 dicembre 1999, n. 511 – *Regolamento recante modifiche al D.P.R. 26 agosto 1993, n. 412, in materia di progettazione, installazione, esercizio e manutenzione degli impianti termici degli edifici, ai fini del contenimento dei consumi di energia.*

DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA 26 agosto 1993, n. 412 – *Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia.*

DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA 26 agosto 1993, n. 412 - *Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della legge 9 gennaio 1991, n. 10.*

DECRETO LEGGE 4 giugno 2013, n. 63 – *Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea.*

DECRETO LEGISLATIVO 10 giugno 2020, n. 48 – *Attuazione della direttiva (UE) 2018/844 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 30 maggio 2018, che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica.*

DECRETO LEGISLATIVO 19 agosto 2005, n. 192 – *Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia.*

DECRETO LEGISLATIVO 29 dicembre 2006, n. 311 – *Disposizioni correttive ed integrative al D.Lgs. 192/05.*

DECRETO LEGISLATIVO 3 marzo 2011, n. 28 – *Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE.*

DECRETO LEGISLATIVO 30 maggio 2008, n. 115 – *Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE.*

DECRETO LEGISLATIVO 22 gennaio 2004, n. 42 – *Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio.*

DECRETO MINISTERIALE 2 agosto 2005, n. 178 – *Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia.*

DECRETO MINISTERIALE 26 giugno 2009 - *Linee Guida nazionali per la Certificazione Energetica.*

DECRETO MINISTERIALE 26 giugno 2015 – *Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici.*

DELLA TORRE S., (1998), *Il progetto di una conservazione senza barriere*, Tema 1.

BERTINI I., FEDERICI A., FERRARI S., MANDUZIO L., MARTINI C., PANDOLFI E., POGGI, MICHELE PREZIOSI M., VIOLA C., (2019), *Efficienza energetica, rapporto annuale sull'efficienza energetica*, Dipartimento Unità l'Efficienza Energetica dell'ENEA.

DIRETTIVA EUROPEA 2018/844, del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30 maggio 2018 che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica.

D'ONOFRIO CAVIGLIONE M., (2004), *Urbanistica e prassi della conservazione. L'esperienza di Genova*, Franco Angeli, Milano.

FASANO G., (2011), *L'efficienza energetica nel settore civile*, Laboratorio Tecnografico ENEA, Frascati.

FILIPPI M., (2015), *Remarks on the green retrofitting of historic buildings in Italy*, Energy Build. 95.

LEGGE 3 agosto 2013, n. 90 – *Conversione, con modificazioni, del D.L. 4 giugno 2013, n. 63. Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale.*

LEGGE 3 agosto 2013, n. 90 – *Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale.*

LEGGE 9 gennaio 1991, n. 10 - *Norme per l'attuazione del piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia.*

LEGGE del 29 giugno 1939, n. 1497 – *Protezione delle bellezze naturali.*

LEGGE del 30 marzo 1976, n. 373 – *Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici.*

LEGGE del 5 agosto 1978, n. 457 – *Norme per l'edilizia residenziale.*

LEGGE REGIONALE 11 marzo 2015, n. 3 – *Disposizioni regionali in materia di semplificazione.*

LEGGE REGIONALE 28 maggio 2007, n. 13 – *Disposizioni in materia di rendimento energetico nell'edilizia.*

LITTI G., AUDENAERT A., BRAET J., (2013), *Energy retrofitting in architectural heritage, possible risks due to the missing of a specific legislative and methodological protocol*, The European Conference on Sustainability, Energy and the Environment.

MiC, (2015), *LINEE DI INDIRIZZO PER IL MIGLIORAMENTO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA NEL PATRIMONIO CULTURALE. Architettura, centri e nuclei storici ed urbani*, Ministero della Cultura.

LOLI A., BERTOLIN C., (2018), *Towards Zero-emission refurbishment of historic buildings: A literature review*, Buildings 8.

STARA M., *Riqualificazione energetica dell'edilizia storica. Criticità e strategie d'intervento*, Tesi di Dottorato in Tecnologie per la Conservazione dei Beni Architettonici e Ambientali, rel. Prof. Ing. Fabrizio E., Università degli Studi di Cagliari, a.a. 2012-2013.

MARTÍNEZ-MOLINA A., TORT-AUSINA I., CHO S., VIVANCOS J. L., (2016), *Energy efficiency and thermal comfort in historic buildings: A review*, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 61.

MINISTERO DEI BENI E DELLE ATTIVITÀ CULTURALI E DEL TURISMO. SEGRETARIATO GENERALE SERVIZIO I – COORDINAMENTO E STUDI, (2015), *Mini-cifre della cultura*, Gangemi.

PIANEZZE F., *L'obiettivo del miglioramento dell'efficienza energetica nel processo di conservazione del costruito storico*, Tesi di Dottorato di Ricerca in Progetto e tecnologie per la valorizzazione dei beni culturali, rel. Schiaffonati F., Politecnico di Milano, a.a. 2009-2012.

POGGI M., (2016), *La nuova prestazione energetica dell'edilizia storica e monumentale*, *Energia, ambiente e innovazione* 4.

PRACCHI V., LUCCHI E., S. ADHIKARI R., (2014), *Historic buildings and energy efficiency*, *Hist. Environ. Policy Pract.* 5.

SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENERGY EFFICIENCY AND COMFORT OF HISTORIC BUILDINGS, (2016), *Energy efficiency and comfort of historic buildings*, Brussels, 19-21 ottobre 2016.

TROY A., EURAC RESEARCH, ZENO BASTIAN PASSIVE HOUSE INSTITUTE, (2014), *Energy efficiency solutions for historic buildings. A handbook*, Birkhäuser Basel.

UNI EN 16096:2012, 4 ottobre 2012 – *Conservation of cultural property - Condition survey and report of built cultural heritage*.

UNI EN 16883:2017, 15 giugno 2017 – *Le linee guida degli interventi finalizzati a ridurre i consumi di energia degli edifici storici*.

# CAPITOLO III

## REWIEV BIBLIOGRAFICA

### 3.1 INTRODUZIONE

Il patrimonio costruito europeo è forse uno dei più ricchi e variegati sulla Terra, la volontà di intervenire su tale settore è alla base delle più recenti politiche promosse dall'Unione Europea per la lotta al cambiamento climatico. Gli strumenti di valutazione della sostenibilità economico-ambientale dei progetti, precedentemente descritti nel capitolo 1, rappresentano una sfida per i progettisti, i quali sono chiamati ad affrontare sfide sempre più complesse nel campo delle costruzioni.

Capire come applicare tali metodologie, impiegate per l'analisi e la valutazione dei costi nel ciclo di vita, risulta oramai fondamentale per perseguire un'accurata scelta tra alternative progettuali che permettano sia il raggiungimento degli standard in termini di efficientamento energetico, sia una programmazione delle spese per il contenimento dei costi. Obiettivo di questa parte di ricerca è raccogliere materiale sugli interventi riguardante il patrimonio costruito tramite l'utilizzo di metodologie consolidate quali l'approccio Life Cycle Costing (LCC), Life Cycle Assessment (LCA) e Cost Optimal.

Questo capitolo presenta una selezione delle pubblicazioni scientifiche riguardanti casi studio di retrofit energetico su edifici storici tramite l'utilizzo di strumenti di valutazione della sostenibilità economico-ambientale dei progetti. La ricerca condotta ha portato alla raccolta di 29 pubblicazioni, tra il 2012-2021, contenenti metodologie Life Cycle Costing (LCC), Life Cycle Assessment (LCA) e Cost Optimal.

Gli articoli sono stati catalogati secondo l'ordine cronologico della data di pubblicazione, dal 2012 al 2021, all'interno di una tabella sintetica elaborata per fornire le principali informazioni espresse

dagli stessi articoli. Oltre alla consultazione di tesi di laurea, gli articoli sono stati individuati principalmente con la ricerca online su tre siti principali: Science Direct,<sup>1</sup> Scopus<sup>2</sup> e Taylor&Francis Online,<sup>3</sup> che racchiudono pubblicazioni di ricerca da tutto il mondo.

Questi database permettono agli utenti di effettuare ricerche mirate sull'argomento d'interesse tramite l'inserimento del nome dell'autore, del titolo oppure con l'utilizzo di parole chiave. Per una migliore percentuale di successo nella ricerca dei contenuti è stato necessario costruire stringhe di ricerca diverse, come:

TITLE-ABS-KEY (cost AND optimal AND heritage AND building)

TITLE-ABS-KEY (cost AND optimal AND historic AND building)

TITLE-ABS-KEY (lcc AND lca AND heritage AND building)

TITLE-ABS-KEY (lcc AND lca AND HVAC AND system)

TITLE-ABS-KEY (lcc AND lca AND adaptive AND reuse)

Al fine di limitare la selezione all'efficiamento energetico nell'ambiente costruito, sono stati considerati i seguenti settori scientifico disciplinari: Ingegneria, Energia, Scienze Ambientali, Gestione aziendale e Contabilità, Matematica, Economia e Finanza. Va precisato che la selezione del tipo di pubblicazione è stata ristretta ai soli articoli open-access. Infine, tutti gli articoli sono stati dettagliati individualmente sulla base di un layout preimpostato dall'autore.

<sup>1</sup> <https://www.sciencedirect.com/>

<sup>2</sup> <https://www.scopus.com/>

<sup>3</sup> <https://www.tandfonline.com/>

### 3.2 SCHEDATURA DEGLI ARTICOLI: TABELLA SINTETICA

Dopo la raccolta del materiale è stata creata una tabella sintetica per la catalogazione e classificazione delle diverse pubblicazioni, che riporta le informazioni principali relative ad ogni specifico caso studio. La tabella si articola in due principali macro aree:

#### 1 | INFORMAZIONI RELATIVE ALL'ARTICOLO

- N° ARTICOLO
- TITOLO
- AUTORE
- SEDE EDITORIALE;
- ANNO DI PUBBLICAZIONE
- APPROCCI METODOLOGICI
- INTERVENTI SELEZIONATI

#### 2 | INFORMAZIONI RELATIVE ALLE CARATTERISTICHE DELL'EDIFICIO DEI CASI STUDIO RIPORTATI NELLE 29 PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE

- DESTINAZIONE D'USO
- ANNO DI COSTRUZIONE
- TUTELA

Le destinazioni d'uso individuate vengono suddivise in:

- ND (NON DICHIARATO)
- STRUTTURA RICETTIVA
- SCOLASTICO
- RESIDENZIALE + UFFICIO
- RESIDENZIALE
- RELIGIOSO

- PLURIFUNZIONALE
- INDUSTRIALE
- CASTELLO/PALAZZO

Visto il tema della ricerca, è sembrato inoltre rivelante riportare il grado di tutela degli edifici, dall'analisi dei 29 articoli, sono stati individuate quattro tipi di tutela:

- TUTELATI (TUT)
- NON TUTELATO (NTUT)
- POSTI SOTTO VINCOLO UNESCO
- NON DICHIARATI (ND)



## INFORMAZIONI RELATIVE ALL'ARTICOLO

## INFORMAZIONI RELATIVE ALLE CARATTERISTICHE DELL' EDIFICIO

N°	TITOLO	AUTORE	SEDE EDITORIALE	ANNO DI PUBBLICAZIONE	APPROCCI METODOLOGICI	INTERVENTI SELEZIONATI	DESTINAZIONE D'USO	ANNO DI COSTRUZIONE	TUTELA
N° 1	<i>Conservation-compatible retrofit solutions in historic buildings: an integrated approach</i>	A. BUDA, E. J. DE PLACE HANSEN A. RIESER, E. GIANCOLA, V. N. PRACCHI S. MAURI, V. MARINCIONI, GORI K. FOUSEKI, C. S. POLO LÓPEZ A. LO FARO, A. EGUSQUIZA HAAS, E. LEONARDI	Sustainability vol. 13, n° 5, pp. 1 - 19	2021	Analisi Cost Optimal	Misure di retrofit sull'involucro dell'edificio; Aggiornamenti dei sistemi HVAC; Introduzione di pannelli fotovoltaici;	ND	ND	ND
N° 2	<i>Historical building renovation and PV optimisation towards NetZEB in Sweden</i>	JONAS MANUEL GREMELSPACHER RAFAEL CAMPAM A PIZARRO MATTHIJS VAN JAARVELD	Energy Procedia vol. 40, pp. 515 - 524	2021	LCC	Pannelli fotovoltaici; Interventi di retrofit con misure di isolamento interno sul tetto e solaio; Sostituzione degli elementi trasparenti in facciata con vetri selettivi;	Castello/Palazzo con funzione museale	1420	TUT
N° 3	<i>Sustainable reuse of post-war architecture through life cycle assessment</i>	LORI FERRISS	Journal of Architectural Conservation vol. 24, pp. 152 - 167	2021	LCA	Misure di retrofit sull'involucro dell'edificio; Aggiornamenti dei sistemi HVAC; Sostituzione degli elementi trasparenti in facciata con vetri a doppio e triplo strato con camera d'aria;	Edificio scolastico	seconda metà del XX secolo	NTUT
N° 4	<i>Circular economy strategies for adaptive reuse of cultural heritage buildings to reduce environmental impacts</i>	GILLIAN FOSTER	Resources, Conservation & Recycling vol. 152, pp. 1 - 14	2020	LCC	ND	ND	ND	ND
N° 5	<i>Energy and economic assessment of HVAC solutions for the armoury hall at the Palazzo Ducale in Mantua</i>	ALESSANDRO MIGLIOLI HAROLD HUERTO-CARDENAS FABRIZIO LEONFORTE NICCOLÒ ASTE CLAUDIO DEL PERO	Procedia Structural Integrity vol. 29, pp. 118 - 125	2020	Analisi Cost Optimal	Nuove tecnologie HVAC: Unità di trattamento dell'aria (AHU ); Riscaldamento e raffreddamento radiante; Pompe di calore aria acqua (sistemi AHU);	Castello/Palazzo con funzione museale	XIII-XVIII secolo	TUT (Patrimonio UNESCO dal 2008)
N° 6	<i>Methodology toward Cost-Optimal and energy-efficient retrofitting of historic buildings</i>	HEND ABDELRAZEK YİĞİT YILMAZ	J. Archit. Eng. vol. 26 n° 4, pp. 1 - 13	2020	Analisi Cost Optimal + LCC	Misure di retrofit sulla facciata esterna; Illuminazione a LED; Nuove tecnologie HVAC; Utilizzo di sistemi di controllo remoto;	Edificio scolastico	1846	TUT (Patrimonio UNESCO dal 2004)
N° 7	<i>Design of the refurbishment of historic buildings with a Cost-Optimal methodology: A case study</i>	JOSÉ SÁNCHEZ RAMOS SERVANDO ÁLVAREZ DOMÍNGUEZ MCARMEN PAVÓN MORENO	Applied Sciences vol. 9, pp. 1 - 20	2019	LCC + LCA	Misure di retrofit sull'involucro esterno; Sostituzione degli elementi trasparenti in facciata con vetri a doppio strato con camera d'aria;	Edificio religioso	XVIII secolo	TUT
N° 8	<i>Assessing housing retrofits in historic districts in Havre Montana</i>	JAYA MUKHOPADHYAY JANET ORE KEVIN AMENDE	Energy Reports vol. 5, pp. 489 - 500	2019	LCC	Misure di retrofit sull'involucro dell'edificio; Sostituzione degli elementi vetrati;	Edificio residenziale	1913 -1919	NTUT
N° 9	<i>Sostenibilità e interventi sul patrimonio storico: approcci a confronto</i>	ELENA FREGONARA VALERIA MORETTI MONICA NARETTO	Territorio vol. 86, pp. 146 -156	2018	Analisi Cost Optimal	ND	ND	ND	ND

N°	TITOLO	AUTORE	SEDE EDITORIALE	ANNO DI PUBBLICAZIONE	APPROCCI METODOLOGICI	INTERVENTI SELEZIONATI	DESTINAZIONE D'USO	ANNO DI COSTRUZIONE	TUTELA
N° 10	<i>Life cycle assessment and historic buildings: energy-efficiency refurbishment versus new construction in Norway</i>	FREDRIK BERG MIE FUGLSETH	Journal of Architectural Conservation vol. 24, n° 2, pp. 152 - 167	2018	LCA	Misure di retrofit sull'involucro esterno e interno;	Edificio residenziale	1936	TUT
N° 11	<i>Investigating cost-optimal refurbishment strategies for the medieval district of Visby in Sweden</i>	LINN LIU, PATRIK ROHDIN, BAHRAM MOSHFEGH	Energy Procedia vol. 158, pp. 750 - 760	2018	LCC	Sostituzione delle pompe di calore aria acqua (sistemi AHU);	Edificio residenziale	1810	TUT
N° 12	<i>The "Cost Optimality" Approach for the Internal Insulation of historic Buildings</i>	ELENA LUCCHI MAGDALENA TABAK ALEXANDRA TROI	Energy Procedia vol. 133, pp. 412 - 423	2017	Analisi Cost Optimal	Misure di retrofit sulla facciata interna, studio dei materiali isolanti;	Edificio residenziale	XVIII secolo	TUT
N° 13	<i>Cost-Optimal measures for renovation of existing school buildings towards nZEB</i>	T. DALLA MORA A. RIGHI F. PERON P. ROMAGNONI	Energy Procedia vol. 140, pp 288 - 302	2017	Analisi Cost Optimal	Adozione di pannelli fotovoltaici; Sostituzione dell'illuminazione con luci a LED;	Edificio scolastico	inizio XX secolo	ND
N° 14	<i>Evaluation of refurbishment alternatives for an Italian vernacular building considering architectural heritage, energy efficiency and costs</i>	BECCHIO CRISTINA CORGNATI STEFANO PAOLO GIORGIA SPIGLIANTINI	Energy Procedia vol. 133, pp.401 - 411	2017	Analisi Cost Optimal	Misure di retrofit sulla facciata interna;	Edificio residenziale	XIX secolo	TUT
N° 15	<i>Historical buildings retrofit the city hall of the city of Motta di Livenza (TV)</i>	ALESSANDRO RIGHI TIZIANO DELLA MORA FABIO PERON PIERCARLO ROMAGNONI	Energy Procedia vol. 133, pp. 392 - 400	2017	Analisi Cost Optimal	Sostituzione degli elementi trasparenti; Isolamento termico del tetto; Adozione di pannelli fotovoltaici; Adozione di pompe di calore; Sostituzione dell'illuminazione con luci a LED;	Edificio plurifunzionale	XVIII secolo	TUT
N° 16	<i>NZEB target for existing buildings: Case study of historical educational building in Mediterranean climate</i>	F. ASCIONE R. F. DE MASI F. ROSSI S. RUGGIERO G. P. R VANOLI	Energy Procedia vol. 140, pp. 194 - 206	2017	Analisi Cost Optimal	Misure di retrofit sulla facciata interna, miglioramento dell'isolamento termico; Sostituzione degli elementi trasparenti; Progettazione di una caldaia a condensazione (sistemi AHU);	Edificio scolastico	XVI secolo	TUT
N° 17	<i>Retrofitting under protection constraints according to the nearly Zero Energy Building (nZEB) target: the case of an Italian cultural heritage's school building</i>	SIMONE FERRARI CARLO ROMEO	Energy Procedia vol. 140, pp. 495 - 505	2017	Analisi Cost Optimal	Misure di retrofit, miglioramento dell'isolamento termico; Sostituzione degli elemneti trasparenti; Sostituzione dell'illuminazione con luci a LED;	Edificio scolastico	inizio XX secolo	TUT
N° 18	<i>Energy efficiency, heritage conservation, and landscape integration: The case study of the San Martino Castle in Parella (Turin, Italy)</i>	MATTEO SERRAINOA ELENA LUCCHI	Energy Procedia vol. 133, pp. 424 - 43	2017	Analisi Cost Optimal	Riscaldamento e raffrescamento radiante; Pompe di calore aria acqua (sistemi AHU);	Castello/Palazzo con funzione museale	XIII secolo	TUT

## INFORMAZIONI RELATIVE ALL'ARTICOLO

## INFORMAZIONI RELATIVE ALLE CARATTERISTICHE DELL' EDIFICIO

N°	TITOLO	AUTORE	SEDE EDITORIALE	ANNO DI PUBBLICAZIONE	APPROCCI METODOLOGICI	INTERVENTI SELEZIONATI	DESTINAZIONE D'USO	ANNO DI COSTRUZIONE	TUTELA
N° 19	<i>Energy renovation strategies for historical buildings: cost-optimal analysis for a case study in Catania (Sicily)</i>	SIMONA CIRAMI GIANPIERO EVOLA ANTONIO GAGLIANO GIUSEPPE MARGANI	Energy Procedia vol. 133 pp. 424 - 43	2017	Analisi Cost Optimal	Misure di retrofit sulla facciata interna, miglioramento dell'isolamento termico;	Edificio scolastico	inizio XX secolo	TUT
N° 20	<i>Adaptive reuse of buildings: Eco-efficiency assessment of retrofit strategies for alternative uses of an historic building</i>	CARLA RODRIGUES FAUSTO FREIRE	Journal of Cleaner Production vol. 157, 95 - 105	2017	LCC + LCA	Ristrutturazione dell'edificio; Misure di retrofit sulla facciata interna, miglioramento dell'isolamento termico;	Edificio residenziale e ufficio	inizio XX secolo	NTUT
N° 21	<i>Building retrofit addressing occupancy: an integrated cost and environmental life-cycle analysis</i>	CARLA RODRIGUES FAUSTO FREIRE	Energy and Buildings vol. 140, pp. 388 - 398	2017	LCC + LCA	Misure di retrofit sulla facciata interna, miglioramento dell'isolamento termico;	Edificio residenziale e ufficio	XIX secolo	NTUT
N° 22	<i>Feasibility analysis of retrofit strategies for the achievement of NZEB target on a historic building for tertiary use</i>	LUCA MAURI	Energy Procedia vol. 101, pp. 1127 - 1134	2016	Analisi Cost Optimal	Miglioramento dell'involucro; Sostituzione delle pompe di calore aria acqua con pompe geotermiche (sistemi AHU); Sostituzione delle lampade fluorescenti, alogene e ad incandescenza con i LED; Impianto fotovoltaico	Edificio plurifunzionale	1860	TUT
N° 23	<i>LCC assessments and environmental impacts on the energy renovation of a multi-family building from the 1890s</i>	LINN LIU PATRIK ROHDIN BAHRAM MOSHFEGH	Energy and Buildings vol. 133, pp. 823 - 833	2016	LCCA	Introduzione di una pompa di calore per il riscaldamento; Piccole sostituzioni dei materiali in facciata	Edificio residenziale	1890	TUT
N° 24	<i>Energy and economic evaluation of retrofit actions on an existing historical building in the south of Italy by using a dynamic simulation software</i>	GIOVANNI CIAMPI ANTONIO ROSATO MICHELANGELO SCORPIO SERGIO SIBILIO	Energy Procedia vol. 78, pp. 741 - 746	2015	Analisi Cost Optimal	Misure di retrofit sulla facciata interna, miglioramento dell'isolamento termico; Sostituzione degli elementi trasparenti; Sostituzione della caldaia a gasolio con una condensazione a gas naturale;	Edificio religioso	XV secolo	TUT
N° 25	<i>The cost optimal methodology for evaluating the energy retrofit of an ex-industrial building in Turin</i>	C. BECCHIO D. G. FERRANDO E. FREGONARA N. MILANI C. QUERCIA V. SERRA	Energy Procedia vol. 78, pp. 1039 - 1044	2015	Analisi Cost Optimal	Misure di retrofit per l'efficiamento energetico sulla facciata interna; Applicazione di tecnologie HVAC: pavimento radiante, pompa di calore, CMV;	Edificio industriale	1888	TUT
N° 26	<i>Life cycle cost and carbon footprint of energy efficient refurbishments to 20<sup>th</sup> century UK school buildings</i>	JAMIE BULL AKSHAY GUPTA DEJAN MUMOVIC JUDIT KIMPIAN	International Journal of Sustainable Built Environment vol. 3, pp. 1 - 17	2014	LCC + PBP + LCCF	Utilizzo degli ERM (misure di riqualificazione energetica) applicati all'involucro dell'edificio e al sistema di riscaldamento a gas;	Edificio scolastico	fine del XIX e il XX secolo	ND
N° 27	<i>Energy retrofit of an historic building in a UNESCO world heritage site: An integrated cost optimality and environmental assessment</i>	S. TADEU C. RODRIGUES A. TADEU F. FREIRE N. SIMÕES	International Conference in Energy Efficiency in Historic Buildings	2014	LCA + Analisi Cost Optimal	Misure di retrofit sulla facciata interna, miglioramento dell'isolamento termico; Sostituzione degli elementi trasparenti; Applicazione di tecnologie HVAC per il sistema di riscaldamento;	Edificio residenziale	inizio XX secolo	TUT (Patrimonio UNESCO)

N°	TITOLO	AUTORE	SEDE EDITORIALE	ANNO DI PUBBLICAZIONE	APPROCCI METODOLOGICI	INTERVENTI SELEZIONATI	DESTINAZIONE D'USO	ANNO DI COSTRUZIONE	TUTELA
N° 28	<i>Evaluation of the efficacy of traditional recovery interventions in historical buildings. A new selection methodology</i>	TIZIANA CARDINALE DOMENICO COLAPIETRO NICOLA CARDINALE FABIO FATIGUSO	Energy Procedia vol. 40, pp. 515 - 524	2013	LCA	Riqualificazione delle fondazioni;	Edificio religioso	XVI - XVIII secolo	TUT
N° 29	<i>Renovation of an UNESCO Heritage Settlement in Southern Italy: ASHP and BIPV for a "Spread Hotel" Project</i>	LAVINIA CHIARA TAGLIABUE FABRIZIO LEONFORTE JUNIA COMPOSTELLA	Energy Procedia vol. 30, pp. 1060 - 1068	2012	Analisi Cost Optimal	Ristrutturazione dell'edificio; Misure di retrofit per l'efficientamento energetico sulla facciata interna; Introduzione di pannelli fotovoltaici;	Struttura ricettiva	ND	TUT (Patrimonio UNESCO)



### 3.3 LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA DELLE PUBBLICAZIONI

In figura 3.1 è riportata una mappa con la localizzazione geografica dei 29 articoli raccolti, (pubblicati dal 2012 al 2021); gli articoli sono localizzati principalmente in Europa (79,3%); seguono Stati Uniti (6,9%); Regno Unito, Norvegia e Turchia (3,4%).

Segue un elenco sintetico dei singoli articoli, in cui vengono dichiarati il titolo, l'autore/i, la città in cui è situato il caso studio (se indicata nell'articolo) e l'anno di pubblicazione.

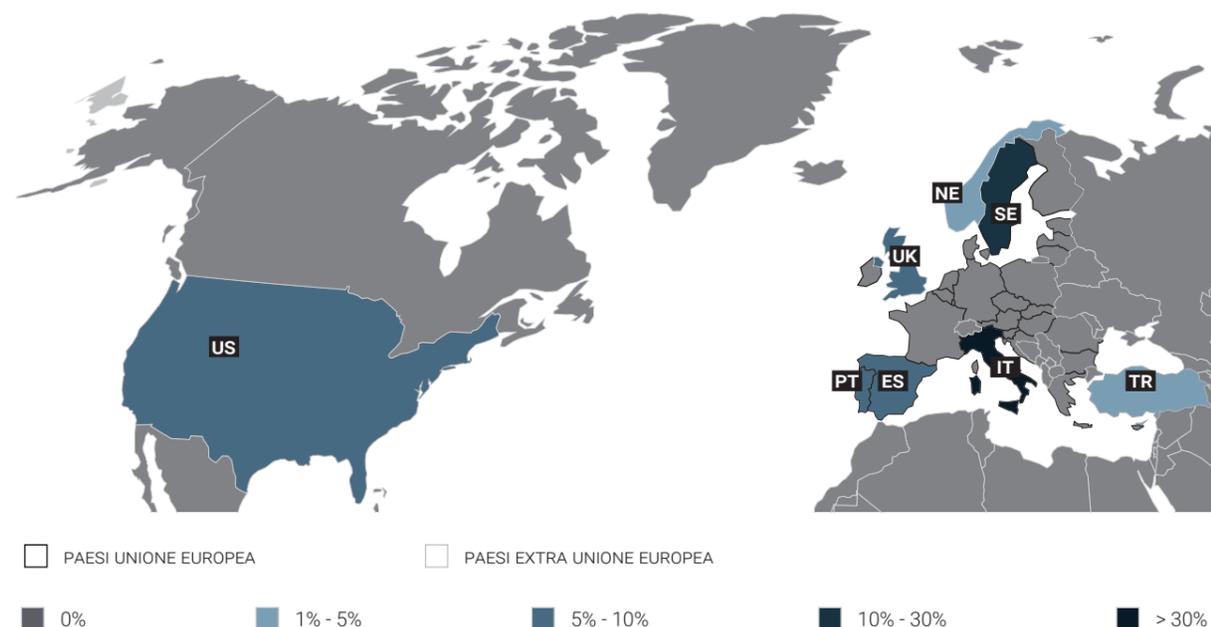


Fig. 3.1 Localizzazione geografica degli articoli (Elaborazione dell'autrice).

**UK** Life cycle cost and carbon footprint of energy efficient refurbishments to 20th century UK school buildings

Jamie Bull, Akshay Gupta, Dejan Mumovic, Judit Kim-pian

2014

**IT** Sostenibilità e interventi sul patrimonio storico

**UK** Elena Fregonara, Valeria Moretti, Monica Naretto

Italia, Regno Unito, 2018

**TR** Methodology toward Cost-Optimal and energy-efficient retrofitting of historic buildings

Hend Abdelrazek, Yiğit Yılmaz

Istanbul, 2020

**ES** Design of the refurbishment of historic buildings with a cost-optimal methodology: a

José Sánchez Ramos, Servando Álvarez Domínguez, MCarmen Pavón Moreno, MCarmen Guerrero Delgado, Laura Romero Rodríguez, José Antonio Tenorio Ríos

Cádiz, 2019

**IT** Energy and economic assessment of HVAC solutions for the armoury hall at the Palazzo Ducale in Mantua

Alessandro Miglioli, Harold Huerto-Cardenas, Fabrizio Leonforte, Niccolò Aste, Claudio Del Pero

Mantova, 2020

The "Cost Optimality" approach for the internal insulation of historic buildings

Elena Lucchi, Magdalena Tabak, Alexandra Troi

Bolzano, 2017

Cost-Optimal measures for renovation of existing school buildings towards nZEB

T. Dalla Mora, A. Righi, F. Peron, P. Romagnoni

Motta di Livenza, 2017

Evaluation of refurbishment alternatives for an Italian vernacular building considering architectural heritage, energy efficiency and costs

Becchio Cristina, Corgnati Stefano Paolo, Giorgia Spigliantini

Livorno Ferraris, 2017

Historical buildings retrofit the city hall of the city of Motta di Livenza (TV)

Alessandro Righi, Tiziano Della Mora, Fabio Peron, Piercarlo Romagnoni

Motta di Livenza, 2017

NZEB target for existing buildings: Case study of historical educational building in Mediterranean climate

Fabrizio Ascione, Rosa Francesca De Masi, Filippode Rossi, Silvia Ruggiero, Giuseppe Peter Vanoli

Napoli, 2017

Retrofitting under protection constraints according to the nearly Zero Energy Building (nZEB) target: the case of an Italian cultural heritage's school building

Simone Ferrari, Carlo Romeo

Milano, 2017

Energy efficiency, heritage conservation, and landscape integration: The case study of the San Martino Castle in Parella (Turin, Italy)

Matteo Serrainoa, Elena Lucchi

Torino, 2017

Energy renovation strategies for historical buildings: Cost-Optimal analysis for a case study in Catania (SICILY)

Simona Cirami, Gianpiero Evola, Antonio Gagliano, Giuseppe Margani

Catania, 2017

The Cost-Optimal methodology for the energy retrofit of an ex-industrial building located in Northern Italy

Cristina Becchio, Diego Giuseppe Ferrando, Elena Fregonara, Niccolò Milani, Camilla Quercia, Valentina Serra

Torino, 2016

Feasibility analysis of retrofit strategies for the achievement of nZEB target on a historic building for tertiary use

Luca Mauri

2016

Energy and economic evaluation of retrofit actions on an existing historical building in the south of Italy by using a dynamic simulation software

Giovanni Ciampi, Antonio Rosato, Michelangelo Scorpio, Sergio Sibillo

Aversa, 2015

The Cost Optimal methodology for evaluating the energy retrofit of an ex-industrial building in Turin

C. Becchio, D. G. Ferrando, E. Fregonara, N. Milani, C. Quercia, V. Serra

Torino, 2015

Evaluation of the efficacy of traditional recovery interventions in historical buildings. A new selection methodology

Tiziana Cardinale, Domenico Colapietro, Nicola Cardinale, Fabio Fatiguso

2013

Renovation of an UNESCO heritage settlement in Southern Italy: ASHP and BIPV for a "Spread Hotel" Project

Lavinia Chiara Tagliabue, Fabrizio Leonforte, Junia Compostella

Palazzolo Acreide, 2012

**US** Sustainable reuse of post-war architecture through life cycle assessment

*Lori Ferriss*

Boston, Massachusetts, 2021

**Assessing housing retrofits in historic districts in Havre Montana**

*Jaya Mukhopadhyay, Janet Ore, Kevin Amende*

Havre, Montana, 2019

**SE** Historical building renovation and PV optimisation towards NetZEB in Sweden

*Jonas Manuel Gremmelspacher, Rafael Campamà Pizarro, Matthijs van Jaarsveld*

Helsingborg, 2021

**Investigating cost-optimal refurbishment strategies for the medieval district of Visby in Sweden**

*Linn Liu, Patrik Rohdin, Bahram Moshfegh*

Visby, 2018

**LCC assessments and environmental impacts on the energy renovation of a multi-family building from the 1890s**

*Linn Liu, Patrik Rohdin, Bahram Moshfegh*

Stoccolma, 2016

**PT** Building retrofit addressing occupancy: an integrated cost and environmental life-cycle analysis

*C. Rodrigues, F. Freire*

Coimbra, 2017

**Adaptive reuse of buildings: eco-efficiency assessment of retrofit strategies for alternative uses of an historic building**

*C. Rodrigues, F. Freire*

2016

**Energy retrofit of an historic building in a unesco world heritage site: an integrated cost optimality and environmental assessment**

*S. F. Tadeu, C. Rodrigues, A. Tadeu, F. Freire, N. Simões*

Coimbra, 2014

**NE** Life cycle assessment and historic buildings: energy-efficiency refurbishment versus new construction in Norway

*Fredrik Berg, Mie Fuglseth*

2018

**UE** Conservation-compatible retrofit solutions in historic buildings: an integrated approach

*Alessia Buda, Ernst Jan de Place Hansen, Alexander Rieser, Emanuela Giancola, Valeria Natalina Pracchi, Sara Mauri, Valentina Marincioni, Gori, Kalliopi Fouseki, Cristina S. Polo López, Alessandro Lo Faro, Aitziber Egusquiza, Haas, Eleonora Leonardi, Daniel Herrera-Avellanosa*

2021

**Circular economy strategies for adaptive reuse of cultural heritage buildings to reduce environmental impacts**

*Gillian Foster*

2020

**3.4 SCHEDATURA SINTETICA DEI PRODOTTI BIBLIOGRAFICI**

In questo paragrafo, ciascuno dei 29 articoli è stato analizzato all'interno di una scheda individuale, in cui vengono riepilogati i contenuti, segnalate le metodologie sviluppate e le fonti da cui l'articolo è stato tratto. L'elaborazione grafica è stata impostata dall'autrice.

La scheda è fondamentalmente composta da due parti: la prima parte più in alto contiene le informazioni descrittive del documento; mentre la parte in basso racchiude la sintesi dei contenuti.

Per ciascuna scheda, nella parte in alto, viene riportato il titolo completo della pubblicazione, il nome/i dell'autore o degli autori, la sede editoriale da cui è stato tratto l'articolo e l'anno di pubblicazione.

Seguono le informazioni riguardante l'uso delle parole chiave utilizzate nel documento, l'approccio metodologico e gli interventi effettuati al fine dell'analisi.

Poiché gli edifici trattati sono di carattere storico, si è voluto specificare la tipologia di edificio trattato, anno di costruzione, e se l'edificio è posto sotto tutela.

*Autore:* A. Buda, E. J. De Place Hansen, A. Rieser, E. Giancola, V. N. Pracchi, S. Mauri, V. Marincioni, Gori, K. Fouseki, C. S. Polo López, A. Lo Faro, A. Egusquiza, Haas, E. Leonardi, D. Herrera-avellanosa  
*Sede editoriale:* *Sustainability* vol. 13, n° 5, pp. 1 – 19, Unione Europea  
*Anno di pubblicazione:* 2021

**PAROLE CHIAVE (da documento):** Compatible retrofit solutions; Built heritage; Energy efficiency; Sustainable preservation;  
**APPROCCI METODOLOGICI:** Analisi Cost Optimal  
**INTERVENTI EFFETTUATI:** Misure di retrofit sull'involucro dell'edificio; Aggiornamenti dei sistemi HVAC; Introduzione di pannelli fotovoltaici;  
**AMBITI / TIPOLOGIA:** ND  
**ANNO DI COSTRUZIONE:** ND  
**TUTELATO:** ND

**SINTESI DEI CONTENUTI**

Obiettivo principale dello studio è di supportare i progettisti nell'adozione di soluzioni che soddisfano sia la conservazione di tali edifici che la loro domanda energetica.

sempre il risultato di un processo decisionale multidisciplinare in cui siano coinvolti diversi stakeholder con competenze e priorità diverse.

Per il progetto è stata definita una procedura standardizzata per garantire la raccolta d'informazioni coerenti per ogni caso studio presentato, e che tutte le soluzioni incluse nella valutazione fossero conformi all'obiettivo generale del compito. La ricerca è strutturata in due sezioni principali. La prima parte introduce i principali ostacoli all'attuazione delle misure di adeguamento, esaminando il ruolo che la legislazione e la fattibilità economica, gli approcci decisionali e la compatibilità tecnica svolgono nel processo di pianificazione degli interventi. La seconda parte, presenta il metodo adottato dai membri del progetto (accademici, progettisti ma anche partner industriali e membri delle autorità del patrimonio e della pubblica amministrazione) per l'identificazione e la documentazione di soluzioni di retrofit compatibili con la conservazione. La collaborazione tra accademici e professionisti facilita la "co-creazione di conoscenza" e in questo caso garantisce una valutazione multidisciplinare delle soluzioni, poiché i soggetti coinvolti nel processo possono essere guidati da diversi valori nel processo decisionale, come: patrimonio culturale, emotivo, estetico, architettonico. Come lavoro finale viene presentato il WEBTOOL, che rappresenta un database che ha il compito di raccogliere e presentare le soluzioni trovate agli utenti finali.

I risultati mostrano che la valutazione delle possibili soluzioni rimane un compito complesso in quanto richiede una valutazione attenta degli elementi da preservare, del contesto in cui si colloca l'intervento, e degli obiettivi iniziali del progetto, in cui la riuscita rimarrà

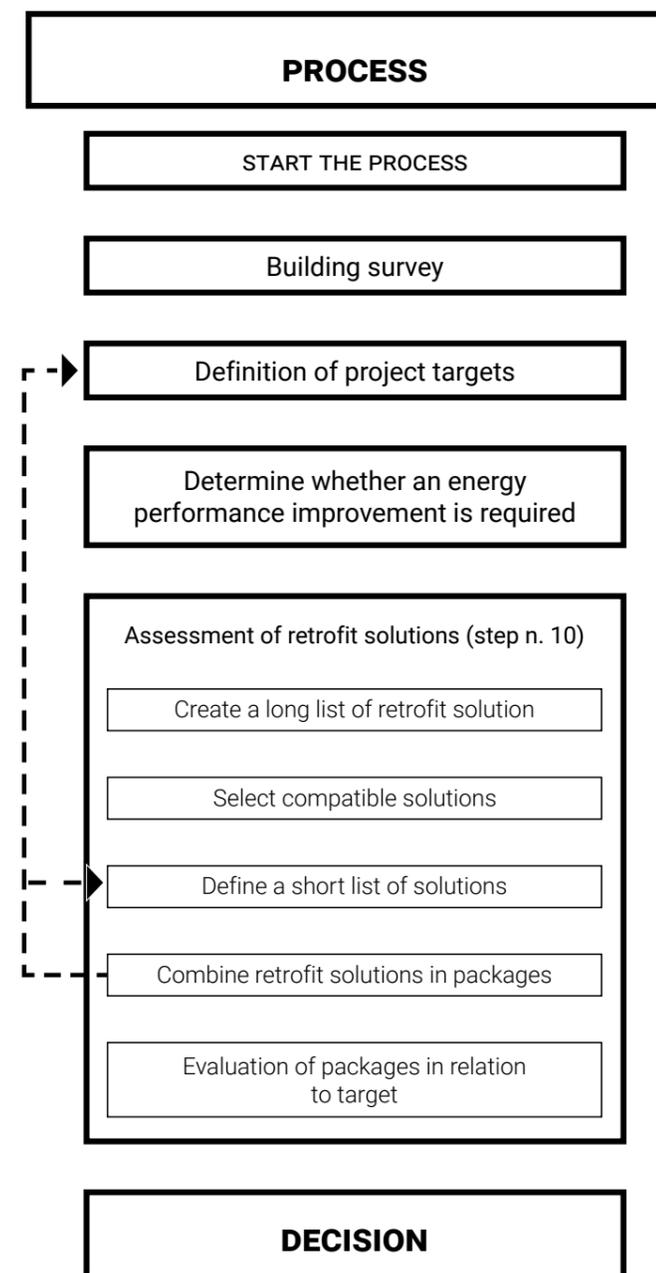


Diagramma di flusso della procedura proposta in IEA-SHC Task 59 basato sulla norma EN 168832017, pag. 8. Rielaborazione dell'autrice da: BUDA A., et al., (2021), *Conservation-compatible retrofit solutions in historic buildings: An integrated approach*, *Sustainability* 13.

Autore: Jonas Manuel Gremmelspacher, Rafael Campam`a Pizarro, Matthijs van Jaarsveld  
 Sede editoriale: Energy Procedia vol. 40, pp. 515 – 524, Svezia  
 Anno di pubblicazione: 2021

**PAROLE CHIAVE (da documento):** Historic buildings; Solar fotovoltaic; Net zero energy buildings; Life Cycle Cost; Cost effective renovation; Net Present Value;  
**APPROCCI METODOLOGICI:** LCC  
**INTERVENTI EFFETTUATI:** Pannelli fotovoltaici; Interventi di retrofit con misure di isolamento interno sul tetto e solaio; Sostituzione degli elementi trasparenti in facciata con vetri selettivi;  
**AMBITI / TIPOLOGIA:** Castello di di Kronborg, con funzione museale  
**ANNO DI COSTRUZIONE:** 1420  
**TUTELATO:** Si

**SINTESI DEI CONTENUTI**

Lo scopo di questo studio è quello di valutare una strategia per la riqualificazione energetica riguardante gli edifici storici verso ad edifici a energia zero, denominati NetZEB (Net Zero Energy Building).

Seguendo un approccio olistico gli autori hanno scelto come oggetto di studio un castello situato nella città costiera di Helsingborg, nel sud della Svezia come modello per valutare la possibilità degli edifici nordici, con caratteristiche storiche, ad essere trasformati in edifici a energia zero. La scelta è stata basata sulla necessità di avere un edificio protetto e che fornisca dati di input il più realistici possibile.

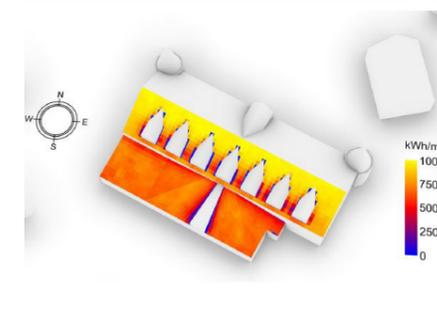
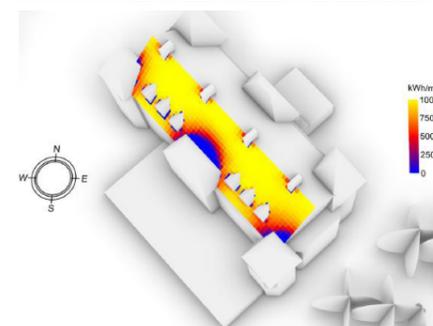
Al fine di eseguire un'operazione di retrofit su misura per ottenere risparmi energetici significativi, si è deciso di utilizzare un impianto fotovoltaico BIPV, ma l'integrazione dell'impianto fotovoltaico in un edificio storico si è dimostrata una scelta complicata e di fatto non realistica per due fattori chiave:

- I. La sensibilità storica dell'edificio;
- II. I bassi valori d'irraggiamento dovuto all'oscuramento del tetto dato dagli edifici adiacenti.

A causa di queste due limitazioni si è scelto di integrare nel paesaggio dei pannelli fotovoltaici, creando due scenari per il confronto tra l'energia primaria. I due sistemi fotovoltaici ideati sono stati preformati in maniera tale da fornire il miglior risultato in termini monetari. Ciò è stato possibile proponendo sia una profonda strategia di ristrutturazione, volta a ridurre il consumo energetico, riducendo le perdite termiche ed inserendo una strategia di riscaldamento più efficiente; sia un'illuminazione ed apparecchiature a basso consumo energetico, dato che il consumo dell'edificio dopo il retrofit è stato coperto con la produzione in loco da pannelli fotovoltaici. Per determinare la fattibilità eco-

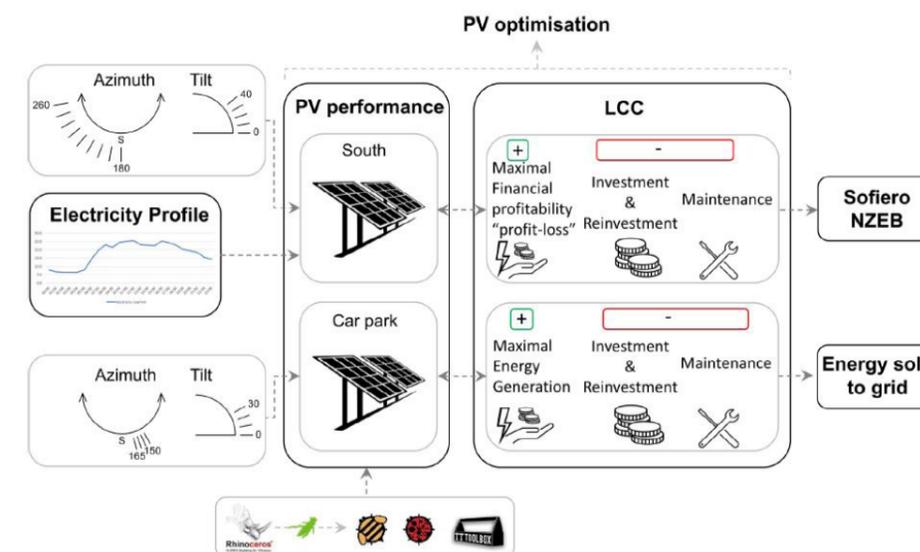
nomica del retrofit dell'edificio e l'ammortamento dei sistemi fotovoltaici in diversi scenari economici è stato utilizzato il concetto del Costo del Ciclo di Vita o LCC, utilizzando il metodo del valore attuale netto (NPV) per la creazione di nove scenari finanziari. In questo caso, i costi del ciclo di vita includono: costi di investimento iniziali, costi operativi come costi di manutenzione e costi di reinvestimento.

In conclusione, nonostante i risultati siano limitati all'oggetto di studio, l'ottimizzazione data dai pannelli fotovoltaici con il conseguente esito dello studio di fattibilità economica fornisce una struttura utile nel processo decisionale in progetti internazionali ed è considerata accettabile anche per altri edifici con caratteristiche simili.



Risultati dell'irradiazione ell'edificio laterale, pagg. 253-254.

Fonte: GREMMELESPACHER J. M., et al., (2021), *Historical building renovation and PV optimisation towards NetZEB in Sweden*, Solar Energy 223.



Mapa del flusso di lavoro per lo studio di ottimizzazione del fotovoltaico, pag. 254.

Fonte: GREMMELESPACHER J. M., et al., (2021), *Historical building renovation and PV optimisation towards NetZEB in Sweden*, Solar Energy 223.

Autore: Lori Ferriss

Sede editoriale: Journal of Architectural Conservation vol. 24, pp. 152 –167, USA

Anno di pubblicazione: 2021

**PAROLE CHIAVE (da documento):** Life-Cycle Assessment (LCA); School building; Building Retrofit; Sistemi HVAC;

**APPROCCI METODOLOGICI:** LCA

**INTERVENTI EFFETTUATI:** Misure di retrofit sull'involucro dell'edificio; Aggiornamenti dei sistemi HVAC; Sostituzione degli elementi trasparenti in facciata con vetri a doppio e triplo strato con camera d'aria;

**AMBITI / TIPOLOGIA:** Edificio scolastico

**ANNO DI COSTRUZIONE:** Seconda metà del XX secolo

**TUTELATO:** No

**SINTESI DEI CONTENUTI**

Questo studio affronta il tema della ristrutturazione di due differenti casi studio, riguardanti edifici scolastici nello stato del Massachusetts, i quali richiedono una riduzione dell'80% delle emissioni di rete entro il 2050.

Il primo caso di studio presentato qui è una residenza del MIT progettata da Josep Lluís Sert nel 1974. L'edificio di cinque piani di 10684 m², la residenza comprende una struttura in calcestruzzo, rivestita in impiallacciatura di mattoni con bordi e sbalzi di lastre di cemento a vista, le finestre mostrano sono caratteristiche dell'epoca con telai in alluminio multi-cromatico. Lo studio prende in considerazione le esigenze degli studenti, i quali, chiedevano una maggiore flessibilità delle distribuzioni interne delle zone comuni. Il restauro dell'edificio prevede il miglioramento dell'involucro, la riparazione e il rivestimento del calcestruzzo a vista e la sostituzione delle finestre in alluminio difettose con infissi a doppio vetro a taglio termico. La modellazione termica è stata eseguita durante la fase preliminare per stabilire la resistenza termica esistente (R-Value) della parete opaca e l'eliminazione dei ponti termici.

Per la valutazione dell'impatto totale del carbonio della ristrutturazione, è stata utilizzata la metodologia LCA. I risultati dell'analisi mostrano tre scenari:

- I. L'edificio esistente non ristrutturato;
- II. L'edificio esistente ristrutturato;
- III. Un edificio con materiali uguali ma realizzato secondo pratiche di costruzione contemporanee e con un'ulteriore riduzione del 15% del consumo energetico annuo.

Il secondo caso studio riguarda la Ham e MacGregor Halls (1964 - 1966), residenze studentesche situate sul bordo settentrionale del campus del Mount Holyoke College, il cui stile architettonico è caratteristica della

metà del secolo scorso. La facciata a sud si presenta austera e imponente, con ampie superficie di mattoni interrotti da aperture che forniscono luce e aria alle stanze degli studenti, mentre il lato nord di ogni edificio impiega una diversa interpretazione moderna di finestre a bovindo e balconi. L'edificio così composto presenta notevoli problematiche per gli edifici di questa era. Le finestre in acciaio a pannello singolo sono fonti scarse prestazioni termiche e le loro cattive condizioni aggravano ulteriormente i problemi di comfort termico, mentre la facciata in cemento interrotta dalle aperture esterne presenta numerosi ponti termici. Per valutare i potenziali miglioramenti dell'efficienza energetica è stato utilizzato il software "THERM", il quale ha analizzato 240 combinazioni delle misure di retrofit.

In conclusione la ricerca ha dimostrato che, sebbene gli edifici della metà del XX secolo siano percepiti come un ostacolo all'obiettivo di un ambiente a zero emissioni, non solo è possibile riutilizzarli in modo sostenibile dal punto di vista ambientale, ma il loro riutilizzo è di fatto fondamentale per il raggiungimento degli obiettivi di neutralità del carbonio.

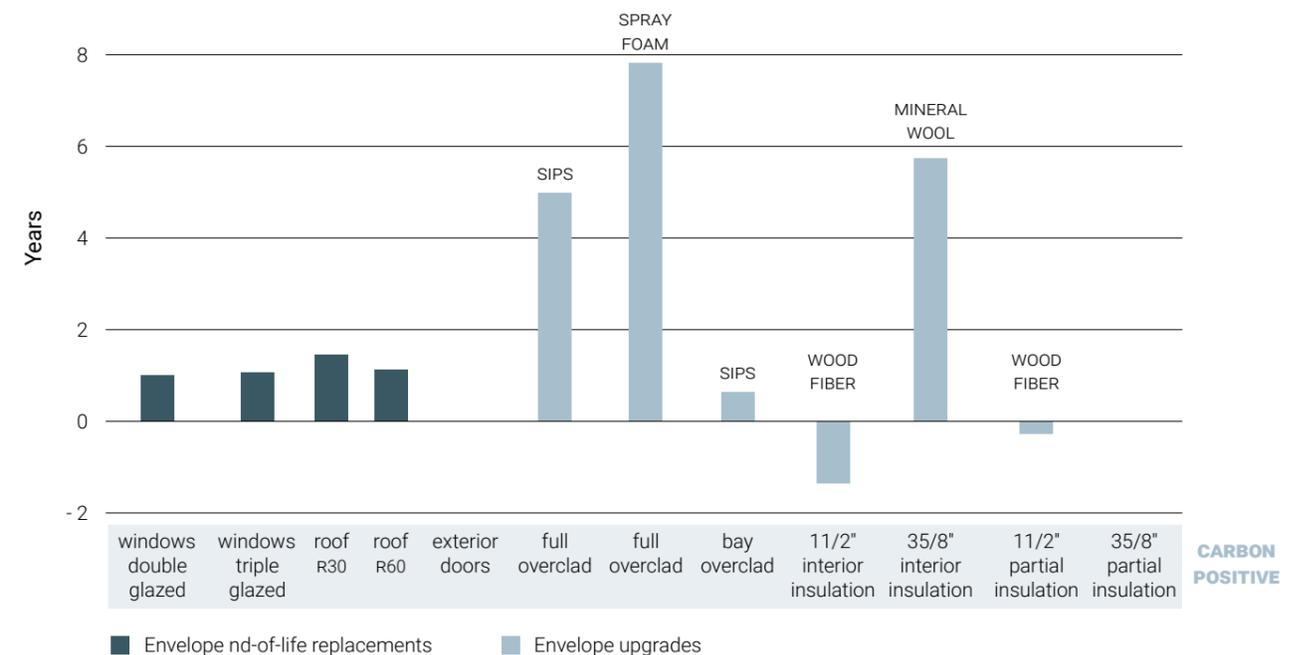


Vista sud-ovest Ham and MacGregor Halls (1970), pag. 217.  
Fonte: FERRISS L., (2021), *Sustainable reuse of post-war architecture through Life Cycle Assessment*, Journal of Architectural Conservation 24.



Vista del corridoio principale della New House prima della ristrutturazione, pag. 214.  
Fonte: FERRISS L., (2021), *Sustainable reuse of post-war architecture through Life Cycle Assessment*, Journal of Architectural Conservation 24.

**Carbon Simple Payback Period**



Analisi del Simple Payback Period del carbonio dopo gli interventi, pag. 222.

Rielaborazione dell'autrice da: FERRISS L., (2021), *Sustainable reuse of post-war architecture through Life Cycle Assessment*, Journal of Architectural Conservation 24.

Autore: Gillian Foster

Sede editoriale: *Resources, Conservation & Recycling* vol.152, pp. 1 – 14, Unione Europea

Anno di pubblicazione: 2020

**PAROLE CHIAVE (da documento):** Circular economy; Adaptive reuse; Cultural heritage; Sustainability; Urban planning; Buildings;  
**APPROCCI METODOLOGICI:** LCC  
**INTERVENTI EFFETTUATI:** ND  
**AMBITI / TIPOLOGIA:** ND  
**ANNO DI COSTRUZIONE:** ND  
**TUTELATO:** ND

**SINTESI DEI CONTENUTI**

Gli edifici che appartengono al patrimonio culturale possono essere luoghi con differenti collocazioni, luoghi di culto religioso, residenze aristocratiche/reali, luoghi di incontro della comunità, siti di produzione industriale, edifici per uffici della prima età moderna o oggetti militari. Obiettivo della ricerca è quello di cercare soluzioni sostenibili replicabili per questi edifici, che considerino le loro destinazioni d'uso e la loro unicità, nel contesto urbano.

Una soluzione possibile è un quadro completo di Circular Economy (CE) per il riutilizzo adattivo degli edifici del patrimonio culturale basato su una sintesi della letteratura accademica. La metodologia proposta, prevede quattro step:

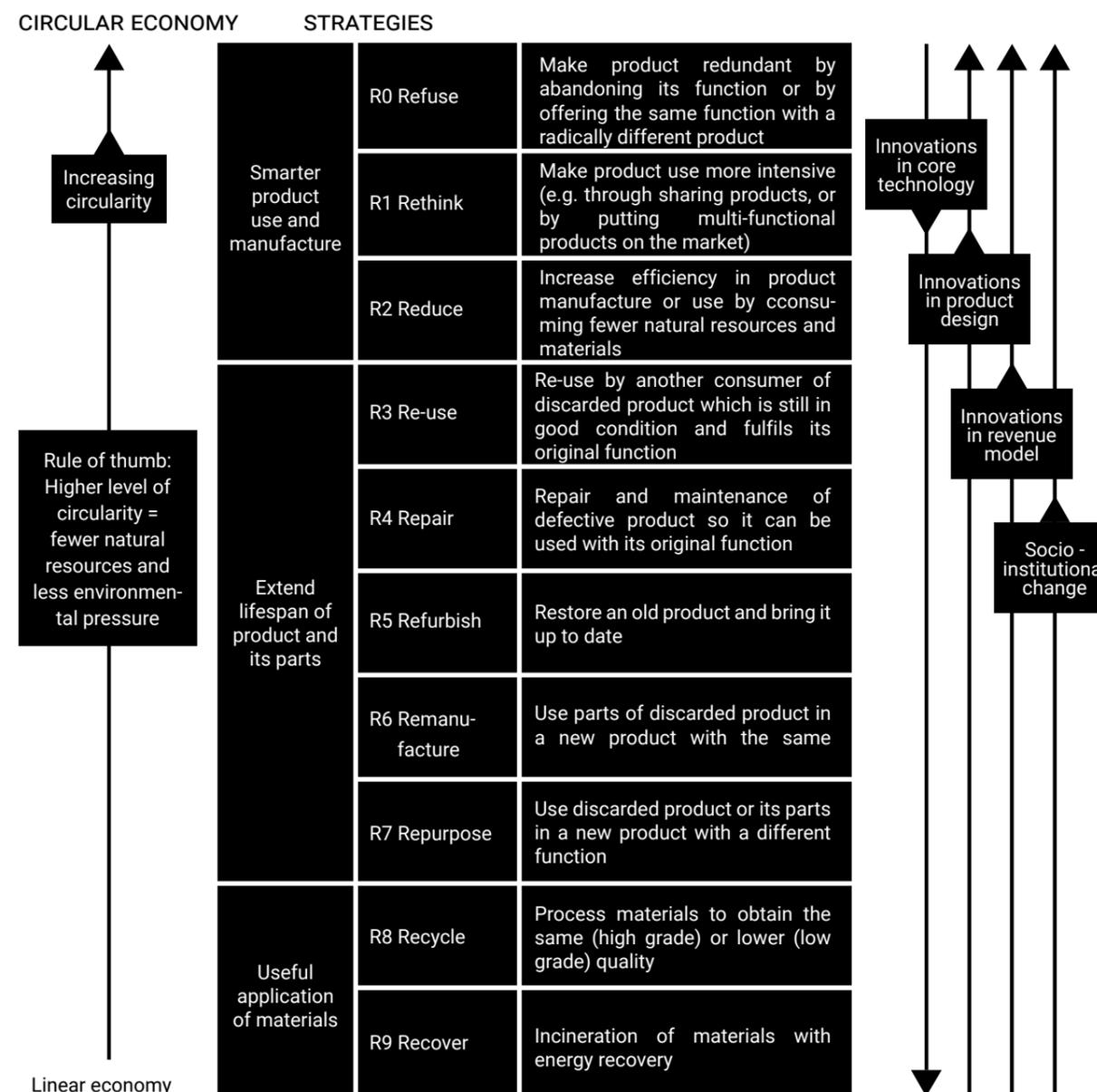
- I. Condurre una revisione della letteratura;
- II. Selezionare un quadro CE appropriato all'argomento;
- III. Definire le fasi del ciclo di vita degli edifici che meglio riflettono gli elementi del settore e i possibili interventi per realizzare un modello CE;
- IV. Sintetizzare interventi discreti dalla letteratura secondo il nuovo modello con l'obiettivo di ottenere meno risorse materiali consumate e risultati ambientali positivi in ogni fase.

La proposta degli autori è quella d'integrare metodi e tecniche, tratte dalla letteratura sull'edilizia e la costruzione, che portano ad una riduzione dell'impatto ambientale degli edifici durante il loro ciclo di vita con gli obiettivi del riuso adattivo degli edifici del patrimonio culturale. Uno strumento per il riuso adattivo del patrimonio culturale (che può includere sia edifici legalmente protetti che non protetti) è il retrofit, la riabilitazione e la riqualificazione di uno o più edifici che riflettono le mutevoli esigenze delle collettività. Le strategie di economia circolare cercano di ridurre le risorse totali estratte dall'ambiente e ridurre i rifiuti che le attività

umane generano nel perseguimento del benessere umano; ad esempio, ristrutturare e riutilizzare in modo adattivo edifici sottoutilizzati o abbandonati può rivitalizzare i quartieri ottenendo al contempo benefici ambientali.

Questa ricerca stabilisce dunque uno schema definito R0-R9, di facile comprensione, come nuovo strumento per le strategie di circolarità per gli edifici esistenti, affrontando la conservazione del patrimonio culturale e gli impatti ambientali. Professionisti del settore possono utilizzare lo schema come strumento di supporto della pianificazione e valutazione in ogni fase del ciclo di vita di un edificio, mentre soggetti esterni possono utilizzarlo per l'educazione e lo sviluppo delle politiche.

**CIRCULARITY STRATEGIES WITHIN THE PRODUCTION CHAIN, IN ORDER OF PRIORITY**



Strategie di circolarità impiegate per il riuso adattivo degli edifici del patrimonio culturale, pag. 5. Rielaborazione dell'autrice da: FOSTER G., (2020), *Circular economy strategies for adaptive reuse of cultural heritage buildings to reduce environmental impacts*, Resources, Conservation and Recycling 152.

Autore: Hend Abdelrazek, Yiğit Yılmaz

Sede editoriale: Procedia Structural Integrity vol. 29, pp. 118 – 125, Italia

Anno di pubblicazione: 2020

**PAROLE CHIAVE (da documento):** Energy efficient retrofitting; Historic buildings; LCC; Cost-optimal solution;  
**APPROCCI METODOLOGICI:** Analisi Cost Optimal + LCC  
**INTERVENTI EFFETTUATI:** Nuove tecnologie HVAC: Unità di trattamento dell'aria (AHU); Riscaldamento e raffreddamento radiante; Pompe di calore aria acqua (sistemi AHU);  
**AMBITI / TIPOLOGIA:** Edificio scolastico universitario  
**ANNO DI COSTRUZIONE:** XIII-XVIII secolo  
**TUTELATO:** Sì (Patrimonio UNESCO dal 2008)

**SINTESI DEI CONTENUTI**

Scopo dello studio è fornire una preliminare definizione tecnico-economica dell'impianto HVAC che si adatti alle caratteristiche climatiche, al profilo d'uso dell'edificio, garantendo reversibilità dell'impianto e condizioni di comfort per gli utenti, garantendo nel contempo un basso consumo energetico e un'elevata velocità di risposta alle variazioni del carico termico.

In questo contesto, il presente lavoro rappresenta la valutazione dell'impatto energetico ed economico delle diverse strategie per la creazione di un museo nell'aula dell'Armeria di Palazzo Ducale, a Mantova. Lo spazio oggetto dell'intervento di riqualificazione è l'aula dell'armeria del Palazzo del Capitano, edificato nel XIII secolo, che fa parte del complesso museale del Palazzo Ducale di Mantova. Si prevede che la sala sia utilizzata ogni giorno dalle 8.00 alle 19.00, richiedendo un condizionamento continuo, anche durante la notte, per evitare stress termici alle strutture storiche e alle opere d'arte. Il progetto di restauro della sala è stato pianificato nel 2018, per rendere questo spazio disponibile per mostre d'arte ed eventi culturali. L'analisi dei parametri climatici locali insieme alla domanda energetica simulata dell'edificio, ha permesso di definire i principali requisiti e prestazioni per il dimensionamento preliminare dell'impianto HVAC.

Lo studio descrive diverse strategie di riscaldamento/raffreddamento adottate, e la valutazione dell'impatto energetico ed economico delle tre diverse strategie attuate:

- I. Sistema ad aria;
- II. Sistema radiante ad aria primaria;
- III. Pompa di calore acqua/aria delocalizzata.

È stata effettuata un'analisi dei costi benefici per valutare l'economicità di ciascuna soluzione proposta. Il

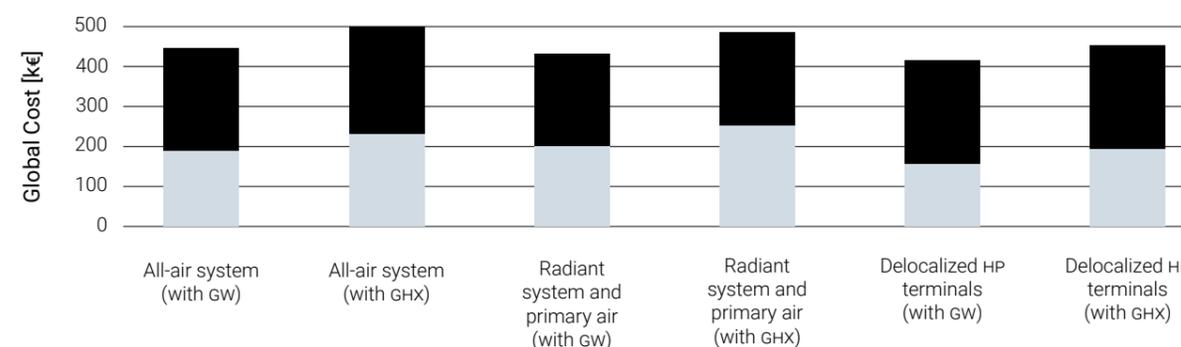
calcolo del Global Cost (GC), sulla durata di 30 anni, è stato calcolato tenendo conto del costo di investimento iniziale e dei costi operativi annuali, mediante un'analisi del valore attuale per costruire il flusso di cassa cumulato (calcolato anno per anno).

I risultati dimostrano che il sistema delocalizzato (pompa di calore acqua/aria) sia il più conveniente in termini di costo globale su un periodo di riferimento di 30 anni. Tuttavia si effettuano delle distinzioni tra i tre sistemi analizzati. Nonostante il sistema delocalizzato risulti, tra i tre, il più conveniente in termini di costo globale su un periodo di riferimento di 30 anni, il suo funzionamento produce un rumore costante ed i costi di manutenzione risultano più elevati. Al contrario, il sistema ad aria è caratterizzato da canalizzazioni e griglie invasive dal punto di vista estetico; mentre, la soluzione con sistema radiante ad aria primaria è caratterizzata da un costo globale simile a quello delle configurazioni precedenti, ma da un costo di investimento più elevato, abbinato ad un sistema di ricambio d'aria, è inoltre in grado di garantire un elevato livello di comfort, un basso effetto di stratificazione e un basso impatto acustico rispetto alle altre soluzioni. Questo fa della soluzione con pavimento radiante e ricambio d'aria primaria la più appropriata scelta per questo specifico caso di studio.



Facciata del Palazzo Ducale, pag. 120.

Fonte: ABDELRAZEK H., YILMAZ Y., (2020), *Energy and economic assessment of HVAC solutions for the armoury hall at the Palazzo Ducale in Mantua*, Procedia Structural Integrity 29..



Costo globale (diviso in in costi d'investimento e costi d'esercizio) per ogni soluzione HVAC su un periodo di calcolo di 30 anni, pag. 124. Rielaborazione dell'autrice da: ABDELRAZEK H., YILMAZ Y., (2020), *Energy and economic assessment of HVAC solutions for the armoury hall at the Palazzo Ducale in Mantua*, Procedia Structural Integrity 29..

Autore: Hend Abdelrazek, Yiğit Yılmaz

Sede editoriale: J. Archit. Eng., vol. 26 n° 4, pp. 1 – 13, Turchia

Anno di pubblicazione: 2020

**PAROLE CHIAVE (da documento):** Energy efficient retrofitting; Historic buildings; LCC; Cost-optimal solution;  
**APPROCCI METODOLOGICI:** Analisi Cost Optimal + LCC  
**INTERVENTI EFFETTUATI:** Misure di retrofit sulla facciata esterna; Illuminazione a LED; Nuove tecnologie HVAC; Utilizzo di istemi di controllo remoto;  
**AMBITI / TIPOLOGIA:** Edificio scolastico  
**ANNO DI COSTRUZIONE:** 1846  
**TUTELATO:** Sì (Patrimonio UNESCO dal 2004)

**SINTESI DEI CONTENUTI**

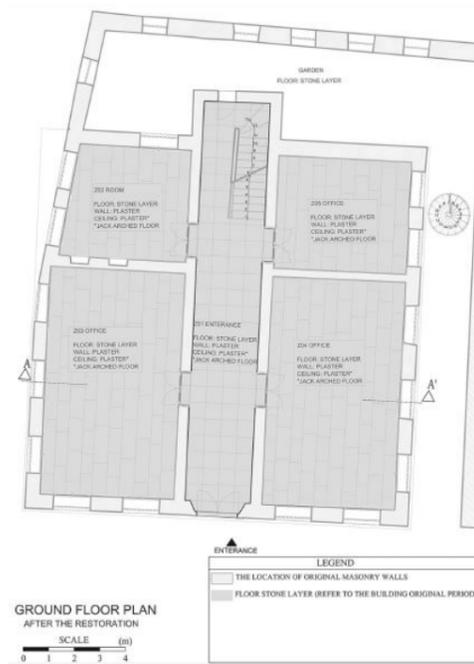
Il presente studio tenta di esaminare e valutare l'ammodernamento sostenibile di un edificio storico al fine di massimizzare l'efficienza energetica senza intaccare le sue caratteristiche storiche, considerando la variazione dei costi tra le strategie di retrofit e la riduzione dei costi in termini di consumo energetico, e valuta l'implementazione di diverse tecniche di retrofit, attive e passive, utilizzando il software energetico Design Builder.

L'edificio selezionato è la Facoltà Hasan Ali Yücel Eğitim (blocco B) appartenente al campus Beyazit dell'Università di Istanbul, il quale si trova nel quartiere Süleymaniye del distretto di Fatih, in una penisola storica dichiarata Patrimonio dell'Umanità dall'UNESCO dal 2004, e si pone come punto di riferimento in termini di consumo energetico e rappresenta una linea di base per confrontare diverse alternative tramite simulazioni basate su computer. L'edificio ha una superficie totale di 892,64 m<sup>2</sup>, è costituito da un piano interrato e quattro piani superiori che ospitano gli uffici degli istruttori e un'aula e si collega al suo edificio gemello (blocco A) al secondo piano della facciata est tramite un ponte di passaggio con una porta separata. Ogni piano dell'edificio è suddiviso in cinque zone condizionate, ad eccezione del solaio del tetto, che ha tre zone. La temperatura dell'aria in queste zone condizionate è pressoché uniforme.

La metodologia LCC utilizzata è stata convalidata per la sua capacità di fornire un'opzione per un intervento efficiente dal punto di vista energetico e conveniente per il ripristino energetico degli edifici storici, preservandone l'integrità storica dell'edificio, rilevandosi uno strumento di supporto decisionale altamente efficace per progettisti e responsabili delle decisioni nel campo

della costruzione e ristrutturazione di edifici storici. L'esecuzione di 82 scenari di retrofitting, eseguiti tramite il calcolo del Life Cycle Cost, ha permesso di individuare il miglior tipo di intervento in termini di costi benefici senza però intaccare la componente storica che caratterizza l'edificio. L'intera simulazione energetica dell'edificio è stata calcolata tenendo in considerazione un periodo di simulazione medio di un anno, sulla base dei dati meteorologici di Istanbul. Il metodo di lavoro si è basato sulla simulazione completa dell'edificio, andando a raccogliere i dettagli relativi alle proprietà architettoniche, alle proprietà dei sistemi attivi e ai programmi di occupazione e funzionamento, al fine di elaborare una soluzione di rigenerazione architettonica dell'edificio senza andare a annullare la sua caratteristica tipologia costruttiva. Le strategie di retrofit implementate sono state successivamente valutate in termini di Life Cycle Cost (LCC), con l'obiettivo di determinare la soluzione più conveniente ed efficiente dal punto di vista energetico, i quali miglioramenti, nel consumo di energia, possono servire come modello per i prossimi progetti di retrofit storico che prendono in considerazione sia la fattibilità economica che le qualità degli edifici storici.

Questo studio ha dimostrato la capacità di applicare la metodologia suggerita per l'ammodernamento di un edificio storico con 82 diverse alternative, confrontandole in termini di consumo di energia primaria e delineando lo scenario ottimale in termini di costi. Inoltre la metodologia sviluppata in questa ricerca si è dimostrata abbastanza vantaggiosa rispetto a quelle esistenti in letteratura.

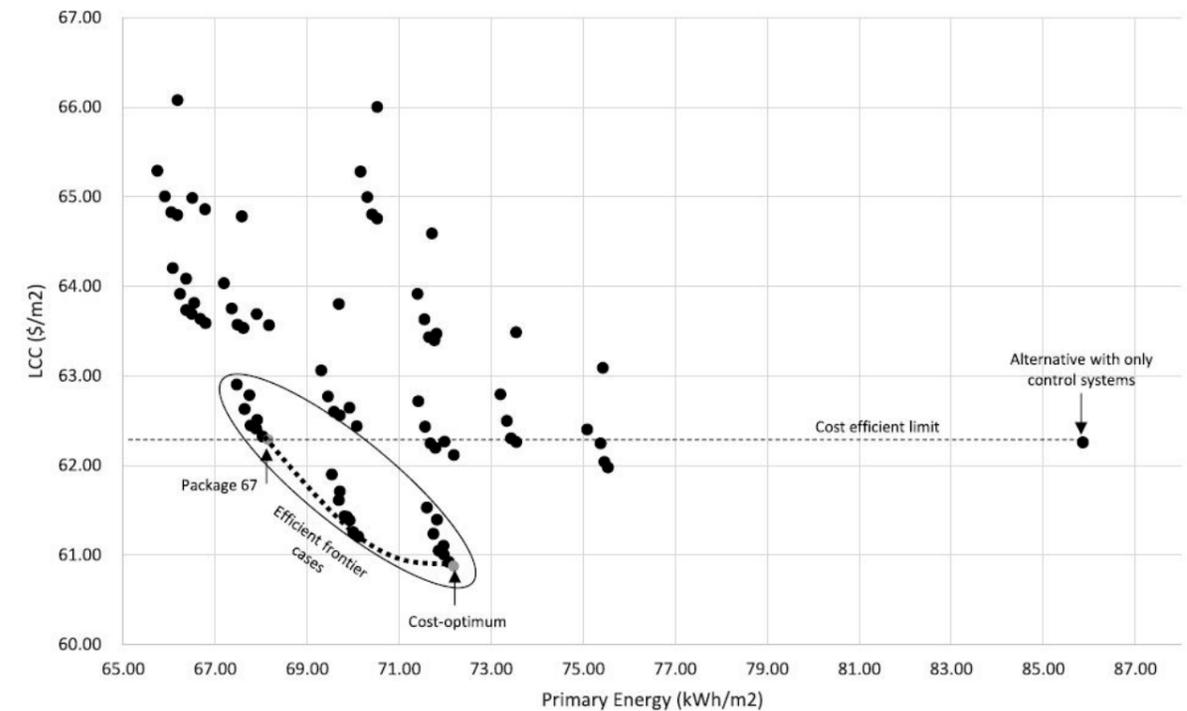


Pianta dopo gli interventi di retrofit, pag. 5.  
 Fonte: ABDELRAZEK H., YILMAZ Y., (2020), *Methodology toward Cost-Optimal and energy-efficient retrofitting of historic buildings*, Journal of Architectural Engineering 26.

**Table 5.** Economic parameters for LCC calculation

Parameter	Unit	Value
Duration of the calculation (T)	years	30
Inflation rate (R <sub>i</sub> )	%	8.945129628
Market interest rate (R)	%	12.75833333
Nominal price escalation on electricity (R <sub>E electricity</sub> )	%	10.32905296
Nominal price escalation on natural gas (R <sub>E gas</sub> )	%	7.957048172
Unit price for electricity	\$/kW · h	0.096283469
Unit price for natural gas	\$/kW · h	0.022892151

Tabella parametri per l'analisi LCC, pag. 9.  
 Fonte: ABDELRAZEK H., YILMAZ Y., (2020), *Methodology toward Cost-Optimal and energy-efficient retrofitting of historic buildings*, Journal of Architectural Engineering 26.



Soluzioni Cost Optimal, pag. 11.  
 Rielaborazione dell'autrice da: ABDELRAZEK H., YILMAZ Y., (2020), *Methodology toward Cost-Optimal and energy-efficient retrofitting of historic buildings*, Journal of Architectural Engineering 26.

Autore: José Sánchez Ramos, Servando Álvarez Domínguez, MCarmen Pavón Moreno, MCarmen Guerrero Delgado, Laura Romero Rodríguez, José Antonio Tenorio Ríos  
 Sede editoriale: Applied Sciences vol. 9, pp. 1 – 20, Spagna  
 Anno di pubblicazione: 2019

**PAROLE CHIAVE (da documento):** Near zero energy building; Life cycle cost; Rehabilitation interventions; Night ventilation; Passive cooling;  
**APPROCCI METODOLOGICI:** LCC + LCA  
**INTERVENTI EFFETTUATI:** Misure di retrofit sull'involucro esterno; Sostituzione degli elementi trasparenti in facciata con vetri a doppio strato con camera d'aria;  
**AMBITI / TIPOLOGIA:** Edificio religioso  
**ANNO DI COSTRUZIONE:** XVIII secolo  
**TUTELATO:** Sì

**SINTESI DEI CONTENUTI**

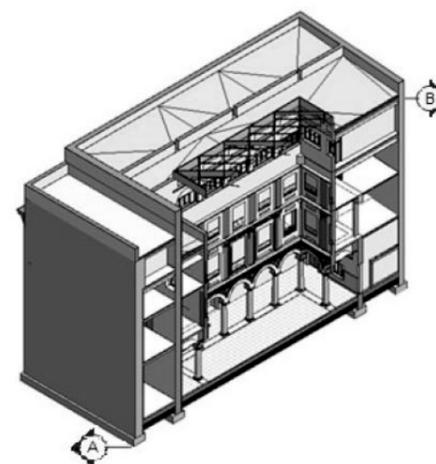
In questo studio gli autori vogliono sviluppare una Road Map che consenta la riqualificazione di un edificio storico e di trasformandolo in un edificio simbolo, da utilizzare in un prossimo futuro come museo. Si è scelto un edificio situato nel centro storico di Cadice, noto come l'Istituto Rosario, circondato da altri edifici di analogo valore storico e culturale. Il caso di studio è un edificio del XVIII secolo situato nel centro storico di Cadice, conosciuto come l'Istituto Rosario, circondato da altri edifici con un simile valore storico e culturale.

Durante gran parte della sua storia, l'edificio apparteneva alla Chiesa Cattolica come convento precedentemente conosciuto come "Sant'Agostino". Fu ristrutturato per l'ultima volta nel 1995, cambiando la sua classificazione in un edificio terziario. L'edificio ha quattro piani con un patio interno rettangolare, costituendo una superficie totale costruita di 2500 m<sup>2</sup>. L'edificio consiste di quattro piani con un cortile interno; le facciate (incluse sia quelle verso l'esterno che quelle verso il cortile interno) sono costituite da pietra naturale ricoperta di malta e rifinita con vernice, porte e le finestre sono in legno con vetro semplice; infine il tetto piano non presenta alcun isolamento termico.

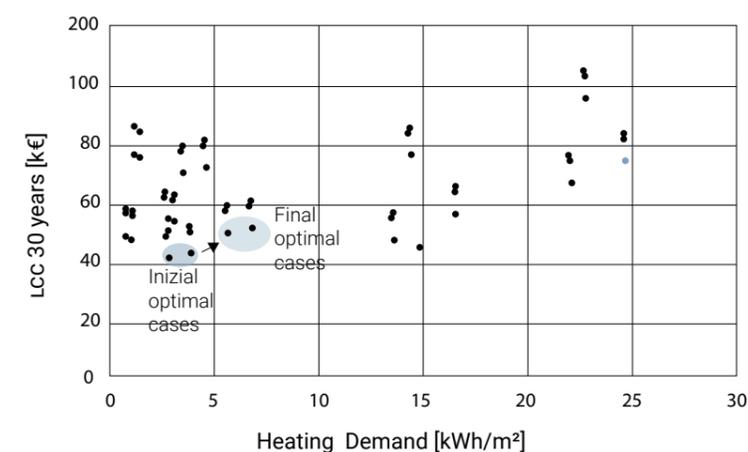
La procedura di lavoro è stata basata su modelli 3D che utilizzano il software REVIT e simulazioni energetiche dettagliate, supportate da una metodologia ottimale in termini di costi. La scelta di effettuare simulazioni con strumenti su misura ha permesso di studiare nel dettaglio le misure di risparmio energetico, anche se la procedura richiede elevate spese e ore di lavoro per preparare i casi e comporta la necessità di adattare o sviluppare complessi metodi di ottimizzazione multi variabile per indirizzare la ricerca del progetto ottimale. Gli autori propongono sei fasi, ciascuna con una serie di

azioni chiave di lavoro, che sono svolte nel corso degli interventi di riabilitazione energetica, avvalendosi della metodologia di calcolo Life Cycle Cost (LCC) e Life Cycle Assessment (LCA), fino ad arrivare all'ultimo step che determina la soluzione NetZEB ottimale.

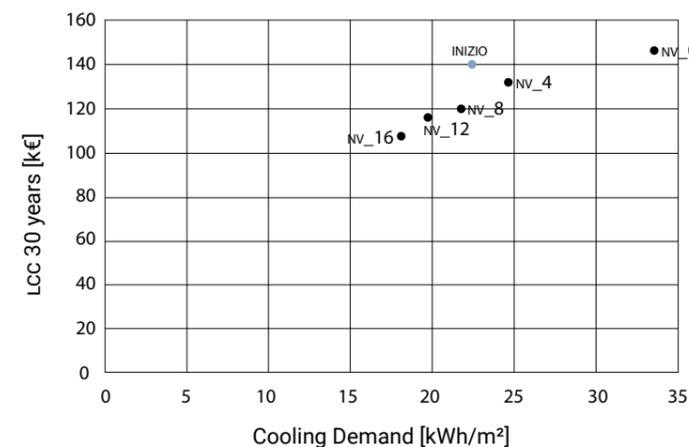
I risultati rivelano come le metodologie convenzionali mostrate in letteratura possono migliorare le prestazioni energetiche degli edifici durante il regime di riscaldamento, ma durante le stagioni di raffreddamento le prestazioni sono andate incontro ad un peggioramento. Per tale motivo si è inclusa la progettazione di un sistema di ventilazione notturna che permetta non solo di risolvere il problema, ma anche di ridurre le richieste di raffreddamento di oltre il 43% con pochi costi aggiuntivi. Lo studio dimostra che è possibile adottare tale procedura in molti tipi di edifici simili, inoltre, grazie ai risultati della ricerca è stato possibile ideare un progetto di riabilitazione ottimale che prevede il recupero dell'edificio storico.



Sezione 3D dell'edificio, pag. 6.  
 Fonte: RAMOS J. S., et al., (2019), *Design of the refurbishment of historic buildings with a cost-optimal methodology: A case study*, Applied Sciences 9.



Life Cycle Cost risultati della richiesta di riscaldamento, pag. 11.  
 Rielaborazione dell'autrice da: RAMOS J. S., et al., (2019), *Design of the refurbishment of historic buildings with a cost-optimal methodology: A case study*, Applied Sciences 9.



Costi aggiuntivi associati ai miglioramenti proposti, pag. 16.  
 Rielaborazione dell'autrice da: RAMOS J. S., et al., (2019), *Design of the refurbishment of historic buildings with a cost-optimal methodology: A case study*, Applied Sciences 9.

# N° 8 "ASSESSING HOUSING RETROFITS IN HISTORIC DISTRICTS IN HAVRE MONTANA"

Autore: Jaya Mukhopadhyay, Janet Ore, Kevin Amende  
 Sede editoriale: Energy Reports vol. 5, pp. 489 – 500, Stati Uniti  
 Anno di pubblicazione: 2019

**PAROLE CHIAVE (da documento):** Energy efficiency; Residential buildings; Energy codes; Historical buildings  
**APPROCCI METODOLOGICI:** LCC  
**INTERVENTI EFFETTUATI:** Misure di retrofit sull'involucro dell'edificio; Sostituzione degli elementi vetrati;  
**AMBITI / TIPOLOGIA:** Edificio residenziale  
**ANNO DI COSTRUZIONE:** 1913 -1919  
**TUTELATO:** No

### SINTESI DEI CONTENUTI

Questo studio affronta il tema della ristrutturazione degli edifici storici (residenziali unifamiliari) nei quartieri storici con misure di efficienza energetica conformi alla versione 2012 dell'International Energy Conservation Code (IECC), concentrandosi sulle Kit Home di Sears, costruite nei primi anni del 1900 nel quartiere storico di Havre, nello stato del Montana, lungo lo storico percorso della Great Northern Railway. Sebbene lo State Historic Preservation Office (SHPO) fornisce una serie completa di raccomandazioni, standard e linee guida per la conservazione storica degli edifici, questi non affrontano il problema della riduzione del consumo di energia e sui relativi ammortamenti, nonché sulla riduzione delle emissioni di carbonio.

La volontà di attuare misure di retrofit permette di preservare i quartieri storici e contribuire a sua volta alla riduzione del consumo energetico e delle emissioni di carbonio del patrimonio edilizio residenziale storico negli Stati Uniti. Conducendo simulazioni energetiche dell'intero edificio, si valuta l'impatto dell'implementazione di ciascuna misura in termini di risparmio energetico, riduzione delle emissioni di carbonio e conseguenti ammortamenti, inoltre, le misure selezionate sono state raggruppate in vari scenari di interventi e valutati. La combinazione di tutte le misure adottate, oltre a dimostrare un forte ritorno economico nel tempo, ha fornito un risparmio energetico dell'81% in un periodo di ammortamento di 4-8 anni.

Lo studio valuta l'attuazione delle singole misure e combina queste misure per conformarsi all'attuale codice energetico nello Stato del Montana. Nel fornire questa valutazione il documento presenta un caso studio, sviluppato da un progetto studentesco presso la School of Architecture, Montana State University, i

quali hanno creato un modello di simulazione di base dell'edificio residenziale, che rifletteva le condizioni attuali delle dimore storiche. Successivamente, l'analisi ha preso in considerazione una serie di misure di retrofit ed ha valutato l'impatto delle riduzioni delle emissioni di carbonio e sui periodi di ammortamento di ciascuna. Queste misure sono state dapprima simulate individualmente, per poi essere combinate in diversi gruppi, e confrontate ad un caso tipo.

Durante l'analisi condotta si è riscontrato come i lavori devono essere pianificati attentamente onde evitare alterazioni inopportune delle caratteristiche architettoniche dell'immobile. Basti pensare alla facciata che è solitamente caratterizzata da uno stile preciso e dal quale il proprietario desidera mantenere il valore estetico e quindi storico dell'esterno della residenza. Questo, ovviamente, va a presentare una sfida per la selezione e l'installazione di adeguate misure di retrofit energetico. In conclusione lo studio va a proporre misure di retrofit comunemente usate per procedere alla ristrutturazione di edifici storici. Questi includono: riduzione delle infiltrazioni, miglioramento dell'efficienza dei sistemi di riscaldamento e raffreddamento, installazione di apparecchi e apparecchi di illuminazione efficienti, installazione di isolamento e aggiunta di dispositivi di schermatura.

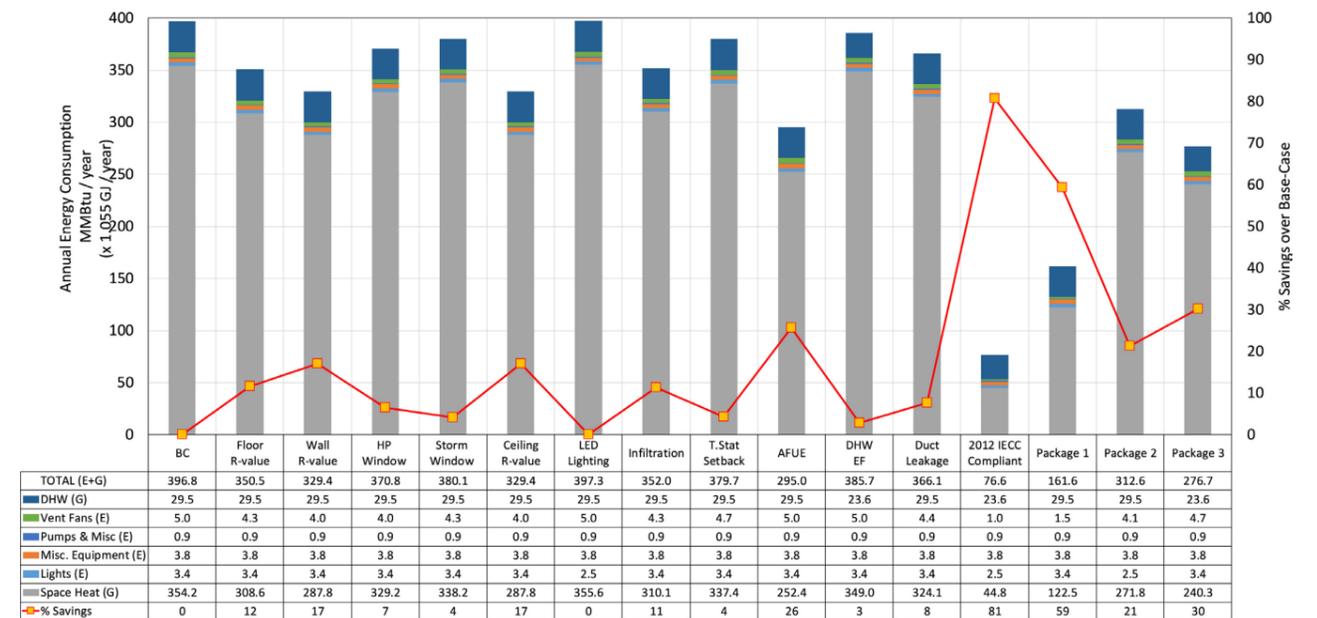


A) Sears catalogue



B) Pthograph of a tyèpical entrance porch to the Sears kit home

Il modello "Fullerton" del catalogo Sears utilizzato come prototipo per sviluppare il modello di simulazione del caso base, pag. 493.  
 Fonte: MUKHOPADHYAY J., ORE J., AMENDE K., (2019), *Assessing housing retrofits in historic districts in Havre Montana*, Energy Reports 5.



Energy consumption results of the individual test cases and 2012 IECC compliant case (MMBtu/year, X 1.055 GJ/year), pag. 494.  
 Fonte: MUKHOPADHYAY J., ORE J., AMENDE K., (2019), *Assessing housing retrofits in historic districts in Havre Montana*, Energy Reports 5.

Autore: Elena Fregonara, Valeria Moretti, Monica Naretto  
 Sede editoriale: Territorio vol. 86, pp. 146 – 156, Italia e Regno Unito  
 Anno di pubblicazione: 2018

**PAROLE CHIAVE (da documento):** Economic sustainability; Energy policies; Refurbishment of historical heritage  
**APPROCCI METODOLOGICI:** Analisi Cost Optimal  
**INTERVENTI EFFETTUATI:** ND  
**AMBITI / TIPOLOGIA:** ND  
**ANNO DI COSTRUZIONE:** ND  
**TUTELATO:** ND

**SINTESI DEI CONTENUTI**

La presente pubblicazione, redatta in tre fasi, è il risultato di un'attenta riflessione su tale tema.

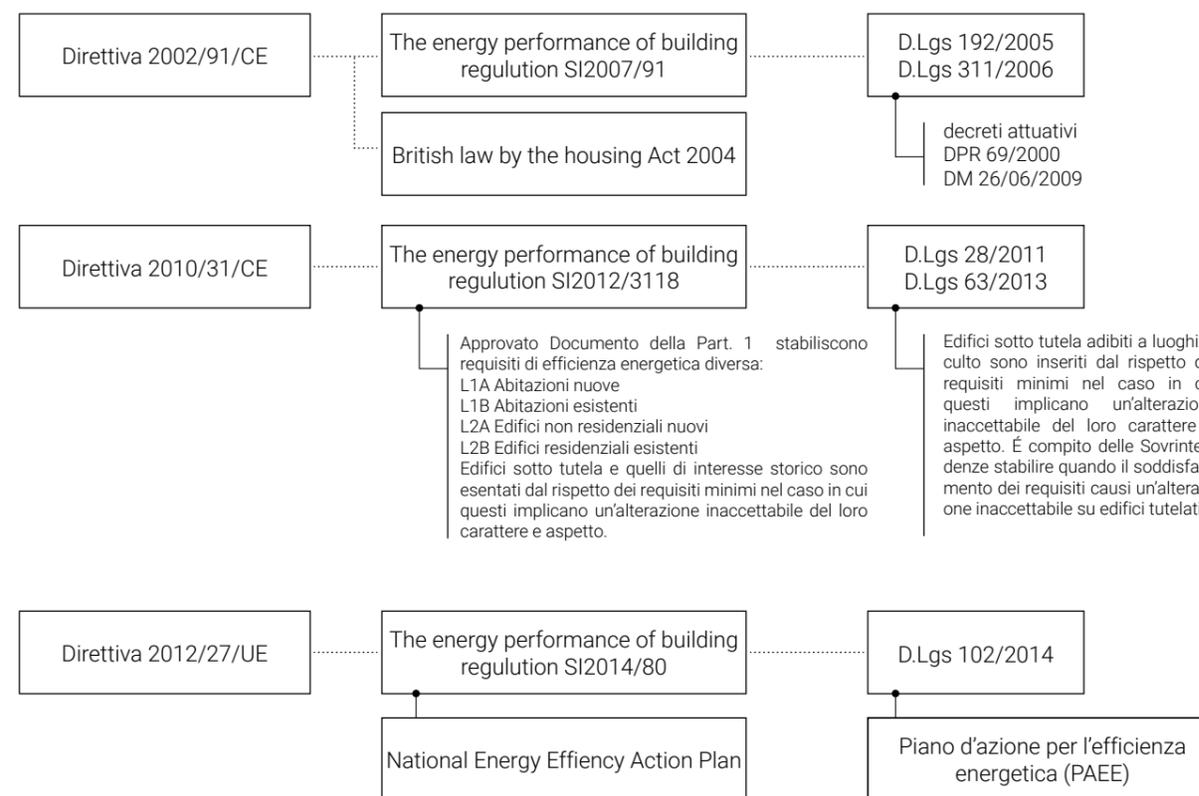
La prima fase, orientata alla conoscenza, si pone l'obiettivo di individuare all'interno delle pubblicazioni emesse dagli enti di ricerca internazionali, possibili soluzioni applicabili alle normative nazionali italiane in tema di sostenibilità. La ricerca si concentra nell'esaminare i documenti e regole che disciplinano la materia della sostenibilità energetica degli edifici storici. Assodato che la performance globale dell'edificio include la performance economica, la ricerca propone di restituire una metodologia omogeneizzata delle 'soluzioni costo-ottimali' su scala europea.

Nella seconda parte si richiamano i casi dell'Italia e del Regno Unito, scelti per la conoscenza che tali stati hanno del proprio patrimonio nazionale, di strumenti operativi di ordine economico-valutativo all'interno delle norme stesse, e per la quantità di studi sul dibattito tra sostenibilità e conservazione.

Nella terza parte vengono confrontati i contesti legislativi, geografici e culturali italiano e anglosassone, diversamente reattivi sulla tematica delle normative europee nell'ambito della riqualificazione energetica riguardante gli edifici di valenza storica. Il quadro normativo nel quale, Italia e Regno Unito, operano dimostra un alto grado di complessità, dato sia dalle relazioni delle diverse discipline che intercorrono nelle differenti scale d'intervento, sia dalla realtà culturale nelle quali si trovano. Nonostante infatti i due paesi fossero all'interno dell'Unione Europea (il Regno Unito è uscito definitivamente dall'UE il 31 gennaio 2020), recepissero entrambe le Direttive Europee e avessero redatto loro stesse il loro piano d'azione per promuovere incentivi

e interventi di efficientamento energetico del costruito, la posizione di avanguardia inglese sulla tematica rispetto alla situazione italiana risulta molto diversa. Di fatti dal saggio risulta che la rifunzionalizzazione del patrimonio sia una pratica molto più diffusa nel Regno Unito che in Italia. Nel Regno Unito, al contrario del contesto italiano, si è intrapresa negli ultimi anni una profonda revisione sul tema della sostenibilità che ha portato alla politica di pianificazione territoriale con il National Planning Policy Framework e delle Planning Policy Guides del 2012.

A conclusione i lavori per il raggiungimento degli obiettivi dalle agende politiche per la sostenibilità - economica, energetica, ambientale- dimostrano che occorre intervenire con speciale attenzione sul patrimonio storico esistente. Ciò, inevitabilmente, comporta interventi di retrofit complessi e con impatti economico-finanziari rilevanti, i quali si dimostrano solo parzialmente realizzabili per via dell'enorme complessità riscontrata nella normativa europea.



Schema comparativo del recepimento delle Direttive europee sulla sostenibilità in ambito inglese e italiano, tratta dall'elaborazione di V. Moretti, pag 151.  
 Rielaborazione dell'autrice da: FREGONARA E., MORETTI V., NARETTO M., (2018), *Sostenibilità e interventi sul patrimonio storico: Approcci a confronto*, Territorio 86.

“LIFE CYCLE ASSESSMENT AND HISTORIC BUILDINGS: ENERGY-EFFICIENCY REFURBISHMENT VERSUS NEW CONSTRUCTION IN NORWAY”

Autore: Elena Fredrik Berg, Mie Fuglseth  
 Sede editoriale: Journal of Architectural Conservation vol. 24, n° 2, pp. 152 – 167, Norvegia  
 Anno di pubblicazione: 2018

**PAROLE CHIAVE (da documento):** Historical buildings; Heritage buildings; Energy efficiency; Renewable energies; Solar energy; Geothermal energy; Heat pumps;  
**APPROCCI METODOLOGICI:** LCA  
**INTERVENTI EFFETTUATI:** Misure di retrofit sull'involucro esterno e interno;  
**AMBITI / TIPOLOGIA:** Edificio residenziale  
**ANNO DI COSTRUZIONE:** 1936  
**TUTELATO:** Si

**SINTESI DEI CONTENUTI**

L'obiettivo di questo articolo è spiegare i vantaggi e gli svantaggi ambientali generali rappresentati dalla ristrutturazione e dall'uso continuato di edifici storici nella transizione verso una società a basse emissioni, affrontando la differenza di edifici moderni e storici.

Loggetto di studi è la ristrutturazione di un edificio degli anni '30 (Villa Dammen) andando ad utilizzare lo strumento del Life Cycle Assessment (considerando l'impatto ambientale causato durante tutto il ciclo di vita dell'edificio, e non solo nella fase operativa), con la costruzione di un nuovo edificio in conformità con i codici edilizi moderni, per utilizzare i risultati per fare luce sull'impatto del comportamento degli utenti sul consumo di energia e sulle emissioni.

L'analisi LCA è stata commissionata dalla Direzione norvegese per i beni culturali, con l'obiettivo di misurare il beneficio ambientale netto della ristrutturazione di una dimora storica, Villa Dammen a Moss, Norvegia, tenendo conto sia dell'uso di energia che del consumo di materiali in un ciclo di vita prospettiva. Lo studio è stato condotto come valutazione comparativa, in cui l'edificio ristrutturato è stato confrontato con uno scenario senza lavori di ristrutturazione e un altro scenario in cui l'edificio esistente è stato demolito e sostituito da una nuova casa conforme agli attuali requisiti di efficienza energetica norvegese (TEK10). Inoltre, la ricerca ha esplorato come le diverse ipotesi per la stima dell'uso di energia nella fase operativa, nonché per il calcolo delle emissioni di gas a effetto serra dall'uso di energia, influenzino i risultati. L'impatto del comportamento degli utenti sull'uso dell'energia e sulle emissioni è stato valutato esaminando le conseguenze dell'inclusione di diverse ipotesi per la suddivisione in zone della temperatura (ossia l'adeguamento della temperatura all'uso

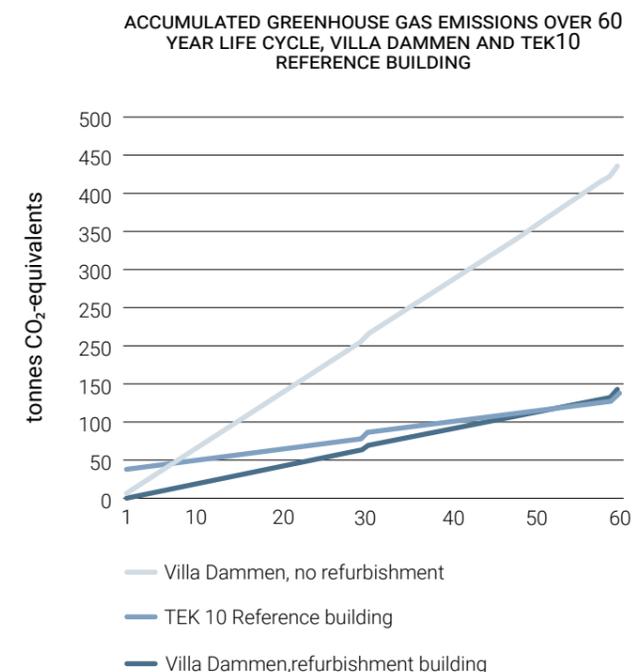
previsto in stanze diverse).

I risultati sono stati confrontati anche con l'effettivo consumo energetico misurato a Villa Dammen dopo la ristrutturazione. I risultati mostrano che la ristrutturazione di Villa Dammen provoca una riduzione delle emissioni totali di GHG in 60 anni di circa 295 tonnellate CO<sub>2</sub>, pari a una riduzione del 67%, rispetto allo scenario senza ristrutturazione.

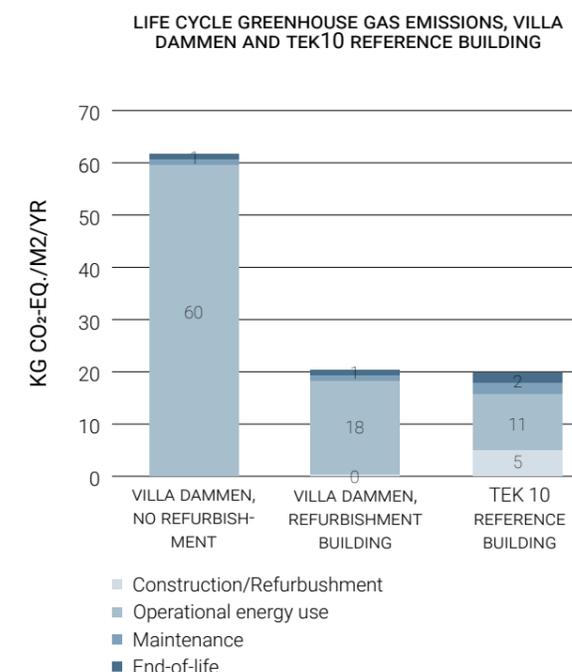


Villa Dammen, pag. 158.

Fonte: BERG E. F., FUGLSETH M., (2018), Life cycle assessment and historic buildings: Energy-efficiency refurbishment versus new construction in Norway, Journal of Architectural Conservation 24.



Emissioni accumulate di GHG in un ciclo di vita di 60 anni per Villa Dammen con e senza ristrutturazione e per scenario con nuova costruzione, pag. 159.  
 Rielaborazione dell'autrice da: BERG E. F., FUGLSETH M., (2018), Life cycle assessment and historic buildings: Energy-efficiency refurbishment versus new construction in Norway, Journal of Architectural Conservation 24.



Emissioni di GHG relative alla produzione, esercizio e manutenzione e fine vita per Villa Dammen con e senza ristrutturazione, e per lo scenario con nuova costruzione, per m<sup>2</sup> di area coperta riscaldata all'anno, in un ciclo di vita di 60 anni, pag. 160.  
 Rielaborazione dell'autrice da: BERG E. F., FUGLSETH M., (2018), Life cycle assessment and historic buildings: Energy-efficiency refurbishment versus new construction in Norway, Journal of Architectural Conservation 24.

Autore: Linn Liu, Patrik Rohdin, Bahram Moshfegh  
 Sede editoriale: Energy and Buildings vol. 158, pp. 750 – 760, Svezia  
 Anno di pubblicazione: 2018

**PAROLE CHIAVE (da documento):** LCC optimization; Refurbishment; Medieval district; Cost-optimal energy efficiency potential; Stone/wood buildings; Bottom-up methodology; Energy efficiency measures package;  
**APPROCCI METODOLOGICI:** LCC  
**INTERVENTI EFFETTUATI:** Sostituzione delle pompe di calore aria acqua (sistemi AHU);  
**AMBITI / TIPOLOGIA:** Edificio residenziale  
**ANNO DI COSTRUZIONE:** 1810  
**TUTELATO:** Sì

**SINTESI DEI CONTENUTI**

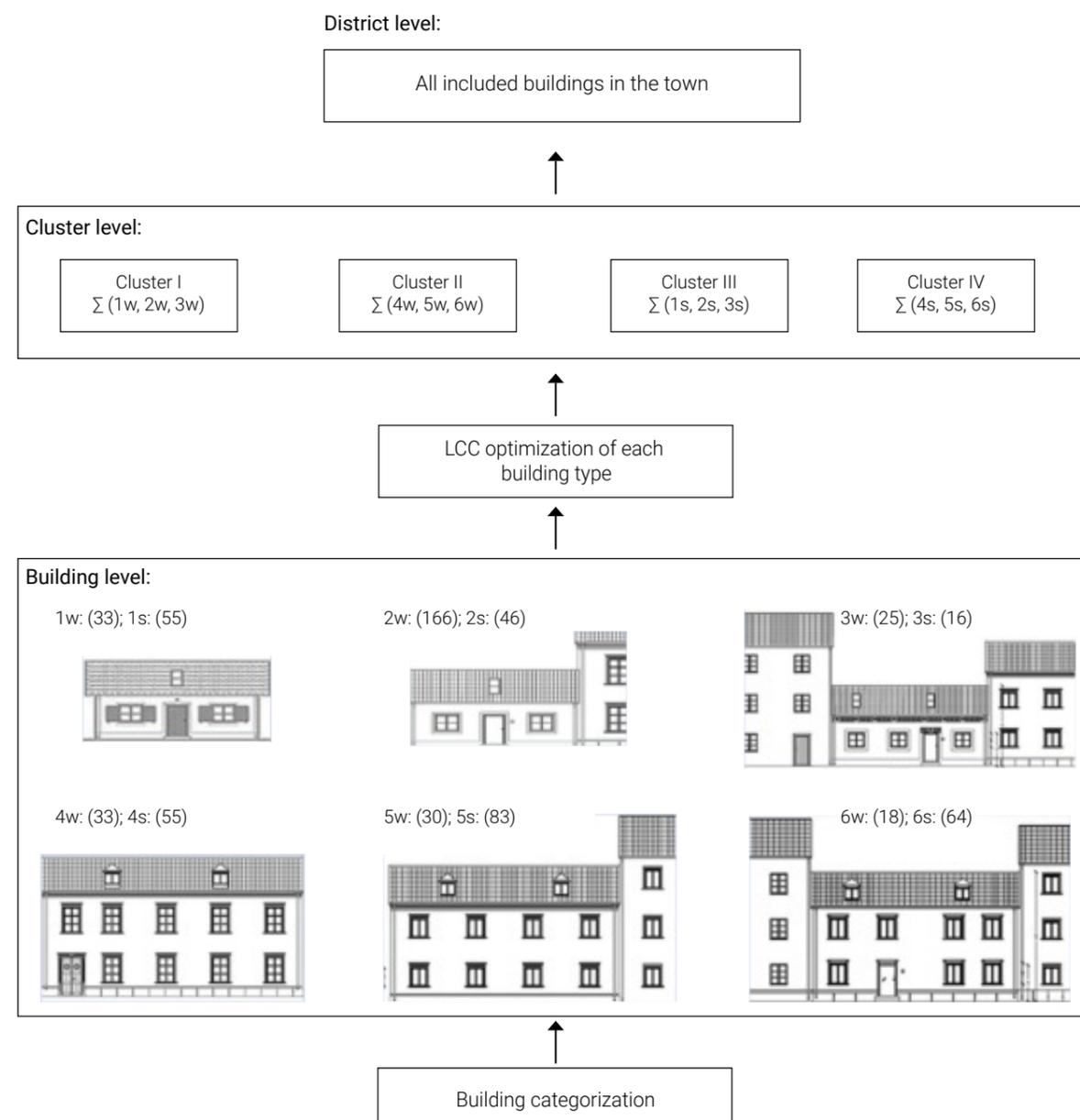
Il documento in questione presenta una metodologia, che utilizza l'ottimizzazione del costo del ciclo di vita (LCC) e la categorizzazione degli edifici, per ottenere uno studio sul potenziale ottimale (CEEP- Central Europe Energy Partners) in termini di costi per l'efficienza energetica e le riduzioni delle emissioni di CO<sub>2</sub>.

Oggetto di studio è il distretto di Visby in Svezia con 920 edifici vincolati. La città medioevale presenta un alto livello storico-artistico ed è inserita nella World Heritage List dall'UNESCO.

Il team, nel tentativo di realizzare uno studio sistematico sull'efficienza energetica degli edifici, ha optato per la metodologia Bottom-up. Questo nuovo approccio in architettura mira a coinvolgere i luoghi nella loro intimità, abbracciando interi quartieri o edifici che necessitano di una valorizzazione, attraverso un processo partecipato di cittadini, studenti e professionisti che animano la città. Per le analisi si è deciso di dividere gli edifici in quattro gruppi a seconda del materiale da costruzione, le attrezzature e gli apparecchi, le proprietà climatiche, le temperature interne l'uso delle attrezzature e la loro collocazione, nonché la geometria dell'immobile. Ogni edificio ottimizzato è stato analizzato utilizzando il software OPERA-MILP per individuare i pacchetti EEM ottimali in termini di costi, risultati LCC e calcoli di energia primaria e di emissioni di CO<sub>2</sub>. Viene anche eseguita una Sensitivity Analysis per trovare la correlazione che corre tra LCC e potenza delle caldaie a legna o delle pompe di calore.

I risultati hanno mostrato che la pompa di calore (HP) e la caldaia a legna (WB) sono sistemi di riscaldamento a costi ottimali per edifici in pietra e legno a più piani. Affinché il teleriscaldamento possa competere con HP

e WB, il suo prezzo deve essere ridotto rispettivamente del 23% e del 16%. La metodologia sviluppata si è dimostrata in grado di supportare professionisti e servizi che investono nel campo delle strategie energetiche più efficaci a livello di città/distretto.



SMetodologia bottom-up applicata al distretto di analisi, pag. 752.  
 Rielaborazione dell'autrice da: LIU L., ROHDIN P., MOSHFEGH B., (2018), Investigating Cost-Optimal refurbishment strategies for the medieval district of Visby in Sweden, Energy and Buildings 158.

Autore: Elena Lucchi, Magdalena Tabak, Alexandra Troi  
 Sede editoriale: Energy Procedia vol. 133, pp. 412 – 423, Italia  
 Anno di pubblicazione: 2017

**PAROLE CHIAVE (da documento):** Cost Optimality; Historic Building; Nearly Zero Energy Building (NZEB);  
**APPROCCI METODOLOGICI:** Analisi Cost Optimal  
**INTERVENTI EFFETTUATI:** Misure di retrofit sulla facciata interna, studio dei materiali isolanti;  
**AMBITI / TIPOLOGIA:** Edificio residenziale  
**ANNO DI COSTRUZIONE:** XVIII secolo  
**TUTELATO:** Si

**SINTESI DEI CONTENUTI**

Questa ricerca mira ad individuare l'applicazione specifica della metodologia Cost Optimality ad un vero e proprio edificio storico, definendone le caratteristiche e le problematiche particolari da considerare. Questa metodologia è stata ampiamente applicata all'edilizia esistente, ma vi è una mancanza di letteratura riguardante gli edifici storici. Tuttavia, viste le potenzialità di riqualificazione energetica di questo tipo di edifici, sarebbe opportuno sviluppare una metodologia specifica per la valorizzazione economica del patrimonio, considerando anche la conservazione e il valore storico del patrimonio.

Lo studio è stato applicato a un vero edificio storico costruito nel XVIII secolo vicino al lago di Como (Italia). Il restauro e il retrofit energetico sono stati realizzati dagli studi di architettura italiani "Modulo 2 Architettura" e "Solarraum". Le mura coprono una superficie di 400 m<sup>2</sup>, con uno spessore di 0,60 m. Presenta un complesso perimetro composto da un bugnato irregolare in marmo di Varenna, coperto su entrambi i lati da un intonaco storico di calce. L'edificio e il giardino circostante sono sotto vincolo storico. Pertanto, non essendo possibile applicare pannelli di isolamento termico all'esterno, lo studio si concentra sulla selezione dei sistemi di isolamento interno più fattibili dal punto di vista energetico ed economico. Lo studio valuta l'economicità della soluzione realmente scelta dal team di progettazione (un isolamento in perlite con spessore 0,20 m) con prodotti disponibili in commercio.

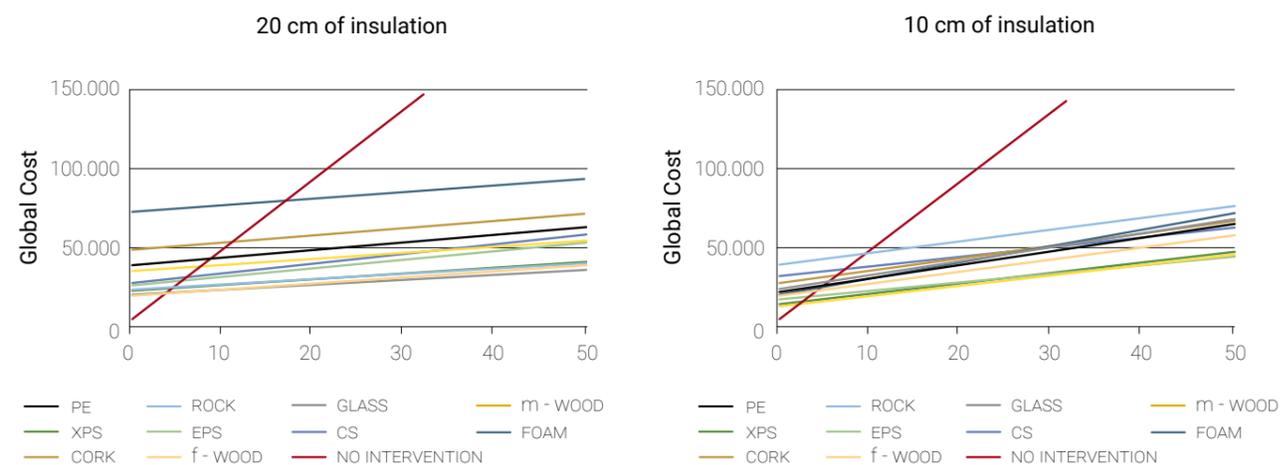
Per studiare esclusivamente i sistemi di isolamento interno, non consideriamo altre tecnologie e sistemi HVAC. Utilizzando la metodologia Cost Optimal l'analisi viene strutturata nelle seguenti parti:  
 I. Definizione del tipo di muratura;

II. Scelta dei sistemi di isolamento;  
 III. Valutazione dei benefici energetici legati all'inserimento di vari materiali isolanti;  
 IV. Valutazione del Life Cycle Costing;  
 V. Valutazione delle prestazioni di isolamento ottimali e dell'economicità;  
 VI. Confronto dei consumi energetici e del Life Cycle Cost per definire gli interventi più appropriati per la cinta muraria storica.

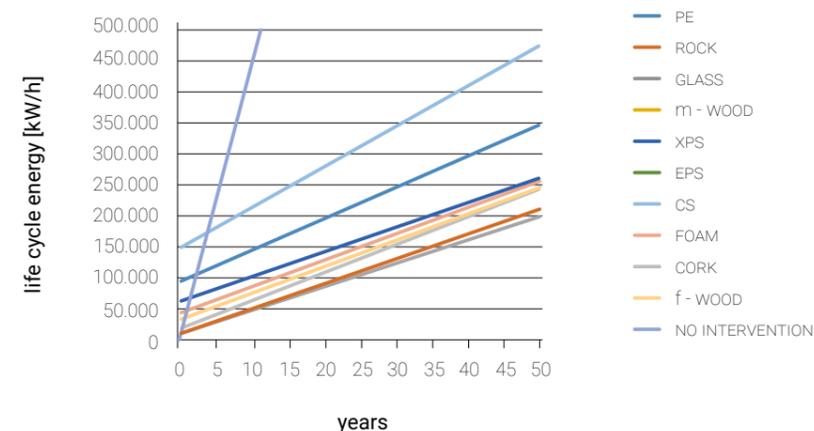
In conclusione vengono mostrati i risultati delle analisi sulla scelta dei materiali migliori sia dal punto di vista tecnico che economico. La valutazione delle prestazioni termiche sotto il profilo del rapporto costo-efficacia ha mostrato che sia i materiali organici che quelli inorganici hanno un buon comportamento; in generale, i materiali che risultano più convenienti economicamente sono la lana minerale di vetro, la lana di roccia, le fibre di legno minerali e flessibili, l'XPS e l'EPS. Il sughero, la perlite e il foamglass sono risultati efficienti dal punto di vista energetico, ma sono più costosi di altri materiali. Con un sistema di isolamento di 0,10 m il PBT è nell'intervallo 3-10 anni. EPS, XPS e lana minerale di vetro sono i materiali più convenienti.



L'edificio storico costruito nel XVIII secolo, situato vicino al lago di Como, pag. 159.  
 Fonte: LUCCHI E., TABAK M., TROI A., (2017), *The 'Cost Optimality' Approach for the Internal Insulation of Historic Buildings*, Energy Procedia 133.



Energia del ciclo di vita per un sistema di isolamento di 0,10 m e 0,20 m, pag. 420.  
 Rielaborazione dell'autrice da: LUCCHI E., TABAK M., TROI A., (2017), *The 'Cost Optimality' Approach for the Internal Insulation of Historic Buildings*, Energy Procedia 133.



Energia del ciclo di vita mostrata come valore cumulativo su un periodo di 50 anni, pag. 421.  
 Rielaborazione dell'autrice da: LUCCHI E., TABAK M., TROI A., (2017), *The 'Cost Optimality' Approach for the Internal Insulation of Historic Buildings*, Energy Procedia 133.

Autore: T. Dalla Mora, A. Righi, F. Peron, P. Romagnoni  
 Sede editoriale: Energy Procedia vol. 140, pp. 288 – 302, Italia  
 Anno di pubblicazione: 2017

**PAROLE CHIAVE (da documento):** Energy retrofitting; NZEB; School building; Cost-optimal;  
**APPROCCI METODOLOGICI:** Analisi Cost Optimal  
**INTERVENTI EFFETTUATI:** Adozione di pannelli fotovoltaici; Sostituzione dell'illuminazione con luci a LED;  
**AMBITI / TIPOLOGIA:** Edificio scolastico  
**ANNO DI COSTRUZIONE:** inizio XX secolo  
**TUTELATO:** No

**SINTESI DEI CONTENUTI**

Questo articolo presenta i risultati dell'applicazione della metodologia Cost Optimal di due edifici scolastici esistenti situati nel nord-est d'Italia. Scopo del documento è quello di presentare un metodo per definire e confrontare diverse misure di riqualificazione energetica, andando ad intervenire sull'involucro edilizio e sull'impianto termico.

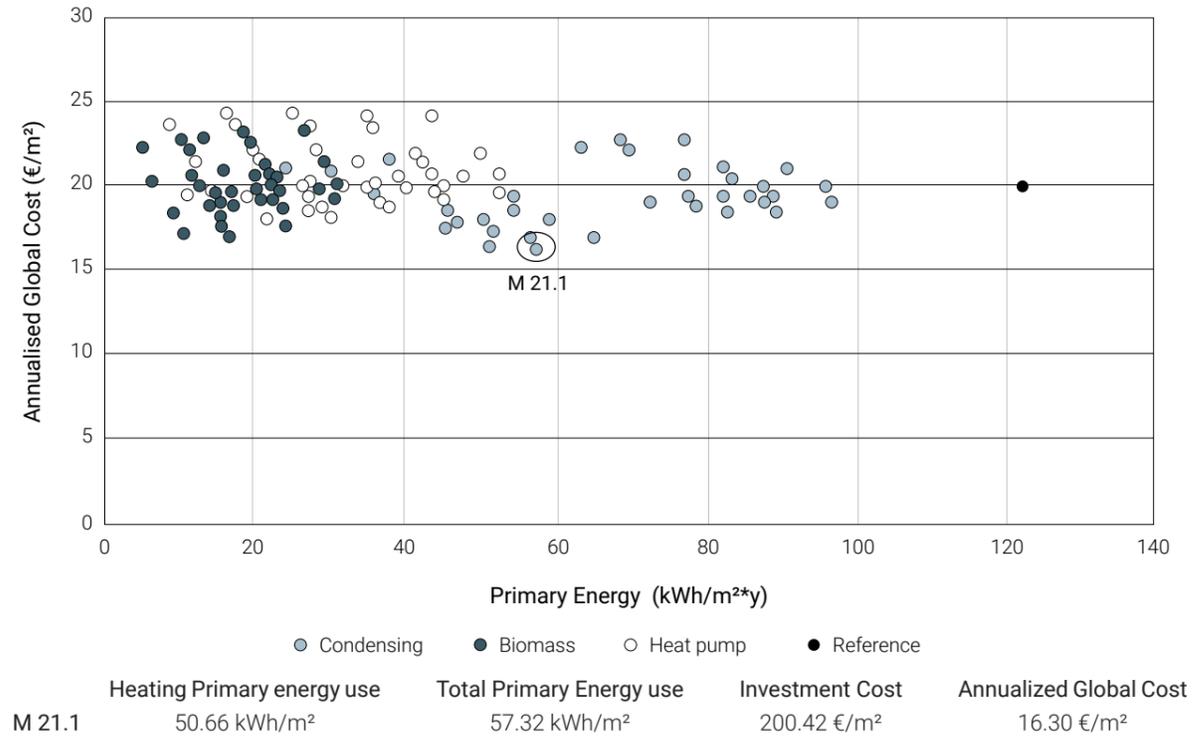
Il primo caso studio riguarda la scuola elementare Alessandro Manzoni, Motta di Livenza, con una superficie termica di 947,98 m<sup>2</sup> ed un volume complessivo di 2070 m<sup>3</sup>. Il secondo caso studio proposto è la scuola Girardini, con una superficie termica di 5035,51 m<sup>2</sup> ed un volume complessivo di 6533,40 m<sup>3</sup>.

La valutazione dei costi viene effettuata secondo il Regolamento EPBD, che prevede la valutazione del costo ottimale relativo sia a livello finanziario sia a livello macroeconomico; applicando diverse combinazioni di misure di retrofit al fine di derivare soluzioni efficienti in termini di costi per il retrofit secondo la metodologia proposta dall'allegato 56 del progetto "Cost Effective Energy & CO2 Emissions Optimization in Building Renovation". Per ogni edificio è stato analizzato il livello ottimale di costo considerando:

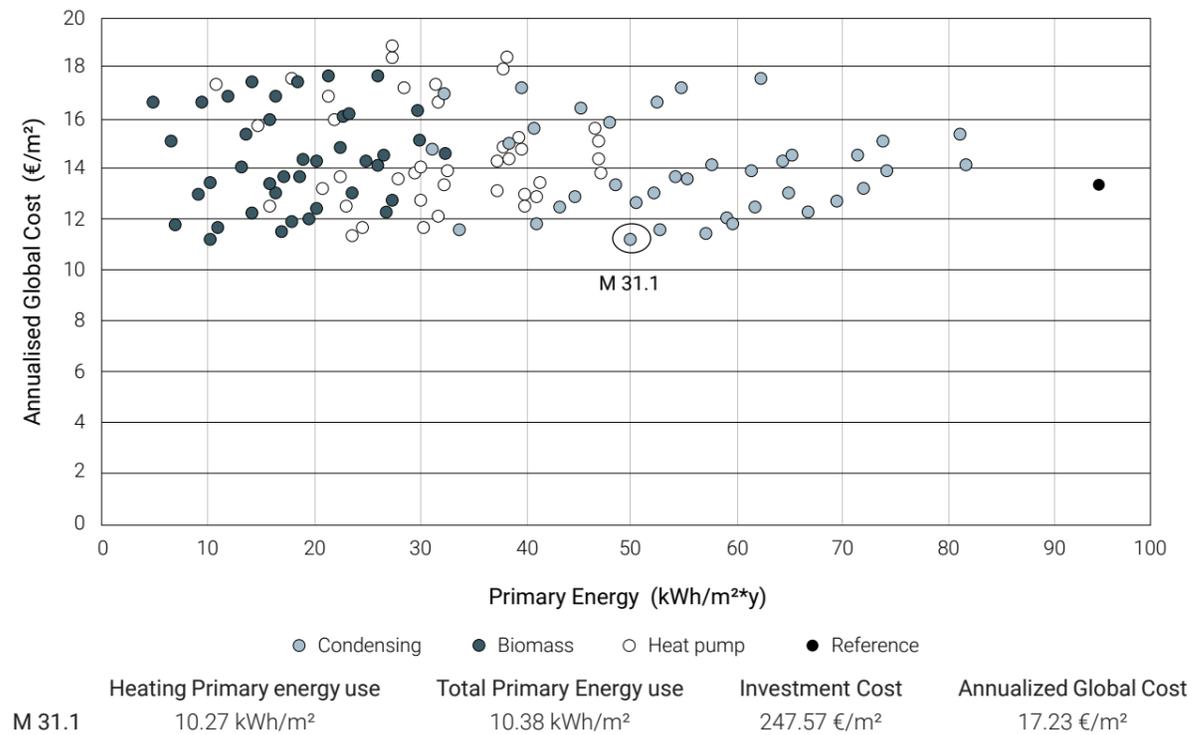
- I. Il costo ottimale tra tutti gli interventi;
- II. Il costo ottimale tra tutti gli interventi che raggiungono i target nZEB;
- III. Il costo ottimale tra tutti gli interventi con applicazione di incentivi;
- IV. Il costo ottimale tra tutte le misure nZEB considerando l'applicazione degli incentivi statali del "Conto Termico 2.0".

Per una questione di forma verranno presentati i risultati dei due casi studio distintamente e in maniera

sinetica. Nella scuola Alessandro Manzoni: (i.) l'intervento classificato M21.2 rappresenta la soluzione ottimale tra tutti gli interventi, con un consumo di energia primaria di 57,32 kWh/m<sup>2</sup> per anni ed un costo globale annualizzato di 16,30 €/m<sup>2</sup> durante il ciclo di vita; (ii.) l'intervento ottimale è il M31.2, che include l'installazione di caldaia a biomassa e lampade a LED, la realizzazione della coibentazione esterna e, inoltre, l'installazione dell'impianto fotovoltaico; (iii.) l'intervento ottimale è il M37.2 prevede l'installazione di impianto solare, una caldaia a biomassa e lampade a LED; (iv.) l'intervento ottimale è il M37.2.) consente di dimezzare il costo globale durante i 30 anni di vita (-56%). Nella scuola Girardini: (i.) l'intervento M31.1 è la soluzione ottimale, con un consumo di energia primaria di 49,97 kWh/m<sup>2</sup> per anni e un costo globale annualizzato di 11,24 €/m<sup>2</sup> durante il ciclo di vita; (ii.) l'intervento ottimale è il M40.2 e comprende l'installazione di caldaia a biomassa e lampade a LED, la realizzazione dell'isolamento esterno, l'installazione di pannelli PV; (iii.) l'intervento ottimale è il M35.3 con l'installazione di pompe di calore elettriche e pannelli fotovoltaici, la sostituzione dell'illuminazione con lampade a LED; (iv.) l'intervento ottimale è il M37.3 per il rispetto dei parametri nZEB, riguardanti l'intervento su tutti gli elementi dell'involucro, installazione di pompe di calore elettriche e pannelli fotovoltaici, installazione di lampade a LED. A differenza del passaggio precedente, il consumo totale di energia primaria è inferiore, a fronte di un costo di investimento più elevato, ma un costo globale annualizzato molto simile.



Cost Optimal per il consumo di energia primaria e il costo globale per gli EEM proposti, pag. 294.  
 Rielaborazione dell'autrice da: DALLA MORA T., RIGHI A., PERON F., ROMAGNONI P., (2017), Cost-Optimal measures for renovation of existing school buildings towards NZEB, Energy Procedia 140.



Cost Optimal per il consumo di energia primaria e il Global Cost per gli EEM proposti che raggiungono gli obiettivi nZEB, pag. 294.  
 Rielaborazione dell'autrice da: DALLA MORA T., RIGHI A., PERON F., ROMAGNONI P., (2017), Cost-Optimal measures for renovation of existing school buildings towards NZEB, Energy Procedia 140.

“EVALUATION OF REFURBISHMENT ALTERNATIVES FOR AN ITALIAN VERNACULAR BUILDING CONSIDERING ARCHITECTURAL HERITAGE, ENERGY EFFICIENCY AND COSTS”

Autore: Becchio Cristina, Corgnati Stefano Paolo, Giorgia Spigliantini  
 Sede editoriale: Energy Procedia vol. 133, pp. 401 – 411, Italia  
 Anno di pubblicazione: 2017

**PAROLE CHIAVE (da documento):** Energy retrofit; Cost-optimal analysis; Vernacular architecture; Architectural heritage;  
**APPROCCI METODOLOGICI:** Analisi Cost Optimal  
**INTERVENTI EFFETTUATI:** Misure di retrofit sulla facciata interna;  
**AMBITI / TIPOLOGIA:** Edificio residenziale  
**ANNO DI COSTRUZIONE:** XIX secolo  
**TUTELATO:** Sì

SINTESI DEI CONTENUTI

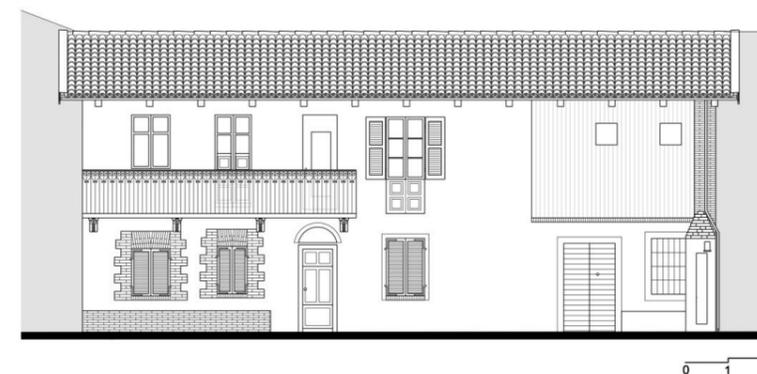
Il caso di studio analizzato in questa ricerca è un edificio rurale tradizionale situato a Livorno Ferraris, in un quartiere residenziale a bassa densità molto vicino alla campagna, tipico del Piemonte. Questa ricerca rappresenta anche una visione esemplare delle opportunità di riqualificazione energetica degli edifici rurali.

L'edificio, edificato alla fine dell'Ottocento, è un tessuto a due piani. Diversi interventi minori, ad es. la sostituzione delle vecchie finestre, ha adattato l'edificio alle attuali necessità e ha parzialmente compromesso l'originaria identità architettonica. Oggi l'edificio è diviso in due parti principali; uno è abitato mentre l'altro ospita un magazzino e l'antico granaio. Il sottotetto non è riscaldato ed è utilizzabile solo in parte. Il tessuto è stato costruito con tecniche e materiali tradizionali. Come gran parte del patrimonio rurale tradizionale piemontese, l'edificio ha una struttura in laterizio in cui l'alto spessore delle murature (40 cm) determina un'elevata massa termica. Un'altra caratteristica dell'edificio è che la parete nord è quasi tutta opaca (c'è una sola finestra al piano terra), perché l'edificio è attiguo a un'altra proprietà. Per questo motivo, la ventilazione e l'illuminazione degli ambienti interni sono state una delle principali preoccupazioni degli scenari di progettazione architettonica.

La progettazione degli scenari architettonici ha seguito due differenziazioni approcci; lo scenario a basso investimento (A) ha privilegiato la conservazione dell'edificio così com'è, mentre lo scenario ad alto investimento (B) ha optato per la parziale modifica della distribuzione interna dell'edificio e il tessuto stesso massimizzando le future opportunità di profitto. Per entrambi gli scenari è importante osservare che l'identità dell'edificio è stata rispettata. In coerenza

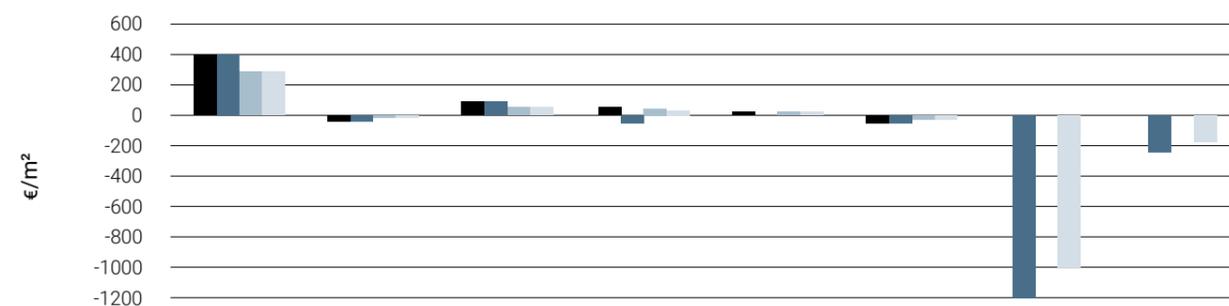
con questo approccio, la progettazione energetica di retrofit era più sfidante per lo scenario (B), mentre (A) mirava a rispettare i vincoli legislativi mentre riduceva dello sforzo finanziario. Le caratteristiche energetiche e finanziarie dei progetti di retrofit sono state valutate dapprima con un approccio standard e poi con un approccio più realistico.

Riassumendo i risultati, attraverso l'analisi precedente un investitore privato potrebbe ricevere alcuni elementi essenziali per optare per uno scenario piuttosto che un altro, dall'entità di investimento iniziale al lungo termine vantaggio. Informazioni rilevanti derivate dalla formula del costo globale modificato. Infatti, seguendo il più approccio realistico, lo scenario (B) svantaggiato è risultato favorevole. Nello stesso periodo, lo scenario (B) risultava energeticamente autonomo e in grado di esportare energia elettrica producendo, di conseguenza, a guadagna finanziaria. In termini finanziari, lo scenario (B) ha prodotto un reddito più elevato dovuto all'attività ricettiva, nonostante i costi di investimento iniziale notevolmente più elevati. In conclusione, i risultati ottenuti adottando la formula modificata del costo globale incoraggiano, in generale, ad avere un approccio più olistico nei progetti di ristrutturazione di edifici storici, se c'è un cambiamento di destinazione d'uso dell'edificio.



Disegno architettonico della facciata del caso studio elevazione sud (sopra); nello scenario ad alto investimento (a sinistra) e in quello a basso investimento (a destra), pag. 403-404.

Fonte: BECCHIO C., CORGNATI S. P., SPIGLIANTINI G., (2017), *Evaluation of refurbishment alternatives for an italian vernacular building considering architectural heritage, Energy Efficiency and Costs*, In Energy Procedia 133.



	Investment cost	Maintenance costs	Replacement costs	Energy costs	Emissions costs	Residual value	Rooms earnings	Tax deduction
■ HI_Standard	445	30	85	52	3	-55		
■ HI_Realistic	445	30	85	-51	0	-55	-1222	-235
■ LI_Standard	328	6	52	55	5	-42		
■ LI_Realistic	328	6	52	22	2	-42	-1020	-173

Analisi dei costi di scomposizione adottando l'approccio standard e realistico per lo scenario HI e LI, pag. 409. Rielaborazione dell'autrice da: BECCHIO C., CORGNATI S. P., SPIGLIANTINI G., (2017), *Evaluation of refurbishment alternatives for an italian vernacular building considering architectural heritage, Energy Efficiency and Costs*, In Energy Procedia 133.

Autore: Alessandro Righi, Tiziano Della Mora, Fabio Peron, Piercarlo Romagnoni  
 Sede editoriale: Energy Procedia vol. 133, pp. 392 – 400, Italia  
 Anno di pubblicazione: 2017

**PAROLE CHIAVE (da documento):** Historical building retrofit; Energy retrofit; Case study; Structural retrofit; Public building;

**APPROCCI METODOLOGICI:** Analisi Cost Optimal

**INTERVENTI EFFETTUATI:** Sostituzione degli elementi trasparenti; Isolamento termico del tetto; Adozione di pannelli fotovoltaici; Adozione di pompe di calore; Sostituzione dell'illuminazione con luci a LED;

**AMBITI / TIPOLOGIA:** Edificio plurifunzionale

**ANNO DI COSTRUZIONE:** XVIII secolo

**TUTELATO:** Si

**SINTESI DEI CONTENUTI**

Scopo dell'articolo è quello di effettuare un'analisi costi benefici per una ristrutturazione di un edificio posto a vincolo dalla Soprintendenza.

Caso studio analizzato è il palazzo comunale di Motta di Livenza (TV) nel nord-est d'Italia, costruito prima del 1800. L'edificio, collocato in centro nella piazza centrale, ha subito numerosi interventi tra il 1700 e il 1980 che ne hanno modificato e ampliato la struttura originale andando ad unificare diversi edifici limitrofi inizialmente indipendenti.

Per la ricerca sono stati utilizzati gli strumenti metodologici del Cost Optimal per calcolare i livelli ottimali di prestazione energetica minimi requisiti. La metodologia per la diagnosi energetica utilizzata nell'edificio si compone di tre parti:

- i. L'analisi della prestazione energetica nella situazione attuale;
- ii. L'analisi della prestazione energetica assicurata dagli interventi;
- iii. La valutazione economica di ciascun intervento.

La procedura ha valutato diverse misure di efficienza energetica, ognuna con un diverso numero di opzioni che hanno identificato un livello di isolamento termico, secondo il regolamento Decreto interministeriale DM 16/02/16. La prima analisi prevede un sopralluogo approfondito che rileva tutte le caratteristiche geometriche e le prestazioni dell'edificio esistente. Si analizzano quindi la geometria, l'orientamento, la vicinanza ad altri edifici, le caratteristiche e lo spessore della parete e del pavimento, la tipologia di serramenti e le caratteristiche dell'impianto di riscaldamento e raffrescamento. Tutte le caratteristiche trovate sono sintetizzate in un modello matematico calibrato con i dati storici dei consumi energetici ricavati dalle bollette.

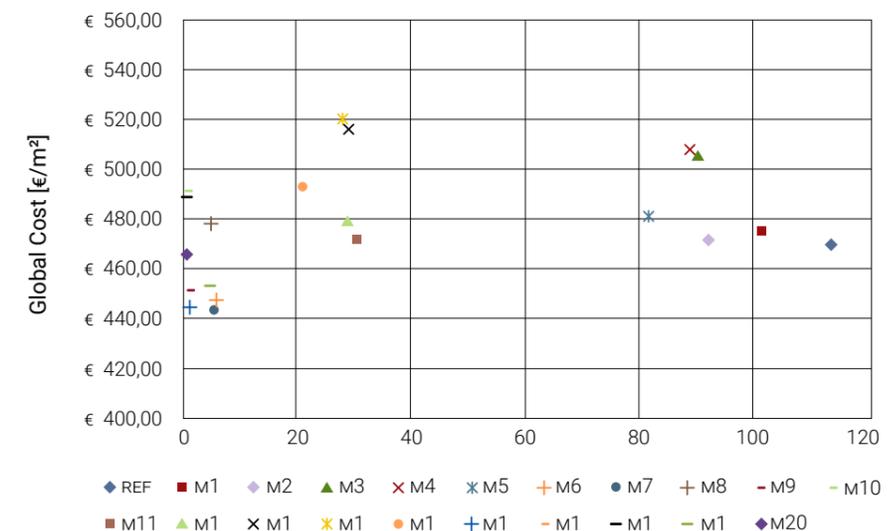
I risultati della ricerca mostrano che lo stato attuale dell'edificio prevede un fabbisogno di riscaldamento annuo pari a 114,26 kWh/ m<sup>2</sup>a e un costo annuo di manutenzione pari a 458,14 euro/m<sup>2</sup>. Senza considerare gli incentivi, è mostrato nell'intervento M16 i risultati essere il miglior rapporto tra costo dell'intervento e prestazione energetica dell'intervento. Questo comprende l'isolamento del tetto, l'installazione pannelli fotovoltaici e la sostituzione della caldaia di riscaldamento con una pompa di calore elettrica aria-acqua. Il costo globale scende a 451,13 €/m<sup>2</sup> a fronte di una forte riduzione dei consumi, 1,26 kWh/m<sup>2</sup>a. Il secondo miglior intervento senza contare gli incentivi è l'M6. Tale intervento prevede la coibentazione del tetto, l'installazione di pannelli fotovoltaici e la sostituzione della caldaia di riscaldamento esistente con una caldaia a condensazione funzionante a metano. Il costo globale scende a 458,17 €/m<sup>2</sup> a fronte di una forte riduzione dei consumi di 5,83 kWh/ m<sup>2</sup>a. Calcolando anche gli incentivi, l'intervento più conveniente non cambia, restando M16. Il costo globale diminuisce pari a 443,81 €/m<sup>2</sup> con una riduzione dei consumi pari a 1,26 kWh/ m<sup>2</sup>a. L'articolo mostra come questo metodo sia efficace anche nei casi di edifici e monumenti storici. È dimostrato che gli interventi proposti, anche se non completamente integrati nella (ri)progettazione strutturale in corso, siano risultati in ogni caso il più ottimali. Negli edifici storici infatti l'efficienza energetica non può basarsi su interventi invasivi, come in altre tipologie edilizie, a meno che non vi sia integrazione con altri tipi di trattamento come quello statico o storico. La metodologia è quindi applicabile anche agli edifici storici e di conseguenza a tutte le altre tipologie edilizie.

Definizione di intervento sull'edificio; gli interventi prevedono la sostituzione del generatore di calore esistente con una caldaia a condensazione (a) e una pompa di calore aria-acqua ad alta efficienza (b).

Measure of intervention	Measure (a)	Measure (b)
Insulation on roof (U=0,20 W/m <sup>2</sup> K)	■ M1	■ M11
Insulation on roof (U=0,20 W/m <sup>2</sup> K) + insulation on walls (inside U=0,23 W/m <sup>2</sup> K)	◆ M2	▲ M12
Insulation on roof (U=0,20 W/m <sup>2</sup> K) + insulation on walls (inside U=0,23 W/m <sup>2</sup> K) + substitutions of external windows (U=1,50 W/m <sup>2</sup> K)	▲ M3	× M13
Insulation on roof (U=0,20 W/m <sup>2</sup> K) + insulation on walls (inside U=0,23 W/m <sup>2</sup> K) + substitutions of windows (U=1,50 W/m <sup>2</sup> K) + basement insulation (U=0,25 W/m <sup>2</sup> K)	× M4	✱ M14
Insulation on roof (U=0,20 W/m <sup>2</sup> K) + insulation on walls (inside U=0,23 W/m <sup>2</sup> K) + substitutions of external windows (U=1,50 W/m <sup>2</sup> K) + insulation of basement (U=0,25 W/m <sup>2</sup> K) + substitution of lighting with led	✱ M5	● M15
Insulation on roof (U=0,20 W/m <sup>2</sup> K) + photovoltaic system	+ M6	+ M16
Insulation on roof (U=0,20 W/m <sup>2</sup> K) + insulation on walls (inside U=0,23 W/m <sup>2</sup> K) + photovoltaic system	● M7	- M17
Insulation on roof (U=0,20 W/m <sup>2</sup> K) + insulation on walls (inside U=0,23 W/m <sup>2</sup> K) + substitutions of external windows (U=1,50 W/m <sup>2</sup> K) + photovoltaic system	+ M8	- M18
Insulation on roof (U=0,20 W/m <sup>2</sup> K) + insulation on walls (inside U=0,23 W/m <sup>2</sup> K) + substitutions of external windows (U=1,50 W/m <sup>2</sup> K) + insulation of basement (U=0,25 W/m <sup>2</sup> K) + photovoltaic system	- M9	- M19
Insulation on roof (U=0,20 W/m <sup>2</sup> K) + insulation on walls (inside U=0,23 W/m <sup>2</sup> K) + substitutions of external windows (U=1,50 W/m <sup>2</sup> K) + insulation of basement (U=0,25 W/m <sup>2</sup> K) + substitution of lighting with led + PV system	- M10	◆ M20

Tabella degli interventi sull'edificio, pag. 397.

Rielaborazione dell'autrice da: RIGHI A., DALLA MORA T., PERON F., ROMAGNONI P., (2017), *Historical buildings retrofit: the city hall of the city of Motta Di Livenza (TV)*, In Energy Procedia 133.



Pacchetti d'interventi senza gli incentivi, pag. 398.

Rielaborazione dell'autrice da: RIGHI A., DALLA MORA T., PERON F., ROMAGNONI P., (2017), *Historical buildings retrofit: the city hall of the city of Motta Di Livenza (TV)*, In Energy Procedia 133.

Autore: Fabrizio Ascione, Rosa Francesca De Masi, Filippode Rossi, Silvia Ruggiero, Giuseppe Peter Vanoli  
 Sede editoriale: Energy Procedia vol. 140, pp. 194 – 206, Italia  
 Anno di pubblicazione: 2017

**PAROLE CHIAVE (da documento):** Historical buildings; Dynamic simulation; Energy retrofit; NZEB; Cost-optimal; Calibration of energy;  
**APPROCCI METODOLOGICI:** Analisi Cost Optimal  
**INTERVENTI EFFETTUATI:** Misure di retrofit sulla facciata interna, miglioramento dell'isolamento termico; Sostituzione degli elementi trasparenti; Progettazione di una caldaia a condensazione (sistemi AHU);  
**AMBITI / TIPOLOGIA:** Edificio scolastico  
**ANNO DI COSTRUZIONE:** XVI secolo  
**TUTELATO:** Si

**SINTESI DEI CONTENUTI**

Scopo dell'articolo è quello di valutare se la ristrutturazione di architetture storiche a bassissimo fabbisogno energetico (NetZEB) sia possibile ed economicamente fattibile.

Caso studio è "Palazzo Gravina", palazzo in stile rinascimentale, situato in Via Monteoliveto, nel quartiere San Lorenzo di Napoli. Dal 1940 è sede della Facoltà di Architettura dell'Università di Napoli è famoso in tutto il mondo per il suo valore architettonico. Il prospetto principale, su via Monteoliveto, ha un basamento in mattoni a bugnato in pietra per un primo piano. Il secondo piano presenta finestre con cornici marmoree, sormontate da nicchie circolari con busti. Le finestre sorgono su un cornicione marmoreo, e sono separate da lesene in piperno con capitelli misti dorico-corinzi. Il palazzo è stato restaurato a seguito di un incendio nel 1848 mediante l'aggiunta di un terzo piano con balconi, rimossi nel Novecento.

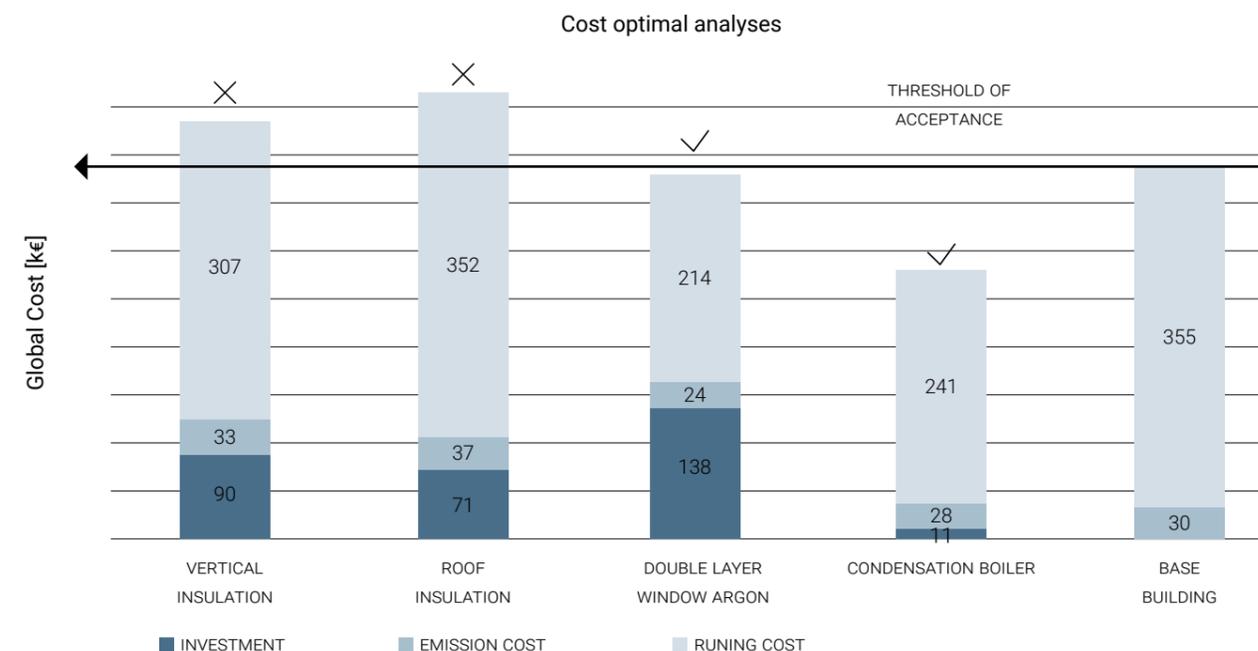
Al fine di simulare prestazioni energetiche più affidabili, il modello numerico di "Palazzo Gravina" è stato creato secondo le procedure di "Tailored ratings", come definito dalla norma internazionale UNI EN 15603. Come proposto dalla linea guida M&V, con la "Whole Building Level Calibration with Monthly Data", l'output delle simulazioni sono stati confrontati con i dati energetici misurati, determinando la deviazione e la relativa incertezza. Il modello 3D è stato realizzato con l'aiuto del software EnergyPlus v8.4, il quale ha permesso una definizione realistica dell'edificio come geometrie, dimensioni e posizione geografica. Quest'ultima informazione risulta essere essenziale per poter definire con precisione la Zona Climatica nella quale è situato l'edificio, in questo caso Zona "C", la quale è caratterizzata da un clima moderato, tipico dell'area Mediterra-

nea con estati calde e inverni freddi. La metodologia adottata si compone di tre passaggi fondamentali:  
 I. La prima fase ha riguardato un accurato rilievo dell'edificio, effettuato attraverso lo studio di documenti storici, accurate indagini sul campo e ispezioni visive;  
 II. La seconda fase è consistita nella definizione del modello dell'edificio, utilizzando un software di simulazione dell'intero edificio;  
 III. Come terzo step, il modello calibrato è stato utilizzato per valutare il rendimento energetico annuale della situazione attuale e delle varie alternative per la ristrutturazione energetica, utilizzando la metodologia del Global Cost (GC) per l'analisi di diversi scenari, sia per gli scenari di involucro che per la creazione di impianti PV.

I risultati dimostrano come la combinazione più adatta per le misure di efficienza energetica sia la sostituzione delle finestre con quelle a basso emissivo e la sostituzione della caldaia con una a condensazione. Si è visto infatti che, con la sostituzione di quest'ultima, la domanda annuale di energia primaria per il controllo microclimatico può essere ridotta di circa il 59% e le emissioni a effetto serra di circa il 57%. Il costo totale del pacchetto è di circa 148'000 €. Considerando lo "scenario neutro" (cioè, tasso di attualizzazione e incremento annuale dei prezzi dell'energia assunto pari al 3%), il DPB calcolato è di 10 anni e il NPV risulta positivo. Ulteriori indagini hanno riguardato l'installazione di un refrigeratore, per migliorare le condizioni termiche in estate; il miglioramento dell'uniformità interna, spostando il terminale in camera sui muri perimetrali dell'edificio; l'installazione di 61 kWp (Kilowatt picco) di fotovoltaico sulle esposizioni sud-est e sud-ovest del tetto a falde.



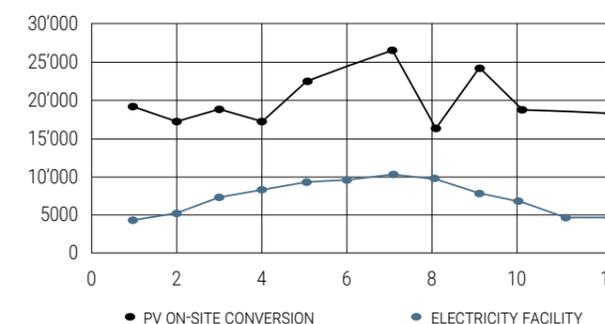
Panoramica Palazzo Gravina e facciata principale, pag. 197.  
 Fonte: ASCIONE F., et al., (2017), NZEB target for existing buildings: case study of historical educational building in mediterranean climate, In Energy Procedia 140.



Calcolo del costo globale delle misure di efficienza energetica analizzate, pag. 202.  
 Rielaborazione dell'autrice da: ASCIONE F., et al., (2017), NZEB target for existing buildings: case study of historical educational building in mediterranean climate, In Energy Procedia 140.



**Electricity demand vs on-site PV conversion (kWh)**



Confronto tra le richieste di energia dell'edificio e la conversione dal fotovoltaico in loco (lato sinistro) e layout della sua installazione (61 kWp) sul tetto inclinato dell'edificio (lato destro), pag. 204.  
 Rielaborazione dell'autrice da: ASCIONE F., et al., (2017), NZEB target for existing buildings: case study of historical educational building in mediterranean climate, In Energy Procedia 140.

**“RETROFITTING UNDER PROTECTION CONSTRAINTS ACCORDING TO THE NEARLY ZERO ENERGY BUILDING (NZEB) TARGET: THE CASE OF AN ITALIAN CULTURAL HERITAGE’S SCHOOL BUILDING”**

Autore: Simone Ferrari, Carlo Romeo  
 Sede editoriale: Energy Procedia vol. 140, pp. 495 – 505, Italia  
 Anno di pubblicazione: 2017

**PAROLE CHIAVE (da documento):** Cost-effectiveness of building retrofit; Nearly Zero Energy Building retrofit; Building retrofit;  
**APPROCCI METODOLOGICI:** Analisi Cost Optimal  
**INTERVENTI EFFETTUATI:** Misure di retrofit; Miglioramento dell’isolamento termico; Sostituzione degli elementi trasparenti; Sostituzione dell’illuminazione con luci a LED;  
**AMBITI / TIPOLOGIA:** Edificio scolastico  
**ANNO DI COSTRUZIONE:** inizio XX secolo  
**TUTELATO:** Si

**SINTESI DEI CONTENUTI**

Oggetto di studio è la definizione di criteri di intervento sugli edifici scolastici, tutelati dal Codice dei Beni Culturali, con l’obiettivo di riqualificare e di valutare il rapporto costo-efficacia dei singoli interventi secondo il Zero Energy Building (nZEB) definito dalla normativa EPBD Recast,

Attraverso un’indagine sugli edifici scolastici di proprietà del Comune di Milano, gli autori hanno identificato quelli costruiti prima della II Guerra Mondiale, constatando come molti di questi edifici avessero caratteristiche comuni, ad eccezione di quelli di rilevanza storica. In tutti i casi, si è visto come le soluzioni tecnologiche adottate siano quelle di murature portanti in mattoni pieni d’argilla, tetti a travi di legno inclinate con copertura in tegole, pavimenti in cemento armato ad argilla mista (con il primo ed ultimo piano non riscaldato). Le finestre sono a vetro singolo con telai in legno o metallo. Alcuni edifici hanno subito ristrutturazioni nel corso del tempo, ma raramente queste comprendevano tutto l’involucro dell’edificio, (come la sostituzione dell’intonaco muri deteriorati, rifacimento del tetto e parziale sostituzione delle finestre). Per tale ragione si è scelto di analizzare la Scuola Primaria in via Emilio Morosini.

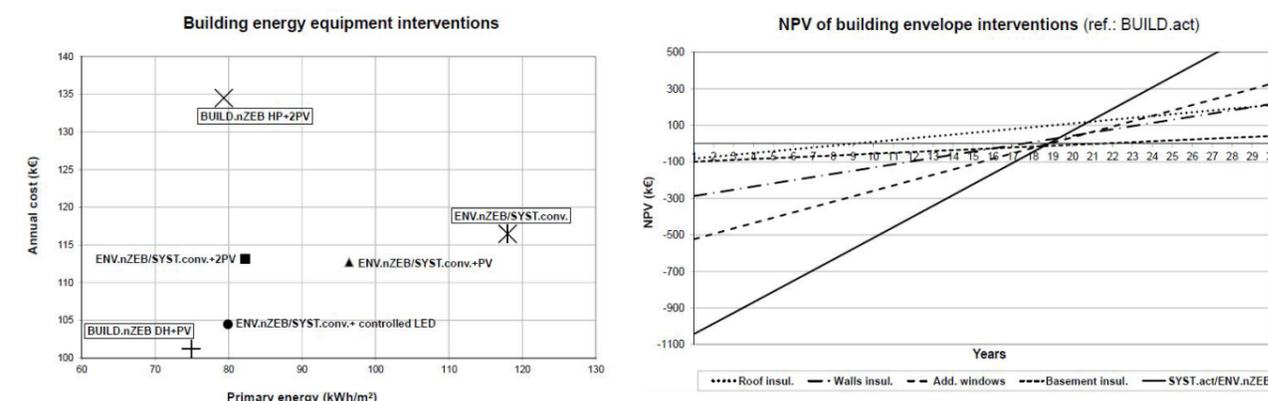
Sono state definite le misure di retrofit essenziali per soddisfare i requisiti nZEB come definiti dalla normativa nazionale della EPBD Recast, in termini di Cost Optimal annuo relativo alla prestazione energetica e al Valore Attuale Netto, nel rispetto dei vincoli di protezione dei Beni Culturali. Infine, si è andati a valutare l’economicità dei vari pacchetti d’interventi, ottenuti tramite simulazione al computer. I parametri di “Energy Performance” più convenienti sono stati infine elencati ed evidenziati in una tabella riassuntiva.

I risultati dell’analisi hanno dimostrato che l’obiettivo nZEB può essere raggiunto con l’azione di retrofit utilizzando soluzioni compatibili con il vincolo di protezione, riducendo drasticamente il consumo di energia primaria. Ciononostante, sono necessarie alcune considerazioni. Nel complesso gli interventi sull’involucro edilizio finalizzati a soddisfare i requisiti porterebbero a una riduzione del 60% del consumo di energia primaria, ma di poco in quello dei costi annuali. Infatti, il principale contributo utile si osserva attraverso l’isolamento del tetto in 9 anni, mentre gli altri interventi di isolamento dell’involucro implicano il doppio del tempo. Inoltre, poiché l’edificio non è condizionato durante l’estate (essendo la scuola inoccupata durante la maggior parte del periodo estivo), l’adozione di dispositivi di ombreggiamento sembra essere inconsistente ed economicamente inefficace. Inoltre, a causa dei limiti della valutazione energetica “standard” nella valutazione delle prestazioni dei dispositivi di ombreggiamento delle finestre (con un coefficiente di ombreggiamento costante per tutto l’anno), i risultati risultano autodistruttivi. In questo quadro, l’efficacia sia del fotovoltaico che delle lampade a LED con sensori di controllo dell’illuminazione, dà il maggior risparmio energetico associato alla maggiore riduzione dei costi annuali, rivelando anni di PBT entro il 15° anno. Diversamente, il miglioramento della sostituzione del sistema di riscaldamento convenzionale diminuisce il costo annuale (13%) solo con il caso particolare del collegamento al teleriscaldamento (17 anni di PBT), mentre implica un 15% di aumento del costo annuale con riferimento a una soluzione tecnologica probabilmente adottabile ovunque, come la pompa di calore aria-acqua (26 anni di PBT).



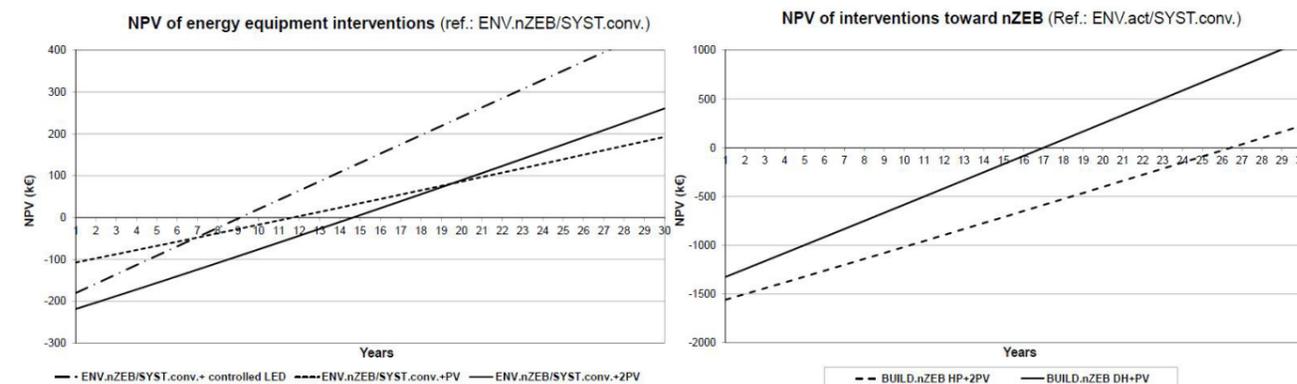
Scuola primaria nel suo contesto urbano, pag. 497.

Rielaborazione dell’autrice da: FERRARI S., ROMEO C., (2017), *Retrofitting under protection constraints according to the Nearly Zero Energy building (Nzeb) target: the case of an italian cultural heritage’s School building*, Energy Procedia 140.



Interventi sulle attrezzature energetiche degli edifici: costi annuali e consumi di energia primaria (destra); NPV degli interventi sull’involucro edilizio volti a soddisfare i requisiti dell’obiettivo nZEB (sinistra), pag. 502.

Fonte: FERRARI S., ROMEO C., (2017), *Retrofitting under protection constraints according to the Nearly Zero Energy building (Nzeb) target: the case of an italian cultural heritage’s School building*, Energy Procedia 140.



NPV degli interventi sulle attrezzature energetiche rispetto all’involucro dell’edificio già conforme ai requisiti nZEB (sinistra); NPV degli interventi complessivi (destra), pag. 503-504.

Fonte: FERRARI S., ROMEO C., (2017), *Retrofitting under protection constraints according to the Nearly Zero Energy building (Nzeb) target: the case of an italian cultural heritage’s School building*, Energy Procedia 140.

Autore: Matteo Serrainoa, Elena Lucchi

Sede editoriale: Energy Procedia vol. 133 pp. 424 – 43, Italia

Anno di pubblicazione: 2017

**PAROLE CHIAVE (da documento):** Castel; Water-to-water heat pumps; Cogenerator; Environment integration; Monitoring;

**APPROCCI METODOLOGICI:** Analisi Cost Optimal

**INTERVENTI EFFETTUATI:** Riscaldamento e raffrescamento radiante; Pompe di calore aria acqua (sistemi AHU);

**AMBITI / TIPOLOGIA:** Castello, dimora storica con funzione museale

**ANNO DI COSTRUZIONE:** XIII secolo

**TUTELATO:** Sì

#### SINTESI DEI CONTENUTI

Obiettivo del lavoro è la riqualificazione energetica e l'installazione impiantistica in un edificio storico, cercando di preservare il valore patrimoniale e ottimizzando il comportamento energetico originario.

Il caso studio riportato mostra un intervento di restauro presso il Castello di San Martino, situato nel territorio di Parella, costruito nel XIII secolo e ha subito ampliamenti e trasformazioni fino al XX secolo. Fu costruito come "rifugio" o "casa forte", un primo ampliamento fu effettuato nel XVI secolo da Alessio I che trasformò il "rifugio" in un edificio portato a termine nel secolo successivo da Carlo e Amedeo di Castellamonte, in questa fase fu definita l'attuale forma architettonica, la decorazione delle facciate, così come il primo disegno del cortile principale e del giardino.

Gli autori hanno stabilito dei criteri che hanno guidato la progettazione dell'impianto, come:

- i. Rispettare le strutture esistenti, minimizzando o integrando i sistemi HVAC centrali, i terminali e i sistemi di distribuzione;
- ii. Raggiungere adeguati livelli di comfort e qualità dell'aria;
- iii. Installare sistemi energeticamente efficienti e flessibili, nonché minimizzare le emissioni e i costi di gestione.

L'inserimento di nuove funzioni e caratteristiche segue il principio di flessibilità e adattabilità per avere meno impatto sull'edificio originale. Le attività che richiedono diverse trasformazioni strutturali sono state collocate in aree con una minore presenza o assenza di elementi architettonici e valori decorativi, come l'hotel e il pub. Al contrario, le attività con minori esigenze di trasformazione strutturale, come il centro congressi e la reception pubblica, sono state inserite nelle aree con minore

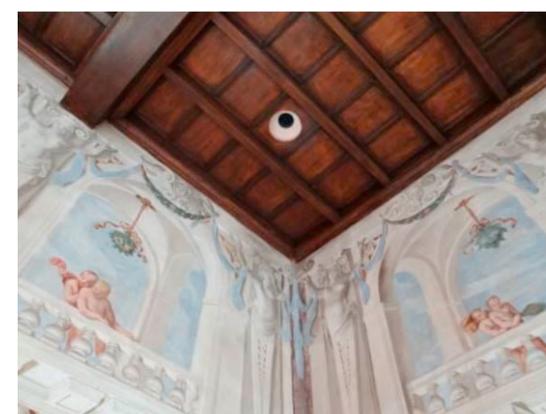
flessibilità per la presenza di valori del patrimonio. La maggior parte delle demolizioni nel progetto riguarda interventi di recente costruzione e sono dovute principalmente alla necessità di adeguare gli edifici per la sicurezza strutturale. Allo stesso modo, un nuovo edificio sotterraneo è stato costruito vicino alla "Corte Rustica" per ospitare l'impianto elettrico e meccanico senza alcun impatto sull'immagine estetica del sito del patrimonio.

Il caso di studio mostra un come interventi di retrofit energetico e installazione di impianti in un edificio storico, preservandone il valore storico e ottimizzando il comportamento energetico originale sia possibile. Va considerato che il progetto di ristrutturazione è caratterizzato da diverse innovazioni in diversi campi; i vincoli artistici derivanti dagli affreschi presenti all'interno hanno limitato i lavori di riqualificazione e all'isolamento dei tetti danneggiati. Per questo motivo l'intervento si è concentrato principalmente sugli impianti ad alta efficienza, i quali sono essenziali per garantire bassi costi di gestione della struttura. La simulazione dinamica, comunemente usata in edifici nuovi, complessi e a basso consumo energetico, è stata utilizzata in questo progetto per evitare il sovradimensionamento degli impianti, specialmente nel caso dei sistemi di distribuzione e di emissione, minimizzando l'interferenza con l'edificio storico. Il gran numero di attività all'interno dell'edificio può essere realizzato installando: diversi tipi di impianti e sistemi di generazione flessibili per garantire diversi livelli di comfort e IAQ durante vari periodi della giornata e in diverse parti di un grande edificio.



Castello di Parella (sinistra) e cortile interno (destra), pag. 427.

Fonte: SERRAINOA M., LUCCHI E., (2017), *Energy efficiency, heritage conservation, and landscape integration: the case study of the San Martino castle in Parella (Turin, Italy)*, Energy Procedia 133.



Configurazione delle prese d'aria circolari (sinistra); AHU installata nel sottotetto (destra), pag. 429-430.

Fonte: SERRAINOA M., LUCCHI E., (2017), *Energy efficiency, heritage conservation, and landscape integration: the case study of the San Martino castle in Parella (Turin, Italy)*, Energy Procedia 133.



Installazione dei pannelli radianti e dei canali sottopavimento (sinistra); canali sottopavimento e griglia di aspirazione integrata nei vecchi camini (destra), pag. 429-430.

Fonte: SERRAINOA M., LUCCHI E., (2017), *Energy efficiency, heritage conservation, and landscape integration: the case study of the San Martino castle in Parella (Turin, Italy)*, Energy Procedia 133.

Autore: Simona Cirami, Gianpiero Evola, Antonio Gagliano, Giuseppe Margani  
 Sede editoriale: Buildings vol. 7 pp. 1 – 14, Italia  
 Anno di pubblicazione: 2017

**PAROLE CHIAVE (da documento):** Retrofit actions; Historical buildings; Cost ptimal, Energy efficiency; Cost efficiency; Payback time; Thermal comfort;  
**APPROCCI METODOLOGICI:** Analisi Cost Optimal  
**INTERVENTI EFFETTUATI:** Misure di retrofit sulla facciata interna, miglioramento dell'isolamento termico;  
**AMBITI / TIPOLOGIA:** Edificio scolastico  
**ANNO DI COSTRUZIONE:** inizio XX secolo  
**TUTELATO:** Si

**SINTESI DEI CONTENUTI**

Il presente articolo si propone di fornire un contributo nel quadro delle soluzioni di retrofit, studiando l'efficacia energetica ed economica di una serie di potenziali strategie di ristrutturazione in un edificio storico situato nel sud Italia.

Il caso di studio è un edificio situato nel centro storico di Catania, costruito durante il XVIII secolo come sede dell'Accademia di Belle Arti, attualmente ospita gli uffici dell'Università di Catania. L'edificio si sviluppa su quattro piani fuori terra ed è stato scelto in quanto ben rappresentativo del patrimonio edilizio storico italiano, e per la disponibilità dei dati delle bollette energetiche, che forniscono il reale consumo di energia. I principali materiali utilizzati per i muri sono costituiti da pietre basaltiche, originate da eruzioni remote del vulcano Etna, disposte con malta di calce bruciata. I muri hanno uno spessore da 60 cm a 110 cm, rivestiti principalmente con pietre calcaree nelle facciate nord e ovest, e con intonaco di cenere vulcanica nelle facciate est e sud, che danno su un cortile interno. La struttura è caratterizzata da un tetto tradizionale a telaio in legno con tegole locali in terracotta e finestre a vetro singolo con telaio in legno. I piani intermedi sono costituiti da pietre di pomice legate con abbondante malta di gesso.

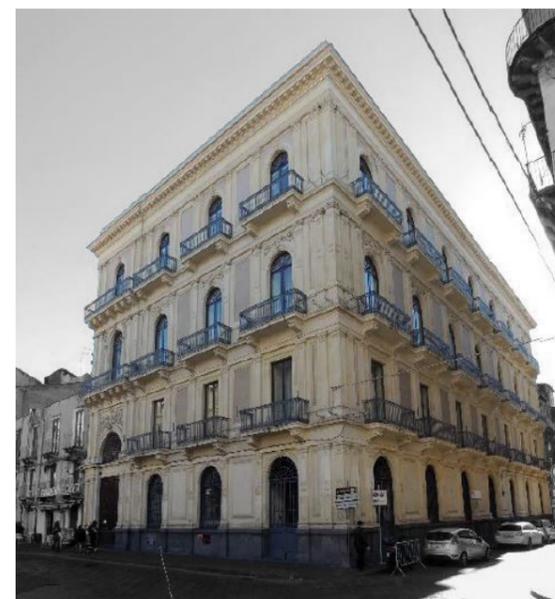
La metodologia adottata è l'analisi Cost Optimal. I pacchetti, che combinano diverse soluzioni tecnologiche per il miglioramento della resistenza termica delle pareti esterne, delle finestre e del tetto, sono stati scelti rispettando il valore culturale degli edifici storici. Lo studio mostra gli interventi di retrofit selezionati per aumentare la resistenza termica delle pareti esterne, per le coperture (con l'applicazione di un materiale isolante sotto le tegole, 80 mm di spessore) e sulla sostituzione delle finestre in uscita con un doppio vetro

con intercapedine d'aria (4-8-6 mm). Più in dettaglio, le principali differenze tra i pacchetti proposti derivano dal posizionamento del materiale isolante (superficie interna o esterna della parete), il tipo di materiale isolante (aerogel, idrato di silicato di calcio, gesso isolante) e lo spessore del materiale isolante. Tuttavia, al fine di preservare la facciata degli edifici storici, in caso di applicazione di l'isolamento sul lato esterno della parete può essere utilizzato solo un intonaco termico. Per ogni pacchetto di retrofit energetico sono stati condotti tre tipi di analisi:

- I. Calcolo del fabbisogno energetico;
- II. Analisi economica;
- III. Analisi del comfort termico.

Lo studio prosegue fornendo due diversi tipi di simulazioni energetiche, al fine di quantificare il fabbisogno energetico annuo per il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti, andando a quantificare i costi operativi, Cost Optimal Analysis in funzione dei costi applicata a tutte le soluzioni di retrofit proposte. I diversi pacchetti sono stati analizzati e confrontati da un punto di vista economico seguendo il metodo del Global Cost, cercando il livello ottimale dei costi.

In conclusione, è possibile affermare che i costi di investimento iniziali per interventi di riqualificazione energetica negli edifici storici sono ancora un ostacolo significativo, mentre i limiti di trasmittanza termica imposti per ottenere incentivi fiscali e finanziari risultano essere troppo restrittivi per questa categoria di edifici. Per questi edifici, infatti, la scelta degli interventi di retrofit è limitata dalla necessità di preservare la loro identità culturale e architettonica. Norme e codici attuali mostrano la mancanza di un protocollo specifico che fornisca soluzioni equilibrate per migliorare significativamente l'efficienza energetica degli edifici storici.

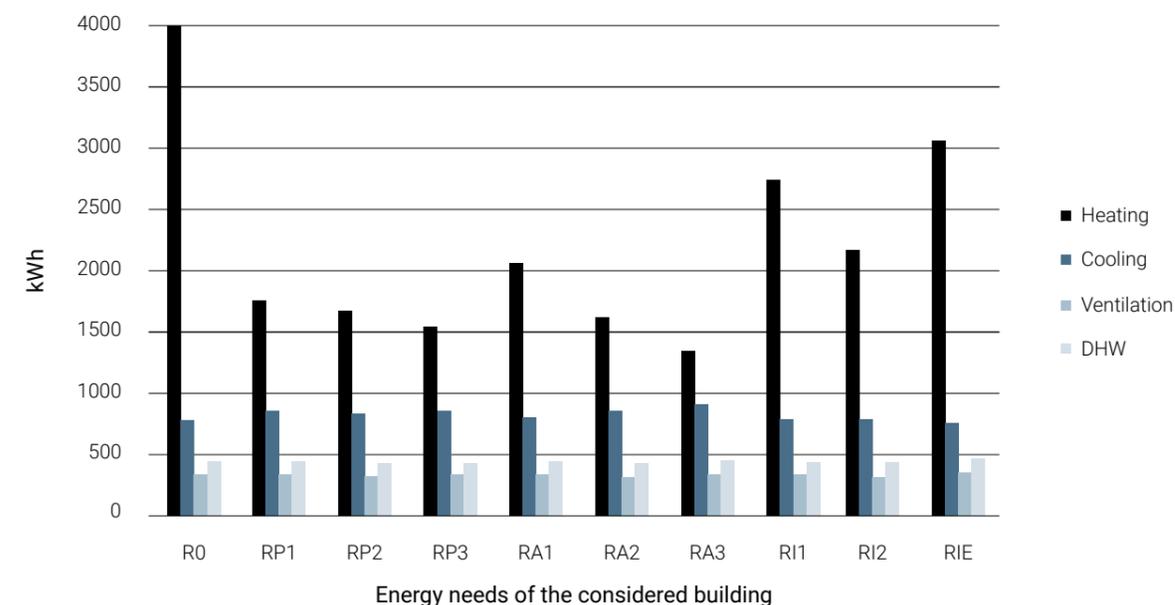


Veduta nord-ovest dell'Università di Catania, pag. 8.  
 Fonte: CIRAMI S., EVOLA G., GAGLIANO A., MARGANI G., (2017), Energy renovation strategies for historical buildings: Cost-Optimal Analysis for a case study in Catania (Sicily), Buildings 7.

Thermal transmittance [W/m²K] of the building components after retrofit

External walls	A1	A2	A3	P1	P2	P3	I1	I2	IE
	0.8	0.51	0.37	0.59	0.52	0.42	1.31	0.97	1.02
Roof	RT								
	0.24								
Windows	RV								
	2.1								

Tabella con i valori di trasmittanza termica dei componenti dell'edificio, pag. 8.  
 Rielaborazione dell'autrice da: CIRAMI S., EVOLA G., GAGLIANO A., MARGANI G., (2017), Energy renovation strategies for historical buildings: Cost-Optimal Analysis for a case study in Catania (Sicily), Buildings 7.



Fabbisogno energetico dell'edificio, pag. 9.  
 Rielaborazione dell'autrice da: CIRAMI S., EVOLA G., GAGLIANO A., MARGANI G., (2017), Energy renovation strategies for historical buildings: Cost-Optimal Analysis for a case study in Catania (Sicily), Buildings 7.

Autore: C. Rodrigues, F. Freire

Sede editoriale: Journal of Cleaner Production vol. 157, pp. 95 – 105, Portogallo

Anno di pubblicazione: 2017

**PAROLE CHIAVE (da documento):** Building retrofits; Environmental impacts; Life Cycle Assessment; Life-cycle cost assessment; Occupancy pattern; Thermal insulation;

**APPROCCI METODOLOGICI:** LCCA + LCA

**INTERVENTI EFFETTUATI:** Ristrutturazione dell'edificio; Misure di retrofit sulla facciata interna; Miglioramento dell'isolamento termico;

**AMBITI / TIPOLOGIA:** Edificio residenziale e ufficio

**ANNO DI COSTRUZIONE:** inizio XX secolo

**TUTELATO:** No

**SINTESI DEI CONTENUTI**

L'obiettivo principale di questo articolo è stato quello di studiare come l'occupazione e il riutilizzo adattivo di un edificio residenziale storico convertito in ufficio, influenzino le prestazioni di eco-efficienza delle strategie di retrofit degli edifici per aiutare a sostenere il processo decisionale.

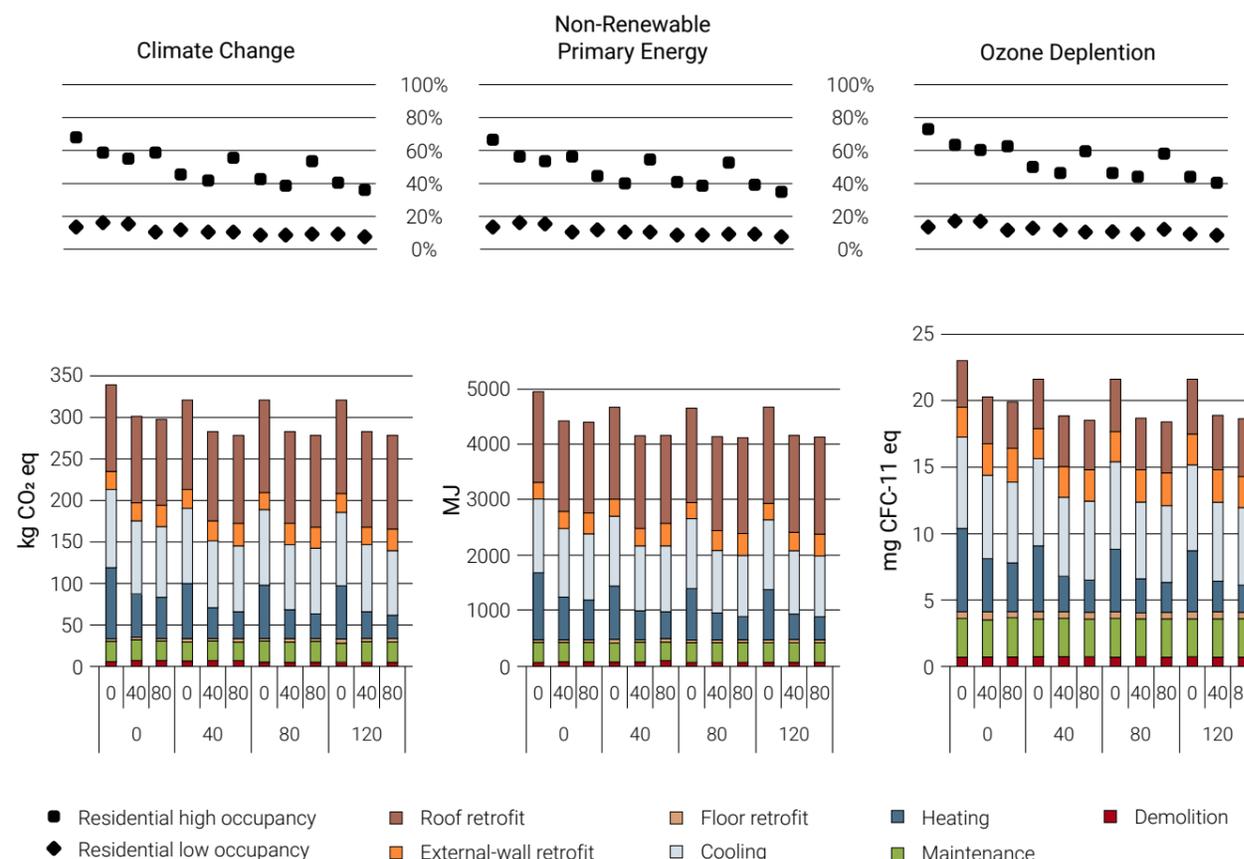
Caso studio è un edificio storico (casa unifamiliare) di Coimbra in Portogallo, rappresentativo degli edifici climatici del Sud Europa del XIX secolo. La trasformazione d'uso degli edifici residenziali esistenti nelle città europee vengono spesso ristrutturati per essere adattati come edifici per uffici pur mantenendo il loro valore storico.

Gli autori hanno sviluppato nove scenari di retrofit, combinando tipi e spessori di isolamento alternativi, (0-40-80-120 mm di isolamento del tetto; 0-40-80 mm di isolamento delle pareti esterne) e livelli di utilizzo (uso ufficio; alta e bassa occupazione residenziale). Con l'ausilio del software EnergyPlus, si è potuto procedere con il calcolo del fabbisogno energetico, introducendo anche una valutazione del ciclo di vita (LCA) e un'analisi dei costi del ciclo di vita (LCCA). Gli indicatori ambientali utilizzati sono NRPE, CC, OD, TA, FE e ME e la LCCA viene eseguita utilizzando il metodo del costo annuale equivalente (EAC), il quale è stato impiegato per calcolare il risparmio netto annuale degli scenari alternativi di retrofit, mostrando che solo i livelli di occupazione residenziale alta presentano un risparmio significativo dovuto al retrofit. Tuttavia, la valutazione ambientale ed economica non sono studiate singolarmente, ma sono integrate nella cosiddetta matrice di eco-efficienza, che è definita come obiettivo per massimizzare il risparmio netto annuale mentre si riducono gli impatti ambientali.

I risultati della valutazione dell'eco-efficienza mostrano che le condizioni di comfort più elevate portano a migliori risultati eco-efficienti in tutti i tipi di occupazione. Le strategie di retrofit con più di 80 mm di isolamento del tetto non sono eco-efficienti. In sintesi, diverse strategie di retrofit dovrebbero essere adottate per massimizzare i risparmi e minimizzare l'impatto ambientale a seconda del tipo di utilizzo e del livello di occupazione. È fondamentale considerare sia la prospettiva economica che quella ambientale a sostegno di un processo decisionale completo di retrofit. Questo articolo fornisce intuizioni e raccomandazioni per il retrofit dell'involucro edilizio, che può essere considerato anche per edifici simili e condizioni climatiche. Inoltre, fa progredire i quadri metodologici sviluppando un approccio di eco-efficienza per il retrofit degli edifici che integra completamente le valutazioni ambientali e dei costi del ciclo di vita.



Vista sud-est dell'edificio (sinistra); vista sud-ovest dell'edificio (destra), pag. 96.  
Fonte: RODRIGUES C., FREIRE F., (2017), Adaptive reuse of buildings: eco-efficiency assessment of retrofit strategies for alternative uses of an historic building, Journal of Cleaner Production 157.



LCA delle strategie di isolamento delle pareti esterne e del tetto per un periodo di 50 anni (occupazione residenziale bassa e alta intensità), pag. 101. Rielaborazione dell'autrice da: RODRIGUES C., FREIRE F., (2017), Adaptive reuse of buildings: eco-efficiency assessment of retrofit strategies for alternative uses of an historic building, Journal of Cleaner Production 157.

Autore: Carla Rodrigues, Fausto Freire

Sede editoriale: Energy and Buildings vol. 140, pp. 388 – 398, Portogallo

Anno di pubblicazione: 2017

**PAROLE CHIAVE (da documento):** Construction project; Feasibility study; Life cycle cost; Public sector;

**APPROCCI METODOLOGICI:** LCC + LCCA

**INTERVENTI EFFETTUATI:** Misure di retrofit sulla facciata interna; Miglioramento dell'isolamento termico;

**AMBITI / TIPOLOGIA:** Edificio residenziale e uffici

**ANNO DI COSTRUZIONE:** XIX secolo

**TUTELATO:** No

**SINTESI DEI CONTENUTI**

Questo studio presenta un approccio integrato che combina la valutazione del ciclo di vita ambientale (LCA), il costo del ciclo di vita (LCC) e la simulazione termica dinamica per valutare l'impatto di diverse strategie di retrofit.

Oggetto di studio è una casa unifamiliare dei primi del 1900 a Coimbra in Portogallo.

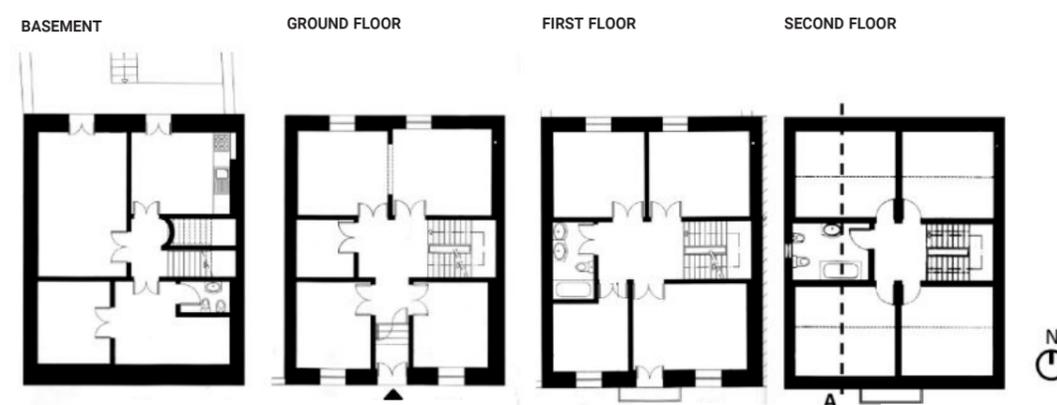
Metodologia adottata è l'analisi LCC, che viene eseguita utilizzando il metodo del costo annuo equivalente e viene considerato un tasso di sconto del 2%. Nelle diverse strategie di retrofit, lo studio combina diversi livelli di isolamento e modelli di occupazione. Inoltre, il presente lavoro mostra come l'occupazione influenza i risultati dell'analisi. Tre scenari di occupazione (basso-residenziale; alto-residenziale; ufficio) sono combinati a tre livelli alternativi di isolamento del tetto (40-80-120 mm) e a due livelli alternativi di isolamento delle pareti esterne (40-80 mm). Lo scenario di occupazione di base è definito da una famiglia di quattro persone con bassa occupazione e set-point fissati a 20°C (riscaldamento) e 25°C (raffreddamento). In primo luogo, viene implementato un modello di simulazione termica dinamica per calcolare il fabbisogno energetico dell'intero edificio. L'impatto ambientale è definito da 5 indicatori (CC, OD, TA, FE, ME) più l'energia primaria non rinnovabile (NRPE).

L'analisi LCA mostra che un'alta occupazione residenziale ha un impatto ambientale maggiore rispetto a una bassa occupazione residenziale o all'uso di uffici, a causa delle maggiori esigenze di riscaldamento e raffreddamento. Inoltre, ulteriori livelli di isolamento portano a benefici considerevolmente più alti (10-45% di riduzione dell'impatto) per un'alta occupazione rispetto a una bassa occupazione (5-24%).

I risparmi netti annuali di ogni strategia di retrofit sono calcolati confrontando l'EAC di retrofit con l'EAC di no-retrofit, come segue:

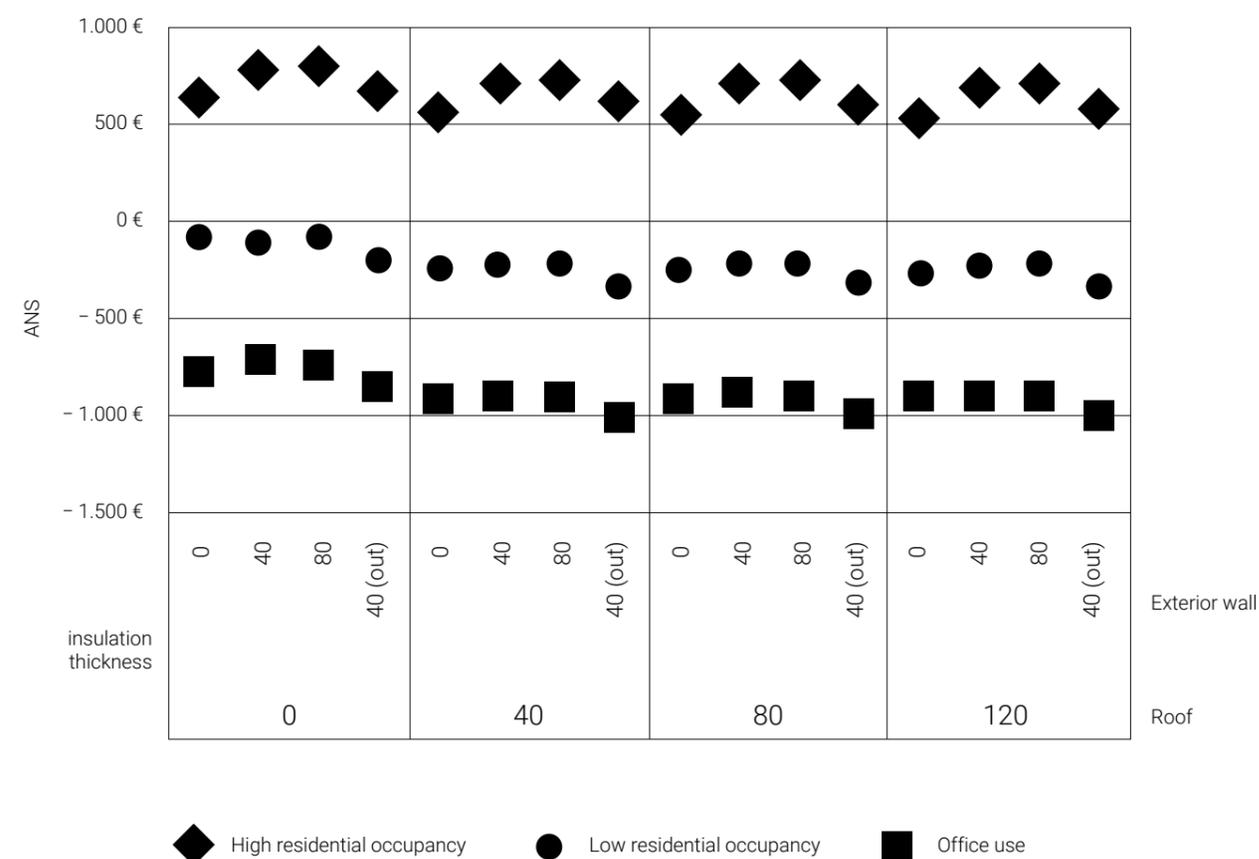
$$ANS = EAC \text{ no-retrofit} - EAC \text{ strategia retrofit}$$

Nella figura di fianco, sono mostrati i risparmi netti annuali delle strategie di isolamento retrofit delle pareti esterne e del tetto (rispetto al no-retrofit), assumendo scenari alternativi di occupazione e uso degli uffici. La figura mostra che un'alta occupazione residenziale presenta risparmi annuali netti più alti. In caso di bassa occupazione residenziale e uso di uffici, nessuna delle strategie di retrofit presenta risparmi positivi.



Pianta casa unifamiliare, pag. 389.

Fonte: RODRIGUES C., FREIRE F., (2017), *Building retrofit addressing occupancy: an Integrated cost and environmental Life-Cycle Analysis*, Energy and Buildings 140.



Risparmio netto annuo delle strategie di isolamento delle pareti esterne e del tetto (relativo al non retrofit) ipotizzando scenari di occupazione alternativi: occupazione residenziale bassa e alta e uso ufficio, pag. 8. Rielaborazione dell'autrice da: RODRIGUES C., FREIRE F., (2017), *Building retrofit addressing occupancy: an Integrated cost and environmental Life-Cycle Analysis*, Energy and Buildings 140.

Autore: Luca Mauri

Sede editoriale: Energy Procedia vol. 101, pp. 1127 – 1134, Italia

Anno di pubblicazione: 2016

**PAROLE CHIAVE (da documento):** NZEB; Trnsys; Retrofit strategies; Historic building; Feasibility analysis;

**APPROCCI METODOLOGICI:** Analisi Cost Optimal

**INTERVENTI EFFETTUATI:** Miglioramento dell'involucro; Sostituzione delle pompe di calore aria acqua con pompe geotermiche (sistemi AHU); Sostituzione delle lampade fluorescenti, alogene e ad incandescenza con i LED; Impianto fotovoltaico;

**AMBITI / TIPOLOGIA:** Edificio multifunzionale

**ANNO DI COSTRUZIONE:** 1860

**TUTELATO:** Sì

**SINTESI DEI CONTENUTI**

Lo studio riportato in questo lavoro ha l'obiettivo di stabilire criteri e soluzioni progettuali per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici al fine di raggiungere gli obiettivi NetZEB per quegli edifici caratterizzati da vincoli storici. Per la scelta sono stati considerati due fattori chiave, quali:

- A. L'edificio del caso studio deve essere situato in una zona climatica simile ad Agrigento;
- B. L'edificio deve presentare vincoli edilizi in quanto struttura storica.

Edificio ideale per l'analisi è situato nella città di Agrigento in Piazzale Aldo Moro 1, Costruito nel 1860. Presenta cinque piani fuori terra con diverse destinazioni d'uso: uffici, servizi e unità abitative.

Per le indagini sono stati determinati i consumi energetici di tutti gli impianti deputati a ciascun servizio. Si è proceduto con il confronto tra i risultati delle simulazioni energetiche ottenute tramite Trnsys (programma di sistema transitorio) e Termo (usato per la certificazione energetica basata sugli algoritmi delle norme UNI/TS 11300), ed un'analisi di fattibilità economica di vari scenari di interventi di retrofit, finalizzati al perseguimento di NetZEB, al fine di trovare la corrispondenza tra il raggiungimento dell'obiettivo di risparmio energetico e la minimizzazione dei costi. Sebbene i dati ottenuti siano riferiti a un singolo caso di studio, possono essere confrontati con i risultati di tutti gli altri casi di analisi degli edifici NetZEB non residenziali situati in climi temperati simili. I risultati delle simulazioni effettuate con i programmi sopra menzionati sono presentati abbinati per quanto riguarda le richieste di energia per il riscaldamento e il raffreddamento degli spazi. In primo luogo, vengono proposte le simulazioni ante-operam mentre in una seconda sezione, dopo una descrizione della strategia

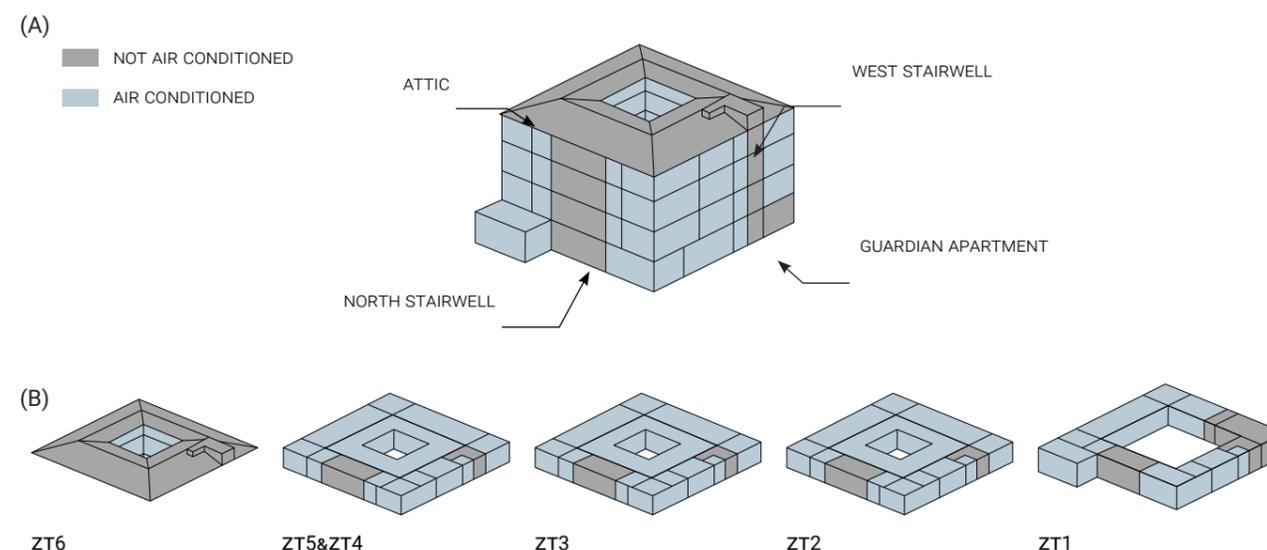
di retrofit perseguita, vengono presentati i risultati dei diversi scenari di retrofit, fino alla soluzione progettuale post-operam che ha permesso il raggiungimento di NetZEB. Il confronto dei risultati hanno dimostrato che con il retrofit sull'edificio esistente con soluzioni tecnologiche comuni è possibile ridurre il fabbisogno energetico e le emissioni di gas serra, di circa il 30%. È comunque chiaro che solo utilizzando energia prodotta in loco da fonti rinnovabili, il bilancio può garantire il raggiungimento dell'obiettivo NetZEB.

In conclusione, solo gli scenari che prevedono l'utilizzo della tecnologia fotovoltaica hanno permesso di abbattere la soglia del fabbisogno specifico di energia primaria sotto i 10 kWh/m<sup>3</sup>. Adottando il fotovoltaico a lucernario è possibile raggiungere valori inferiori a 5 kWh/m<sup>3</sup>, avvicinandosi così all'obiettivo NetZEB. Purtroppo quest'ultimo scenario non è realizzabile se si considerano le restrizioni imposte dal regolamento edilizio di Agrigento per quanto riguarda gli edifici storici. I criteri per definire le strategie di retrofit per raggiungere l'obiettivo NetZEB non possono prescindere dagli aspetti economici. Nonostante ciò si evidenziano criticità nell'adottare alcune soluzioni: l'aumento dei livelli di isolamento termico dell'involucro edilizio e la sostituzione delle pompe di calore esistenti con quelle geotermiche non sono convenienti se non combinate con altre scelte progettuali, nonostante le stesse soluzioni, da sole, contribuiscano ad avvicinarsi al target desiderato. Viceversa, anche combinando con esse soluzioni tecnologiche solitamente redditizie, come il fotovoltaico e il LED, il target NZEB comporta un significativo ritardo nel ritorno dell'investimento che, se associato alla variabilità dei tassi di interesse di mercato, rende i risultati incerti in tali scenari.



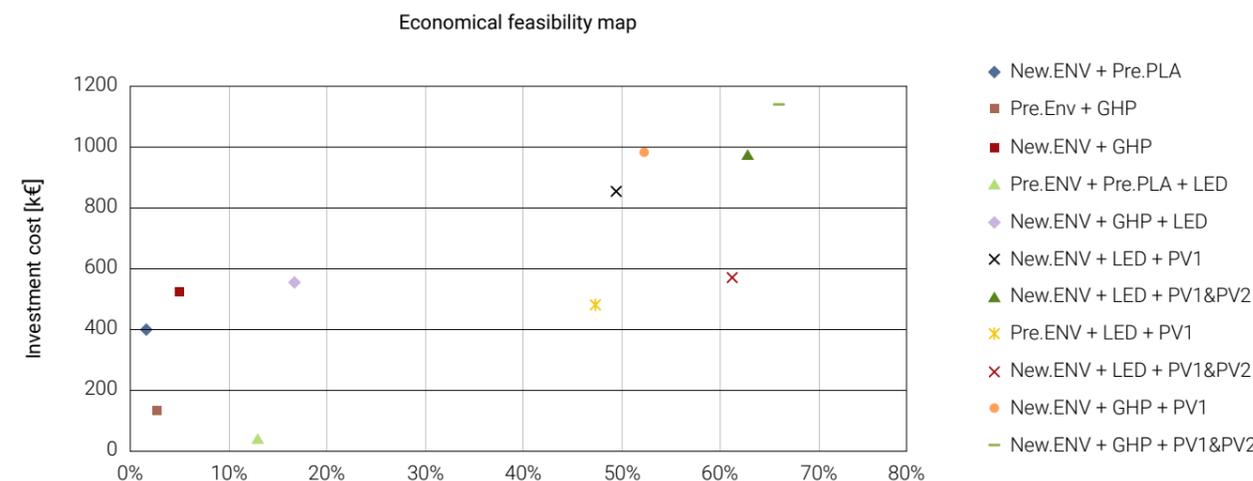
Vista prospettica della facciata sud, pag. 1128.

Rielaborazione dell'autrice da: MAURI L., (2016), *Feasibility analysis of retrofit strategies for the achievement of NZEB target on a historic building for tertiary use*, Energy Procedia 101.



Vista a zone dell'intero edificio (a). Vista zone dei singoli piani (b), pag. 1129.

Rielaborazione dell'autrice da: MAURI L., (2016), *Feasibility analysis of retrofit strategies for the achievement of NZEB target on a historic building for tertiary use*, Energy Procedia 101.



Mapa di fattibilità economica di ogni scenario, pag. 1133.

Rielaborazione dell'autrice da: MAURI L., (2016), *Feasibility analysis of retrofit strategies for the achievement of NZEB target on a historic building for tertiary use*, Energy Procedia 101.

Autore: Linn Liu, Patrik Rohdin, Bahram Moshfegh  
 Sede editoriale: Energy and Buildings vol. 133, pp. 823 – 833, Svezia  
 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:** LCCA

**INTERVENTI EFFETTUATI:** Introduzione di una pompa di calore per il riscaldamento; Piccole sostituzioni dei materiali in facciata;

**AMBITI / TIPOLOGIA:** Edificio residenziale

**ANNO DI COSTRUZIONE:** 1890

**TUTELATO:** Sì

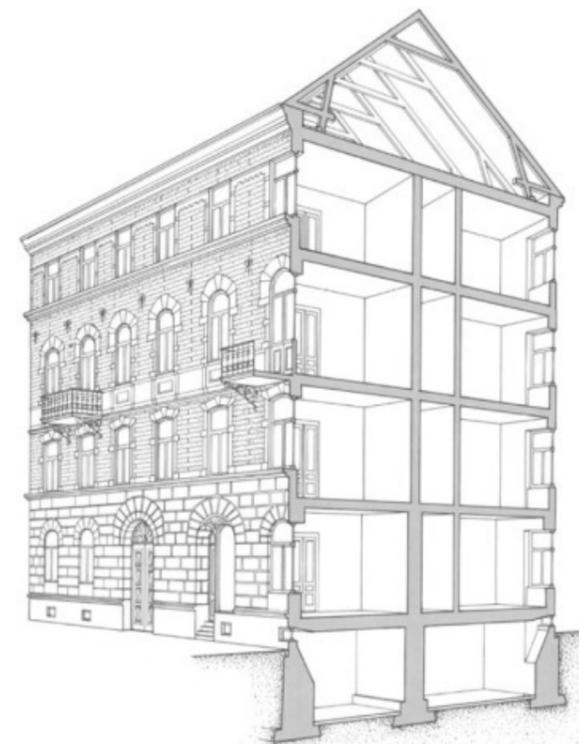
**SINTESI DEI CONTENUTI**

In questo studio viene analizzato un edificio plurifamiliare di cinque piani nella città di Stoccolma. Scopo dell'articolo è trovare pacchetti ottimali in termini di costo, da includere nel processo di ristrutturazione, nonché di esplorare gli effetti che specifici interventi energetici hanno su un edificio del 1890. Lo scopo è anche quello di mostrare gli effetti sul consumo di energia, LCC, consumo di energia primaria e CO<sub>2</sub> emissioni di diversi obiettivi energetici e tassi di sconto.

L'edificio individuato è un'abitazione plurifamiliare a Stoccolma, Svezia, e rappresenta un tipico edificio multifamiliare costruito durante gli anni 1880 e 1890. L'edificio è orientato a nord-sud e si eleva per cinque piani. Un seminterrato (riscaldato), piano h=2,2 m; quattro piani di appartamenti (riscaldato), piano h=3 m; un piano mansardato (non riscaldato), piano h=1,2 m. L'area totale del pavimento riscaldato è di 1000 m<sup>2</sup> (20 m x 10 m su ogni piano). Le pareti esterne, costruite in mattoni, hanno spessori e proprietà dell'involucro diverse nei diversi piani. L'edificio include 56 finestre a due vetri con valore U=2,7 W/(m<sup>2</sup>K). L'edificio utilizza un sistema di ventilazione naturale e il sistema di riscaldamento esistente è un impianto di condizionamento idronico collegato alla rete di riscaldamento del distretto.

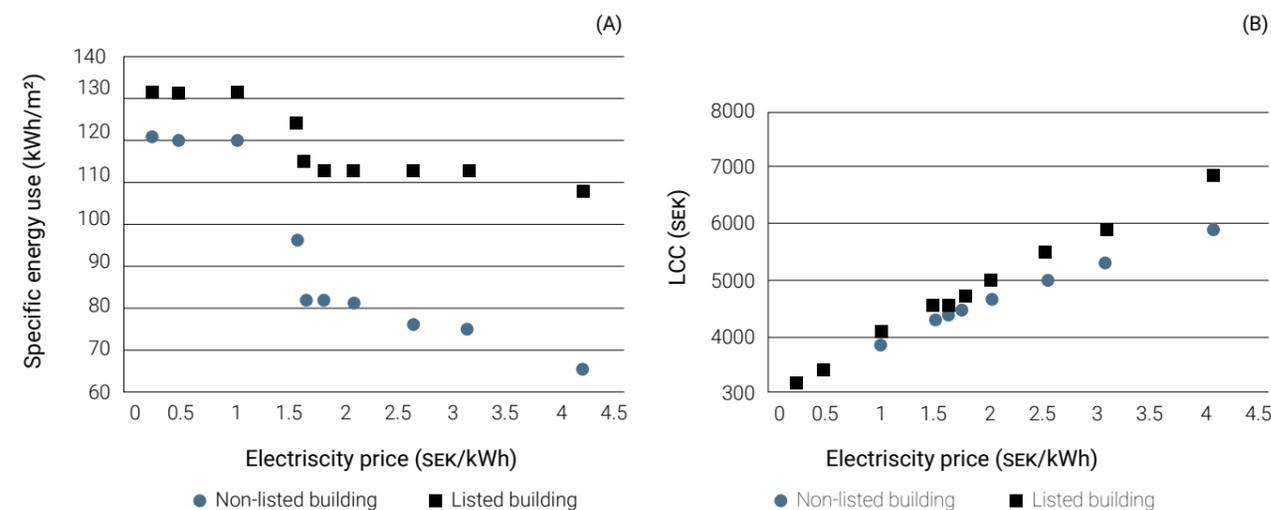
Il software utilizzato per l'analisi è il programma di ottimizzazione LCC "OPERA-MIP" il quale individua la strategia di rinnovamento energetico ottimale in termini di costi durante l'intero ciclo di vita dell'edificio, infine viene utilizzato il metodo del Valore Attuale per rendere i costi comparabili. Dato l'alto profilo storico degli edifici si è deciso di mantenere inalterato l'involucro esterno, ammettendo solo piccoli e mirati cambiamenti nei materiali.

Tutti i risultati dell'analisi di sensibilità dimostrano che la pompa di calore per il sistema di riscaldamento sia la soluzione migliore, inoltre, 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, inoltre, che l'edificio è in grado di raggiungere l'obiettivo energetico del 2020 indipendentemente dal valore del patrimonio culturale dell'edificio. 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. D'altra parte gli obiettivi energetici per il 2020 e il 2050 aumentano i requisiti di prestazione energetica nel patrimonio edilizio esistente, interessando sia gli edifici quotati che quelli non quotati. È importante dunque selezionare misure di efficienza energetica appropriate e convenienti, utilizzando ad esempio l'ottimizzazione del costo del ciclo di vita (LCC).



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

Fonte: LIU L., ROHDIN P., MOSHFEGH B., (2016), *LCC Assessments and environmental Impacts on the energy renovation of a multi-family building from the 1890s*, Energy and Buildings 133.



I due grafici mostrano: (A) Uso specifico di energia (kWh/m<sup>2</sup>); (B) LCC totale degli edifici storici cambia al valore del tasso di sconto, pag. 830. Rielaborazione dell'autrice da: LIU L., ROHDIN P., MOSHFEGH B., (2016), *LCC Assessments and environmental Impacts on the energy renovation of a multi-family building from the 1890s*, Energy and Buildings 133.

Autore: Giovanni Ciampi, Antonio Rosato, Michelangelo Scorpio, Sergio Sibilio

Sede editoriale: Energy Procedia vol. 78, pp. 741 – 746, Italia

Anno di pubblicazione: 2015

**PAROLE CHIAVE (da documento):** Historical buildings; Building simulations; Energy Saving; Energy efficiency; Retrofit actions

**APPROCCI METODOLOGICI:** Analisi Cost Optimal

**INTERVENTI EFFETTUATI:** Misure di retrofit sulla facciata interna, miglioramento dell'isolamento termico; Sostituzione degli elementi trasparenti; Sostituzione della caldaia a gasolio con una condensazione a gas naturale

**AMBITI / TIPOLOGIA:** Edificio religioso

**ANNO DI COSTRUZIONE:** XV secolo

**TUTELATO:** Si

**SINTESI DEI CONTENUTI**

Scopo di questo lavoro, è quello di valutare l'impatto energetico ed economico di diverse azioni di retrofit su un edificio pubblico storico esistente, valutandone i risparmi di energia primaria e calcolandone il periodo di ammortamento.

Lo studio si è concentrato su una porzione dell'Abbazia di San Lorenzo ad Septimum, che si trova ad Aversa (Italia meridionale) e ospita il Dipartimento di Architettura e Disegno Industriale "Luigi Vanvitelli" della Seconda Università di Napoli.

L'analisi si è limitata alla stagione di riscaldamento ed è stata finalizzata sia a proporre una metodologia operativa generale, sia a evidenziare una best-practice per il contesto territoriale italiano, che presenta diversi edifici storici in evidente cattivo stato e che necessitano di restauro. Il consumo di energia primaria e i costi di esercizio associati all'attuale edificio (senza interventi di retrofit) sia dell'impianto di riscaldamento degli ambienti che degli apparecchi di illuminazione della porzione dell'Abbazia, sono stati valutati solo durante la stagione di riscaldamento, sulla base di un'indagine sul campo e di dati dei produttori. Le prestazioni attuali sono state confrontate con quelle ottenibili adottando diversi interventi di retrofit sia dell'impianto di riscaldamento degli ambienti che dell'involucro edilizio; il consumo di energia primaria e i costi operativi dell'edificio con le misure di retrofit proposte sono stati calcolati sulla base dei risultati della simulazione ottenuti utilizzando il software di simulazione dinamica dell'intero edificio TRNSYS. Sia il confronto energetico che quello economico sono stati effettuati secondo lo scenario italiano utilizzando la metodologia di analisi Cost Optimal. Il confronto effettuato tra lo stato attuale e i possibili scenari futuri ha consentito di valutare i poten-

ziali benefici in termini di risparmio di energia primaria e riduzione dei costi di esercizio di ogni intervento di retrofit proposto.

L'analisi ha evidenziato che l'opzione migliore sia dal punto di vista energetico che punto di vista economico è l'uso di termostati per regolare la temperatura dell'aria interna; l'aggiunta di pannelli isolanti e la sostituzione delle finestre attuali fornisce un valore abbastanza grande del periodo di ritorno (simple payback period); risultati intermedi risultati intermedi possono essere ottenuti utilizzando una caldaia a condensazione a gas naturale al posto dell'attuale caldaia a gasolio.



Facciata chiesa San Lorenzo ad Septimum, pag. 742.

Fonte: CIAMPI G., ROSATO A., SCORPIO M., SIBILIO S., (2015), *Energy and economic evaluation of retrofit actions on an existing historical building in the South of Italy by using a dynamic simulation software*, Energy Procedia 78.

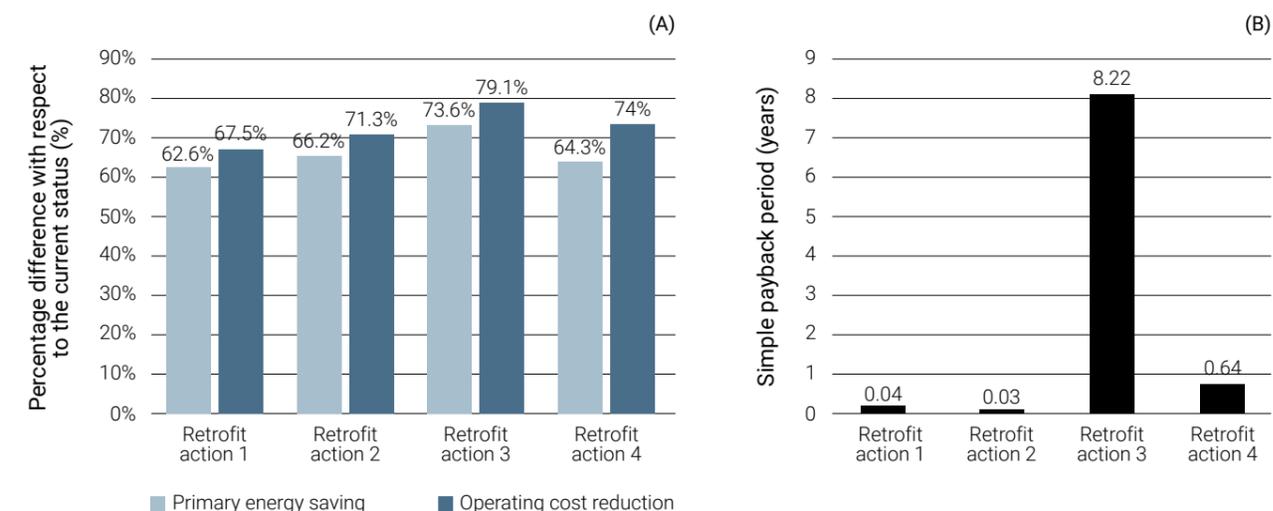


Figura (A) Risparmio di energia primaria e riduzione dei costi operativi; figura (B) periodo di recupero semplice in funzione dell'azione di retrofit, pag. 746.  
Rielaborazione dell'autrice da: CIAMPI G., ROSATO A., SCORPIO M., SIBILIO S., (2015), *Energy and economic evaluation of retrofit actions on an existing historical building in the South of Italy by using a dynamic simulation software*, Energy Procedia 78.

Autore: C. Becchio, D. G. Ferrando, E. Fregonara, N. Milani, C. Quercia, V. Serra  
 Sede editoriale: Energy Procedia vol. 78, pp. 1039 – 1044, Italia  
 Anno di pubblicazione: 2015

**PAROLE CHIAVE (da documento):** Methodology; Retrofit measures; Environmental sustainability; Economic sustainability; Ex-industrial building; Dynamic simulation;  
**APPROCCI METODOLOGICI:** Analisi Cost Optimal  
**INTERVENTI EFFETTUATI:** Misure di retrofit per l'efficiamento energetico sulla facciata interna; Applicazione di tecnologie HVAC: pavimento radiante, pompa di calore, CMV;  
**AMBITI / TIPOLOGIA:** Edificio industriale  
**ANNO DI COSTRUZIONE:** 1888  
**TUTELATO:** Si

**SINTESI DEI CONTENUTI**

Scopo della ricerca è quello di determinare il consumo energetico complessivo annuo (compresi riscaldamento e raffreddamento degli ambienti, ventilazione, illuminazione, apparecchiature) degli scenari ipotizzati in termini di energia erogata (divisa per fonti) e di energia primaria.

Caso studio è un edificio ex-industriale situato a Torino, costruito nel 1888. La zona è caratterizzata da un ambiente urbano industriale con molti spazi vuoti, i quali solo attualmente, sono sotto oggetto di importanti operazioni di valorizzazione da parte del Comune, il quale ha già provveduto a bonificare l'area circostante. Attualmente l'edificio risulta in un profondo stato di abbandono. La ristrutturazione dell'edificio comprenderebbe non solo la bonifica ma anche la trasformazione da un uso industriale a uno residenziale e commerciale. L'edificio, caratterizzato da una superficie totale di circa 2500 m<sup>2</sup>, caratterizzato da facciate esterne opache distinte per il loro valore storico, tetto e lastre intermedie senza partizioni interne. A causa del fatto che il piano terra è caratterizzato da un'altezza di circa 8,7 metri, la ristrutturazione dell'edificio include l'aggiunta di una soletta intermedia. Di conseguenza la nuova superficie totale del pavimento ammonterebbe a 3600 m<sup>2</sup>.

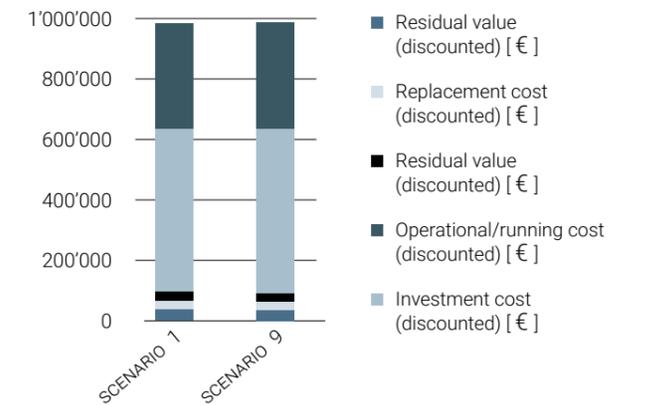
Per la simulazione delle diverse soluzioni è stata utilizzata la metodologia del Global Cost (EN 15459), selezionando 24 scenari differenti dove, per ognuno, è stato eseguito il calcolo del Costo Globale al fine di selezionare il più basso scenario di costo globale, che rappresenta il livello ottimale in funzione dei costi. In conformità con le linee guida, il calcolo risulta in un valore attuale netto dei costi sostenuti durante un periodo di calcolo definito, fissato a 30 anni (edifici ad uso residenziale). Per ogni scenario sono stati considerati

i costi relativi al consumo di energia per il riscaldamento degli ambienti (gas naturale), per il raffreddamento degli ambienti, l'illuminazione e le attrezzature (elettricità) elencati dettagliatamente nelle tabelle all'interno dell'articolo. La Cost Curve, ricavata dall'analisi Cost Optimal, individua 7 dei 24 scenari migliori in termini di costi.

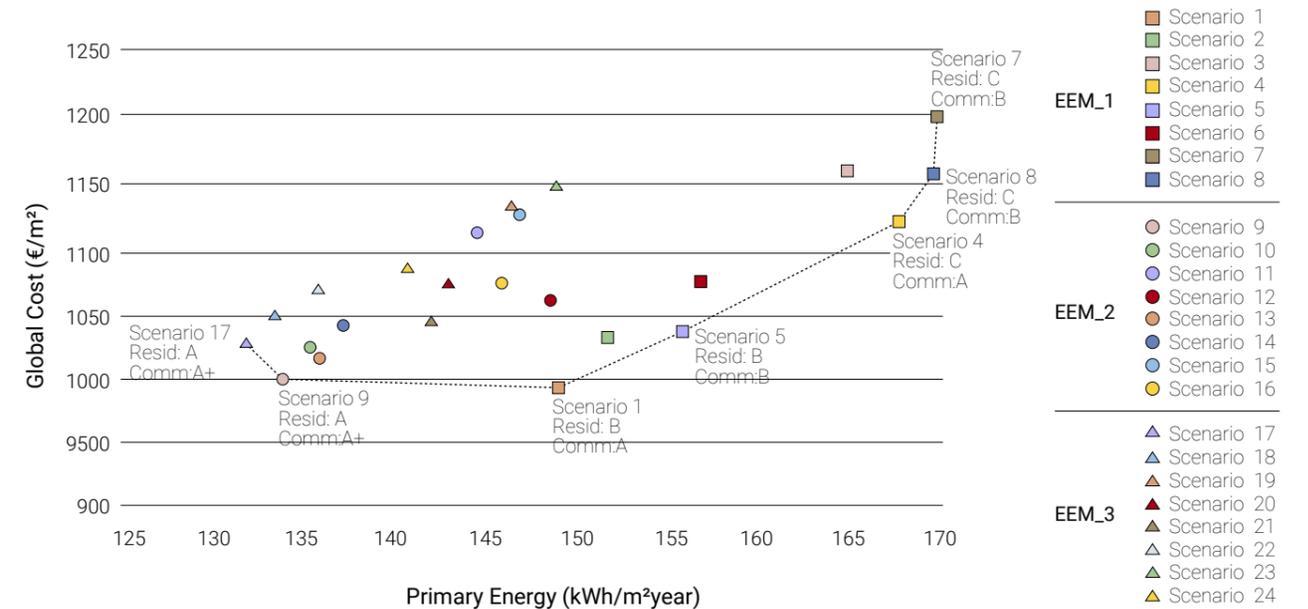
A prima vista lo scenario 1 risulta essere il più basso e per questo può essere considerato come il migliore scenario di retrofit. Anche se presenta un costo globale specifico leggermente più alto lo scenario 9 può essere preso in considerazione, poiché fornisce un minore consumo di energia primaria, ridotto di circa 15 kWh/m<sup>2</sup>a. La ridotta necessità di domanda di energia nello scenario 9 determina una migliore valutazione della classe energetica. L'edificio residenziale passa da una classe B a una classe A (sc. 1), mentre per l'edificio commerciale sale dalla classe A ad una A+ (sc. 9). Entrambi gli scenari presentano lo stesso sistema di energia primaria; pavimento radiante, caldaia a condensazione e chiller con ventilazione naturale per l'uso residenziale; unità fan coil, caldaia a condensazione e chiller con ventilazione meccanica controllata per gli spazi commerciali; l'impianto solare termico e fotovoltaico è costituito dallo stesso numero di pannelli. L'unica differenza, che determina l'aumento dei costi e la diminuzione dei consumi, è costituita dal livello di isolamento termico dell'involucro edilizio. L'involucro edilizio dello scenario 1 è meno performante di quello 9. Pertanto, la scelta finale tra i due scenari dipende dalla propensione dell'utente a investire risorse per ottenere le migliori prestazioni energetiche e, di conseguenza, minori costi di gestione.



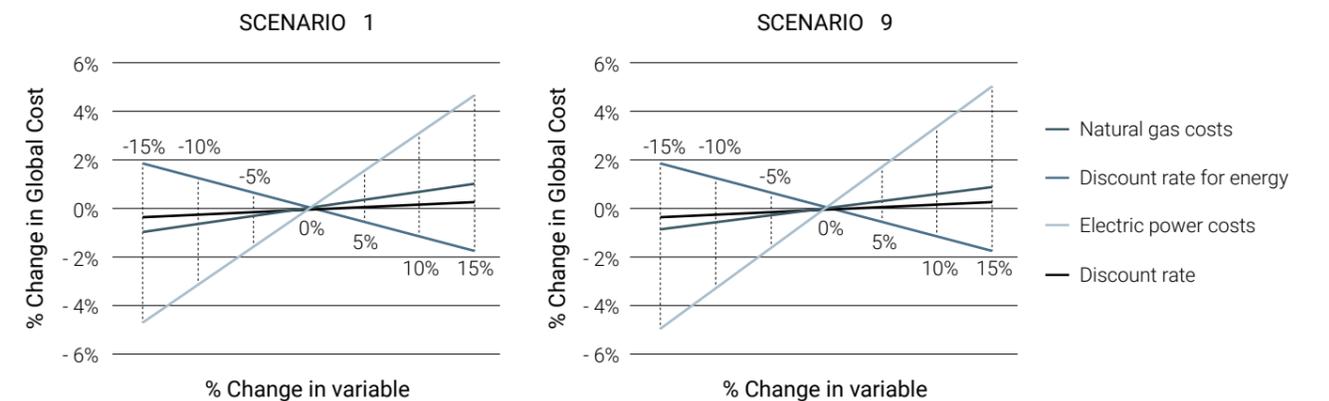
Facciata edificio ex-industriale, pag. 592.  
 Fonte: BECCHIO C., ed al., (2015), *The Cost Optimal methodology for evaluating the energy retrofit of an ex-industrial building in Turin*, Energy Procedia 78.



Ripartizione del costo globale dell'intero edificio per gli scenari 1 e 9, pag. 596.  
 Rielaborazione dell'autrice da: BECCHIO C., ed al., (2015), *The Cost Optimal methodology for evaluating the energy retrofit of an ex-industrial building in Turin*, Energy Procedia 78.



Costo globale rispetto all'energia primaria di ogni scenario EEM, pag. 599.  
 Rielaborazione dell'autrice da: BECCHIO C., ed al., (2015), *The Cost Optimal methodology for evaluating the energy retrofit of an ex-industrial building in Turin*, Energy Procedia 78.



Sensitivity analysis: spider graph, pag. 599.  
 Rielaborazione dell'autrice da: BECCHIO C., ed al., (2015), *The Cost Optimal methodology for evaluating the energy retrofit of an ex-industrial building in Turin*, Energy Procedia 78.

Autore: Jamie Bull, Akshay Gupta, Dejan Mumovic, Judit Kimpian

Sede editoriale: International Journal of Sustainable Built Environment vol. 3, pp. 1 – 17, Regno Unito

Anno di pubblicazione: 2014

**PAROLE CHIAVE (da documento):** Building energy simulation; Life cycle cost; Life cycle carbon footprint; Refurbishment; Energy efficiency;

**APPROCCI METODOLOGICI:** LCC

**INTERVENTI EFFETTUATI:** Utilizzo degli ERM (misure di riqualificazione energetica) applicati all'involucro dell'edificio e al sistema di riscaldamento a gas;

**AMBITI / TIPOLOGIA:** Edificio scolastico

**ANNO DI COSTRUZIONE:** fine del XIX e il XX secolo

**TUTELATO:** ND

**SINTESI DEI CONTENUTI**

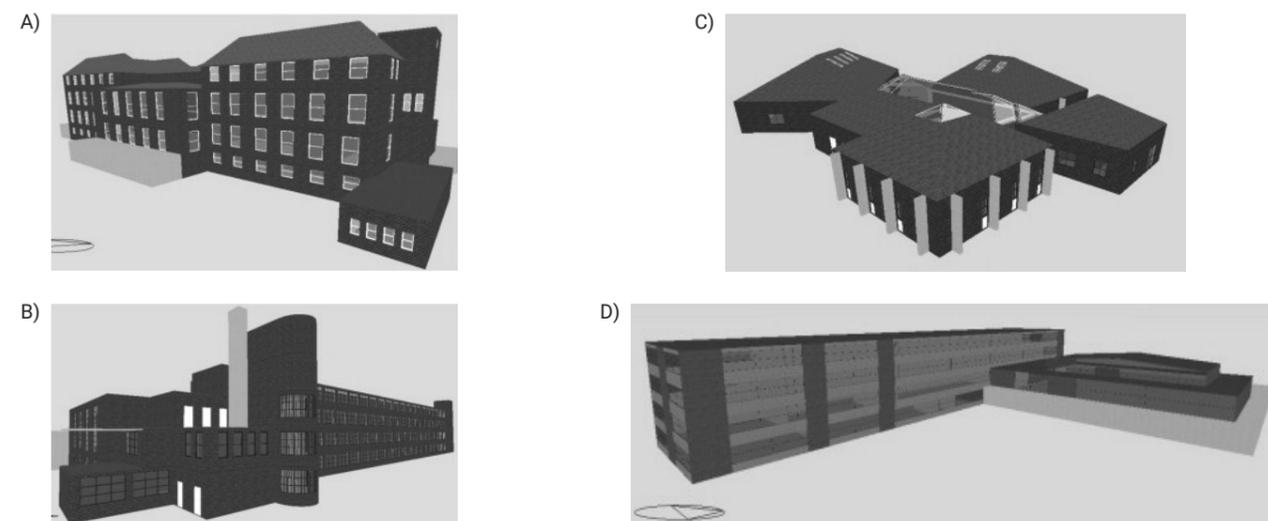
Questo studio presenta un metodo per valutare le opzioni di ristrutturazione energeticamente efficienti per le scuole nel Regno Unito. L'intenzione è di esplorare le implicazioni LCCF e LCC delle opzioni di retrofit per una serie di tipologie di scuole, con l'obiettivo di stabilire quali misure di retrofit e quali combinazioni di misure determinano la maggiore riduzione complessiva di LCCF e LCC. Lo scopo in esame per la fase LCIA sono le emissioni di carbonio aggiuntive generate durante la fase di produzione dei materiali dalla culla all'ingresso della fabbrica, il trasporto al sito, la variazione delle emissioni di carbonio durante l'uso dell'edificio retrofit, le emissioni di smaltimento alla fine del ciclo di vita e le fasi corrispondenti per il costo del ciclo di vita.

Quattro scuole sono identificate come rappresentative degli archetipi scolastici costruiti nel Regno Unito durante quattro periodi distinti nel XX secolo nei distretti industriali: 1870–1914 (Scuola A); 1944–1970 (Scuola C); 1914–1944 (Scuola B); 1970–1995 (Scuola D). Tutti i progetti hanno una struttura standardizzata, costruita principalmente in mattoni rossi con grandi finestre scorrevoli in legno per le aule e sale illuminate con luce naturale. I progetti tipici presentano fino a una sovrastruttura di 3 o 4 piani con aule separate intorno a un'aula centrale o una sala coperta.

Le quattro geometrie rappresentative della scuola sono state modellate in DesignBuilder 3.0 e successivamente modificate per condurre la simulazione energetica dinamica di una gamma di ERM utilizzando EnergyPlus v. 7.2 e jEPlus v. 1.4. Nel modello sono inclusi la geometria dell'edificio, i materiali da costruzione, i sistemi meccanici e di illuminazione. La simulazione viene effettuata per ogni scuola, valutando tutte le possibili combinazioni delle misure selezionate tramite

gli ERM (Energy retrofit measures) che comprendono: quattro opzioni per l'isolamento interno, due opzioni per l'isolamento esterno, un'opzione per il miglioramento dei vetri delle finestre, una per una migliore tenuta all'aria e un'opzione per caldaie a migliore efficienza. I risultati delle simulazioni energetiche vengono utilizzati per calcolare il valore del risparmio energetico in ogni anno, misurato rispetto all'edificio di riferimento. Le due categorie di impatto del ciclo di vita considerate in questo studio sono LCCF e LCC, con LCC rappresentato dal valore attuale netto attualizzato (NPV) su 60 anni.

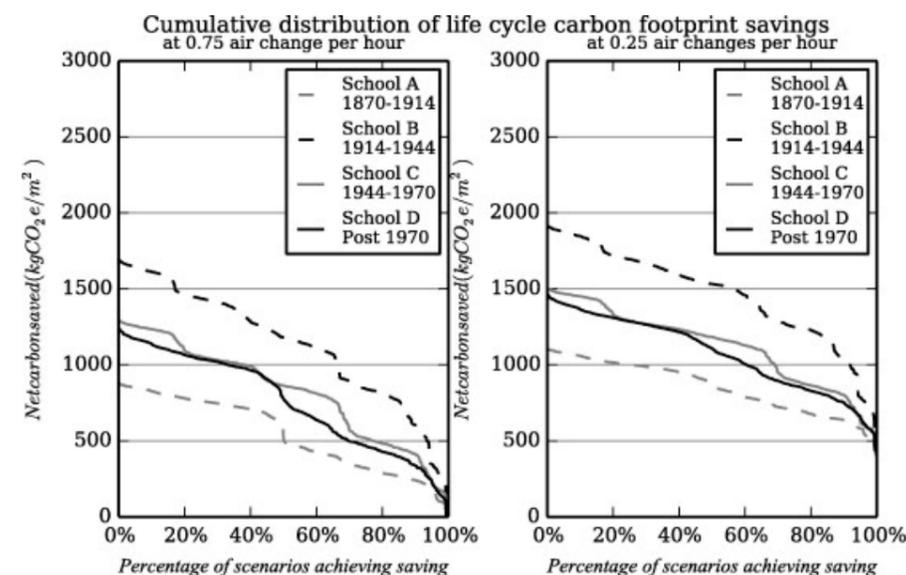
In conclusione si è visto che gli ERM, applicati solo all'involucro edilizio e al sistema di riscaldamento alimentato a gas, non comportino alcuna variazione nel consumo di energia elettrica per l'illuminazione e le apparecchiature. Si è inoltre constatato che gli impatti dei consumi di erano simili per ogni edificio. Il tempo medio di ammortamento del carbonio per tutti i pacchetti, compresi quelli con miglioramenti della tenuta all'aria, è di 3,9 anni. Al contrario, il tempo medio di ammortamento finanziario scontato dei soli pacchetti del 25% che restituiscono entro 60 anni è di 32,1 anni. Ciò dimostra che la stragrande maggioranza delle misure di retrofit che ripagano finanziariamente ripagheranno il carbonio incorporato ancora più rapidamente. Dalle 5.600 simulazioni in questo studio, nessuno scenario ha un tempo di recupero finanziario inferiore al tempo di recupero del carbonio.



Scuola A (1906); Scuola C (anni '50); Scuola B (1936); Scuola D (1982), vista renderizzata, pag. 3.  
Fonte: BULL J., GUPTA A., MUMOVIC D., KIMPIAN J., (2014), *Life Cycle Cost and carbon footprint of energy efficient refurbishments to 20th century UK school buildings*, International Journal of Sustainable Built Environment 3.

Scuola A 132 kWh/m <sup>2</sup> /anno	Scuola B 210 kWh/m <sup>2</sup> /anno
Scuola C 170 kWh/m <sup>2</sup> /anno	Scuola D 178 kWh/m <sup>2</sup> /anno

Tabella 13 Consumo energetico di riscaldamento dei modelli di riferimento, pag. 9.  
Rielaborazione dell'autrice da: BULL J., GUPTA A., MUMOVIC D., KIMPIAN J., (2014), *Life Cycle Cost and carbon footprint of energy efficient refurbishments to 20th century UK school buildings*, International Journal of Sustainable Built Environment 3.



Pacchetti di ERM classificati in base al risparmio sull'impronta di carbonio del ciclo di vita di 60 anni a 0,75 ACH (a sinistra) e 0,25 ACH (a destra), pag. 12.  
Fonte: BULL J., GUPTA A., MUMOVIC D., KIMPIAN J., (2014), *Life Cycle Cost and carbon footprint of energy efficient refurbishments to 20th century UK school buildings*, International Journal of Sustainable Built Environment 3.

Autore: S. Tadeu, C. Rodrigues, A. Tadeu, F. Freire, N. Simões

Sede editoriale: International conference in energy efficiency in historic buildings, Spagna

Anno di pubblicazione: 2014

**PAROLE CHIAVE (da documento):** Building Retrofit; Cost Optimality; Environmental Impacts; Historical Building; Life-Cycle Assessment (LCA); Thermal Dynamic Simulation;

**APPROCCI METODOLOGICI:** LCC

**INTERVENTI EFFETTUATI:** Misure di retrofit sulla facciata interna, miglioramento dell'isolamento termico; Sostituzione degli elementi trasparenti; Applcazione di tecnologie HVAC per il sistema di riscaldamento;

**AMBITI / TIPOLOGIA:** Edificio residenziale

**ANNO DI COSTRUZIONE:** inizio XX secolo

**TUTELATO:** Sì (Patrimonio UNESCO)

#### SINTESI DEI CONTENUTI

Questo documento mira a sviluppare un'analisi ambientale e ottimale dei costi integrata combinando pacchetti di retrofit alternativi per un edificio a uso misto (residenziale e servizi) del 1900.

L'edificio storico valutato si trova nel centro della città di Coimbra e si estende per cinque piani (seminterrato, cantina e piano terra ad uso commerciale e primo e secondo piano ad uso residenziale con quattro appartamenti indipendenti). Questo edificio è rappresentativo del patrimonio edilizio situato nel centro storico di Coimbra, recentemente classificato come Patrimonio dell'Umanità dall'UNESCO. L'edificio si presenta con muratura in pietra (60 cm di spessore in media) senza isolamento, un tetto tradizionale con telaio in legno e tegole in ceramica, e delle finestre a vetro singolo con telaio in legno. Il caso studio si concentra su un appartamento (con 119 m<sup>2</sup> di superficie calpestabile) come abitazione rappresentativa delle abitazioni situate nei centri storici delle città europee.

Area pavimento = 70 m<sup>2</sup>;

Altezza piano = 2,85 m;

Area pareti = 70,5 m<sup>2</sup>;

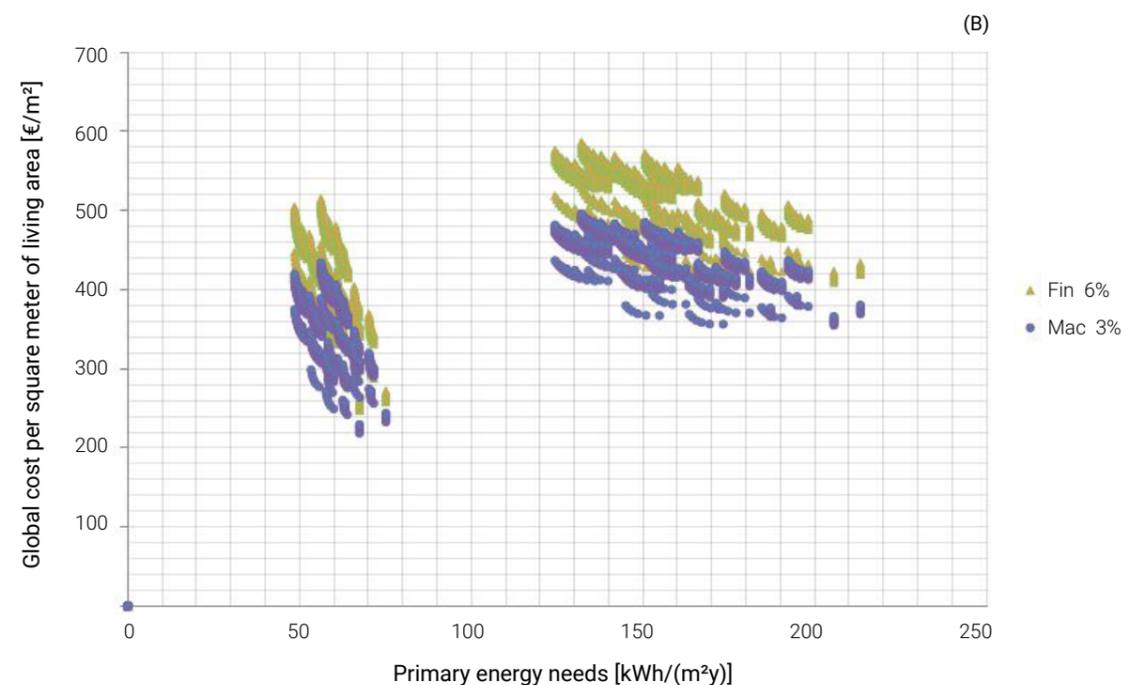
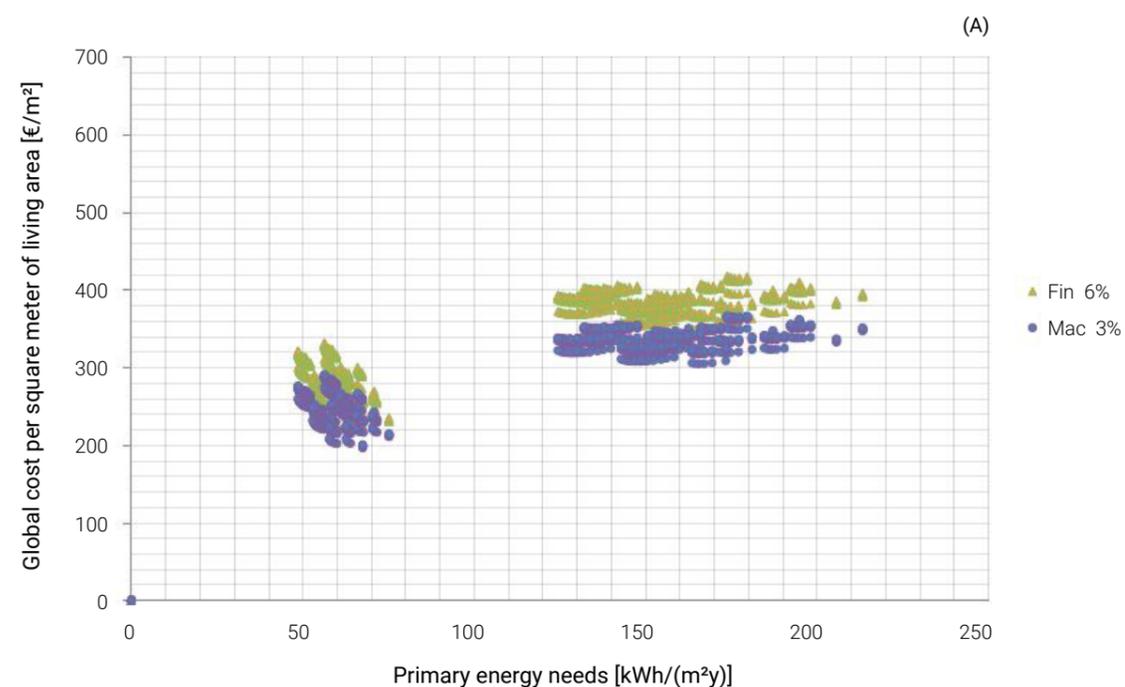
Area finestre = 17,15 m<sup>2</sup>;

Area tetto = 57 m<sup>2</sup>.

La metodologia applicata in questo studio parte dalla selezione dei principali pacchetti di retrofit di efficienza energetica, senza la pretesa di soddisfare determinati requisiti minimi di prestazione energetica cambierebbe inaccettabilmente il carattere o l'aspetto dell'edificio. I pacchetti di retrofit comprendono isolamento termico di tetto, pareti esterne e pavimento, sostituzione di finestre e sistemi di riscaldamento. Ciascun pacchetto è stato calcolato per tre diverse località (HDD (Heating Degree Days) 1000, 1304 e 2000). La combinazione di

questi parametri ha portato a 17576 pacchetti di retrofit calcolati per ciascuna posizione (52728 in totale). È stato successivamente sviluppato un modello del ciclo di vita per 24 pacchetti selezionati (all'interno della fascia di costo ottimale) per valutare materiali isolanti alternativi per identificare livelli di spessore ottimali in termini di energia primaria ed emissioni di gas serra (GHG). È stata infine eseguita una valutazione integrata del ciclo di vita dell'ottimizzazione energetica, ambientale e dei costi.

I risultati dimostrano che un isolamento aggiuntivo non fornisce un miglioramento significativo dell'efficienza energetica o una riduzione complessiva dei costi. Questo documento dimostra che, anche se gli edifici storici in Portogallo non devono essere conformi ai codici energetici degli edifici, è possibile ottenere significativi miglioramenti dell'efficienza energetica senza modificare il carattere storico. Si è inoltre concluso che sia i costi economici che quelli ambientali possono essere ridotti al minimo scegliendo le misure di efficienza energetica di retrofit più appropriate al singolo edificio.



Global Cost (€/m<sup>2</sup>) energia primaria (kWh/m<sup>2</sup>.y) risultati di 17576 pacchetti di retrofit HDD 1304 (Coimbra) considerando i costi di isolamento figura (A) limite inferiore 9,81 [€/R] e schema (B) limite superiore costi di isolamento 26,96 [€/R]; per un metro quadrato di superficie abitabile su un periodo di 30 anni, pag. 8.

Rielaborazione dell'autrice: TADEU S., RODRIGUES C., TADEU A., FREIRE F., SIMÕES N., (2014), *Energy retrofit of historic buildings: environmental assessment of Cost-Optimal solutions*, Journal of Building Engineering 4.

**“EVALUATION OF THE EFFICACY OF TRADITIONAL RECOVERY INTERVENTIONS IN HISTORICAL BUILDINGS. A NEW SELECTION METHODOLOGY”**

Autore: Tiziana Cardinale, Domenico Colapietro, Nicola Cardinale, Fabio Fatiguso  
 Sede editoriale: Energy Procedia vol. 40, pp. 515 – 524, Italia  
 Anno di pubblicazione: 2013

**PAROLE CHIAVE (da documento):** Energy rehabilitation; Vernacular architecture; Environmental monitoring; Nonlinear analysis; Seismic vulnerability; Index of elastic-seismic improvement;  
**APPROCCI METODOLOGICI:** LCA  
**INTERVENTI EFFETTUATI:** Riqualficazione delle fondazioni;  
**AMBITI / TIPOLOGIA:** Edificio religioso  
**ANNO DI COSTRUZIONE:** XVI - XVIII secolo  
**TUTELATO:** Si

**SINTESI DEI CONTENUTI**

Questo documento mira a stabilire le modalità di certificazione energetica e della prevenzione antisismica utilizzando tecniche costruttive tradizionali, al fine di promuovere la cultura della certificazione energetica sugli edifici storici posti a vincolo, secondo le recenti linee guida per la Certificazione Energetica Nazionale, offrendo l'opportunità di stabilire una metodologia combinata di valutazione che guarda allo stesso tempo all'efficienza strutturale e alla sostenibilità ambientale.

Caso di studio è il complesso monastico degli Agostiniani situato nella città di Trani è una struttura complessa, sviluppatasi tra il XVI e il XVIII secolo. Nel corso del tempo sono stati effettuati diverse aggiunte, contigue al complesso originario risalenti al 1530, l'edificio è stato convertito numerose volte fino a divenire un ospedale.

Per le analisi viene utilizzato il LMC4, uno dei rari software utilizzabili per la diagnosi energetica degli edifici storici, ma con alcune forti limitazioni dovute al fatto che è stato realizzato sulla base di programmi dedicati al dimensionamento degli impianti di condizionamento. Le combinazioni di intervento sono state valutate in termini di sostenibilità ambientale Life Cycle Assessment. Lo studio ha estremamente offerto l'opportunità di stabilire una metodologia combinata di valutazione che guardi allo stesso tempo all'efficienza strutturale e alla sostenibilità ambientale.

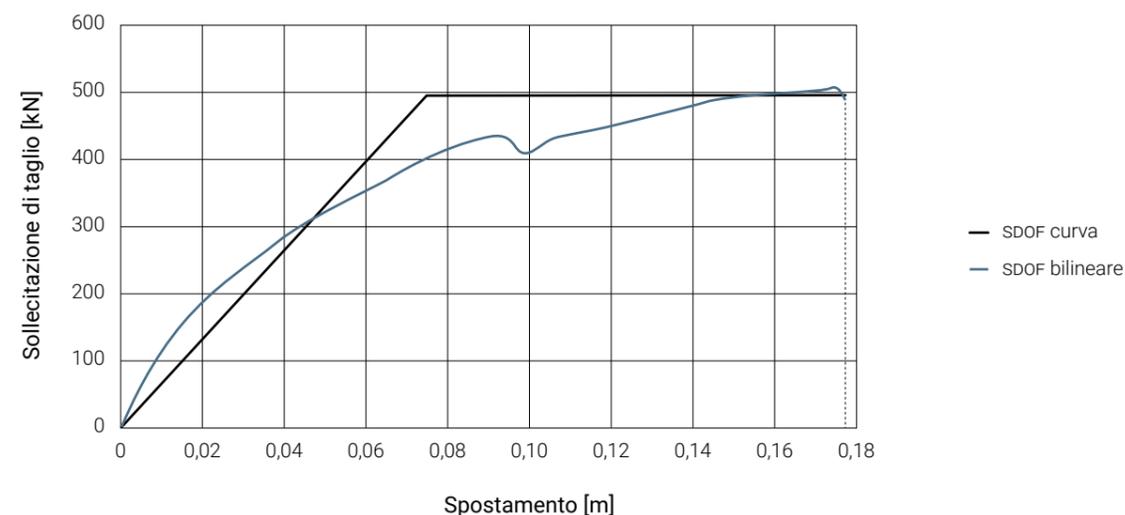
Le analisi dinamiche non lineari, realizzate sul caso studio, hanno dimostrato che una combinazione di interventi tradizionali, basati sulla base delle conoscenze tecnico-costruttive locali, sono in grado di assicurare miglioramenti in termini di vulnerabilità statica del 31,65% nello stato post-intervento rispetto a tecniche di recupero moderne e di forte invasività, per le quali si

ha un valore del 3,70%. Ciò ha confermato il raggiungimento di una sostenibilità strutturale ed ambientale attraverso l'utilizzo delle tradizionali tecniche di recupero. La combinazione di interventi "tradizionali" di recupero sismico è stata selezionata qualitativamente al fine di garantire una reversibilità e una ridotta invasività per la sua interesse, rispettando il suo disegno strutturale e le trasformazioni avvenute nel corso della storia. Questo è stato ottenuto attraverso la scelta delle seguenti tipologie di intervento, opportunamente introdotte nel modello.



Monastero Augustiniano in Trani, pag. 521.

Fonte: CARDINALE T., COLAPIETRO D., CARDINALE N., FATIGUSO F., (2013), *Evaluation of the efficacy of traditional recovery interventions in historical buildings. A new selection methodology*, In Energy Procedia 40.



Curva "IDA Mean" allo stato preconsolidato, pag. 522.

Rielaborazione dell'autrice da: CARDINALE T., COLAPIETRO D., CARDINALE N., FATIGUSO F., (2013), *Evaluation of the efficacy of traditional recovery interventions in historical buildings. A new selection methodology*, In Energy Procedia 40.



Combinazione d' interventi di recupero "tradizionali", pag. 522-523.

Fonte: CARDINALE T., COLAPIETRO D., CARDINALE N., FATIGUSO F., (2013), *Evaluation of the efficacy of traditional recovery interventions in historical buildings. A new selection methodology*, In Energy Procedia 40.

Autore: Lavinia Chiara Tagliabue, Fabrizio Leonforte, Junia Compostella

Sede editoriale: Energy Procedia vol. 30, pp. 1060 – 1068, Italia

Anno di pubblicazione: 2012

**PAROLE CHIAVE (da documento):** Solar building renovation; Photovoltaic building integration; Nearly ZEB;  
**APPROCCI METODOLOGICI:** Analisi Cost Optimal  
**INTERVENTI EFFETTUATI:** Ristrutturazione dell'edificio; Misure di retrofit per l'efficiamento energetico sulla facciata interna; Introduzione di pannelli fotovoltaici;  
**AMBITI / TIPOLOGIA:** Struttura ricettiva  
**ANNO DI COSTRUZIONE:** ND  
**TUTELATO:** Sì (Patrimonio UNESCO)

#### SINTESI DEI CONTENUTI

Obiettivo dello studio è quello di definire un approccio alla ristrutturazione degli edifici da un punto di vista di efficienza energetica utilizzando le fonti rinnovabili locali per fornire energia agli edifici, secondo la visione di edificio a energia quasi zero (nZEB), utilizzando l'elettricità prodotta dal sistema fotovoltaici integrati nell'edificio BIPV concentrandosi su un caso di studio e di verificare l'accessibilità dal punto di vista economico come richiesto dalla direttiva europea EPBD recast.

Il presente lavoro si concentra su un progetto di ristrutturazione di un insediamento storico rurale caratterizzati da un gruppo di undici piccoli edifici con caratteristiche architettoniche di pregio situati nel centro di Palazzolo Acreide, di uno e due piani, posti sotto vincolo storico (UNESCO).

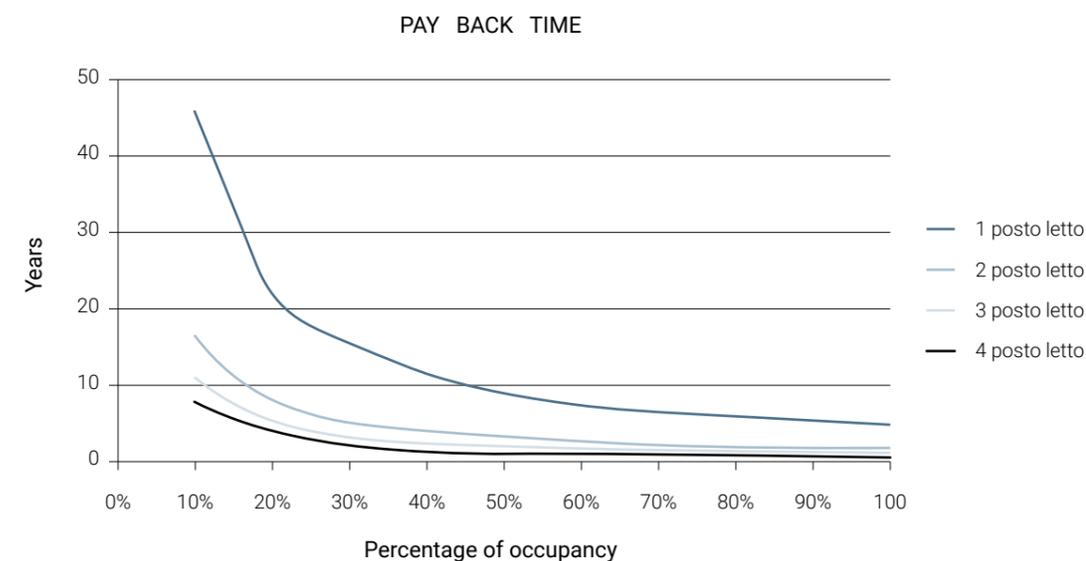
Lo studio ha prima di tutto analizzato le condizioni ambientali e le caratteristiche dell'ambiente costruito. La valutazione della radiazione solare sulle superfici degli edifici è stata valutata prendendo in considerazione alti standard di qualità per gli spazi interni, questa è stata utile per determinare il possibile utilizzo della luce diurna, lo sfruttamento dei guadagni solari per il periodo invernale e la possibilità di produrre energia con sistemi fotovoltaici integrati sulle superfici dell'edificio. Inoltre sono state affrontate le esigenze di ventilazione e di impianti termici efficienti. Il fabbisogno energetico per il periodo invernale ed estivo è stato poi calcolato con l'uso di strumenti di simulazione energetica Open Studio BEST, che si basa sul software EnergyPlus 7.0. Il progetto di retrofit includeva il miglioramento dei sistemi di vetrate e delle prestazioni dell'involucro, con l'obiettivo di ridurre le perdite di calore in particolare controllando la trasmittanza termica delle costruzioni opache. Parallelamente, è stata fatta la progettazione

dell'impianto di riscaldamento e raffreddamento alimentato da fonti di energia rinnovabili. Considerando le caratteristiche locali è stata ipotizzata una pompa di calore ad aria (ASHP) accoppiata con impianti fotovoltaici integrati nell'edificio (BIPV). Eseguendo simulazioni dinamiche, è stato possibile calcolare la domanda e il consumo di energia dell'edificio in modo più dettagliato, senza intervento (caso base) rispetto al progetto di retrofit. L'utilizzo di fonti rinnovabili e l'adozione di nuove tecnologie e con l'aiuto delle simulazioni dinamica hanno dimostrato come la domanda di energia in inverno è fortemente diminuita nel progetto di retrofit. Ciò è dovuto alla riduzione delle perdite di calore attraverso l'involucro causata dalla sostituzione delle finestre e dall'implementazione di ulteriori strati di isolamento nella muratura esistente. Inoltre si è intervenuti anche sul programma di riscaldamento, impostato secondo una logica di efficienza, la quale ha permesso un ulteriore risparmio di energia. Per valutare il tempo di ritorno dell'investimento, sono stati ipotizzati alcuni possibili valori di affitto delle abitazioni in base al numero di posti letto occupati e alla stagione.

In conclusione l'esperienza progettuale di Palazzolo Acreide ha dimostrato come, anche in un ambiente costruito sensibile, come gli edifici o le città patrimonio dell'UNESCO, utilizzando le risorse climatiche e le strategie per diminuire le richieste energetiche è possibile produrre l'energia residua necessaria da fonti rinnovabili; e che gli impianti ASHP e PV come sistemi per fornire energia ad un ambiente costruito rinnovato dal punto di vista termico sono una strategia vincente nel paese mediterraneo.



Vista aerea di Palazzolo Acreide, Sicilia.  
Fonte: Google Immagini.



Tempo di ritorno dell'investimento iniziale, pag. 1067.

Rielaborazione dell'autrice da: TAGLIABUE L. C., LEONFORTE F., COMPOSTELLA J., (2012), *Renovation of an UNESCO heritage settlement in southern Italy: aSHP and BIPV for a 'Spread Hotel' project*, Energy Procedia 30.

### 3.5 BIBLIOGRAFIA CAPITOLO III

ABDELRAZEK H., YILMAZ Y., (2020), *Energy and economic assessment of HVAC solutions for the armoury hall at the Palazzo Ducale in Mantua*, Procedia Structural Integrity 29.

ABDELRAZEK H., YILMAZ Y., (2020), *Methodology toward Cost-Optimal and energy-efficient retrofitting of historic buildings*, Journal of Architectural Engineering 26.

ASCIONE F., et al., (2017), *NZEB target for existing buildings: case study of historical educational building in mediterranean climate*, Energy Procedia 140.

BECCHIO C., CORGNATI S. P., SPIGLIANTINI G., (2017), *Evaluation of refurbishment alternatives for an italian vernacular building considering architectural heritage, energy efficiency and costs*, Energy Procedia 133.

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

BERG E. F., FUGLSETH M., (2018), *Life cycle assessment and historic buildings: Energy-efficiency refurbishment versus new construction in Norway*, Journal of Architectural Conservation 24.

BUDA A., et al., (2021), *Conservation-compatible retrofit solutions in historic buildings: An integrated approach*, Sustainability 13.

BULL J., GUPTA A., MUMOVIC D., KIMPIAN J., (2014), *Life Cycle Cost and carbon footprint of energy efficient refurbishments to 20<sup>th</sup> century UK school buildings*, International Journal of Sustainable Built Environment 3.

CARDINALE T., COLAPIETRO D., CARDINALE N., FATIGUSO F., (2013), *Evaluation of the efficacy of traditional recovery interventions in historical buildings. A new selection methodology*, Energy Procedia 40.

CIAMPI G., ROSATO A., SCORPIO M., SIBILIO S., (2015), *Energy and economic evaluation of retrofit actions on an existing historical building in the South of Italy by using a dynamic simulation software*, Energy Procedia 78.

CIRAMI S., EVOLA G., GAGLIANO A., MARGANI G., (2017), *Energy renovation strategies for historical buildings: Cost-Optimal Analysis for a case study in Catania (Sicily)*, Buildings 7.

DALLA MORA T., RIGHI A., PERON F., ROMAGNONI P., (2017), *Cost-Optimal measures for renovation of existing school buildings towards NZEB*, Energy Procedia 140.

FERRARI S., ROMEO C., (2017), *Retrofitting under protection constraints according to the Nearly Zero Energy building (Nzeb) target: The case of an italian cultural heritage's School building*, Energy Procedia 140.

FERRISS L., (2021), *Sustainable reuse of post-war architecture through Life Cycle Assessment*, Journal of Architectural Conservation 24.

FOSTER G., (2020), *Circular economy strategies for adaptive reuse of cultural heritage buildings to reduce environmental impacts*, Resources, Conservation and Recycling 152.

FREDRIK B., FUGLSETH M., (2018), *Life Cycle Assessment and historic buildings: energy-efficiency refurbishment versus new construction in Norway*, Journal of Architectural Conservation 24.

FREGONARA E., MORETTI V., NARETTO M., (2018), *Sostenibilità e interventi sul patrimonio storico: Approcci a confronto*, Territorio 86.

GREMMELSPACHER J. M., et al., (2021), *Historical building renovation and PV optimisation towards NetZEB in Sweden*, Solar Energy 223.

JOSÉ SÁNCHEZ R., ÁLVAREZ DOMÍNGUEZ S., PAVÓN MORENO M., GUERRERO DELGADO M., ROMERO RODRÍGUEZ L., ANTONIO TENORIO J., (2019), *Design of the refurbishment of historic buildings with a Cost-Optimal methodology: A case study*, Applied Sciences 9.

LIU L., ROHDIN P., MOSHFEGH B., (2018), *Investigating Cost-Optimal refurbishment strategies for the medieval district of Visby in Sweden*, Energy and Buildings 158.

LIU L., ROHDIN P., MOSHFEGH B., (2016), *LCC Assessments and environmental Impacts on the energy renovation of a multi-family building from the 1890s*, energy and buildings 133.

LUCCHI E., TABAK M., TROI A., (2017), *The 'Cost Optimality' approach for the internal insulation of historic buildings*, Energy Procedia 133.

MAURI L., (2016), *Feasibility analysis of retrofit strategies for the achievement of NZEB target on a historic building for tertiary use*, Energy Procedia 101.

MIGLIOLI A., et al., (2020), *Energy and economic assessment of HVAC solutions for the armoury hall at the Palazzo Ducale in Mantua*, Procedia Structural Integrity 29.

MUKHOPADHYAY J., ORE J., AMENDE K., (2019), *Assessing housing retrofits in historic districts in Havre Montana*, Energy Reports 5.

RAMOS J. S., et al., (2019), *Design of the refurbishment of historic buildings with a cost-optimal methodology: A case study*, Applied Sciences 9.

RIGHI A., DALLA MORA T., PERON F., ROMAGNONI P., (2017), *Historical buildings retrofit: The city hall of the city of Motta Di Livenza (TV)*, Energy Procedia 133.

RODRIGUES C., FREIRE F., (2017), *Adaptive reuse of buildings: Eco-efficiency assessment of retrofit strategies for alternative uses of an historic building*, Journal of Cleaner Production 157.

RODRIGUES C., FREIRE F., (2017), *Building retrofit addressing occupancy: An Integrated cost and environmental Life-Cycle Analysis*, Energy and Buildings 140.

SERRAINOA M., LUCCHI E., (2017), *Energy efficiency, heritage conservation, and landscape integration: the case study of the San Martino castle in Parella (Turin, Italy)*, Energy Procedia 133.

TADEU S., RODRIGUES C., TADEU A., FREIRE F., SIMÕES N., (2014), *Energy retrofit of historic buildings: Environmental assessment of Cost-Optimal solutions*, Journal of Building Engineering 4.

TAGLIABUE L. C., LEONFORTE F., COMPOSTELLA J., (2012), *Renovation of an UNESCO heritage settlement in southern Italy: ASHP and BIPV for a 'Spread Hotel' project*, Energy Procedia 30.

# CAPITOLO IV

## RAGIONAMENTI CONCLUSIVI

### 4.1 INTRODUZIONE

Nel quarto ed ultimo capitolo viene sviluppata un'analisi della letteratura, in riferimento al materiale raccolto e schedato nel terzo capitolo, che si sviluppa attorno al concetto di riqualificazione energetica degli edifici storici attraverso le metodologie LCC, LCA e Cost Optimal, trattati nel primo e nel secondo capitolo. Queste metodologie, estremamente utili nella valutazione economica-ambientale, consentendo a chi ne fa uso di indagare a partire dall'ammontare totale dei costi, sia di un edificio o parte di esso, di valutare le alternative progettuali sulla base del loro costo-efficacia e del loro impatto ambientale durante l'intero ciclo di vita.

Come precedentemente detto descritto le pubblicazioni scientifiche raccolte nel capitolo 3, tra il 2012 e il 2021, sono state suddivise secondo:

PAESE DI PROVENIENZA DELL'ARTICOLO	ANNO DI PUBBLICAZIONE
METODOLOGIA DI CALCOLO ADOTTATA	TIPOLOGIA DI PUBBLICAZIONE: DESCRITTIVA, CASO STUDIO, SIMULAZIONE
TIPOLOGIA DI COSTRUZIONE DEL CASO STUDIO (SE PRESENTE)	VINCOLO DI TUTELA DEL CASO STUDIO (SE PRESENTE)

Per ultimo è stata condotta un'analisi bibliometrica tramite software VOSviewer che permette di analizzare, costruire e visualizzare differenti reti bibliometriche da diversi punti di vista; la scelta del software è nata dalla volontà di verificare le mappe bibliometriche delle ricerche effettuate con una lettura immediata dei risultati. Questa tecnica di analisi mira a comprendere le interrelazioni tra le citazioni delle pubblicazioni scelte e può dare indicazioni sullo stato dell'arte di un argomento di ricerca esistente o emergente.

La Bibliometria viene definita come:

*“La branca della scienza libraria che riguarda l'applicazione dell'analisi matematica e statistica alla bibliografia; l'analisi statistica di libri, articoli o altre pubblicazioni”.*<sup>1</sup>

Per costruire una rete bibliometrica tramite software VOSviewer, i file di database bibliografici (scaricabili da Web of Science, Scopus, Dimensions, Lens e PubMed) e i file di reference manager (cioè i file di RIS, EndNote e RefWorks) possono essere forniti come input al programma.

#### 4.2 ANALISI DEI DIVERSI APPROCCI METODOLOGICI NELLA LETTERATURA SELEZIONATA

Nonostante il numero limitato di articoli emersi dalla ricerca svolta, si è deciso di sviluppare una prima analisi ponendo le metodologie di valutazione economica-ambientale (LCC, LCA e Cost Optimal) come elemento chiave a cui è possibile collegare diversi altri aspetti; nell'analisi condotta sono state valutate le connessioni tra tali strumenti di valutazione e altre caratteristiche relative alle pubblicazioni scientifiche.

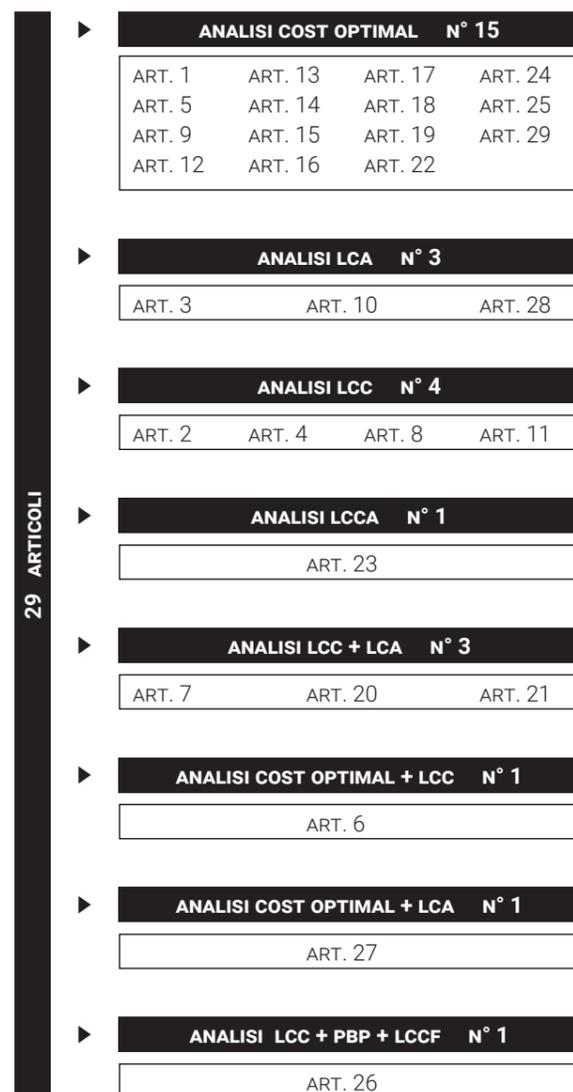


FIG. 4.1

Schema degli approcci metodologici applicati nei 29 articoli analizzati, anni di riferimento 2012-2021 (Elaborazione dell'autrice).

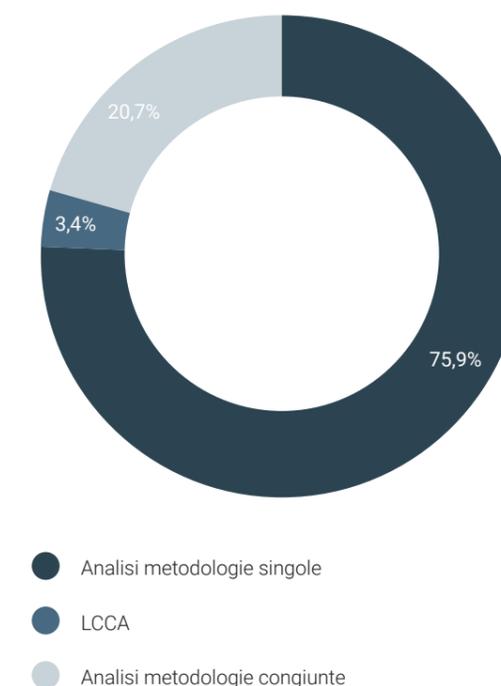
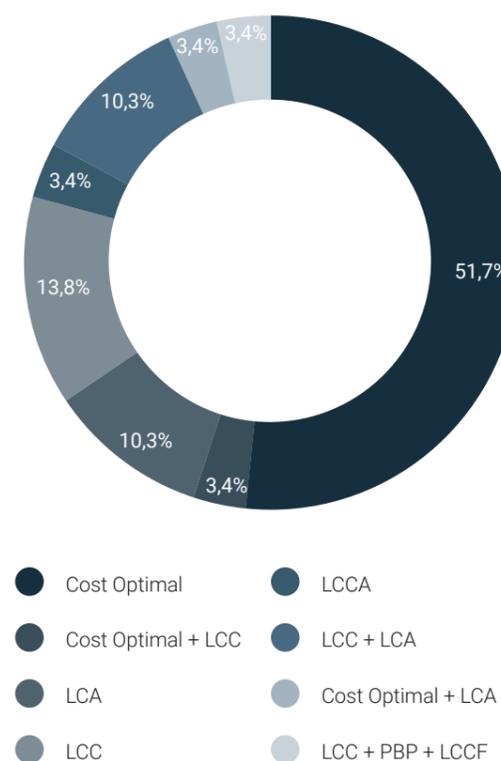


FIG. 4.2

Distribuzione percentuale degli approcci metodologici applicati nei 29 articoli analizzati, anni di riferimento 2012-2021 (Elaborazione dell'autrice).

Come già precedentemente dichiarato, durante la fase di ricerca sono stati raccolti un totale di 29 articoli, pubblicati tra il 2012 e il 2021, per prima cosa si è voluto raccogliere gli articoli in base alla metodologia di valutazione economica-ambientale (Fig. 4.1).

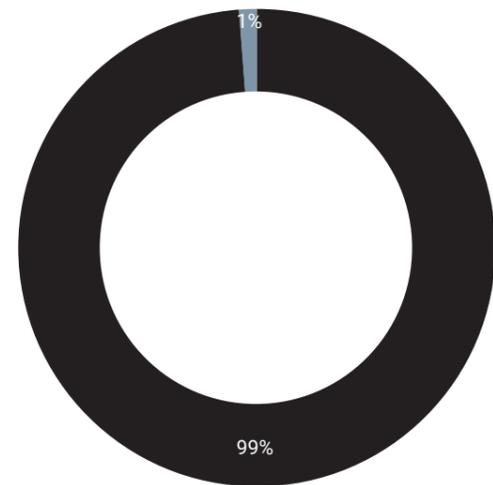
Per correttezza le sigle delle metodologie sono state riportate come descritte nelle pubblicazioni, quindi la voce LCCA (Life Cycle Cost assessment) presente nell'articolo n. 23 viene riportata distintamente dalla voce LCC e LCC+LCA.

Nella Fig. 4.2 vengono mostrate le percentuali di tutte le metodologie applicate, se si prende in riferimento la letteratura legata alla metodologia LCC possiamo notare come nel caso di edifici storici questa sia utilizzata solo nel 13,8% degli articoli, al contrario la metodologia Cost Optimal risulta quella più diffusa con il 51,7%.

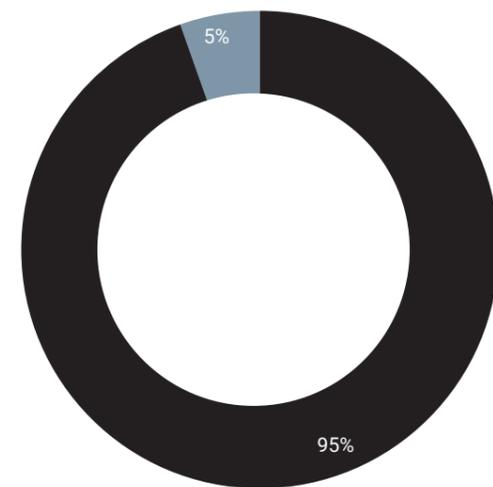
Possiamo inoltre osservare come le metodologie LCC, LCA e Cost Optimal siano state utilizzate nella maggior parte dei casi pubblicati (75,9%) al contrario delle metodologie congiunte (circa 21%).

Bisogna però ricordare che la ricerca bibliografica è stata condotta sulla base di articoli che trattano il patrimonio storico; se ponessimo un confronto tra la metodologia LCC applicata a edifici storici e edifici in generale noteremo come sul totale degli articoli che trattano la metodologia LCC (696 pubblicazioni) nello stesso arco temporale (2012-2021) quelli che trattano di edifici storici e tutelati sono solo il 1% dei casi studio; mentre se si considera la metodologia Cost Optimal applicata a edifici non storici (326 pubblicazioni) quelli che trattano di edifici storici e tutelati sono il 5% (Fig.4.3).

<sup>1</sup> Definizione di Bibliometrics dal Oxford English Dictionary



● LCC edifici ● LCC edifici storici



● Cost Optimal edifici ● Cost Optimal edifici storici

FIG. 4.3

Distribuzione percentuale degli approcci metodologici LCC (696 pubblicazioni) e Cost Optimal applicati (326 pubblicazioni) sul confronto tra edifici storici e non storici, anni di riferimento 2012-2021 (Elaborazione dell'autrice).

#### 4.2.1 ANALISI DEI PRODOTTI BIBLIOGRAFICI IN BASE ALL'ANNO DI PUBBLICAZIONE

Come seconda analisi si è scelto di osservare come le pubblicazioni si siano distribuite secondo l'arco temporale 2012-2021; va precisato che ai fini dell'analisi effettuata l'anno indicato sia riferito esclusivamente all'anno di pubblicazione. Nella Fig. 4.4 viene riportato l'anno di pubblicazione dei 29 articoli con la relativa metodologia applicata al fine di studiarne l'andamento temporale.

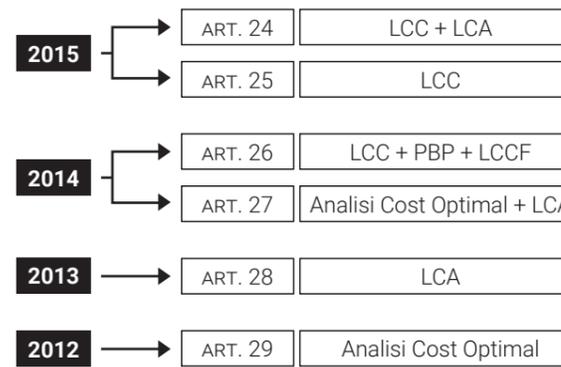
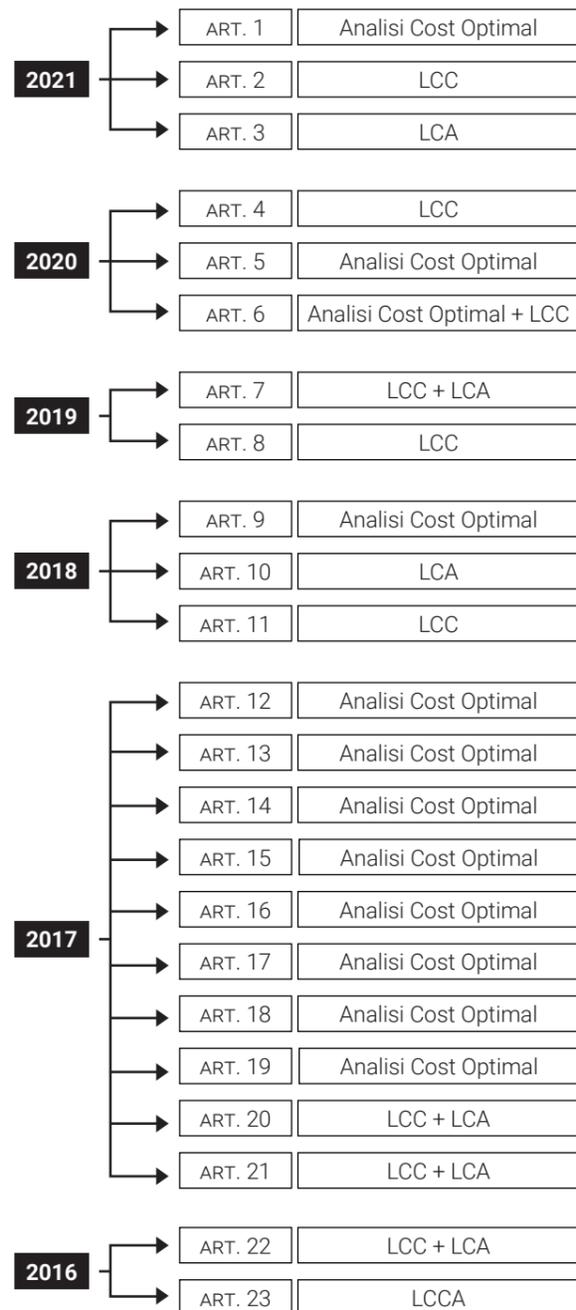
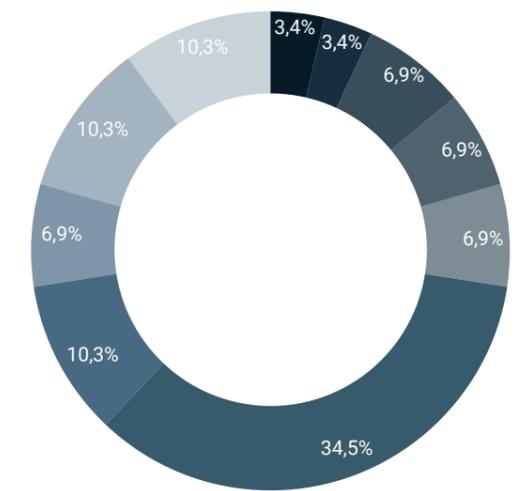


FIG. 4.4

Schema degli approcci metodologici applicati nei 29 articoli analizzati in base agli anni di pubblicazione e metodologia applicata, anni di riferimento 2012-2021 (Elaborazione dell'autrice).

L'analisi in Fig. 4.5, dimostra come il numero di pubblicazioni sia cresciuto in maniera costante negli ultimi dieci anni, con un incremento significativo nell'anno 2017 (circa +35%), per poi riabbassarsi e rimanere pressoché costante dal 2018 al 2021. Da questo risultato possiamo dedurre che la concentrazione maggiore delle opere pubblicate nel 2017 sia data dalla maggior attenzione posta al tema dell'efficiamento energetico degli edifici storici da parte dei ricercatori. Come precedentemente descritto nel capitolo 2, le pubblicazioni relative agli edifici storici e tutelati cominciano a emergere tra il 2005 e il 2010 con lavori di ricerca sempre più mirati a trovare un equilibrio tra miglioramento energetico e tutela del patrimonio culturale (A. Martínez-Molina, 2016). Con l'emanazione delle



● 2012 ● 2013 ● 2014 ● 2015 ● 2016 ● 2017 ● 2018 ● 2019 ● 2020 ● 2021

FIG. 4.5

Distribuzione percentuale dell'anno di pubblicazione dei 29 articoli analizzati, anni di riferimento 2012-2021 (Elaborazione dell'autrice).

Direttive EPBD recast del 2010 si è visto un ulteriore slancio, grazie al contributo di nuove tecnologie e materiali innovativi che permettono di intervenire in maniera non distruttiva su edifici di pregio. Nella Tab. 4.1 vengono mostrate le percentuali delle metodologie adottate nei 29 articoli in base all'anno di pubblicazione.

TAB. 4.1

Tabella delle percentuali delle metodologie in relazione all'anno di pubblicazione applicate ai 29 articoli analizzati, anni di riferimento 2012-2021 (Elaborazione dell'autrice).

	2021	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012
<b>Cost Optimal</b>	33%	33%		33%	80%	50%	100%			100%
<b>LCC</b>	33%	33%	50%	33%						
<b>LCA</b>	33%			33%					100%	
<b>Cost Optimal + LCC</b>		33%								
<b>LCC + LCA</b>										
<b>LCCA</b>			50%		20%					
<b>LCC + PBP + LCCF</b>						50%		50%		
<b>Cost Optimal + LCA</b>								50%		

#### 4.2.2 ANALISI DEI PRODOTTI BIBLIOGRAFICI IN BASE AL PAESE DI PUBBLICAZIONE

Sebbene inizialmente la ricerca delle pubblicazioni fosse stata focalizzata nel contesto europeo, ci si è resi immediatamente conto della poca letteratura disponibile, si è preferito dunque ampliare la ricerca a livello globale.

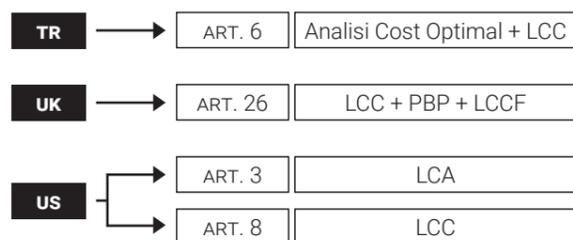
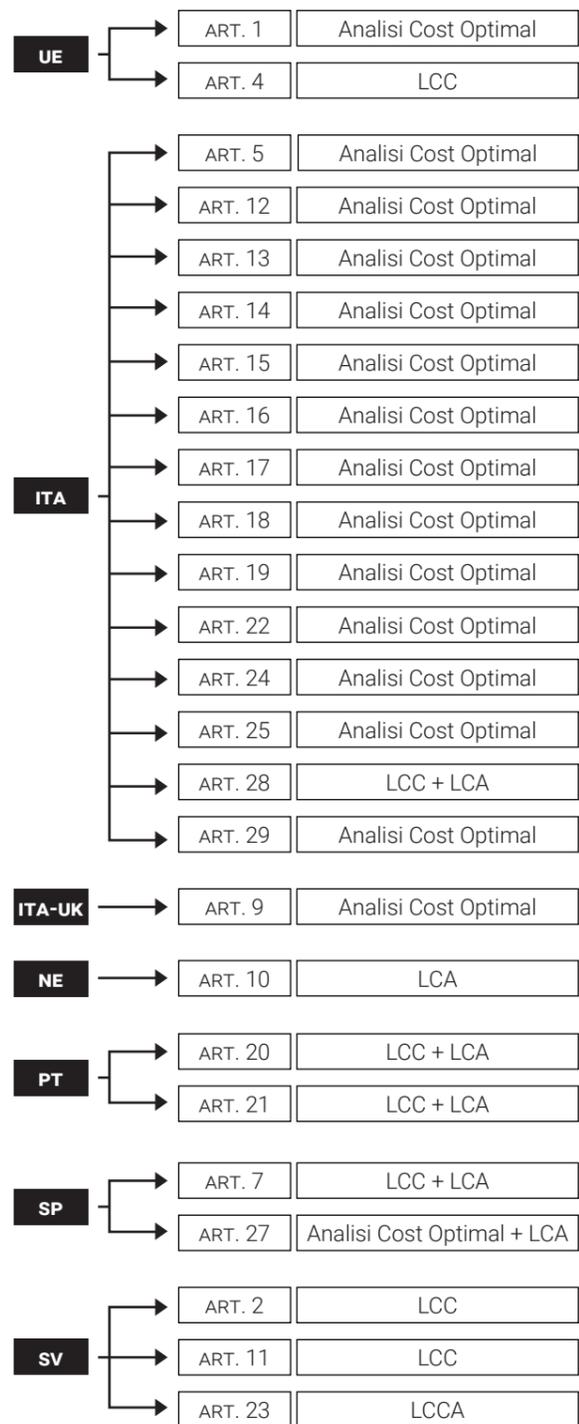


FIG. 4.6

Schema degli approcci metodologici applicati nei 29 articoli analizzati in relazione al paese di pubblicazione, anni di riferimento 2012-2021 (Elaborazione dell'autrice).

L'analisi geografica condotta sui 29 articoli, Fig. 4.7, mostra come l'Italia sia il paese di provenienza del maggior numero di articoli (48,3%); seguono la Svezia (10,3%); Stati Uniti, Spagna, Portogallo (6,9%); e infine Regno Unito, Norvegia, Italia-Regno Unito e Turchia (3,4%). Anche se questi numeri possono sembrare non rilevanti, bisogna tener conto della specificità dell'analisi effettuata, come già detto prima, risultano ancora pochi gli studi sul tema della riqualificazione degli edifici storici.

Di particolare rilievo è il dato riguardo il risultato sull'Italia la quale, con il suo immenso patrimonio storico, si dimostra tra le più attente in materia di ricerca sul tema dell'efficiamento energetico degli edifici storici.

Si dimostra altresì interessante l'analisi condotta della metodologia adottata in relazione al paese di pubblicazione, Tab. 4.2, se prendiamo ad esame l'Italia è infatti visibile il gran numero di pubblicazioni effettuate (48%) si basa sull'analisi Cost Optimal, infatti circa il 92,9% delle pubblicazioni utilizza tale metodologia.

Si può inoltre notare come la metodologia LCA, la quale prende in esame anche gli aspetti ambientali, risulti ancora poco applicata per gli edifici storici. Oltre all'Italia, la metodologia LCA, sia utilizzata da Norvegia (100%) e da Stati Uniti (50%); la metodologia LCC invece viene usata dalle pubblicazioni UE (50%), da Svezia (66,7%) e Stati Uniti (50% del totale); mentre la metodologia congiunta LCC+LCA è usata più frequentemente da Spagna (50% del totale) e Portogallo (100%); l'analisi congiunta LCC+PBP+LCCF viene svolta da Regno Unito (100%).

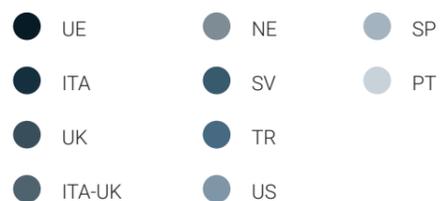
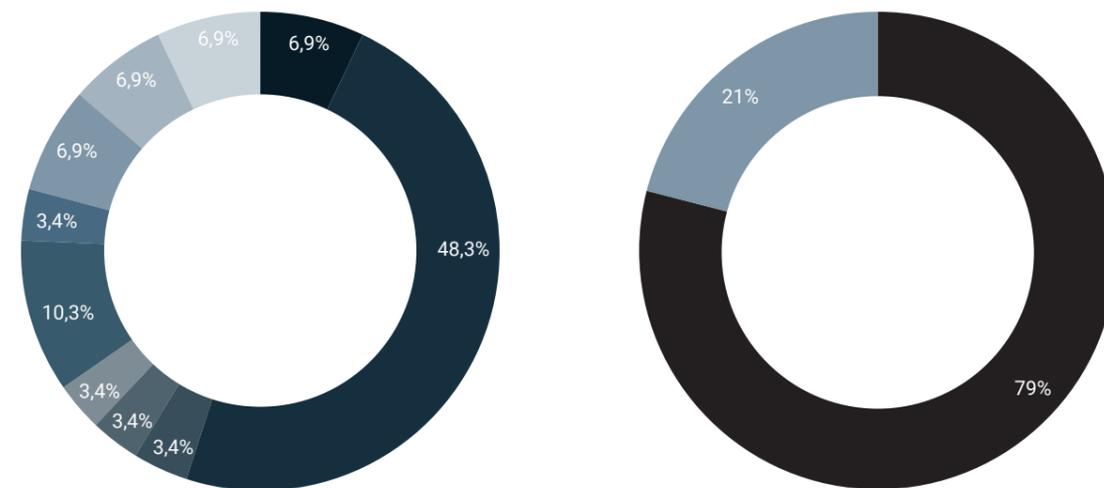


FIG. 4.7

Distribuzione percentuale del paese di pubblicazione dei 29 articoli analizzati, anni di riferimento 2012-2021 (Elaborazione dell'autrice).



FIG. 4.8

Distribuzione percentuale degli approcci metodologici LCC (696 articoli) e Cost Optimal applicati (29 articoli) sul confronto tra edifici storici e non storici in base al paese di pubblicazione, anni di riferimento 2012-2021 (Elaborazione dell'autrice).

Se mettiamo a confronto tale risultato con la percentuale di pubblicazioni che trattano la metodologia Cost Optimal applicata a edifici non storici (326 pubblicazioni) nello stesso arco temporale (2012-2021) possiamo notare come la percentuale dei casi che utilizzano questa metodologia negli edifici storici sia solo il 21%.

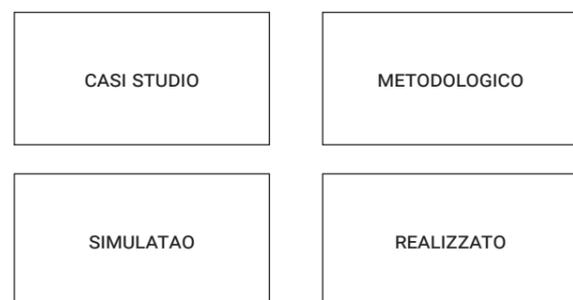
TAB 4.2

Tabella delle percentuali delle metodologie applicate ai 29 articoli analizzati in relazione al paese di pubblicazione, anni di riferimento 2012-2021 (Elaborazione dell'autrice).Elaborazione ad opera dell'autrice.

	UE	ITA	ITA-UK	NE	PT	SP	SV	TR	UK	US
<b>Cost Optimal</b>	50%	92,9%	100%			50%				
<b>LCC</b>	50%						66,7%			50%
<b>LCA</b>		7,1%		100%						50%
<b>Cost Optimal + LCC</b>										
<b>LCC + LCA</b>					100%			50%		
<b>LCCA</b>							33,3%			
<b>LCC + PBP + LCCF</b>									100%	
<b>Cost Optimal + LCA</b>						50%		50%		

### 4.2.3 ANALISI DEI PRODOTTI BIBLIOGRAFICI IN BASE AL TIPO DI PUBBLICAZIONE

Di seguito è stato scelto di analizzare il tipo di pubblicazione dei 29 articoli selezionati andando a distinguere quattro categorie (Fig. 4.9):



CASO STUDIO N° 25			
ART. 2	ART. 11	ART. 19	ART. 26
ART. 3	ART. 12	ART. 20	ART. 27
ART.5	ART.14	ART. 21	ART. 28
ART.6	ART.15	ART. 22	ART. 29
ART.7	ART.16	ART. 23	
ART.8	ART.17	ART. 24	
ART.10	ART.18	ART. 25	

METODOLOGICO N° 4			
ART.1	ART. 4	ART. 9	ART. 13

SIMULAZIONE N° 25			
ART. 2	ART. 11	ART. 19	ART. 26
ART. 3	ART. 12	ART. 20	ART. 27
ART.5	ART.14	ART. 21	ART. 28
ART.6	ART.15	ART. 22	ART. 29
ART.7	ART.16	ART. 23	
ART.8	ART.17	ART. 24	
ART.10	ART.18	ART. 25	

REALIZZATO N° 3		
ART. 3	ART. 10	ART. 28

Nella Tab. 4.3 si vuole descrivere quali pubblicazioni adottano tali tipologie, mettendole in relazione al paese e all'anno di pubblicazione, per una lettura più immediata è stato scelto di colorare le caselle in base al paese in cui sono stati pubblicati i 29 articoli.

Dall'analisi emerge che la maggior parte delle pubblicazioni si basa su casi studio (86,2%), e che tali casi risultano essere sempre supportati da simulazioni di carattere economico; la mancanza di casi realizzati può essere interpretata come la dimostrazione della grande complessità nel realizzare interventi energetici per il miglioramento delle performance energetiche nel patrimonio storico (Fig. 4.10).

Le simulazioni condotte sui casi studio risultano fondamentali per individuare le soluzioni ottimali che più si applicano all'edificio; ancor di più quando si interviene su edifici storici e tutelati, i quali richiedono spesso un approccio "su misura" a causa del loro valore storico-artistico.

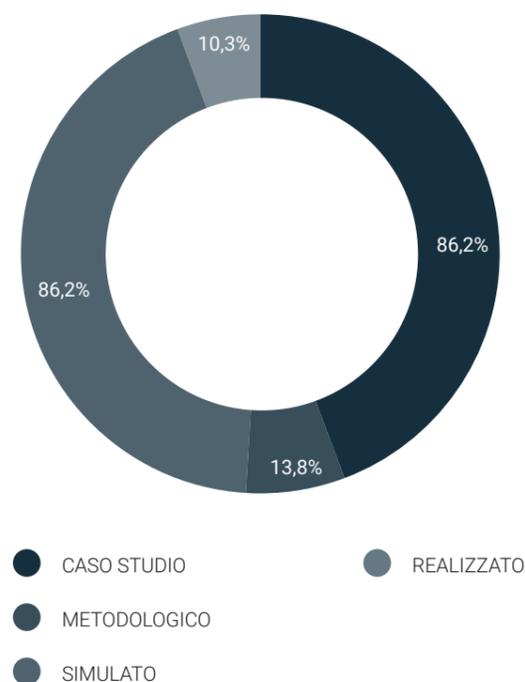


FIG. 4.9 Schema degli approcci metodologici applicati nei 29 articoli analizzati in relazione al tipo di pubblicazione, anni di riferimento 2012-2021 (Elaborazione dell'autrice).

FIG. 4.10 Distribuzione percentuale del tipo di pubblicazione dei 29 articoli analizzati, anni di riferimento 2012-2021 (Elaborazione dell'autrice).

TAB. 4.3

Tabella mostra la metodologia adottata in relazione al tipo di pubblicazione, al paese e all'anno di pubblicazione applicata ai 29 articoli analizzati, anni di riferimento 2012-2021 (Elaborazione dell'autrice).

ART	METODOLOGIA	CASO STUDIO	METODOLOGICO	SIMULATO	REALIZZATO	PAESE	ANNO
1	Cost Optimal		●			UE	2021
2	LCC	●		●		SV	2021
3	LCA	●		●		US	2021
4	LCC		●			UE	2020
5	Cost Optimal	●		●		ITA	2020
6	Cost Optimal + LCC	●		●		TR	2020
7	LCC + LCA	●		●		SP	2019
8	LCC	●		●		US	2019
9	Cost Optimal		●			ITA-UK	2018
10	LCA	●		●		NE	2018
11	LCC	●		●		SV	2018
12	Cost Optimal	●		●	●	ITA	2017
13	Cost Optimal		●			ITA	2017
14	Cost Optimal	●		●		ITA	2017
15	Cost Optimal	●		●		ITA	2017
16	Cost Optimal	●		●		ITA	2017
17	Cost Optimal	●		●		ITA	2017
18	Cost Optimal	●		●	●	ITA	2017
19	Cost Optimal	●		●		ITA	2017
20	LCC + LCA	●		●		PT	2017
21	LCC + LCA	●		●		PT	2017
22	Cost Optimal	●		●		ITA	2017
23	LCCA	●		●		SV	2016
24	Cost Optimal	●		●		ITA	2015
25	Cost Optimal	●		●		ITA	2015
26	LCC + PBP + LCCF	●		●		UK	2014
27	Cost Optimal	●		●		SP	2014
28	Cost Optimal + LCA	●		●		ITA	2013
29	Cost Optimal	●		●	●	ITA	2012

UE	UNIONE EUROPEA	NE	NORVEGIA	SV	SVEZIA	US	STATI UNITI
ITA	ITALIA	PT	PORTOGALLO	TR	TURCHIA		
ITA-UK	ITALIA E REGNO UNITO	SP	SPAGNA	UK	REGNO UNITO		

L'efficiamento energetico su tali edifici rappresenta sia una sfida (a causa della normativa e delle difficoltà di modificare elementi costruttivi senza alterare le qualità estetiche dell'architettura) sia un'opportunità per preservare il valore dell'immobile. Se si osserva la Tab.4.4 si può notare che il 44% dei casi studio supportati da simulazioni adotta l'analisi Cost Optimal; seguono le analisi LCC, LCA, e LCC+LCA con il 12% degli elaborati; mentre sono poco usate le analisi congiunte, solo il 4%. Per quanto riguarda le pubblicazioni di tipo metodologico il 75% adotta l'analisi Cost Optimal; mentre il restante 25% utilizza la metodologia LCC. Per ultimo vengono messi in comparazione le pubblicazioni di casi studio e metodologico nella Fig. 4.11.

TAB. 4.4  
Tabella delle percentuali delle metodologie applicate ai 29 articoli analizzati in relazione al tipo di pubblicazione, anni di riferimento 2012-2021 (Elaborazione dell'autrice).

	CASO STUDIO	METODOLOGICO	SIMULAZIONE	REALIZZATO
<b>Cost Optimal</b>	44%	75%	44%	100%
<b>LCC</b>	12%	25%	12%	
<b>LCA</b>	12%		12%	
<b>Cost Optimal + LCC</b>	4%		4%	
<b>LCC + LCA</b>	12%		12%	
<b>LCCA</b>	4%		4%	
<b>LCC + PBP + LCCF</b>	4%		4%	
<b>Cost Optimal + LCA</b>	4%		4%	

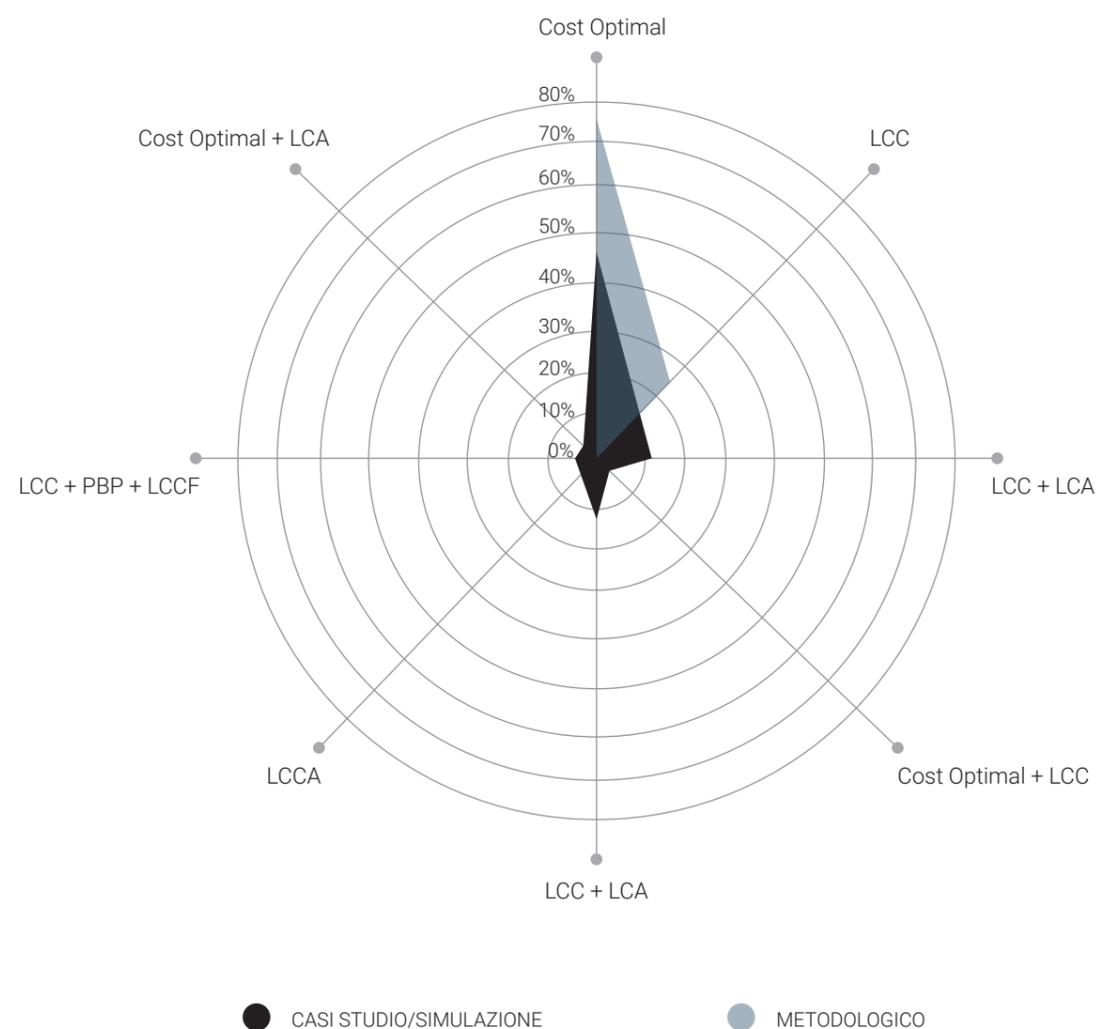


FIG. 4.11

Spider graph degli articoli che trattano analisi basate su casi studio/simulazione e metodologico applicati nei 29 articoli analizzati, anni di riferimento 2012-2021 (Elaborazione dell'autrice).

#### 4.2.4 ANALISI DEI PRODOTTI BIBLIOGRAFICI IN BASE ALLA DESTINAZIONE D'USO DEGLI EDIFICI

In questo paragrafo si vogliono mostrare i risultati ottenuti dall'analisi della destinazione d'uso degli edifici relativi ai 29 casi studio considerati. Vengono distinte nove voci di destinazione d'uso:



Nella Tab. 4.5 sono messi a confronto i risultati tra destinazioni d'uso e metodologie applicate nei 29 casi studio, si può osservare come nei casi più studiati (edifici scolastici e residenziali) siano adottate differenti metodologie. Negli edifici scolastici la metodologia Cost Optimal risulta essere quella più utilizzata con il 57% dei casi, a seguire vengono utilizzate la metodologia LCA, Cost Optimal+LCC e LCCA con il 14%; mentre se si siconsiderano le strutture residenziali la metodologia Cost Optimal e LCC sono le quelle più usate 29%, seguite dalle metodologie LCA, LCC e Cost Optimal+LCA con il 14%.

Come dimostrato nella Fig. 4.12, gli edifici più analizzati risultano essere gli edifici scolastici e residenziali (24,1%).

Questa attenzione deriva probabilmente dal fatto che le scuole, sia pubbliche che private, siano state le prime strutture ad essere interessate dalle strategie per il contenimento delle emissioni del patrimonio costruito.

TAB. 4.5

Tabella delle percentuali delle metodologie applicate ai 29 articoli analizzati in relazione al destinazione d'uso dell'edificio analizzato, anni di riferimento 2012-2021 (Elaborazione dell'autrice).

	CASTELLO/PALAZZO	INDUSTRIALE	PLURIFUNZIONALE	RELIGIOSO	RESIDENZIALE	RESIDENZIALE + UFFICIO	SCOLASTICO	STRUTTURA RICETTIVA	ND
<b>Cost Optimal</b>	67%	100%	100%	33%	29%		57%	100%	67%
<b>LCC</b>	33%				29%				33%
<b>LCA</b>				33%			14%		
<b>Cost Optimal + LCC</b>						100%	14%		
<b>LCC + LCA</b>				33%					
<b>LCCA</b>					14%				
<b>LCC + PBP + LCCF</b>							14%		
<b>Cost Optimal + LCA</b>					14%				

La Direttiva 2012/27/UE, promuove l'utilizzo di fondi strutturali e il fondo di coesione per gli interventi di efficientamento energetico in tutti gli edifici pubblici, considerando il settore edile uno dei settori potenziali per il raggiungimento degli obiettivi 2050.<sup>2</sup>

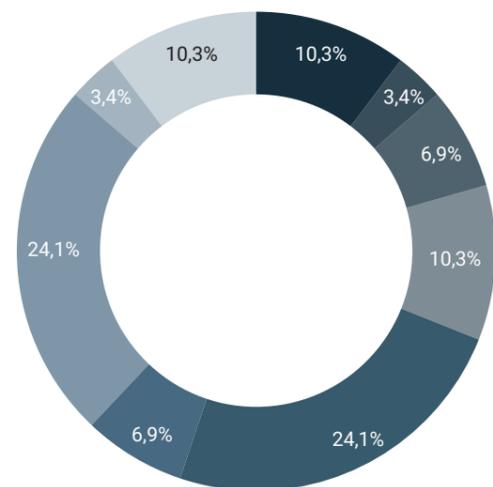


FIG. 4.12

Rappresentazione della percentuale relativa alla destinazione d'uso degli edifici riscontrati nella letteratura dei 29 articoli analizzati, anni di riferimento 2012-2021 (Elaborazione dell'autrice).

#### 4.2.5 ANALISI DEI PRODOTTI BIBLIOGRAFICI IN BASE AL TIPO DI TUTELA DEGLI EDIFICI

Come ultima analisi si è scelto di esaminare il grado di tutela degli edifici pubblicati nei 29 articoli, sono stati individuate quattro tipi di tutela:



Il grado di tutela è stato messo in relazione al numero dell'articolo e alla metodologia adottata, come mostrato in Fig. 4.13.

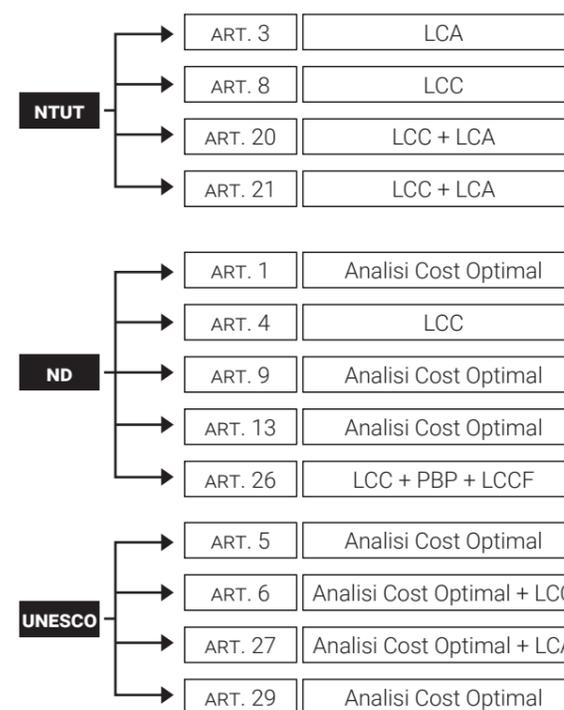
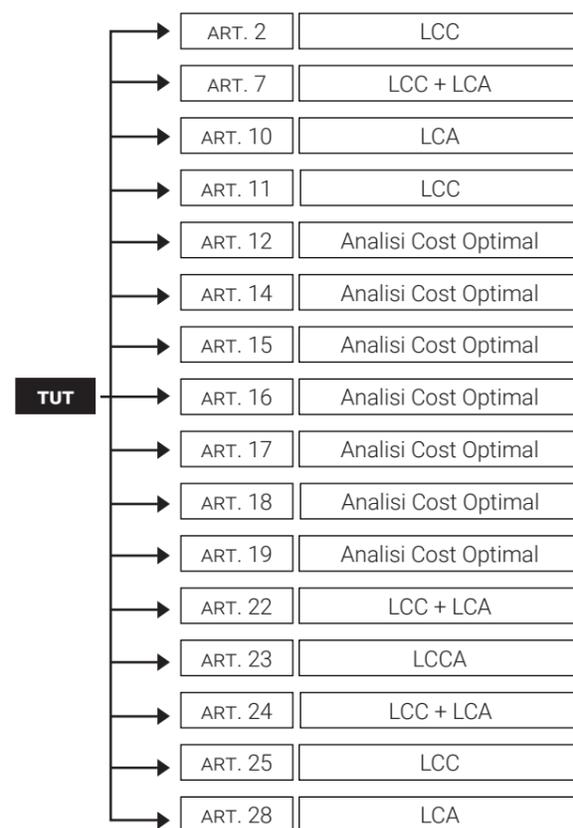


FIG. 4.13

Schema degli approcci metodologici applicati nei 29 articoli analizzati in relazione al grado di tutela, anni di riferimento 2012-2021 (Elaborazione dell'autrice).

Come mostrato in Fig. 4.14, la maggior parte degli edifici storici analizzati sia sottoposta a tutela (68,9%), di questi il 18,8% appartiene al patrimonio UNESCO. La maggior parte degli edifici tutelati (TUT) è stata analizzata avvalendosi della metodologia Cost Optimal 63%, le metodologie LCC e LCA sono applicate nel 13% dei casi e LCC+LCA e LCCA risultino solo il 6%; per quanto riguarda gli

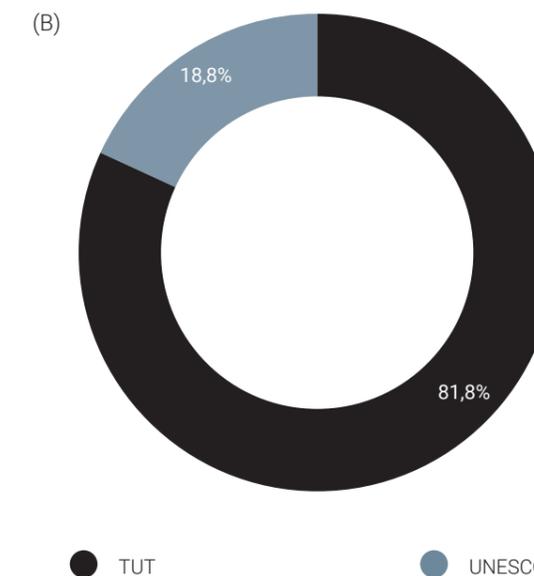
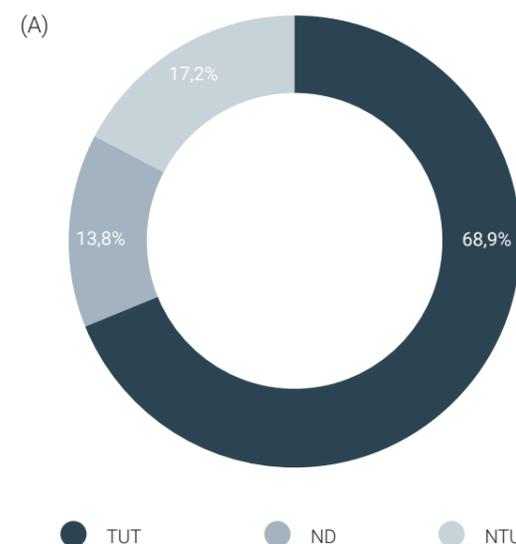


FIG. 4.14

(A) percentuale relativa al grado di tutela degli edifici analizzati nei 29 articoli analizzati, anni di riferimento 2012-2021; (B) percentuali degli edifici sotto tutela considerando anche gli edifici UNESCO (Elaborazione dell'autrice).

edifici non tutelati (NTUT) il 50% si avvale della metodologia LCC+LCA, e il 25% utilizza le analisi LCC e LCA. Nei casi di tutela non dichiarata (ND) il 60% è stata analizzata avvalendosi della metodologia Cost Optimal, mentre le metodologie LCC e LCC+PBP+LCCF sono solo il 20%; infine, il 50% degli edifici iscritti nella lista del patrimonio dell'umanità UNESCO si avvale della metodologia Cost Optimal, mentre le metodologie Cost Optimal+LCC e Cost Optimal+LCA sono solo il 25%.

TAB. 4.6

Tabella delle percentuali delle metodologie applicate ai 29 articoli analizzati in relazione al grado di tutela dell'edificio analizzato, anni di riferimento 2012-2021 (Elaborazione dell'autrice).

	TUT	NTUT	ND	UNESCO
<b>Cost Optimal</b>	63%		60%	50%
<b>LCC</b>	13%	25%	20%	
<b>LCA</b>	13%	25%		
<b>Cost Optimal + LCC</b>				25%
<b>LCC + LCA</b>	6%	50%		
<b>LCCA</b>	6%			
<b>LCC + PBP + LCCF</b>			20%	
<b>Cost Optimal + LCA</b>				25%

<sup>2</sup> DIRETTIVA 2012/27/UE, sostituita dalla successiva Direttiva 2018/844/UE.

### 4.3 ANALISI BIBLIOMETRICA

Proseguendo nella seconda parte dell'analisi si è provveduto ad analizzare i dati raccolti tramite l'utilizzo di un campo della Scientometrics, un sotto-capo dell'informatica, che si occupa dell'analisi della letteratura scientifica: la bibliometrica. Vi sono altri campi di ricerca correlati che includono: Informetrics, Webometrics e Altmetrics.

- Bibliometrics (bibliometrica): riguarda l'analisi statistica della letteratura, libri, articoli e pubblicazioni scientifiche.
- Informetrics: è una branca delle scienze dell'informazione dedicata alla misurazione del fenomeno dell'informazione, sia in ambito scientifico che in quello sociale.
- Webometrics: secondo Björneborn and Ingwersen è: "Lo studio degli aspetti quantitativi della costruzione e dell'uso delle risorse informative, delle strutture e delle tecnologie sul Web, attingendo all'approccio bibliometrico e informetrico".<sup>3</sup>
- Altmetrics: Consente di misurare e monitorare la portata e l'impatto della ricerca attraverso interazioni di strumenti online.

L'analisi bibliometrica può aiutarci ad avere un'idea più chiara in campo scientifico attraverso la mappatura e la visualizzazione dei dati, a misurare e valutare le prestazioni della ricerca (Borner K., 2003); la maggior parte dell'attenzione è rivolta alla costruzione di mappe bibliometriche. I ricercatori, ad esempio, studiano l'effetto di diverse misure di somiglianza e sperimentano diverse tecniche di mappatura per analizzare le correlazioni tra campi di ricerca e pubblicazioni (Ahlgren P., 2003). La Scientometrics è anche utile per scomporre la letteratura scientifica in strutture disciplinari in sub-strutture, le quali ci permettono di comprendere lo sviluppo strutturale temporale e dinamico di ogni ricerca.

Per ottenere una mappatura dei dati possiamo ricorrere a numerosi programmi, tra cui:

- CITNETEXPLORE
- HISTCITE
- NODEXL
- SCIMAT
- VOSVIEWER

#### 4.3.1 VOSVIEWER

Per questa tesi è stato scelto l'utilizzo del programma VOSviewer, versione 16.17, scaricabile alla pagina web <https://www.vosviewer.com/>. Per eseguire VOSviewer è necessario disporre di un sistema informatico che offra supporto Java versione 6 o successiva.

La funzionalità di VOSviewer può essere riassunta come segue:

1. Creazione di mappe. A seconda delle scelte effettuate, VOSviewer può essere usato per costruire reti di pubblicazioni scientifiche che tengano conto del tipo di rivista scientifica, del nome dei ricercatori, delle organizzazioni di ricerca, del paese di pubblicazione e delle parole chiave scelte dall'autore.

1.1 Mappe basate sulla distanza. Sono mappe in cui la distanza tra due elementi riflette la forza della relazione tra gli elementi, minore è la distanza maggiore sarà la relazione. Gli elementi che compongono queste reti sono distribuiti in modo non uniforme nello spazio, permettendo di identificare i gruppi di elementi correlati facilmente.

1.2 Mappe basate su grafici. Al contrario delle prime la distanza tra i due elementi non riflette la forza della loro relazione. Queste reti hanno il vantaggio di apparire più organizzate nello spazio, permettendo una facile lettura delle etichette; al contrario delle prime però risulta più difficile vedere la forza della relazione tra due elementi.

La tecniche per la realizzazione delle mappe basate sia sulla distanza che su grafici, sono molteplici; ad esempio una delle tecniche più utilizzate per la creazione di mappe basate sulla distanza è lo Scaling

<sup>3</sup> Definizione di Bibliometrics dal Oxford English Dictionary.

TAB 4.7

Riepilogo delle principali opzioni fornite dalla procedura guidata Crea mappa per la creazione di una nuova mappa (Rielaborazione dell'autrice da: Jan van Eck N., Waltman L., (2022), *Manual for VOSviewer version 1.6.18*, p. 26).

TYPE OF DATA	DATA SOURCE	LINKS	ITEMS
Network data	VOSviewer map and network files VOSviewer JSON files GML files Pajek files		
Bibliographic data	Bibliographic database files Reference manager files APIs	Co-authorship	Authors Organizations Countries
		Co-occurrence	Keywords
		Citation	Documents Sources Authors Organizations Countries
		Bibliographic coupling	Documents Sources Authors Organizations Countries
		Co-citation	Cited references Cited sources Cited authors
Text data	VOSviewer files Bibliographic database files Reference manager files APIs	Co-occurrence	Terms

multidimensionale (Borg I., 2005) che permette di posizionare gli elementi a partire dalle informazioni relative la "similarità" tra ciascun elemento. Una caratteristica del software è la sua capacità di gestire mappe di grandi dimensioni contenenti migliaia di elementi e può visualizzare mappe che contengono più di 10.000 elementi; per la creazione di queste mappe si può utilizzare la tecnica VxOrd (Klavans R., 2006a).

Le mappe sviluppate tramite il software VOSviewer possono essere create sulla base di:

- dati di rete – Network data;
- dati bibliografici – Bibliographic data ;
- dati di testo – Text data.

Nella Tab. 4.7 vengono sono riassunte le principali opzioni fornite dal programma.

L'interfaccia utente si compone in cinque sezioni riportate in Fig. 4.15 ed è composta da cinque pannelli.

Il software utilizza una terminologia specifica che va compresa per poter ottenere risultati esatti e completi. Le mappe create da VOSviewer includono elementi (nodi) che possono essere pubblicazioni, articoli o termini usati. Il programma permette di visualizzare solo un tipo di elemento per volta; ad esempio è raro avere una mappa che includa

sia pubblicazioni che termini. Gli elementi, identificabili dalla sfera che li definisce, possono avere dei collegamenti (bordi) con uno o più elementi, questo avviene poiché esiste una relazione tra i due.

Esempi di collegamenti sono i collegamenti di accoppiamento bibliografico tra le pubblicazioni,

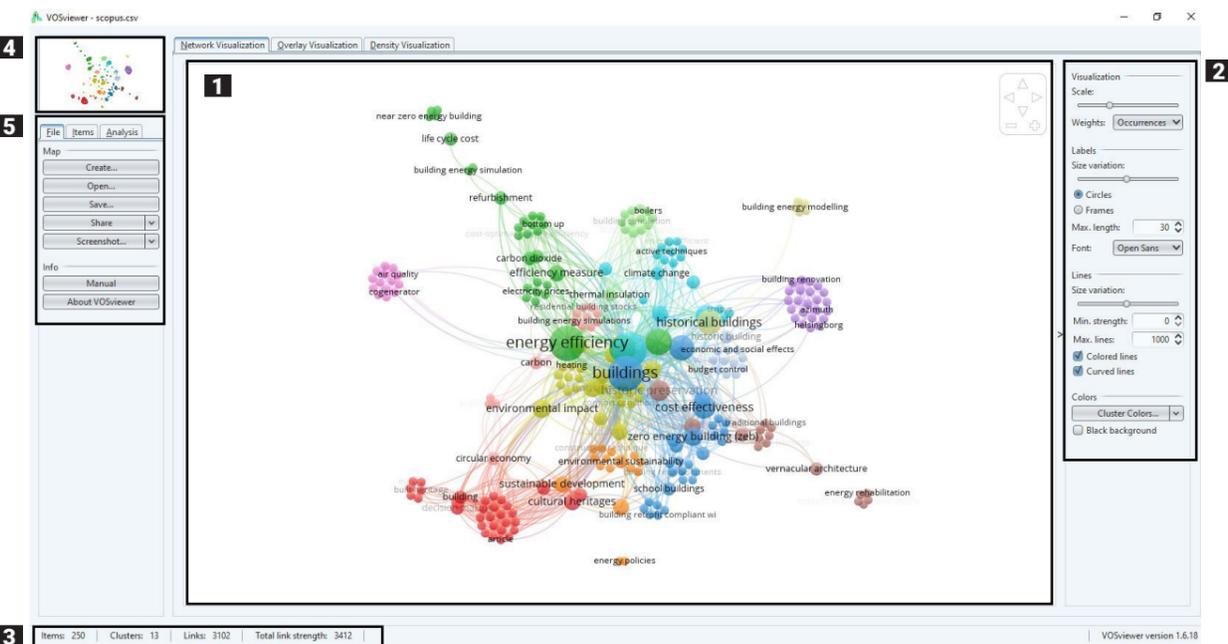


FIG. 4.15

Interfaccia del programma VOSviewer (Rielaborazione dell'autrice da: Jan van Eck N., Waltman L., (2022), *Manual for VOSviewer version 1.6.18*, p. 8).

#### 1 PANNELLO PRINCIPALE

Questo pannello presenta una visualizzazione della mappa attualmente attiva. Le funzionalità di zoom e di scorrimento possono essere utilizzate per esplorare la mappa in dettaglio.

#### 2 PANNELLO DELLE OPZIONI

Questo pannello presenta una visualizzazione della mappa attualmente attiva. Le funzionalità di zoom e di scorrimento possono essere utilizzate per esplorare la mappa in dettaglio.

#### 3 ANELLO DELLE INFORMAZIONI

Pannello informazioni: questo pannello presenta le descrizioni degli elementi nella mappa attualmente attiva.

#### 4 PANNELLO DELLA PANORAMICA

Pannello della panoramica: questo pannello presenta una panoramica della mappa attualmente attiva. Una cornice rettangolare indica l'area della mappa che viene mostrata nel pannello principale.

#### 5 PANNELLO DELLE AZIONI

Pannello azioni: questo pannello può essere usato per eseguire diversi tipi di azioni, come creare una nuova mappa, aprire o salvare una mappa esistente, fare uno screenshot e modificare/aggiornare il layout o il raggruppamento di una mappa.

Da questo pannello si può accedere alle opzioni File, Items o Analysis.

i collegamenti di co-autori tra i ricercatori e i collegamenti di co-occorrenza tra i termini. Va aggiunto che tra ogni coppia di elementi, non ci può essere più di un collegamento.

Ogni collegamento ha un valore di forza, che può, per esempio, indicare il numero di riferimenti citati che due pubblicazioni hanno in comune (nel caso di collegamenti di accoppiamento bibliografico), il numero di pubblicazioni di cui due ricercatori sono coautori (nel caso di collegamenti di co-autori), o il numero di pubblicazioni in cui due termini ricorrono insieme (nel caso di collegamenti di co-occorrenza). Rappresentata da un valore numerico positivo. Più alto è il valore di forza, più forte è il collegamento. L'insieme di elementi e collegamenti formano una rete.

Gli elementi possono essere raggruppati in Cluster, identificabili nella mappa dal colore diverso delle etichette e riportati in ordine nel pannello delle azioni (Fig. 4.14, pannello n° 5, Items). I cluster sono un insieme di elementi strettamente correlati tra loro; per impostazione predefinita, VOSviewer utilizza una combinazione di colori rosso-verde-bleu, ma questo può essere cambiato attraverso le funzioni del pannello delle opzioni.

Il programma permette all'utente di visualizzare tre tipi di mappe differenti:

- A. Network Visualization;
- B. Overlay Visualization;
- C. Density Visualization.

Ai fini della tesi si è scelto di sviluppare un'analisi basata su dati bibliografici Bibliographic database, questa opzione permette di ricercare e utilizzare dati scaricabili da diversi database online come: Web of Science, Scopus, Dimensions, Lens e PubMed.

#### 4.3.2 COSTRUZIONE MAPPE DI CO-OCCORRENZA CON SOFTWARE VOSVIEWER

La costruzione delle mappe, basate su una matrice di co-occorrenza, si compone di tre fasi.

1. Nella prima fase, viene calcolata una matrice di similarità in base alla matrice di co-occorrenza.

La tecnica di mappatura utilizzata nel programma VOS richiede una matrice di similarità come input, che può essere ottenuta da una matrice di co-occorrenze. Le misure di somiglianza più popolari per normalizzare i dati di co-occorrenza sono il coseno e l'indice di Jaccard anche se VOSviewer utilizza una misura di somiglianza nota come forza dell'associazione (Van Eckand N. J. & W., 2007b),<sup>4</sup> (Van Eckand N. J. & W., 2006),<sup>5</sup> e l'indice di prossimità (Peters H. P. F., 1993),<sup>6</sup> o come indice di affinità probabilistica (Zitt M., 2000).<sup>7</sup>

Utilizzando la forza di associazione, la somiglianza ( $s_{ij}$ ) tra due elementi ( $i$ ) e ( $j$ ) viene calcolata tramite la formula:

$$s_{ij} = c_{ij} / (w_i * w_j) \quad (1)$$

$c_{ij}$ : numero di co-occorrenze degli elementi ( $i$ ) e ( $j$ );

$w_i$  e  $w_j$ : numero totale di occorrenze degli elementi ( $i$ ) e ( $j$ ) o il numero totale di co-occorrenze di questi elementi.

2. Nella seconda fase, viene costruita una mappa applicando la tecnica di mappatura VOS alla matrice di similarità. La tecnica di mappatura VOS costruisce una mappa bidimensionale in cui gli elementi  $x_1, \dots, x_n$  sono posizionati in modo tale che la distanza tra ogni coppia di elementi ( $i$ ) e ( $j$ ) rifletta la loro somiglianza ( $s_{ij}$ ) nel modo più accurato possibile; in questo modo più due elementi hanno un'elevata somiglianza tanto più sono posizionati uno vicino all'altro e viceversa. Per evitare

<sup>4</sup> Van Eck N. J., Waltman L., (2007a), *VOS: A new method for visualizing similarities between objects*, H. J. Lenz & R. Decker (Eds.), *Advances in data analysis: Proceedings of the 30th annual conference of the German Classification Society*, pp. 299-306, Heidelberg: Springer.

<sup>5</sup> Van Eck N. J., Waltman L., VAN DEN BERG J., KAYMAK U., (2006), *Visualizing the Computational Intelligence field*, IEEE Computational Intelligence Magazine, vol. 1(4), pp. 6-10.

<sup>6</sup> Peters H. P. F., Van Raan A. F. J., (1993), *Co-word-based science maps of chemical engineering. Part I: Representations by direct multidimensional scaling*, Research Policy, vol. 22(1), pp. 23-45.

<sup>7</sup> Zitt M., Bassecouard E., Okubo Y., (2000), *Shadows of the past in international cooperation: Collaboration profiles of the top five producers of science*, Scientometrics, vol. 47(3), pp. 627-657.

la sovrapposizione degli elementi nelle mappe, si impone il vincolo che la distanza media tra due elementi deve essere uguale a 1, calcolando la funzione:

$$V(x_1, \dots, x_n) = \sum_{i < j} s_{ij} \|x_i - x_j\|^2 \quad (2)$$

$x_i = (x_i, y_i)$  i vettori corrispondono alla posizione dell'elemento  $i$  in una mappa bidimensionale

$\| \cdot \|$  corrisponde alla norma euclidea.

La minimizzazione della funzione obiettivo viene eseguita subordinatamente al vincolo:

$$\frac{2}{n(n-1)} \sum_{i < j} \|x_i - x_j\| = 1 \quad (3)$$

$x_i = (x_i, y_i)$  i vettori corrispondono alla posizione dell'elemento  $i$  in una mappa bidimensionale

L'algoritmo di maggiorazione utilizzato da VOSviewer è una variante dell'algoritmo SMACOF descritto nella letteratura sullo Scaling multidimensionale (Borg I., 2005). Per aumentare la probabilità di trovare una soluzione ottimale a livello globale, l'algoritmo di maggioranza può essere eseguito più volte, ogni volta utilizzando una diversa soluzione iniziale generata casualmente.

3. Nella terza fase, la mappa può essere modificata graficamente per una migliore lettura dei dati.

### 4.3.3 PROCEDURA GUIDATA PER L'ELABORAZIONE DEGLI ELABORATI

In questo paragrafo vengono descritti i passaggi eseguiti per la realizzazione di reti bibliometriche riguardanti il campo della valutazione economica sugli interventi di efficientamento energetico negli edifici storici o di valore architettonico.

1. Ricerca del materiale tramite i database Scopus, Science Direct, Google Scholar.
2. Salvataggio degli articoli scientifici utili ai fini della tesi.

Nella scelta del database si è preferito l'utilizzo di Scopus rispetto agli altri, poiché il suo archivio online presenta una maggior varietà di pubblicazioni interdisciplinari.

Il sito Scopus permette agli utenti registrati di raccogliere il materiale in una cartella personale e di poter esportare i file nel formato desiderato. Le pubblicazioni sono state ricercate tramite database Scopus e salvate su una lista personale denominata "Articoli".

Attraverso la barra di ricerca del sito Scopus è possibile ricercare le pubblicazioni attraverso l'uso di parole chiave come:

TITLE-ABS-KEY (cost AND optimal AND heritage AND building)

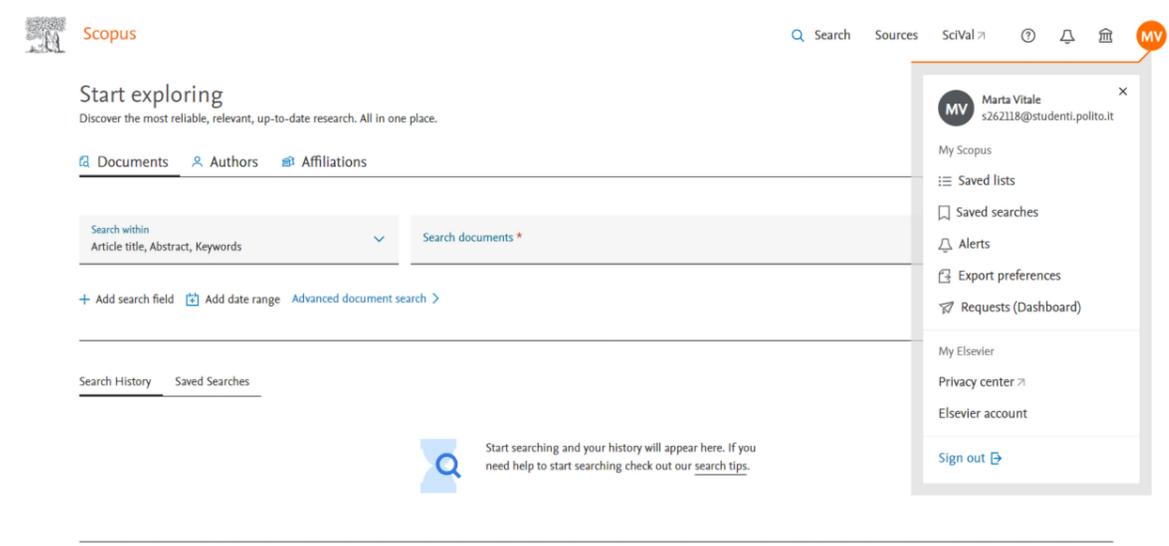
TITLE-ABS-KEY (cost AND optimal AND historic AND building)

TITLE-ABS-KEY (lcc AND heritage AND building)

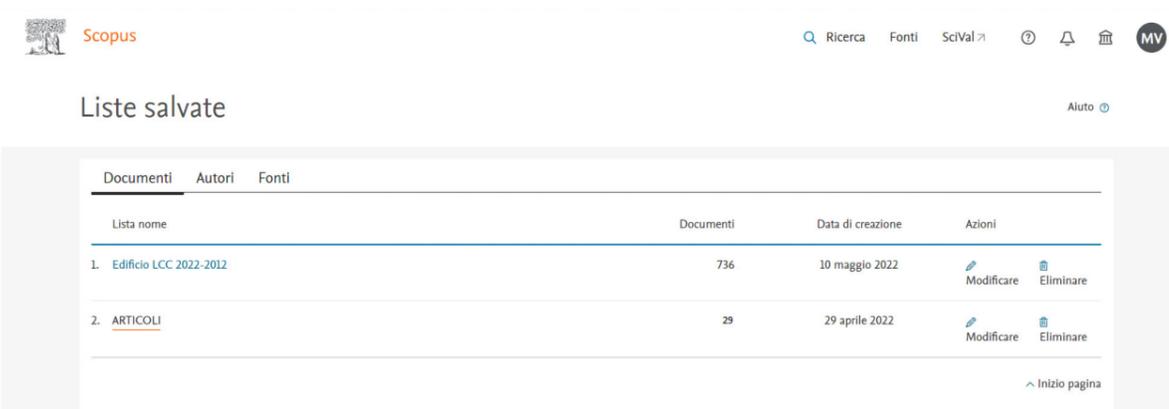
Scopus permette inoltre di modificare i parametri della ricerca come il campo di ricerca e l'anno di pubblicazione:

TITLE-ABS-KEY (energy AND efficiency AND historic AND building AND cost AND optimal) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, "ENGI")) OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "MATE") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "ENVI") AND (LIMIT-TO (PUBYEAR, 2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2018))

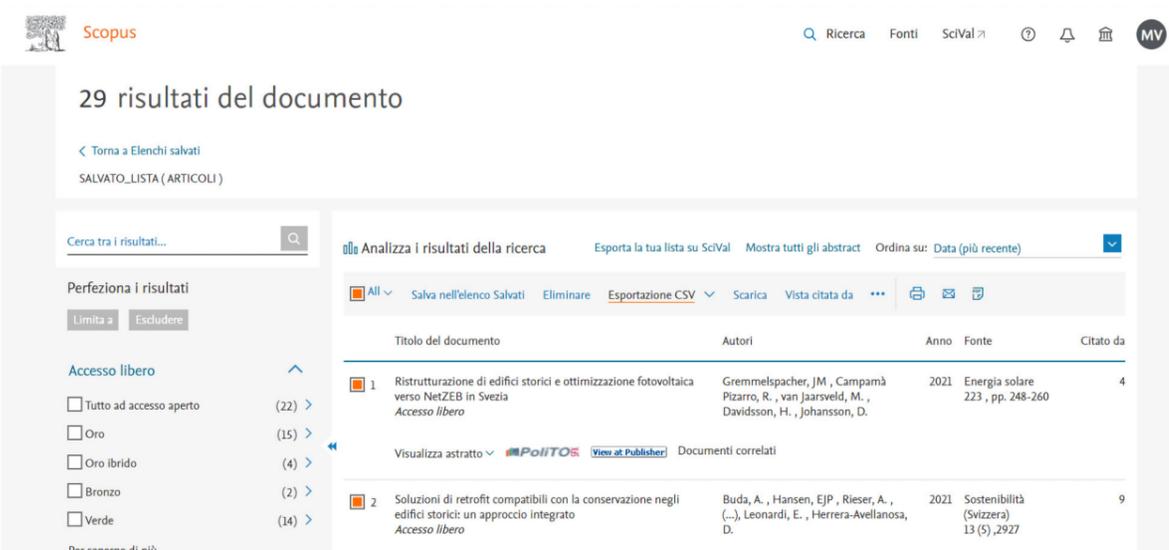
3. Nella casella personale, seleziona "Saved List".



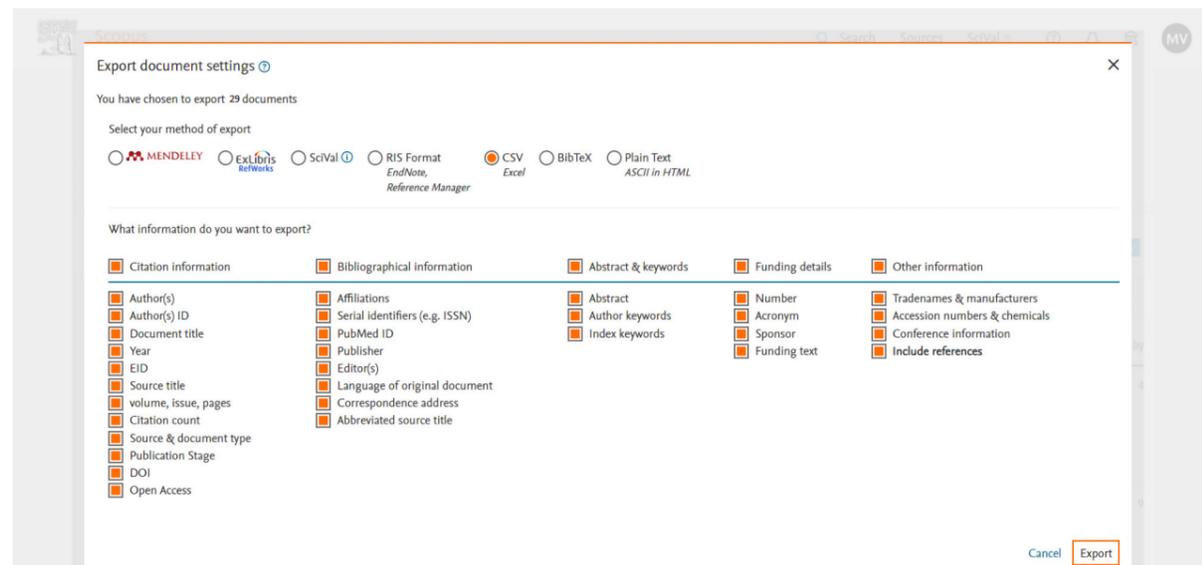
4. Entra nella sezione "Articoli".



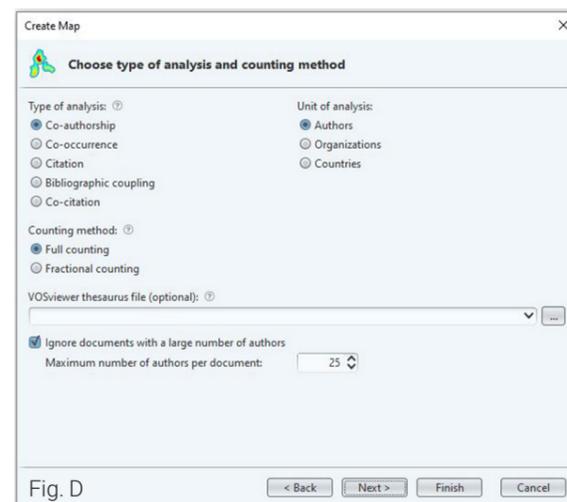
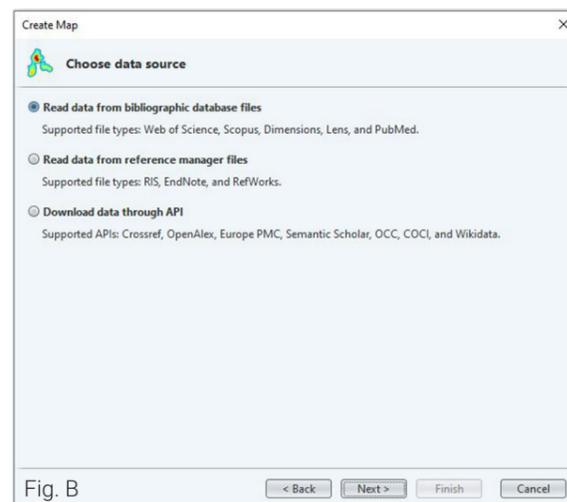
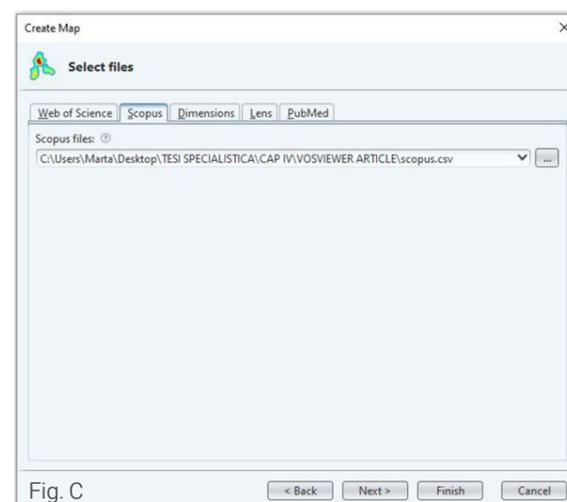
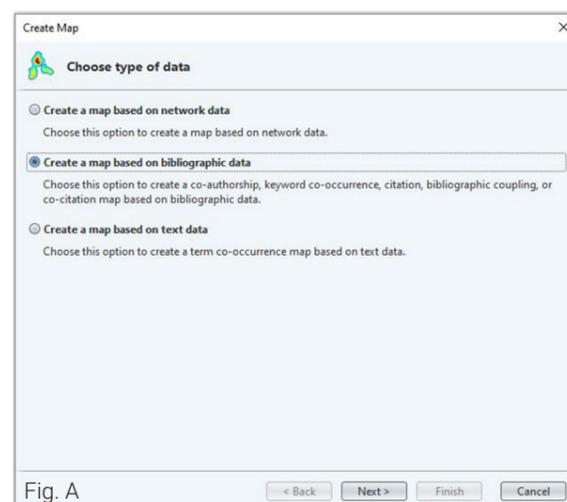
5. Seleziona "All" e poi "CSV export".



6. Seleziona "CSV excel" ed "Export" scegliendo le voci utili alla propria ricerca.



7. Avvia il programma VOSviewer.



Nella scheda Azioni → File → Create → Create a map based on bibliographic data [Fig. A] → Next → Read data from bibliographic database files [Fig. B] → Next → Seleziona la voce Scopus e inserisci il file csv.excel precedentemente scaricato [Fig. C] → Next → Chose type of analysis and counting method [Fig. D].

Nella scheda in Fig. D è possibile selezionare le voci per la realizzazione di mappe, Tabella.1.

- Co-authorship analysis: in queste reti, ricercatori, istituti di ricerca o paesi sono collegati tra loro in base al numero di pubblicazioni di cui sono autori congiuntamente.
- Co-occurrence analysis: la correlazione degli elementi è determinata in base al numero di documenti in cui si verificano insieme.
- Citation analysis: la correlazione degli elementi è determinata in base al numero di volte in cui i documenti si citano a vicenda.

- Bibliographic coupling analysis: la correlazione degli elementi è determinata in base al numero di riferimenti che condividono.
- Co-citation analysis: la correlazione degli elementi è determinata in base al numero di volte in cui sono citate insieme.

La scelta di analisi dipende totalmente dal tipo d'informazioni che si vuole analizzare, se volessimo ad esempio capire come determinate parole siano state utilizzate nelle ricerche dovremmo analizzare le Authors keywords come mostrato in Fig. 4.16.

#### 4.3.4 APPLICAZIONE/RISULTATI

Ai fini della tesi sono state condotte ricerche con parole chiave concentrandosi sul periodo che va dal 2011 ad oggi, quali:

TITLE-ABS-KEY (lcc AND heritage AND building) AND (LIMIT-TO (OA, "all"))

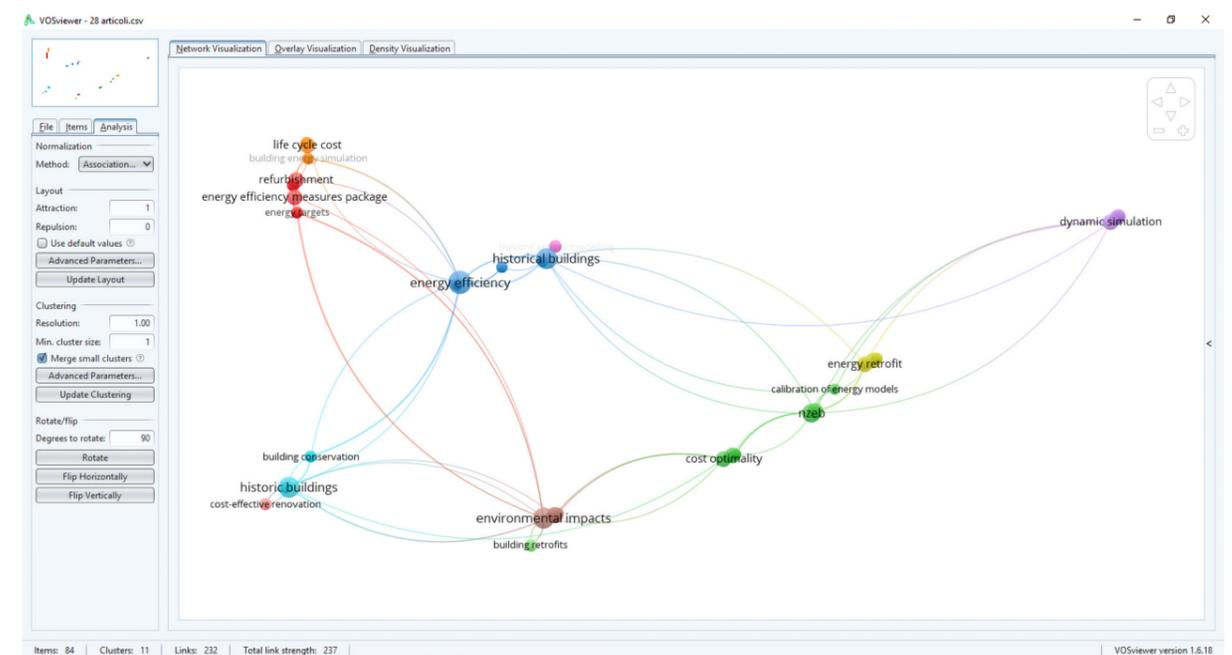


FIG. 4.16

Visualizzazione di una rete co-occurrence basata sulle keywords utilizzate dagli autori dai 29 articoli analizzati, anni di riferimento 2012-2021. Visualizzazione di una rete co-occurrence basata sulle keywords utilizzate dagli autori dai 29 articoli analizzati, anni di riferimento 2012-2021.

TITLE-ABS-KEY (cost AND optimal AND heritage AND building) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, "ENGI")) OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "ENVI") OR LIMIT-TO (LIMIT-TO (OA, "all")) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR, 2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2017) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2015)) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2014)) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2013)) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2012)) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2011))

TITLE-ABS-KEY (energy AND efficiency AND historic AND building AND cost AND optimal) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, "ENGI")) OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "MATE") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "ENVI")) AND (LIMIT-TO (OA, "all")) AND ( LIMIT-TO (PUBYEAR, 2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2017) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2016) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2015)) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2014)) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2013)) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2012)) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2011))

La ricerca condotta tramite Scopus la ha portato all'individuazione di 29 articoli tra gli anni 2012-2021. Sulla base dei passaggi descritti precedentemente, in Fig. 4.17 è rappresentata una prima mappa bibliometrica Co-occurrence analysis basata sulle *Authors keywords*.

Dall'analisi condotta si è sviluppata una mappa con 10 Cluster, ognuno dei quali è stato nominato secondo l'elemento più significativo.

1. Cluster "Life Cycle Cost" (arancio) 18 elementi;
2. Cluster "NZEB" (verde) 11 elementi;
3. Cluster "Energy efficiency" (blu) 10 elementi;
4. Cluster "Energy retrofit" (giallo) 9 elementi;
5. Cluster "Economic sustainability" (viola) 8 elementi;
6. Cluster "Historic building" (celeste) 7 elementi;

7. Cluster "Enviromental impacts" (marrone chiaro) 6 elementi;

8. Cluster "HVAC system" (fucsia) 5 elementi;

9. Cluster "Cost effective renovation" (rosa) 5 elementi;

10. Cluster "Building retrofit" (verde chiaro) 5 elementi.

Per ciascuna pubblicazione sono stati individuati i termini che ricorrono nel titolo e nell'abstract della pubblicazione; ciascun termine è rappresentato, in questo tipo di visualizzazione, da un cerchio colorato sul quale viene posta un'etichetta col nome del termine; la dimensione di un termine riflette il numero di pubblicazioni in cui è stato trovato, la distanza tra due termini offre un'indicazione approssimativa del grado di parentela tra i due. Nella scelta della mappa si è optato per una correlazione sulla base di co-occorrenze. Come detto prima la co-occorrenza di parole determina che, maggiore è il numero di pubblicazioni in cui sono stati trovati entrambi i termini, più forte è la relazione tra gli stessi.

Dalla lettura dei dati è possibile osservare come il Cluster 3 "Energy efficiency", si concentri principalmente sullo studio dell'efficienza energetica in relazione agli edifici storici; mentre le pubblicazioni appartenenti al Cluster 1 "Life Cycle Cost", si concentrano maggiormente sullo studio delle metodologie economiche e ambientali LCC, LCA e Cost Optimal per il miglioramento dell'efficienza energetica. Selezionando il termine "historical buildings", Figura 4.18, si può osservare come vi sia una correlazione ad altri elementi appartenenti a differenti Cluster, tra cui il Cluster 5 "Economic sustainability", il quale raggruppa le pubblicazioni che parlano di sistemi HVAC.

La Fig. 4.19 ripropone la precedente rete bibliometrica della Fig. 4.17 ma in modalità *Overlay Visualization*, questa modalità è stata scelta per poter studiare il periodo in cui le *Authors keywords* sono state utilizzate. Gli anni sono indicati nella barra in basso a destra, in questo caso abbiamo un arco temporale stimato tra il 2015 e il 2020.

A conferma di quanto detto nei capitoli precedenti si può osservare, dai colori dei singoli elementi, come la maggior parte dei Cluster che trattano le modalità

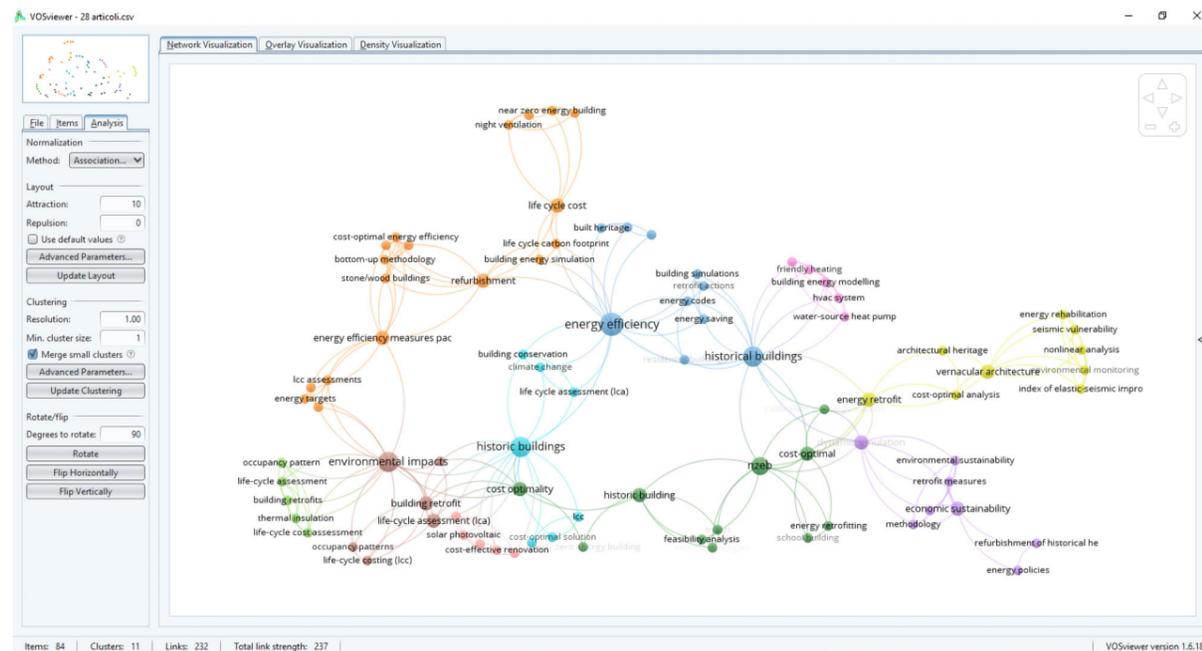


FIG. 4.17

Visualizzazione di una rete co-occurrence basata sulle keywords utilizzate dagli autori dai 29 articoli analizzati, anni di riferimento 2012-2021.

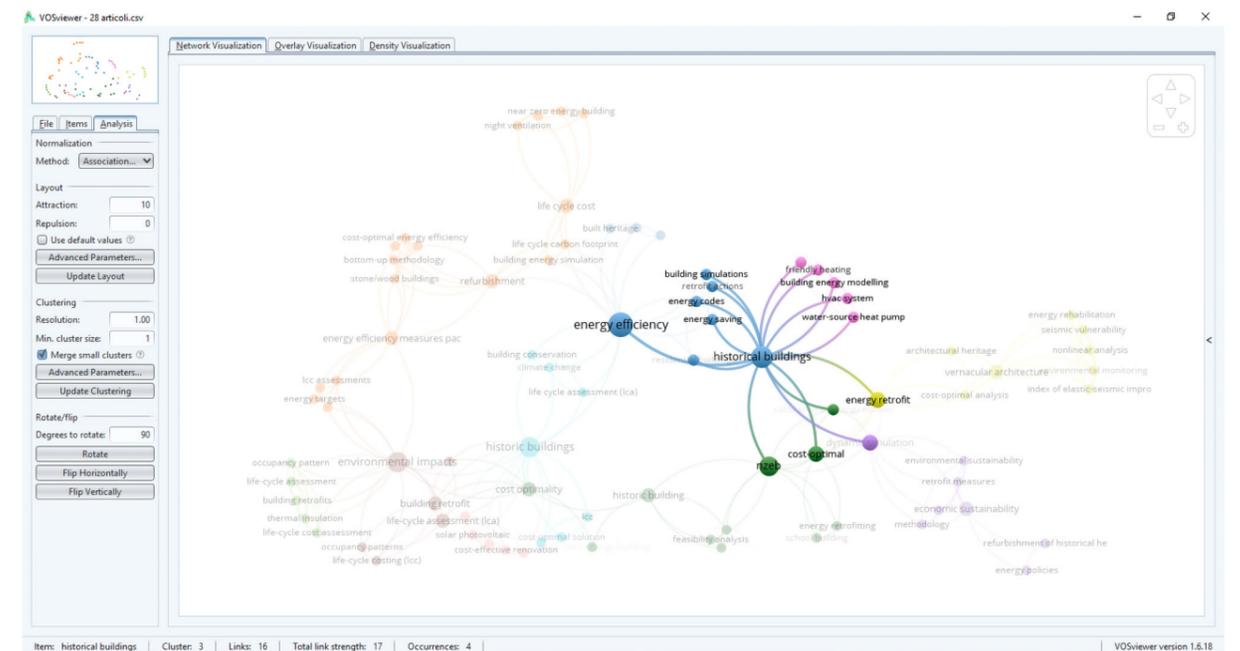


FIG. 4.18

Visualizzazione di una rete Co-occurrence basata sulle Authors keywords utilizzate dagli autori dalle 29 articoli analizzati, anni di riferimento 2012-2021, focus sull'elemento "historical buildings". Elaborazione tramite software VOSviewer.

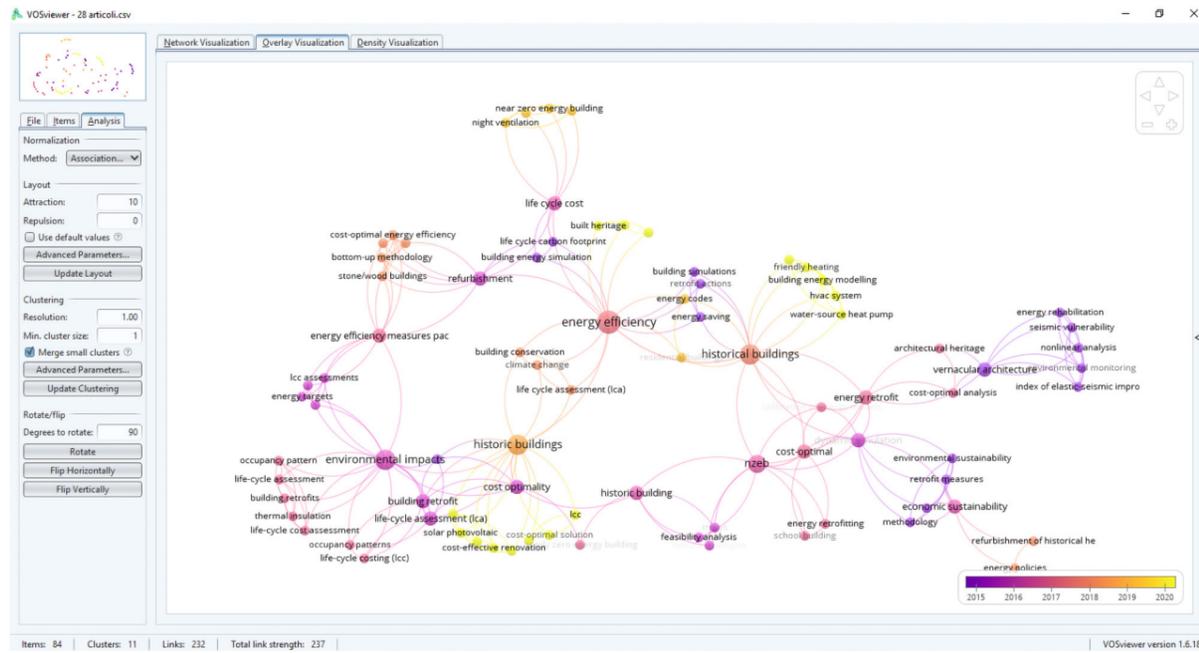


FIG. 4.19

Visualizzazione di una rete Co-occurrence basata sulle Authors keywords utilizzate dagli autori in base all'anno di pubblicazione, modalità mappa Overlay Visualization, dai 29 articoli analizzati, anni di riferimento 2012-2021. Elaborazione tramite software VOSviewer.

di valutazione economica-ambientale risultino molto più antecedenti (2015), rispetto alle pubblicazioni che trattano le "energy efficiency" e "historical buildings", pubblicate intorno al 2017. Le politiche di efficientamento energetico hanno contribuito sicuramente a una spinta nel campo della ricerca verso soluzioni di retrofit nel patrimonio storico, contribuendo alla stesura delle più moderne direttive (Ramos et al., 2019).<sup>8</sup>

Attraverso l'analisi *Bibliographic coupling* scegliendo l'opzione *Countries*, è stato possibile ricavare una rete bibliometrica che permette di studiare la correlazione dei paesi in cui sono stati pubblicati gli articoli; sfruttando la modalità *Overlay Visualization* è stata inoltre possibile stabilire quando i paesi hanno sviluppato studi scientifici sul tema dell'efficientamento energetico sul patrimonio storico-artistico (Fig. 4.20). Sebbene l'analisi dei prodotti bibliografici in base all'anno di pubblicazione sia già stata effettuata in precedenza (paragrafo 4.2.1), si è scelto di mostrare questa rete per

analizzare la correlazione tra i vari paesi, la quale è determinata in base al numero di riferimenti che condividono. Dalla mappa è possibile capire che l'Italia sia fortemente collegata tra i paesi di Regno Unito, Danimarca, Svizzera, Spagna e Austria, con una media 106,8 riferimenti; mentre i collegamenti con paesi come Stati Uniti, Norvegia, Turchia e Arabia Saudita sono molto deboli (una media di 2,7 riferimenti) e distanti, soprattutto al mondo arabo. Per una più completa analisi sono state svolte ulteriori indagini riguardanti l'efficientamento energetico degli edifici mettendo a confronto i risultati delle parole chiave degli autori riscontrati nella ricerca bibliografica con quelle di pubblicazioni basate sulla metodologia LCC applicate agli edifici. Gli articoli sono stati scelti tra quelli pubblicati tra il 2012 e il 2021 (stesso periodo delle 29 pubblicazioni scientifiche raccolte ai fini della tesi), andando a selezionare le pubblicazioni open access si è arrivato a un numero di 696 pubblicazioni in totale (Fig 4.21).

TITLE-ABS-KEY (LCC) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR, 2021) O LIMIT-TO (PUBYEAR, 2019) O LIMIT-TO (PUBYEAR, 2020) O LIMIT-TO (PUBYEAR, 2018) O LIMIT-TO (PUBYEAR, 2017) O LIMIT-TO (PUBYEAR, 2016) O LIMIT-TO (PUBYEAR, 2015) O LIMIT-TO

<sup>8</sup> Ramos J.S., et al. (2019), *Design of the refurbishment of historic buildings with a cost-optimal methodology: A case study*, Applied Sciences, vol. 9(15).

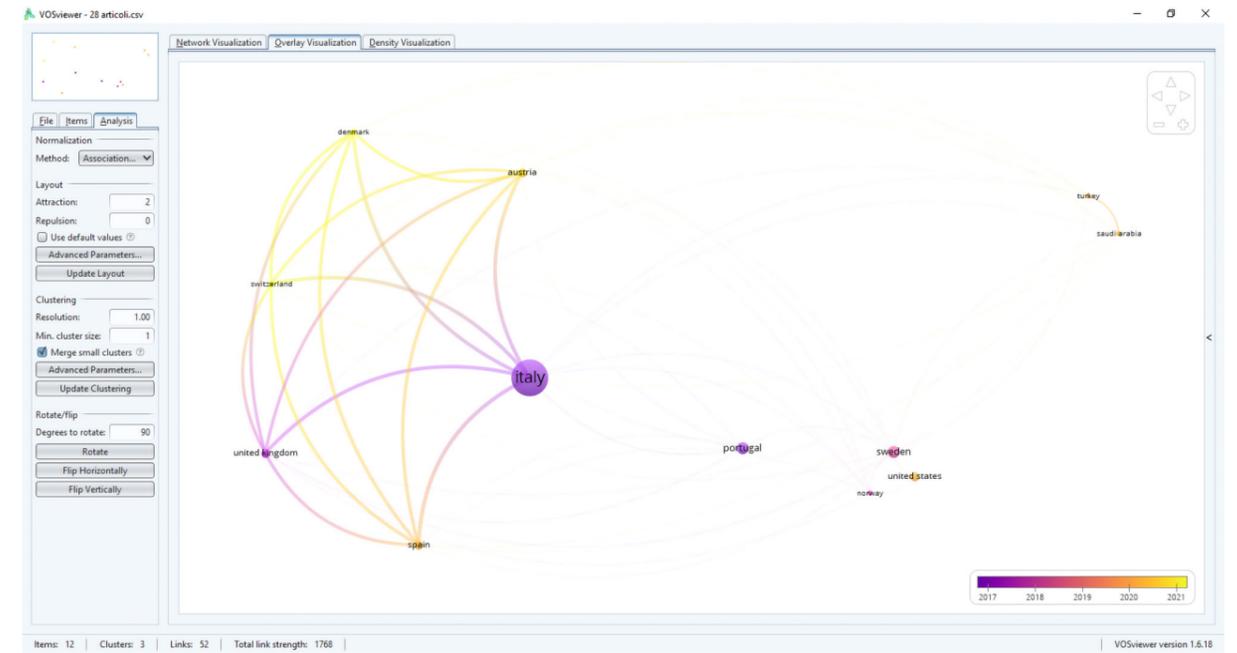


FIG. 4.20

Visualizzazione di una rete Bibliographic coupling basata sul paese di pubblicazione, modalità mappa Overlay Visualization, dai 696 articoli analizzati, anni di riferimento 2012-2021. Elaborazione tramite software VOSviewer.

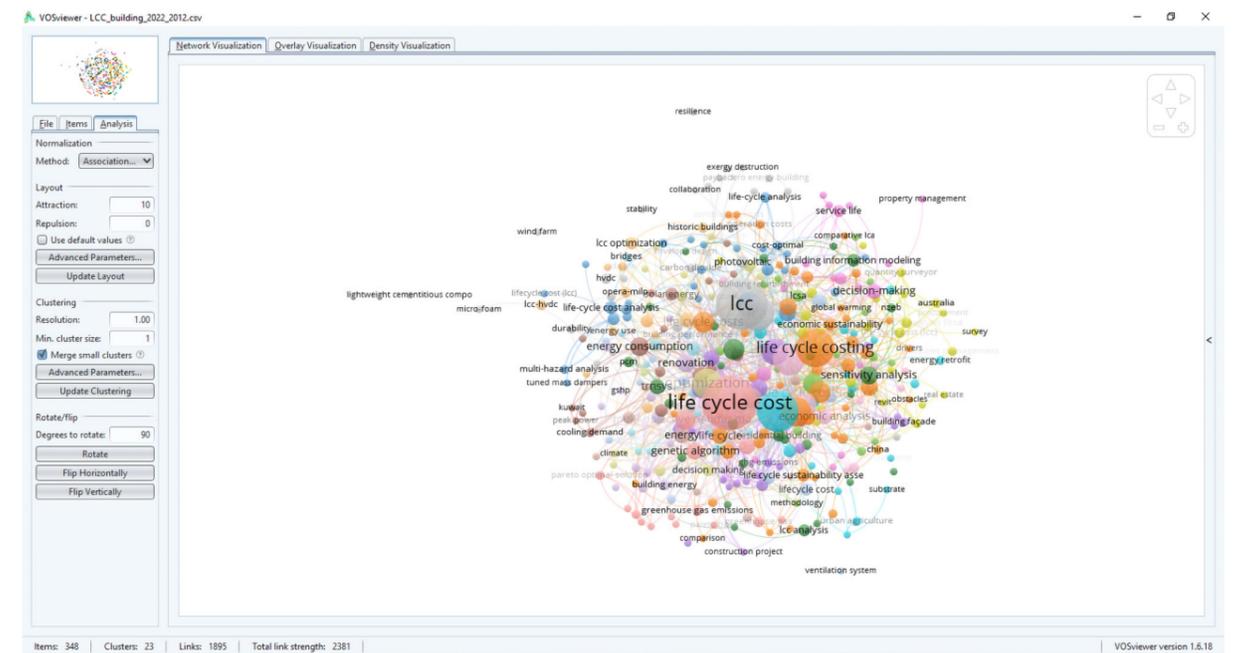


FIG. 4.21

Visualizzazione di una rete Co-occurrence basata sulle Authors keywords utilizzate dagli autori dalle 696 articoli analizzati, anni di riferimento 2012-2021. Elaborazione tramite software VOSviewer.



FIG. 4.22

Visualizzazione di una rete Co-occurrence basata sulle Authors keywords utilizzate dagli autori dalle 696 articoli analizzati, anni di riferimento 2012-2021, focus sull'elemento "historical buildings". Elaborazione tramite software VOSviewer.

(PUBYEAR, 2014) O LIMIT-TO (PUBYEAR, 2013) O LIMIT-TO (PUBYEAR, 2012)) AND (LIMIT-TO (OA, "ALL")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA), "ENGI")

Osservando l'immagine, è possibile cercare di capire gli elementi in comune con la precedente analisi (Fig. 4.17) si può notare come i termini LCC e LCA siano ovviamente quelli più utilizzati, mentre se si cercano termini di edifici storici ne si riscontra solo uno, Fig. 4.22, l'elemento "historical buildings" viene riscontrato nelle pubblicazioni pochissime volte e questo rispecchia la quantità esigua di pubblicazioni in materia di valutazione economica su edifici storici.

La Fig. 4.23, come la precedente Fig. 4.20, analizza la Bibliographic coupling – Countries delle pubblicazioni; se mettiamo a confronto le due mappe è possibile notare come l'Italia sia una delle tre nazioni ad aver effettuato più pubblicazioni (75 pubblicazioni), insieme a Stati Uniti (74 pubblicazioni) e Cina (76 pubblicazioni); si potrebbe osservare che i paesi ad alto reddito siano quelli che più sono propensi a produrre e pubblicare più documenti poiché disponevano di finanziamenti sufficienti e strumenti, attrezzature e strutture adeguate

(A.P. Mörschbacher, 2022).<sup>9</sup> Sorprende dunque che paesi tecnologicamente più avanzati come Belgio, Francia, Germania, Svezia e Danimarca, abbiano una quantità di ricerca sul tema dell'efficiamento energetico meno consistente. In entrambe le ricerche l'Italia, che da sempre ha avuto una profonda comprensione del suo patrimonio storico-artistico, ha dimostrato una profonda attenzione scientifica nei confronti della riqualificazione energetica verso edifici sia nuovi che esistenti. Per concludere a seguito dell'emanazione delle Direttive europee e alle nuove tecnologie sempre più studiate si sono impegnati nella ricerca di soluzioni riguardanti gli interventi sul patrimonio costruito, negli ultimi venti anni le pubblicazioni riguardanti il tema dell'efficiamento energetico degli edifici è cresciuto in maniera considerevole anche grazie al fatto che gli Stati hanno aumentato gli standard abitativi imponendo allo stesso tempo limiti ben precisi sul consumo di risorse e energia. Se consideriamo il settore edile il principale responsabile dell'utilizzo di materie prime estratte (quasi il 50%), appare

<sup>9</sup> Mörschbacher A.P., Granada Eichelberger C., (2022). Mapping the worldwide knowledge of antimicrobial substances produced by *Lactobacillus* spp.: A bibliometric analysis, *Biochemical Engineering Journal*, vol. 180, pp. 108-343.

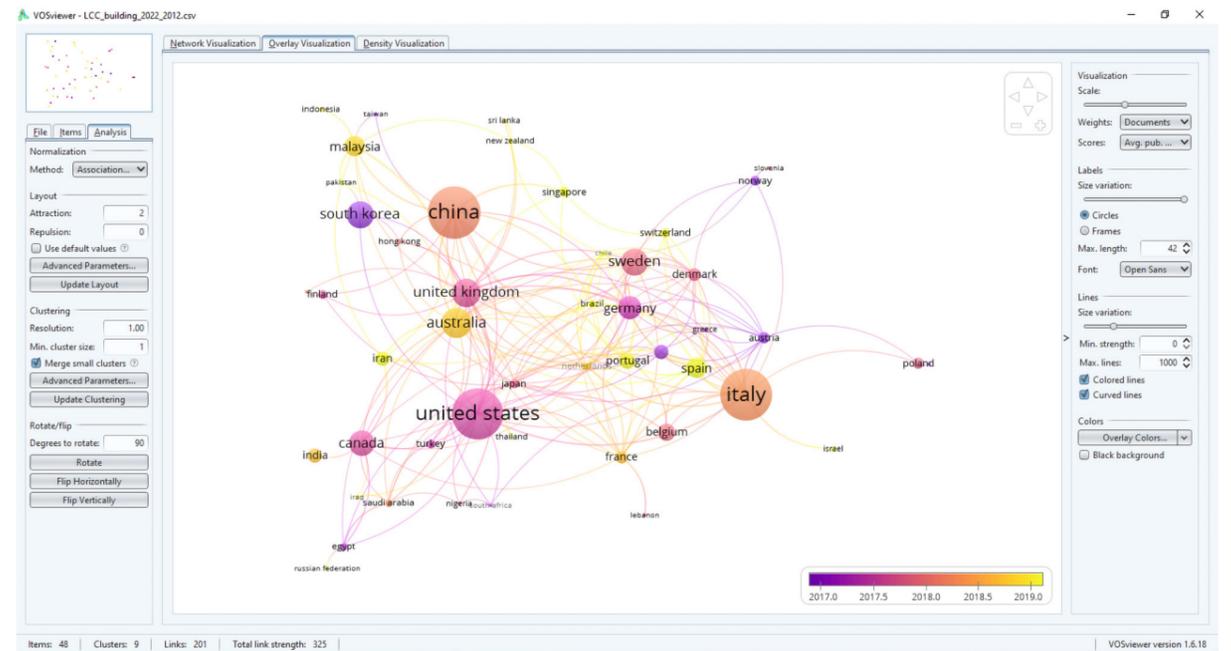


FIG. 4.23

Visualizzazione di una rete Bibliographic coupling basata sul paese di pubblicazione, modalità mappa Overlay Visualization, dai 696 articoli analizzati, anni di riferimento 2012-2021. Elaborazione tramite software VOSviewer.

evidente la necessità di migliorare gli standard energetici degli edifici esistenti; quest'ultimi in particolare sono di estrema importanza per i paesi sviluppati quali Europa, Stati Uniti, Cina e Canada, dove la maggior parte degli edifici sono dotati di sistemi di riscaldamento e raffreddamento spesso inefficienti. Con la Direttiva 2012/27/UE ad esempio si chiede agli Stati membri di creare strategie per la ristrutturazione del parco immobiliare esistente, questo ha sicuramente incentivato la ricerca. La concentrazione maggiore delle opere pubblicate nel 2017, come precedentemente detto, è stata data dalla maggior attenzione posta al tema dell'efficiamento energetico degli edifici da parte degli Stati (A. Loli, 2018).<sup>10</sup> Le ricerche sul tema, sia per gli edifici nuovi che esistenti, hanno molto spesso anticipato l'uscita delle normative statali ponendosi come punto di partenza per la delineazione di nuove linee guida, come la UNI EN 16883:2017 "Linee guida per migliorare la prestazione energetica degli edifici storici".<sup>11</sup>

<sup>10</sup> Loli A., Bertolini C., (2018), *Towards Zero-Emission Refurbishment of Historic Buildings: A Literature Review*, *Buildings*, vol. 8 (2), p. 22.

<sup>11</sup> UNI EN 16883:2017 – Linee guida per migliorare la prestazione energetica degli edifici storici.

#### 4.4 BIBLIOGRAFIA CAPITOLO IV

BORG I., GROENEN P. J. F., (2005), *Ridimensionamento multidimensionale moderno*, (2a ed.), Berlino: Springer.

DIRETTIVA EUROPEA 2012/27/UE, del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 25 ottobre 2012 sull'efficienza energetica, modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE.

DIRETTIVA EUROPEA 2018/844, del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30 maggio 2018 che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica.

LOLI A., BERTOLINO C., (2018), *Towards zero-emission refurbishment of historic buildings: A literature review*, Buildings 8.

MÖRSCHBÄCHER A.P., GRANADA EICHELBERGER C., (2022), *Mapping the worldwide knowledge of antimicrobial substances produced by Lactobacillus spp.: A bibliometric analysis*, Biochemical Engineering Journal 180.

PETERS H. P. F., VAN RAAN A. F. J., (1993), *Co-word-based science maps of chemical engineering. Part I: Representations by direct multidimensional scaling*, Research Policy 22.

RAMOS J.S., et al. (2019), *Design of the refurbishment of historic buildings with a cost-optimal methodology: A case study*, Applied Sciences 9.

UNI EN 16883:2017 – *Linee guida per migliorare la prestazione energetica degli edifici storici*.

VAN ECK N. J., WALTMAN L., (2007a), *VOS: A new method for visualizing similarities between objects*, H. J. Lenz & R. Decker (Eds.), *Advances in data analysis: Proceedings of the 30th annual conference of the German Classification Society* (pp. 299-306), Heidelberg: Springer.

VAN ECK N. J., WALTMAN L., VAN DEN BERG J., KAYMAK U., (2006), *Visualizing the Computational Intelligence field*, IEEE Computational Intelligence Magazine 1.

ZITT M., BASSECOULARD E., OKUBO Y., (2000), *Shadows of the past in international cooperation: Collaboration profiles of the top five producers of science*, Scientometrics 47.

# CONCLUSIONI

Con la necessità di arrivare ad un'impatto climatico zero entro il 2050, l'UE ha intrapreso la strada verso la decarbonizzazione del parco immobiliare, introducendo una serie di normative necessarie per la trasformazione degli edifici in edifici a energia quasi a zero (NZEB). Nell'ambito della transizione verso una società a basse emissioni, gli edifici esistenti rappresentano la maggior parte del patrimonio edilizio e adattarli ai nuovi standard per soddisfare i requisiti ambientali ed energetici sempre più severi significherebbe diminuire le emissioni dannose all'ambiente.

La riqualificazione energetica è ancora più significativa in Italia, dove il patrimonio edilizio esistente (prevalentemente residenziale) è anche storico o di pregio architettonico-artistico, quindi soggetto a vincoli, ed è influenzato da specifiche normative e modalità di intervento per la ristrutturazione. Intervenire sugli edifici storici, in particolare, comporta il dover far fronte al conflitto tra tutela del patrimonio culturale e l'aumento delle tecnologie per migliorare l'efficienza energetica.

Il lavoro di tesi si propone di analizzare e mettere in luce il tema dell'efficientamento energetico degli edifici storici dal punto di vista normativo e della letteratura attraverso gli strumenti di valutazione economica dei progetti in ottica Life Cycle. Con l'intento d'individuare le procedure e le strategie di applicazione più ricorrenti e comprendere quali sono le problematiche che ostacolano l'operazione di miglioramento dell'edificio tutelato.

La ricerca condotta ha mostrato come il retrofit degli edifici storici sia possibile ed efficace, non solo per l'adeguamento delle condizioni di efficienza energetica ma anche per la conservazione del

patrimonio storico; infatti, gli interventi applicati ai casi studio condotti tramite l'utilizzo di simulazioni riportano tutti un esito positivo. Nella prima parte di analisi, in alcuni casi, è sembrato rilevante mettere in relazione questa ricerca (condotta su un campionario di edifici storici), con una che riguardasse gli interventi su edifici prevalentemente nuovi.

Dalle analisi è emerso come gli edifici storici, seppur rappresentando la maggior parte del patrimonio costruito, ricoprono ancora una piccola parte nell'ambito di ricerca internazionale sull'efficiamento energetico. Se si considerano gli studi basati sulla metodologia LCC e approccio Cost Optimal si scopre infatti come una piccolissima parte di essi tratti edifici storici o tutelati. Si è riscontrato che solo poche nazioni abbiano condotto analisi nel periodo indicato (2012-2021). Il continente europeo, con il suo ricco patrimonio, è quello che più ha dimostrato un interesse in quest'ambito (86%). L'Italia, dato dal suo ricco patrimonio storico e una conoscenza profonda della disciplina del restauro, si dimostra la nazione con più ricerca condotta (48,3%). Se si analizzano le pubblicazioni attraverso l'uso di programmi come VOSviewer, è possibile approfondire l'analisi delle parole chiave.

Queste si dimostrano utili qualora si voglia indagare sull'uso della terminologia, scelta dagli autori per le proprie pubblicazioni, e di come essa sia cambiata nel tempo. I risultati dimostrano che essa stia acquisendo sempre di più una specificità nell'ambito della riqualificazione energetica degli edifici storici attraverso gli strumenti di valutazione economica-ambientale.

Nonostante le pubblicazioni scientifiche raccolte dimostrino la possibilità di migliorare la performance energetica degli edifici senza andare a interferire con la qualità storico-artistica dell'edificio, in questa tesi si evidenzia come vi sia una mancanza in letteratura sul tema dell'efficiamento energetico relativo agli edifici storici che andrebbe colmato a livello internazionale, viste anche le recenti direttive sul climate change. Pertanto questo lavoro si pone l'obiettivo di essere un punto di partenza per futuri approfondimenti teorici e auspicabili applicazioni tecnico-pratiche.

## BIBLIOGRAFIA

ABDELRAZEK H., YILMAZ Y., (2020), *Energy and economic assessment of HVAC solutions for the armoury hall at the Palazzo Ducale in Mantua*, Procedia Structural Integrity 29.

ABDELRAZEK H., YILMAZ Y., (2020), *Methodology toward Cost-Optimal and energy-efficient retrofitting of historic buildings*, Journal of Architectural Engineering 26.

ALLEGRO V., *Modellazione e simulazione energetica di un edificio storico. Il caso studio del conservatorio di musica Giuseppe Verdi di Torino*, Tesi di Laurea Magistrale in Architettura per il Restauro e la Valorizzazione del patrimonio, rel. Corgnati S. P., Capozzoli A., M. Sc. Arch. Spigliantini G., Politecnico di Torino, a.a. 2019.

ASCIONE F., et al., (2017), *NZEB target for existing buildings: Case study of historical educational building in mediterranean climate*, In Energy Procedia 140.

BECCHIO C., CORGNATI S. P., SPIGLIANTINI G., (2017), *Evaluation of refurbishment alternatives for an Italian vernacular building considering architectural heritage*, Energy Efficiency and Costs, Energy Procedia 133.

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

BELLINI A., (1998), *Un bene non è tale se non è fruibile. La pura contemplazione non appartiene all'architettura*, Tema, n. 1.

BELLOMO M., PONE S., (2011), *Il retrofit tecnologico degli edifici esistenti: Qualità dell'abitare, sostenibilità ambientale, rilancio economico*, Techne 1.

BERG E. F., FUGLSETH M., (2018), *Life cycle assessment and historic buildings: Energy-efficiency refurbishment versus new construction in Norway*, Journal of Architectural Conservation 24.

BERTINI I., FEDERICI A., FERRARI S., , MANDUZIO L., MARTINI C., PANDOLFI E., POGGI, MICHELE PREZIOSI M., VIOLA C., (2019), *Efficienza energetica, rapporto annuale sull'efficienza energetica*, Dipartimento Unità l'Efficienza Energetica dell'ENEA.

BINA O., (2013), *The green economy and sustainable development: An uneasy balance?*, Environ. Plan. C Gov. Policy 31.

BORG I., GROENEN P. J. F., (2005), *Ridimensionamento multidimensionale moderno*, (2a ed.), Berlino: Springer.

BUDA A., et al., (2021), *Conservation-compatible retrofit solutions in historic buildings: An integrated approach*, Sustainability 13.

BULL J., GUPTA A., MUMOVIC D., KIMPIAN J., (2014), *Life Cycle Cost and carbon footprint of energy efficient refurbishments to 20<sup>th</sup> century UK school buildings*, International Journal of Sustainable Built Environment 3.

CALIFORNIA INTEGRATED WASTE MANAGEMENT BOARD, (2000), *Designing With Vision: A Technical Manual for Material Choices in Sustainable Construction*, California Environmental Protection Agency: California, CA, USA, 2000.

CARDINALE T., COLAPIETRO D., CARDINALE N., FATIGUSO F., (2013), *Evaluation of the efficacy of traditional recovery interventions in historical buildings. A new selection methodology*, Energy Procedia 40.

CIAMPI G., ROSATO A., SCORPIO M., SIBILIO S., (2015), *Energy and economic evaluation of retrofit actions on an existing historical building in the South of Italy by using a dynamic simulation software*, Energy Procedia 78.

CIRAMI S., EVOLA G., GAGLIANO A., MARGANI G., (2017), *Energy renovation strategies for historical buildings: Cost-Optimal Analysis for a case study in Catania (Sicily)*, Buildings 7.

CLUB OF ROME, (1992), *Beyond the Limits to Growth*, The Donatella Meadows project.

CLUB OF ROME, (1972), *The limits to growth*.

COMMISSIONE EUROPEA, (2001), *Libro Verde sulla politica integrata relativa ai prodotti*, Comunicazione 302/03, Bruxelles, 7 febbraio 2001.

COMMISSIONE EUROPEA, (2011), *Rio+20: Towards a green economy and better governance*, Brussels, 20 giugno 2011.

COMMISSIONE EUROPEA, (2012), *Trattato sul funzionamento dell'Unione Europea*, Bruxelles, 26 ottobre 2012.

CONFERENZA DELLE NAZIONI UNITE SULL'EDILIZIA ABITATIVA E LO SVILUPPO URBANO SOSTENIBILE, (2016), *Habitat III*, Quito, 17-20 ottobre 2016.

CONFERENZA DELLE PARTI DI KYOTO (COP3), (1997), *Protocollo di Kyoto*, Kyoto, 11 dicembre 1997.

CONFERENZA GENERALE DELL'UNESCO, (2001), *Dichiarazione Universale sulla Diversità Culturale UNESCO*, Parigi, 2 novembre 2001.

CONFERENZA INTERNAZIONALE DELLE NAZIONI UNITE SULL'AMBIENTE, (1972), *Earth Summit*, Stoccolma, 5-16 giugno 1972.

CONFERENZA INTERNAZIONALE DI PARIGI, (2015), *Accordo di Parigi*, Parigi, 12 dicembre 2015.

CONFERENZA MONDIALE SULLO SVILUPPO SOSTENIBILE (UNCSD), (2009), *Rio+2023*, dicembre 2009.

CROVA C., (2017), *Le linee guida di indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel patrimonio culturale. Architettura, centri e nuclei storici ed urbani: Un aggiornamento della scienza del restauro. Le Nuove Frontiere Del Restauro*, Trasferimenti, Contaminazioni, Ibridazioni, Atti Del XXXIII Convegno Internazionale Scienza e Beni Culturali, (Bressanone, 27-30 Giugno 2017), a Cura Di Guido Biscontin e Guido Driussi, 33.

D'ONOFRIO CAVIGLIONE M., (2004), *Urbanistica e prassi della conservazione. L'esperienza di Genova*, Franco Angeli, Milano.

DALLA MORA T., RIGHI A., PERON F., ROMAGNONI P., (2017), *Cost-Optimal measures for renovation of existing school buildings towards NZEB*, Energy Procedia 140.

DE SANTOLI L., (2014), *Linee guida nazionali per l'efficienza energetica degli edifici storici*, in *Edifici storici. Restauro e risparmio energetico: Nuove tecnologie e nuove prospettive*, Atti del Convegno (Roma, Auditorium del MAXXI, 22 marzo 2014), Roma.

DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA 21 dicembre 1999, n. 511 – *Regolamento recante modifiche al D.P.R. 26 agosto 1993, n. 412, in materia di progettazione, installazione, esercizio e manutenzione degli impianti termici degli edifici, ai fini del contenimento dei consumi di energia*.

DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA 26 agosto 1993, n. 412 – *Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia*.

DECRETO LEGGE 4 giugno 2013, n. 63 – *Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea*.

DECRETO LEGISLATIVO 10 giugno 2020, n. 48 – *Attuazione della direttiva (UE) 2018/844 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 30 maggio 2018, che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica*.

DECRETO LEGISLATIVO 19 agosto 2005, n. 192 – *Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia*.

DECRETO LEGISLATIVO 22 gennaio 2004, n. 42 – *Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio*.

DECRETO LEGISLATIVO 29 dicembre 2006, n. 311 – *Disposizioni correttive ed integrative al D.Lgs. 192/05.*

DECRETO LEGISLATIVO 3 marzo 2011, n. 28 – *Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE.*

DECRETO LEGISLATIVO 30 maggio 2008, n. 115 – *Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE.*

DECRETO LEGISLATIVO 12 aprile 2006, n. 163 – *Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE.*

DECRETO MINISTERIALE 2 agosto 2005, n. 178 – *Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia.*

DECRETO MINISTERIALE 26 giugno 2009 – *Linee Guida nazionali per la Certificazione Energetica.*

DECRETO MINISTERIALE 26 giugno 2015 – *Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici.*

DELLA TORRE S., (1998), *Il progetto di una conservazione senza barriere*, Tema 1.

DIRETTIVA EUROPEA 2002/91/CE, del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2002 sul rendimento energetico nell'edilizia.

DIRETTIVA EUROPEA 2004/17/CE, del Parlamento europeo e del Consiglio del 31 marzo 2004 che coordina le procedure di appalto degli enti erogatori di acqua e di energia, degli enti che forniscono servizi di trasporto e servizi postali.

DIRETTIVA EUROPEA 2004/18/CE, del Parlamento europeo e del Consiglio del 31 marzo 2004, relativa al coordinamento delle procedure di aggiudicazione degli appalti pubblici di lavori, di forniture e di servizi.

DIRETTIVA EUROPEA 2010/31/UE, EPBD recast del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia.

DIRETTIVA EUROPEA 2012/27/UE, del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 25 ottobre 2012 sull'efficienza energetica, modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE.

DIRETTIVA EUROPEA 2018/844, del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30 maggio 2018 che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica.

FALASCHI V., *W.HOUSE: Architettura e Sostenibilità nel nuovo eco-quartiere Alc.Este di Ferrara*, Tesi di Laurea Specialistica in Architettura per il Progetto Sostenibile, rel. Walter Nicolino, Politecnico di Torino, a.a. 2020–2021.

FASANO G., (2011), *L'efficienza energetica nel settore civile*, Laboratorio Tecnografico ENEA, Frascati.

FERRARI S., ROMEO C., (2017), *Retrofitting under protection constraints according to the Nearly Zero Energy building (Nzeb) target: The case of an italian cultural heritage's School building*, Energy Procedia 140.

FERRISS L., (2021), *Sustainable reuse of post-war architecture through Life Cycle Assessment*, Journal of Architectural Conservation 24.

FILIPPI M., (2015), *Remarks on the green retrofitting of historic buildings in Italy*, Energy Build. 95.

FOSTER G., (2020), *Circular economy strategies for adaptive reuse of cultural heritage buildings to reduce environmental impacts*, Resources, Conservation and Recycling 152.

FREDRIK B., FUGLSETH M., (2018), *Life Cycle Assessment and historic buildings: Energy-efficiency refurbishment versus new construction in Norway*, Journal of Architectural Conservation 24.

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

FREGONARA E., MORETTI V., NARETTO M., (2018), *Sostenibilità e interventi sul patrimonio storico: approcci a confronto*, Territorio 86.

GREMELSPACHER J. M., et al., (2021), *Historical building renovation and PV optimisation towards NetZEB in Sweden*, Solar Energy 223.

ISO 15686-5:2017 – *Building and Constructed Assets. Service-Life Planning. Part 5-Life Cycle Costing*, giugno 2017.

JOSÉ SÁNCHEZ R., ÁLVAREZ DOMÍNGUEZ S., PAVÓN MORENO M., GUERRERO DELGADO M., ROMERO RODRÍGUEZ L., ANTONIO TENORIO J., (2019), *Design of the refurbishment of historic buildings with a Cost-Optimal methodology: A case study*, Applied Sciences 9.

LEGGHE 3 agosto 2013, n. 90 – *Conversione, con modificazioni, del D.L. 4 giugno 2013, n. 63. Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale.*

LEGGHE 3 agosto 2013, n. 90 – *Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale.*

LEGGHE 9 gennaio 1991, n. 10 – *Norme per l'attuazione del piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia.*

LEGGHE del 29 giugno 1939, n. 1497 – *Protezione delle bellezze naturali.*

LEGGHE del 30 marzo 1976, n. 373 – *Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici.*

LEGGHE del 5 agosto 1978, n. 457 – *Norme per l'edilizia residenziale.*

LEGGHE REGIONALE 11 marzo 2015, n. 3 – *Disposizioni regionali in materia di semplificazione.*

LEGGHE REGIONALE 28 maggio 2007, n. 13 – *Disposizioni in materia di rendimento energetico nell'edilizia.*

LITTI G., AUDENAERT A., BRAET J., (2013), *Energy retrofitting in architectural heritage, possible risks due to the missing of a specific legislative and methodological protocol*, DOI: 10.13140/2.1.2326.1445.

LIU L., ROHDIN P., MOSHFEGH B., (2016), *LCC Assessments and environmental Impacts on the energy renovation of a multi-family building from the 1890s*, energy and buildings 133.

LIU L., ROHDIN P., MOSHFEGH B., (2018), *Investigating Cost-Optimal refurbishment strategies for the medieval district of Visby in Sweden*, Energy and Buildings 158.

LOLI A., BERTOLINO C., (2018), *Towards zero-emission refurbishment of historic buildings: A literature review*, Buildings 8.

LUCCHI E., TABAK M., TROI A., (2017), *The 'Cost Optimality' approach for the internal insulation of historic buildings*, Energy Procedia 133.

STARA M., *Riquilificazione energetica dell'edilizia storica. Criticità e strategie d'intervento*, Tesi di Dottorato in Tecnologie per la Conservazione dei Beni Architettonici e Ambientali, rel. Prof. Ing. Fabrizio E., Università degli Studi di Cagliari, a.a. 2012-2013.

MALTHUS T., (1798), *Principles of political economy*, Cambridge University Press, gennaio, 1989.

MARTÍNEZ-MOLINA A., TORT-AUSINA I., CHO S., VIVANCOS J. L., (2016), *Energy efficiency and thermal comfort in historic buildings: A review*, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 61.

MAURI L., (2016), *Feasibility analysis of retrofit strategies for the achievement of NZEB target on a historic building for tertiary use*, *Energy Procedia* 101.

MIGLIOLI A., et al., (2020), *Energy and economic assessment of HVAC solutions for the armoury hall at the Palazzo Ducale in Mantua*, *Procedia Structural Integrity* 29.

MINISTERO DEI BENI E DELLE ATTIVITÀ CULTURALI E DEL TURISMO. SEGRETARIATO GENERALE SERVIZIO I – COORDINAMENTO E STUDI, (2015), *Mini-cifre della cultura*, Gangemi.

MÖRSCHBÄCHER A.P., GRANADA EICHELBERGER C., (2022), *Mapping the worldwide knowledge of antimicrobial substances produced by Lactobacillus spp.: A bibliometric analysis*, *Biochemical Engineering Journal* 180.

MUKHOPADHYAY J., ORE J., AMENDE K., (2019), *Assessing housing retrofits in historic districts in Havre Montana*, *Energy Reports* 5.

NAZIONI UNITE: TERZA CONFERENZA INTERNAZIONALE SUL FINANZIAMENTO ALLO SVILUPPO, (2015), *Agenda 2030*, Addis Abeba, 25 settembre 2015.

PARLAMENTO EUROPEO, (2008), *Climate Energy Package 20-20-20*, marzo 2007.

PETERS H. P. F., VAN RAAN A. F. J., (1993), *Co-word-based science maps of chemical engineering. Part I: Representations by direct multidimensional scaling*, *Research Policy* 22.

PIANEZZE F., *L'obiettivo del miglioramento dell'efficienza energetica nel processo di conservazione del costruito storico*, Tesi di Dottorato di Ricerca in Progetto e tecnologie per la valorizzazione dei beni culturali, rel. Schiaffonati F., Politecnico di Milano, a.a. 2009-2012.

POGGI M., (2016), *La nuova prestazione energetica dell'edilizia storica e monumentale*, *Energia, Ambiente e Innovazione* 4.

PRACCHI V., LUCCHI E., S. ADHIKARI R., (2014), *Historic buildings and energy efficiency*, *Hist. Environ. Policy Pract.* 5.

RAMOS J. S., et al., (2019), *Design of the refurbishment of historic buildings with a cost-optimal methodology: A case study*, *Applied Sciences* 9.

REGOLAMENTO DELEGATO (UE) n. 244/2012, della Commissione Europea del 16 gennaio 2012 che integra la direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio sulla prestazione energetica nell'edilizia istituendo un quadro metodologico comparativo per il calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e degli elementi edilizi.

RIGHI A., DALLA MORA T., PERON F., ROMAGNONI P., (2017), *Historical buildings retrofit: the city hall of the city of Motta Di Livenza (TV)*, *Energy Procedia* 133.

RODRIGUES C., FREIRE F., (2017), *Adaptive reuse of buildings: Eco-efficiency assessment of retrofit strategies for alternative uses of an historic building*, *Journal of Cleaner Production* 157.

RODRIGUES C., FREIRE F., (2017), *Building retrofit addressing occupancy: An Integrated cost and environmental Life-Cycle Analysis*, *Energy and Buildings* 140.

SANCHEZ, B., RAUSCH, C., HAAS, C., SAARI R., (2020), *A selective disassembly multi-objective optimization approach for adaptive reuse of building components*, *Ris. Conserv. Riciclare* 154.

SCHIZZEROTTO F., (2004), *I principali provvedimenti europei ed italiani in materia di Green Public Procurement*, *Riv. giur. Ambiente* 6.

SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENERGY EFFICIENCY AND COMFORT OF HISTORIC BUILDINGS, (2016), *Energy Efficiency and Comfort of Historic Buildings*, Brussels, 19-21 ottobre 2016.

SERRAINOA M., LUCCHI E., (2017), *Energy efficiency, heritage conservation, and landscape integration: The case study of the San Martino castle in Parella (Turin, Italy)*, *Energy Procedia* 133.

SGRECCIA E., (1994), *Manuale di Bioetica. Volume I. Fondamenti ed etica biomedica*, Vita e Pensiero, Milano.

TADEU S., RODRIGUES C., TADEU A., FREIRE F., SIMÕES N., (2014), *Energy retrofit of historic buildings: Environmental assessment of Cost-Optimal solutions*, *Journal of Building Engineering* 4.

TAGLIABUE L. C., LEONFORTE F., COMPOSTELLA J., (2012), *Renovation of an UNESCO heritage settlement in southern Italy: ASHP and BIPV for a 'Spread Hotel' project*, *Energy Procedia* 30.

TROY A., EURAC RESEARCH, ZENO BASTIAN PASSIVE HOUSE INSTITUTE, (2014), *Energy efficiency solutions for historic buildings. A handbook*, Birkhäuser Basel.

UNI EN 16096:2012, 4 ottobre 2012 – *Conservation of cultural property - Condition survey and report of built cultural heritage*.

UNI EN 16883:2017, 15 giugno 2017 – *Le linee guida degli interventi finalizzati a ridurre i consumi di energia degli edifici storici*.

UNI EN ISO 14040:2006 – *Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework*.

VAN ECK N. J., WALTMAN L., (2007a), *VOS: A new method for visualizing similarities between objects*, H. J. Lenz & R. Decker (Eds.), *Advances in data analysis: Proceedings of the 30th annual conference of the German Classification Society* (pp. 299-306), Heidelberg: Springer.

VAN ECK N. J., WALTMAN L., VAN DEN BERG J., KAYMAK U., (2006), *Visualizing the Computational Intelligence field*, *IEEE Computational Intelligence Magazine* 1.

WIRAHADIKUSUMAH R., ABDUL M., MESSAH, Y., AULIA M., (2021), *Introducing sustainability principles into the procurement of construction works - case of Indonesian developers*, *Int. J. constr. Manag.* 21.

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

ZITT M., BASSECOULARD E., OKUBO Y., (2000), *Shadows of the past in international cooperation: Collaboration profiles of the top five producers of science*, *Scientometrics* 47.

## **RINGRAZIAMENTI**

Desidero ringraziare la Prof.ssa Fregonara e la prof.ssa Alice Barreca, per la grande disponibilità e cortesia dimostratemi. Il vostro aiuto e sostegno è stato indispensabile e prezioso durante questo difficile periodo.

Desidero inoltre ringraziare la mia famiglia, per avermi insegnato la tenacia, la perseveranza e la determinazione, senza la quale niente di tutto questo sarebbe stato possibile.

Ai miei amici, vecchi e nuovi, che mi hanno sostenuto e sopportato, con i quali passare una notte in bianco è la cosa migliore del mondo.

Alla mia Beba, amica e sorella.

Tu sai che non sono brava con le parole e che non ce ne possono essere per dirti quanto ti voglio bene. Per cui ti dico solo: grazie per tutto.