valori
e valutazioni
teorie ed esperienze

Società Italiana di Estimo e Valutazione

Life cycle sustainability assessment of sustainable social housing refurbishment: A systematic review

Belal Neazi[1,2,*], Sara Torabi Moghadam[1], Gianluca Grazieschi[2], Patrizia Lombardi[1], Adriano Bisello[2]

[1] Interuniversity Department of Regional & Urban Studies and Planning - DIST, Politecnico di Torino, Viale Mattioli 39, 10125, Turin, Italy; belal.neazi@polito.it; sara.torabi@polito.it; patrizia.lombardi@polito.it
[2] Institute for Renewable Energy, Eurac Research, Via Alessandro Volta 13/A, 39100, Bolzano, Italy; gianluca.grazieschi@eurac.edu; adriano.bisello@eurac.edu
* corresponding author

Keywords

social housing; refurbishment; life cycle sustainability assessment (LCSA); life cycle assessment (LCA); life cycle costing (LCC); social life cycle assessment (S-LCA)

Abstract

The European Union has initiated building renovation strategies to address Europe's ageing building stock and reach climate neutrality. However, social housing refurbishment faces distinct challenges: balancing affordability with energy efficiency improvements, avoiding green gentrification, and inclusive stakeholder participation. Current research remains fragmented, focusing mostly on environmental-economic dimensions while omitting social aspects. This paper aims to systematically review life cycle sustainability assessment (LCSA) methodologies (i.e., Life Cycle Assessment (LCA), Life Cycle Costing (LCC) and Social Life Cycle Assessment (S-LCA)) applied in social housing refurbishments, and to identify research trends, gaps, and future directions. A three-phase systematic review methodology was employed, using (i) literature identification, (ii) quantitative bibliometric analysis, and (iii) qualitative content analysis. A review of 120 peer-reviewed documents (2015-2025) was conducted, classifying them by building interventions, sustainability dimensions, and application of sustainability assessment methodologies, LCA, LCC, and S-LCA. Results reveal global research imbalances. LCA dominates, followed by LCC, while S-LCA remains limited. S-LCA lacks methodological maturity, limiting its application and cross-study comparability. Achieving equitable and sustainable social housing requires developing standardised S-LCA protocols (analogous to LCA and LCC) for global accessibility, advancing social sustainability metrics, and establishing inclusive stakeholder engagements throughout the lifecycle for overall sustainability.

1. Introduction

Urban areas account for more than 60% of global greenhouse gas (GHG) emissions. In 2019, the construction industry accounted for approximately 21% of worldwide GHG emissions (IPCC, 2023b). Of these emissions, 57% were indirect CO_2, 24% were direct CO_2 emissions, and 18% were attributed to the manufacturing of building components (IPCC, 2023b). Between 1990 and 2019, global CO_2

emissions from buildings surged by 50% (IPCC, 2023a). In 2021, approximately 56% of the world's population resided in urban centres, which is projected to reach 68% by 2050 (United Nations Human Settlements Programme, 2022), and they consume between 60% and 80% of the global energy and generate a comparable share of CO_2 emissions (Kamal-Chaoui & Robert, 2009). These trends point to the role of buildings in climate mitigation and highlight the importance of improving the performance of existing buildings.

Beyond its climate footprint, the construction sector is a major source of employment as well as a major contributor to pollution (Ira, 2021), generating air, noise, and water pollution across the building life cycle that affects both the environment and human health (Hong et al., 2020; Wieser et al., 2021). Within this sector, housing occupies a distinctive position: sustainable housing is a crucial indicator of a country's developmental level, covering social, economic, and environmental dimensions, and plays a significant role in achieving the SDGs (in particular those on sustainable cities and communities, poverty and inequality reduction, health, energy, and climate action) (Shama & Motlak, 2019). It is deeply connected to different facets of sustainable development, delivering an enhanced quality of life, stable and healthy environments at affordable prices, while also balancing economic, social, and environmental dimensions of sustainability throughout the design and construction (Shama & Motlak, 2019). Within this broader context, social housing is especially relevant, as it directly addresses affordability and housing access for different groups of people, representing a step towards fostering social inclusion within the EU. Nonetheless, it can sometimes contribute to adverse phenomena, such as green gentrification (due to improved environmental performance and perceived neighbourhood attractiveness raising rents and property values), which is criticised for worsening the existing social inequalities rather than mitigating them (Krings & Schusler, 2020).

Despite the centrality of the social dimension to housing, environmental and economic aspects of sustainability have attracted considerably more attention in research, while the social dimension has been generally overlooked (Bottero & Datola, 2020), with social sustainability remaining specifically underexplored in housing-related sustainability assessments. However, this is changing, especially considering the United Nations' (UN) Sustainable Development Goals (SDGs), in particular SDG 11 on sustainable cities and communities, which focuses on the creation of inclusive and sustainable cities and communities (United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2025). Social sustainability is widely recognised as a complex and multifaceted concept, encompassing issues such as inequality, displacement, and housing quality (Bottero & Datola, 2020). These concerns are particularly essential when discussing the refurbishment of social housing, as here the interventions directly affect vulnerable residents. The improvements in energy or environmental performance in this type of housing must be balanced with affordability, inclusion, protection against displacement, and meaningful participation of affected residents in decision-making (Krings & Schusler, 2020).

In this policy context, the European Green Deal comprises legislative measures aimed at achieving EU climate neutrality by 2050. A key mechanism for this plan is ensuring that this transition is affordable and equitable. To reach this goal of carbon neutrality, the EU has initiated building renovation strategies to address Europe's ageing building stock because about 35% of existing buildings are more than 50 years old and almost 75% are energyinefficient, yet most of them are expected to remain in use until 2050 (Bertoldi et al., 2025). Despite the Energy Performance of Buildings Directive, the Energy Efficiency Directive and the Renovation Wave, the current renovation rates are quite low (around 1% per year) (Bertoldi et al., 2025), with only about 0.2% of the stock undergoing deep renovation to near zeroenergy building (nZEB) levels, which is quite below the mark of 5%, that is estimated to be needed so that Europe achieve its 2030 energyefficiency target and stay on track for climate neutrality (Bertoldi et al., 2025). Thus, there is a need to accelerate deep, high-performance renovation of the current building stock rather than relying only on new nZEB construction.

This is particularly important in social housing, where energy poverty, poor indoor comfort and ageing buildings overlap and where renovation can simultaneously reduce GHG emissions, lower energy bills, and improve health and living conditions (Bertoldi et al., 2025). Within this framework,

Positive Energy Districts (PEDs), which are energy-efficient urban districts with net-zero or net-positive energy balances, are emerging as a promising way to combine deep renovation, on-site renewable generation, and smart operation (Nikolic et al., 2025). However, there is still limited research explicitly linking PED concepts with social housing contexts. To broaden the analytical scope beyond the PED concept alone and given the limited data available for PED social housing refurbishments, this study adopts a wider sustainability perspective. It introduces the term *Sustainable Social Housing* (SSH) interventions, which encompasses all types of social housing interventions and improvement approaches aimed at improving environmental, economic, and social sustainability performance, beyond only PED or nZEB-focused interventions.

When combined with social housing, PED concepts, here referred to as SSH districts, may provide opportunities to improve affordability, energy efficiency, and living conditions simultaneously. Pursuing these opportunities makes SSH refurbishment a particularly important context to assess sustainability in an integrated manner across environmental, economic, and social dimensions. Given the strong connection between housing systems, urban sustainability transitions, and social equity, understanding how sustainability assessment methodologies are applied in social housing refurbishment is an essential part of supporting evidence-based decision-making in sustainable cities and their overall sustainability. Refurbishment decisions involve long-term material, energy, cost, and social implications over the building life cycle. Life cycle–based approaches such as Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA) provide a suitable framework to capture these multiple dimensions consistently and throughout the lifespan (Balasbaneh et al., 2020). A previous study by Amini Toosi et al. (2020) examined the application of LCSA in building energy retrofitting, where they analysed the integration of LCA, LCC, S-LCA and multi-dimensional life cycle studies and highlighted the methodological limitations in existing sustainability assessments. However, previous studies have not specifically examined sustainability assessment methodologies in the context of sustainable social housing (SSH) refurbishment. This represents an important gap, since this is a context in which social equity, affordability, and stakeholder participation are as central to a comprehensive assessment as environmental and economic aspects. This gap points to the necessity for a review that consolidates this fragmented body of literature, which focuses on methodologies applied to SSH refurbishment, and clarifies how and how well these methodologies jointly capture environmental, economic, and social dimensions.

Accordingly, this study presents a systematic literature review to examine the methodologies, including life cycle sustainability assessment methodologies (i.e., LCA, LCC, and S-LCA) currently applied to SSH refurbishment, and to identify research trends, gaps and future directions in this field by investigating the following research questions:

- What are the current state of the art and research trends in sustainability assessment of SSH refurbishment?
- What are the types of building interventions and methodological approaches to sustainability assessments in the available literature?
- What are the critical gaps and future directions in SSH refurbishment?

To address these questions, a three-phase systematic review was conducted. The first phase was literature identification to select the most relevant documents; the second phase employed quantitative bibliometric analysis to assess research trends, while the third phase involved a qualitative content analysis of the literature, with a focus on the type of building interventions and methodological approaches to sustainability assessments to identify the gaps and future directions.

This paper is organised as follows: Section 1 introduces the research and presents the research questions; Section 2 details the methodology; Section 3 presents the results, and Section 4 discusses them (critical gaps and future directions); Section 5 outlines the conclusion of the study.

2. Methodology

The methodological approach used is a three-phase systematic review (Fig. 1), which is adapted

from the approach proposed by Torabi Moghadam et al. (2017), Wang et al. (2023), and Escorcia Hernández et al. (2023), and consists of the following three phases:

Phase 1: Literature identification;

Phase 2: Quantitative bibliometric analysis;

Phase 3: Qualitative content analysis.

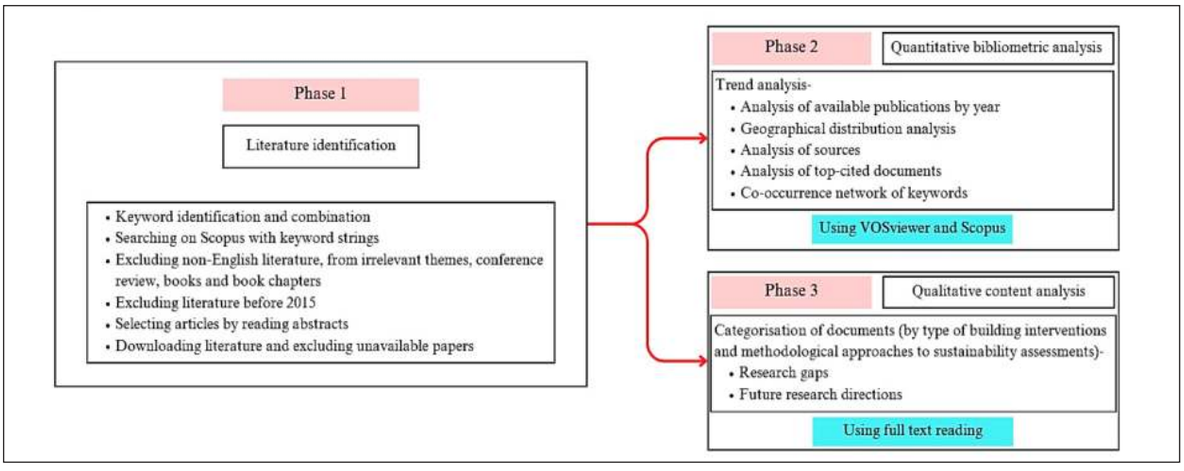


Figure 1. The different phases of the proposed review.

2.1. Phase 1 - Literature identification

In the first phase, a systematic search was conducted using carefully selected keywords in Scopus. Previous comparative research has demonstrated a substantial overlap between journals indexed in Web of Science and Scopus (Singh et al., 2021), thereby supporting broad coverage while recognising that database-specific omissions may remain.

The search query was defined for title, abstract, and keywords in Scopus. The keyword selection involved an iterative use of words to determine the most effective combinations, thereby maximising the reliability and extent of the results (Abdelmageed & Zayed, 2020). The keywords were grouped into four clusters to ensure balanced and focused coverage. The first cluster of keyword strings was on conceptual frames related to sustainable building practices, encompassing terms 'positive energy district', 'sustainable', 'green', 'energy efficient', and 'near-zero energy building'. The second cluster targeted the housing context, like 'social housing', 'public housing', 'affordable housing', and 'public sector housing'. The third cluster included impact and assessment methods such as 'environmental impacts', 'economic impacts', and 'social impacts'. A fourth cluster with keywords related to Social Life Cycle Assessment (S-LCA), along with Life Cycle Costing (LCC) and Life Cycle Assessment (LCA), was combined with terms describing interventions such as refurbishment, renovation, restoration, and redevelopment. In the Scopus query, keywords within each cluster were linked with OR (e.g. 'social housing' OR 'public housing' OR 'affordable housing'), while the four clusters were combined with AND, and alternative spellings were included to broaden the search results.

The initial search yielded 1649 documents (Fig. 2). In the first exclusion, non-English publications, conference reviews, books, book chapters, errata, editorials, notes, and short surveys were removed due to their limited relevance to the review objectives, accessibility constraints, and the time-intensive nature of conducting a rigorous assessment of these document types. Furthermore, literature relating to Physics and Astronomy, Agricultural and biological sciences, Medicine, Pharmacology, Toxicology and Pharmaceutics, Neuroscience, Immunology and Microbiology, Dentistry, Veterinary, and Biochemistry, Genetics and Molecular Biology was excluded, which resulted in 1269 documents. The study focused on research published between January 2015

and 31 December 2025. This period was chosen so that the focus is on the most recent research, which would help in consistency, comparability, and relevancy; this would also help in managing the data in the limited time available. After applying the temporal filter, 1069 documents remained. In the final step, abstracts were read, and those deemed pertinent for in-depth analysis were retained. Documents were only included if they focused on social or affordable housing with a focus on sustainable refurbishment and addressed at least one of the sustainability dimensions. This process resulted in 121 documents. One publication was ultimately removed as it was not downloadable, leaving a final dataset of 120 documents. These documents were used in further analyses. To limit selection bias, a reason for each record's exclusion was documented at every screening step. Excluded records were re-examined in multiple rounds on different days to enhance consistency and accuracy.

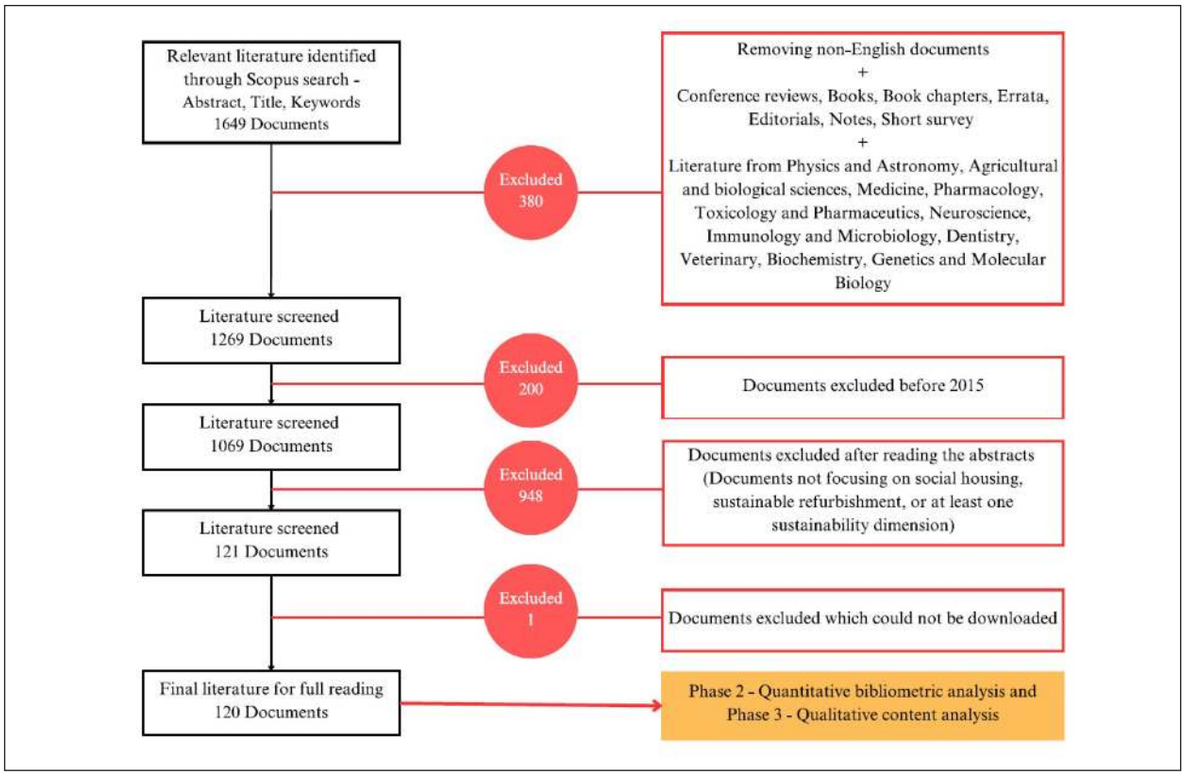


Figure 2. Literature identification (Phase 1) for use in further phases.

2.2. Phase 2 – Quantitative bibliometric analysis

This phase involved a bibliometric analysis (of the 120 documents), which helped in exploring the research field's structure by analysing different relationships among authors, countries, and keywords. This approach is instrumental in comprehending research topics, finding trends, and understanding the composition and evolution of the research landscape (Passas, 2024). Compared to traditional narrative literature reviews, which may sometimes be subject to bias and limited scope (Farrukh et al., 2020; Tseng & Tsay, 2013), bibliometric analysis provides a more objective and comprehensive overview of the research landscape (Baharudin et al., 2021; Robinson-Garcia et al., 2019). From this phase, the first research question focused on identifying the current state-of-the-art and trends is addressed.

A study by Colina Vargas et al. (2022) identified VOSviewer, CiteSpace, and Bibliometrix as the most prominent and effective tools for the evaluation of scientific publications. For this research, VOSviewer (version 1.6.20) was selected due to its competence for detailed bibliometric mapping. It

is a free, Java-based tool that was developed at Leiden University, Netherlands (Centre for Science and Technology Studies, 2024).

In this second phase, VOSviewer was used to create co-occurrence keyword networks. This helped in understanding the fundamental components highlighted in earlier studies (Abdelmageed & Zayed, 2020; Hunter et al., 2019; Jiang & Kang, 2019). VOSviewer has been used in many studies (Abdelmageed & Zayed, 2020; Dissanayake & Weerasinghe, 2021; van Eck & Waltman, 2007, 2010) to quantify bibliometric parameters and find trends. Thus, these visualisations are vital for identifying current state-of-the-art and even future research directions in the field (Sabando-Vera et al., 2025). A crucial step in this process was to create thesaurus files to address the problem where VOSviewer counts similar terms distinctly (like 'building' and 'buildings' or 'lca' and 'life cycle assessment'). These files helped consolidate similar terms, thus improving the accuracy and clarity.

The spatial distribution of the research was mapped to identify geographic concentrations of research. Additionally, the annual distribution of documents over the years, important sources, geographical distribution, and highest-cited documents were obtained using Scopus (analyze results function).

2.3. Phase 3 – Qualitative content analysis

The third phase of this study comprised a qualitative examination of the literature. This involved content analysis of the 120 documents identified after the first phase. Each document was read in its entirety, allowing for comprehensive categorisation and content analysis. This phase is adapted from the research by Leichter & Piccardo (2024). For this phase, a protocol was developed, which was subdivided into two parts for better understanding.

The first part involved 'type of building interventions', so each document was classified into:

- Building function and typology: Building function includes residential, institutional, various (mixed-use), while building typology includes single-family, multi-family, cultural heritage, educational, various, or absent.
- Project type and level of renovation: This includes project type: renovation, reconstruction, new construction, or absent, and then level of renovation: major, medium, minor, absent, or all three types (based on the Vancouver by-laws, adapted from Leichter & Piccardo (2024)).
- Study scale: region, city, neighbourhood, building, various or absent.

The second part focused on the methodological approaches to sustainability assessments, so each document was classified into:

- Integration of sustainability dimensions: The three pillars of sustainability, environmental, economic, and social, based on Leichter & Piccardo (2024).
- Research methodologies: Case study, review, modelling and simulation (including LCA, LCC, S-LCA, and others), theoretical and conceptual, surveys, and experimental (Engelken et al., 2016; Kwok et al., 2024; Salim et al., 2019; Yuan & Shen, 2011) (Tab. 1).

Table 1. Definition of methodological approaches used to classify the methodologies in the analysed literature

Method	Definition
Case study	This type of study uses qualitative data directly from the site (e.g., interviews, site-specific data) to examine a problem or case. The data is primary data (Salim et al., 2019; Yuan & Shen, 2011).
Review	This study reviews and assesses the available research (Engelken et al., 2016; Kwok et al., 2024; Salim et al., 2019; Yuan & Shen, 2011).
Modelling andsimulation	This study employs a mathematical model for decision-making processes. The methods used in this research are life cycle assessments, mathematical modelling, multi-criteria decision-making and other techniques combined with others (Salim et al., 2019; Yuan & Shen, 2011).

Follow Table 1. Definition of methodological approaches used to classify the methodologies in the analysed literature

Method	Definition
Theoretical andconceptual	This study discusses theories or conceptual contexts (Engelken et al., 2016; Kwok et al., 2024; Salim et al., 2019).
Survey	A study facilitated by data collected through face-to-face interviews as well as other techniques like questionnaires, focus groups and workshops with field experts (Kwok et al., 2024; Salim et al., 2019; Yuan & Shen, 2011).
Experimental	A study that employs a scientific and work-in-progress methodology where one or more variables can be altered to achieve an anticipated result (Kwok et al., 2024; Salim et al., 2019).

Furthermore, the LCSA methodologies (LCA, LCC and S-LCA) in modelling and simulation methods were described in detail in the final part. LCA, LCC and S-LCA studies were explained based on (i) lifespan, (ii) system boundaries, (iii) functional units (FU), (iv) databases (data collection for S-LCA, as different ways were used), and (v) life cycle impact assessment (LCIA) methods (costing methods for LCC). Finally, cases highlighting conflicts and trade-offs within integrated sustainability assessments were also examined.

This comprehensive qualitative analysis ensured a robust understanding of established research themes, methodological practices, and existing knowledge gaps, thereby informing the subsequent discussions for future directions.

3. Results and Discussion

This section organises the reviewed literature of 120 identified documents (see Section 2.1) into two parts. Section 3.1 focuses on the main trends using quantitative bibliometric analysis through Scopus and VOSviewer. While Section 3.2 focuses on the qualitative content analysis.

3.1. Quantitative bibliometric analysis

This phase involved a bibliometric analysis conducted on the final dataset of 120 selected documents found in the first phase (Section 2.1), ensuring a focused analysis of the research field. VOSviewer (version 1.6.20) was used for visualisation, while some analysis was also done directly on Scopus. The approach integrated an evaluation of publication trends over the selected period (2015 – 2024). The analysis also included visualising geographic contributions by countries to highlight global research participation, identifying the primary sources of relevant literature, and listing the highly cited documents. Another central aspect was the keyword co-occurrence network, which helped in a cluster-based analysis of key themes and the inter-relationships among topics. This method provided valuable insights into the state-of-the-art and research trends within the field of SSH refurbishments.

3.1.1. Analysis of available publications by year

The analysis examined the temporal distribution of publications (Fig. 3), revealing relatively low research publications between 2015 and 2018; this was also the motive to consider 2015 as the cut-off year. The peak occurred in 2019, with 19 documents published, closely followed by 18 in 2025. In 2023, there were 16 publications, while in 2024, 15 documents were published, indicating a continued increase in research interest in the field. Among the 120 documents analysed, 82 were journal articles, 35 were conference papers, and 3 were review papers, demonstrating very few reviews (Fig. 4).

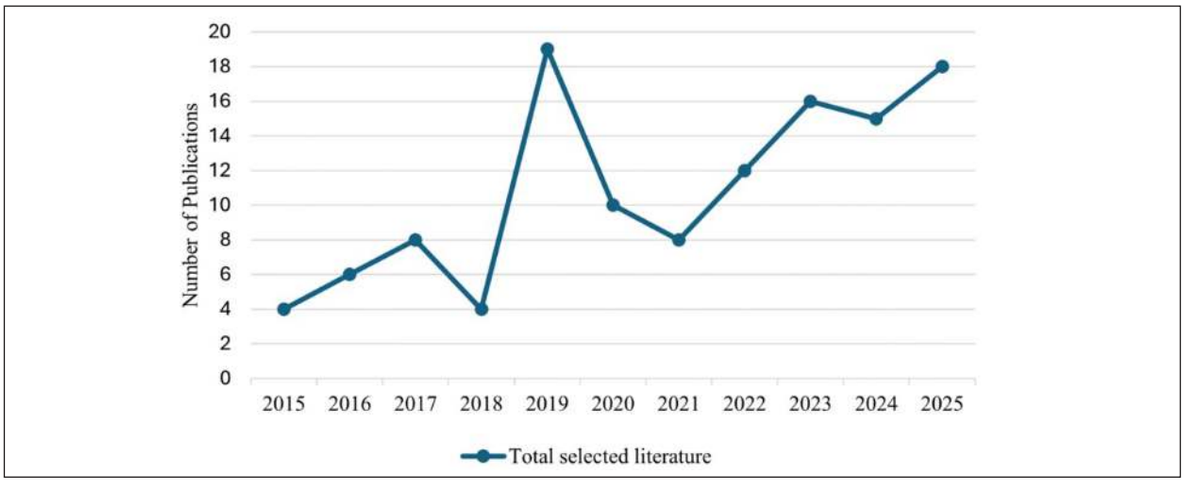


Figure 3. Annual distribution of selected literature.

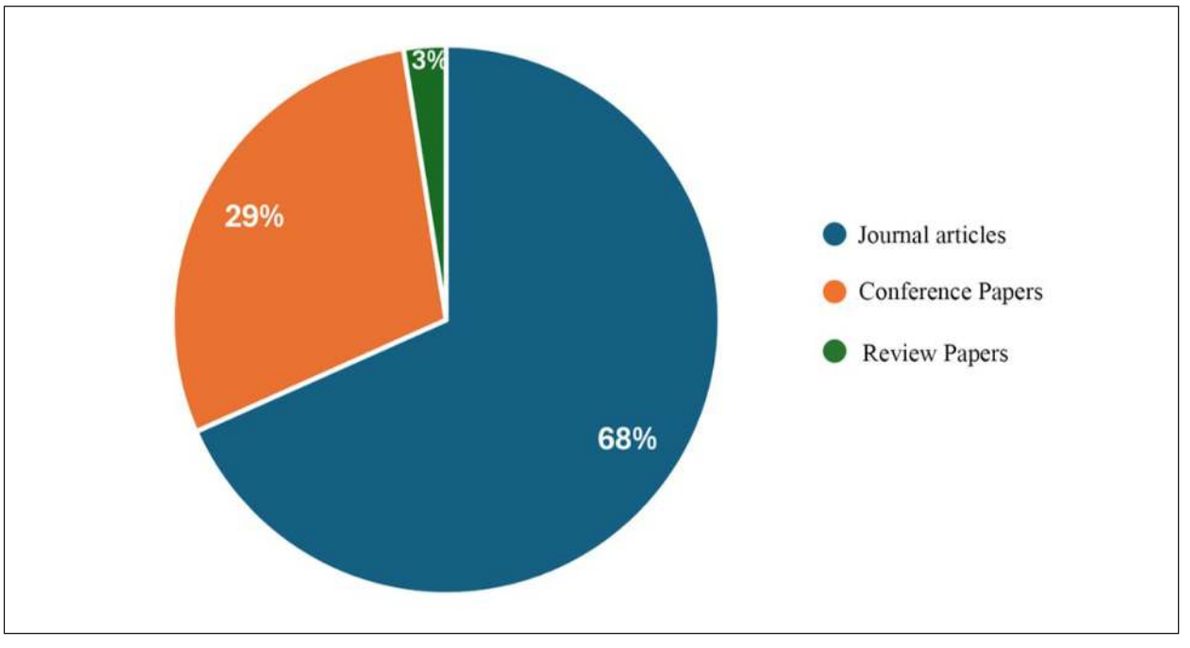


Figure 4. Distribution of publications by type.

3.1.2. Geographical distribution analysis

The geographical distribution of the literature can be observed in Figure 5, showing a high intensity of documents in Europe (a plausible reason could be the EU's focus on carbon neutrality of the continent), which accounts for the most publications analysed. Italy leads the group of countries with the maximum number of publications, with 21, followed by Spain and the United Kingdom with 14 and 13 publications respectively, and then Brazil, contributing 8 publications. India and China, along with the European nations of Belgium, Denmark, and Switzerland, follow with 6 publications. Other contributors include the United States with 5 publications, Germany (4), Australia (4), Colombia (4) and Sweden (4), while Mexico, the Netherlands and Norway each contributed 3 publications. The analysis demonstrates a significant geographical imbalance, with minimal representation from African nations (with only Egypt, Cameroon and South Africa having one publication each), limited publications from Australia (4) and New Zealand (2), and scarce

coverage from the Latin American nations as well, with Colombia (4), Mexico (3), Chile (2), Argentina (2), and Ecuador (2). This pattern suggests that research in this field remains predominantly concentrated within developed economies in Europe, while other regions are notably under-represented in the research publication, highlighting the potential gaps in global research coverage (with the exception of Brazil, India, and China, which appear as emerging research hotspots). It is worth noting that although this review considered only English-language publications, substantial research activity also emerges from non-English-speaking countries such as Italy, Mexico and Brazil, along with several other nations.

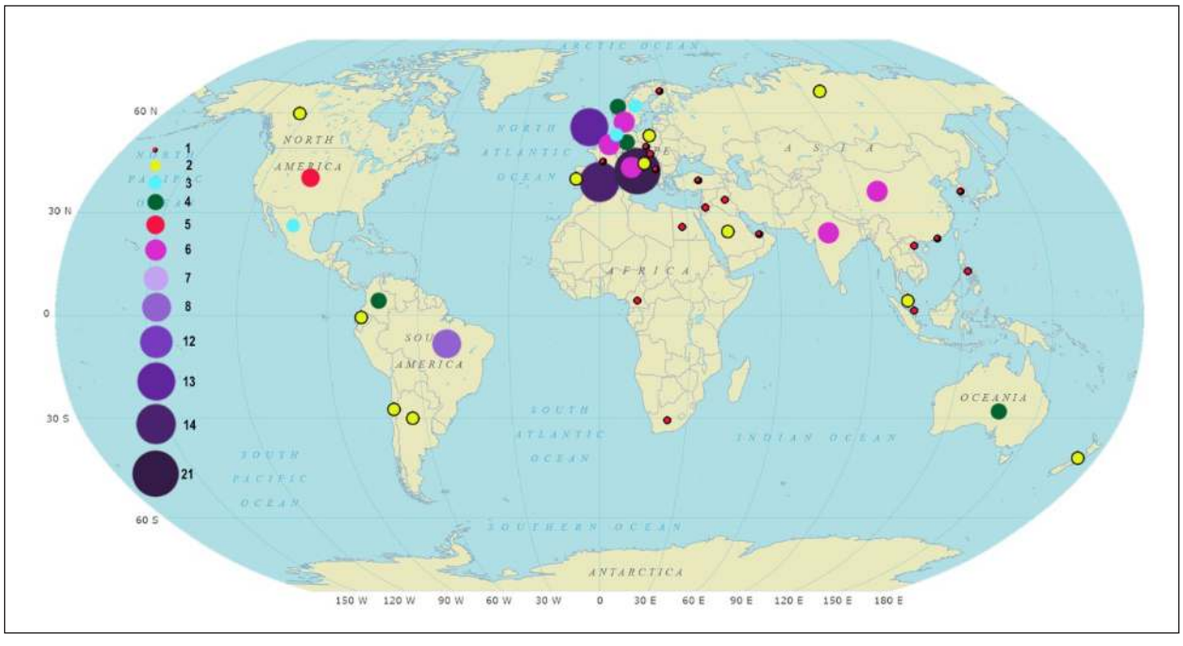


Figure 5. Geographical distribution of the retrieved literature.

3.1.3. Analysis of sources

The third analysis of the bibliometric study was the primary sources of publications. Figure 6 presents the top twelve sources with the highest number of publications, generated using the 'citation analysis' function for 'sources' within the Scopus analysis tool, with a minimum threshold of 2 documents per journal. Two sources emerged as the highest contributors, with 'Sustainability (MDPI)' and 'IOP Conference Series: Earth and Environmental Science' contributing 14 and 10, respectively, out of the 120 publications analysed. The third most productive journal was 'Building and Environment' with 6 publications, and fourth being 'Buildings (MDPI)' and 'Buildings and Energy' with 5 each. The CiteScore rankings demonstrated that 'Sustainability (MDPI)' achieved the highest CiteScore among the top two contributors, with a score of 7.7. However, within the top 12 journals overall, 'Sustainable Cities and Society' had the highest CiteScore (22.4), though it had only three documents. CiteScore is an important indicator to find the relevance of the source and its influence within the academic community (Escorcia Hernández et al., 2023). This analysis highlights the concentration of research output within a few sources of publication (Escorcia Hernández et al., 2023). Thus, provides help in understanding the relative impact and quality of sources contributing to the field of SSH refurbishment research.

3.1.4. Analysis of top-cited documents

The fourth analysis of the bibliometric study involved an examination of the highest-cited documents, focusing on the top 12 publications with the highest number of citations to understand

their research focus and contributions (Tab. 2). The total number of citations acts as an indicator of each document's impact within the academic community (Escorcia Hernández et al., 2023). The most highly cited publication was by Pan & Chu (2016), having 88 citations. It addressed the energy-saving potential and environmental impacts of vertical green systems (VGS) in Hong Kong by comparing electricity consumption for cooling in flats, with and without VGS and conducted an LCA to analyse the environmental burdens associated with this VGS system. At the other end of the top 12, research by Tajani & Morano (2015) had 33 citations; they developed an evaluation model which could help support decision-making by public bodies in urban regeneration projects involving social housing and private investors.

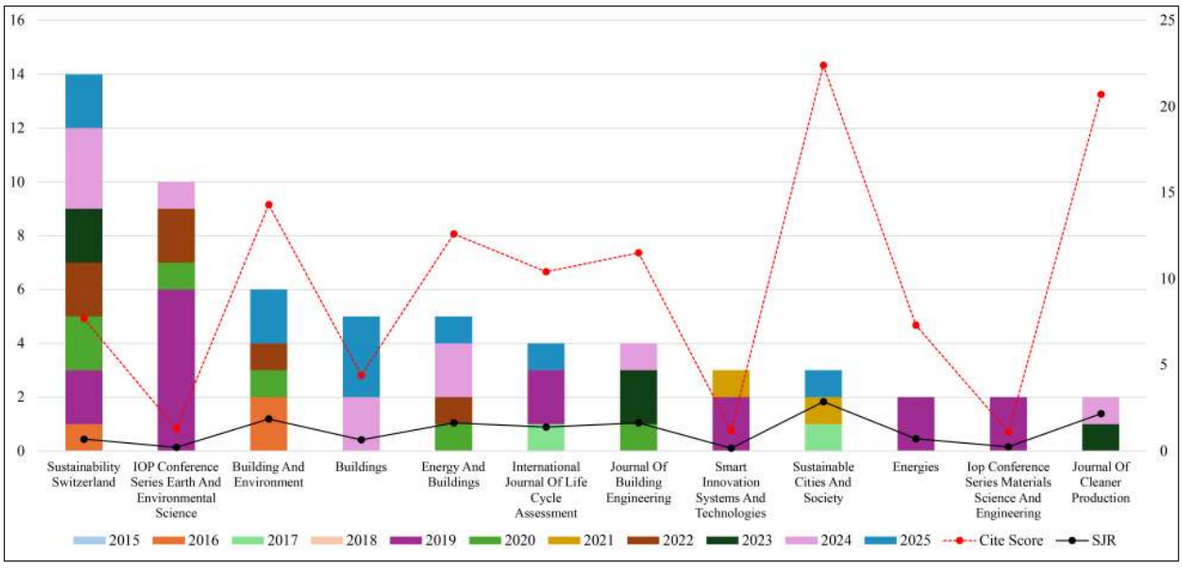


Figure 6. Top (twelve) sources of literature.

Table 2. List of the top twelve highest cited documents

No.	Reference	Year	Document Title	Citations	Source
1	Pan & Chu (2016)	2016	Energy saving potential and life cycle environmental impacts of a vertical greenery system in Hong Kong: A case study	88	Building and Environment
2	Zea Escamilla et al. (2016)	2016	When CO_2 counts: Sustainability assessment of industrialized bamboo as an alternative for social housing programs in the Philippines	59	Building and Environment
3	Satola et al. (2020)	2020	Comparative life cycle assessment of various energy efficiency designs of a container-based housing unit in China: A case study	57	Building and Environment
4	Settembre Blundo et al. (2018)	2018	Improving sustainable cultural heritage restoration work through life cycle assessment-based model	52	Journal of Cultural Heritage
5	Amini Toosi et al. (2022)	2022	A novel LCSA-Machine learning based optimization model for sustainable building design-A case study of energy storage systems	48	Building and Environment
6	Balasbaneh et al. (2020)	2020	Life cycle sustainability assessment of window renovations in schools against noise pollution in tropical climates	47	Journal of Building Engineering

Follow Table 2. List of the top twelve highest cited documents

No.	Reference	Year	Document Title	Citations	Source
7	Bottero & Datola (2020)	2020	Addressing social sustainability in urban regeneration processes. An application of the social multi-criteria evaluation	43	Sustainability (Switzerland)
8	Monteiro et al. (2017)	2017	Addressing the challenges of public housingretrofits	40	Energy Procedia
9	Yushchenko & Patel (2016)	2016	Contributing to a green energy economy? A macroeconomic analysis of an energy efficiency program operated by a Swiss utility	37	Applied Energy
10	Cherian et al. (2020)	2020	Comparative study of embodied energy of affordable houses made using GFRG and conventional building technologies in India	36	Energy and Buildings
11	Serrano-Jimenez et al. (2017)	2017	Towards a feasible strategy in Mediterranean building renovation through a multidisciplinary approach	35	Sustainable Cities and Society
12	Tajani & Morano (2015)	2015	An evaluation model of the financial feasibility of social housing in urban redevelopment	33	Property Management

Of the total literature screened, 10 documents received no citations. This citation analysis helps in understanding the research themes that have received the most attention within our field, and the most important researchers working in this field.

3.1.5. Co-occurrence network of keywords

Figure 7 presents the co-occurrence network generated by the 29 most relevant keywords found in the analysed literature. In the visualisation (Fig. 7), node size reflects the frequency of each keyword, and the thickness of the links between nodes shows the strength of the relationship between two concepts (Escorcia Hernández et al., 2023; Lu et al., 2023). The centrality of a keyword highlights its importance within the research field. These nodes are typically the most influential and widely discussed concepts, which offer valuable insights into topics and current trends (Lu et al., 2023). Assessing the degree of centrality helps in the identification of key themes and current topics in which the scholars are interested. In Figure 7, the keywords are grouped into three thematic clusters (red, green and blue), each organised around one or more interconnected concepts. The central themes are sustainable development, housing, and environmental impact. The clusters are:

- Cluster 1 (Red, 11 words) is anchored by high-centrality terms such as ‘housing’ (52 occurrences), ‘energy utilization’ (17) and ‘energy efficiency’ (15). Other words are ‘carbon dioxide,’ ‘costs’, ‘economic analysis’, ‘energy conservation’, ‘global warming’, ‘investments’, ‘architectural design’, and ‘sensitivity analysis’. This cluster captures the economic and environmental dimensions of sustainable social housing, focused on resource use, emissions reduction, and investment strategies. Notably, both ‘housing’ and ‘energy utilization’ not only occur frequently but also form the backbone of many conceptual relationships in the literature (Balocco et al., 2022; Fanghella & Della Valle, 2021; Larrea-Sáez et al., 2024; Noka et al., 2022).
- Cluster 2 (Green, 11 words) is anchored around ‘sustainable development,’ (47 occurrences), which acts as a bridge across other thematic domains, including ‘affordable housing’, ‘social housing’, ‘economic and social effects’, ‘quality of life’, ‘urban planning’, ‘social impact’, ‘social inclusion’, ‘building’, ‘sustainability’, and ‘climate change’. This cluster is shaped by themes of social sustainability and urban planning.
- Cluster 3 (Blue, 7 words) is focused around ‘environmental impact’ (34 occurrences) followed

by 'life cycle assessment' (18 occurrences). This cluster is focused on assessment methodologies and environmental evaluation with words 'life cycle', 'construction', 'construction industry', 'decision making', and 'environmental impact assessment'. This underscores the literature's commitment to life cycle-based evaluation of environmental effects and construction practices.

These clusters demonstrate how the literature combines important themes: energy and economic optimisation for sustainable housing (Cluster 1), social equity, and quality of life in urban sustainability (Cluster 2), and evaluative methods for environmentally responsible decision-making in construction (Cluster 3).

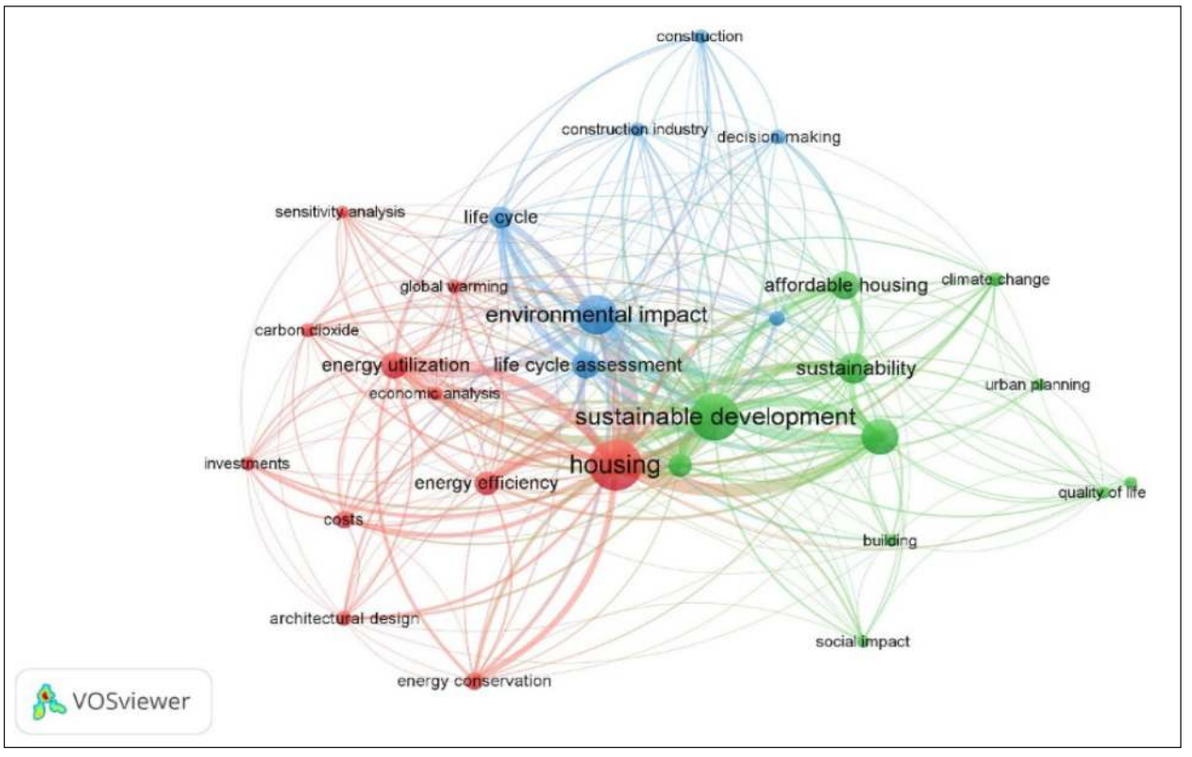


Figure 7. Keyword co-occurrence network map in the analysed documents.

3.2. Qualitative content analysis

A comprehensive qualitative analysis of the literature was conducted by systematically reviewing the 120 documents identified in Phase 1 (Section 2.1). The content analysis involves a systematic coding and categorisation of textual information to identify patterns and frequencies within the literature, thereby providing information about research gaps (Vaismoradi et al., 2013). Content analysis allows the data to be reduced into meaningful categories while also enabling cautious quantification of codes and categories (e.g. by counting their frequency) as a proxy for significance (Vaismoradi et al., 2013). This approach supports a transparent, descriptive examination of how concepts are represented and emphasised across studies.

In this review, the content analysis followed the protocol described in the methodology of Phase 3 (Section 2.3) and was organised into two main parts: (i) type of building interventions, where the studies were categorised for building function and typology, project type and renovation level, and scale of study; and (ii) methodological approaches to sustainability assessments, where studies were categorised according to the sustainability dimensions (environmental, economic, social) and the research LCSA methodologies (e.g. LCA, LCC, S-LCA). This structured coding enabled the identification of dominant patterns, under-represented combinations, and research gaps in the assessment of

SSH refurbishments. Furthermore, an analysis of LCSA methodologies is conducted to understand the research gaps in the LCSA methodologies.

3.2.1. Type of building interventions

The Sankey diagram in Figure 8 provides an overview of the type of building interventions addressed in the reviewed literature and illustrates the relationships between key intervention characteristics graphically. The diagram visualises how studies are distributed across building function and typology, project type and level of renovation, and scale of study, highlighting the interconnections between these dimensions rather than treating them as isolated categories. Each of these dimensions is examined in detail in the following subsections (Section 3.2.1.1 to 3.2.1.3), allowing for a more nuanced discussion of how different types of building interventions are represented and assessed within the literature.

3.2.1.1. Building function and typology

The first part is building function and typology (depicted in Fig. 8), which characterises the primary functions of buildings (e.g., residential, institutional, various) and their typology (single-family, multi-family, educational, cultural heritage, or various). This section identifies key trends identified in the reviewed literature and helps highlight areas which remain underexplored, thus informing the gaps. The 'various' category is used to inform about mixed building function and typology.

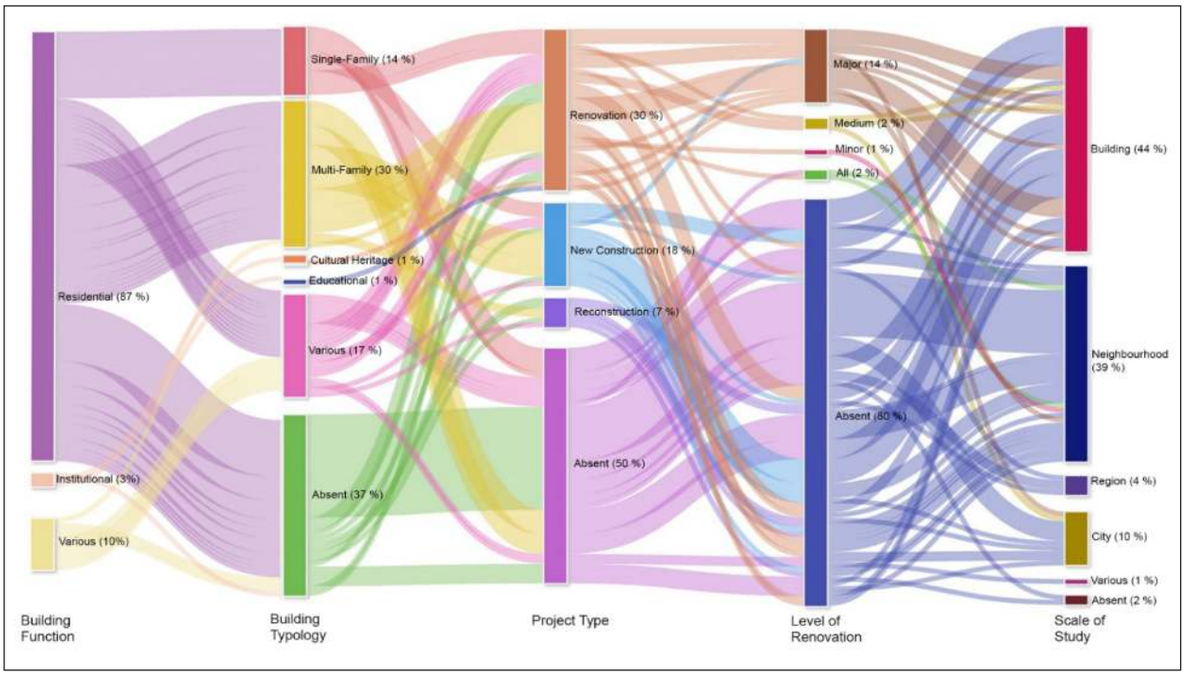


Figure 8. Sankey diagram showing the type of building interventions

As shown in the diagram (Fig. 8), residential buildings dominate the literature (87%), with multi-family (30%) and single-family (14%) typologies being the most frequently studied. This prevalence reflects two aspects, firstly the keywords used in the Scopus search, which included social housing, may have influenced these categories, and secondly, sustained prioritisation of residential retrofitting within sustainability research, as noted in previous reviews as well (Leichter & Piccardo, 2024).

Although the review primarily focuses on SSH refurbishment, a limited number of institutional

studies were observed due to their incorporation of social housing, their methodological relevance and the applicability of their LCSA-based assessment results to SSH contexts. Only a small fraction of studies addressed institutional buildings (3%).

The search not only included social housing but also included mixed-use buildings with some parts or a few blocks of residential, while a few of them were commercial or other types, which fall under the 'various' category. The 'various' category accounts for 10% of building functions and 17% of typologies, representing attempts to capture heterogeneity; however, such inclusive approaches remain limited. An interesting aspect is observed in a study (Magdy & Elhamy, 2023) where the building functions are in the 'various' category, while the typology is multi-family, as 3 out of 17 blocks (17.6%) incorporate non-residential functions on the ground floor level. These include educational facilities (nursery), social services (orphanage and special needs association), administrative functions (real estate and project management offices), and essential services (post office and maintenance office).

A substantial share (37%) of the literature fell into the 'absent' category of the building typology, which indicates either review articles with a broad focus or an impossibility to find a typology. This might be a result of incomplete reporting, due to a non-need requirement, or deliberate methodological choices to exclude detailed typological classification, thus creating challenges for replicability and cross-study comparability.

3.2.1.2. Project type and level of renovation

In this subsection, as shown in the graph (Fig. 8), the first part discusses the project type, which informs us whether the study focuses on renovation, reconstruction, new construction, or is absent (not defined), while the second part assesses the level of renovation (minor, medium, major, all, or absent). It should be noted that some studies address more than one of these aspects. Furthermore, all studies focus on some kind of renovation strategy, but if they had no proper definition of renovation or other terms, they were kept in the 'absent' category. Analysis of the reviewed literature reveals significant inconsistencies, as illustrated in the Sankey chart in Figure 8. Although renovation projects constitute 30% of the sample studied (the most prevalent type), only a small proportion explicitly specified the level of renovation: 14% of cases are classified as 'major', 2% as 'medium', 1% as 'minor', while 2% encompass 'all' renovation levels. The study by Serrano-Jimenez et al. (2017) was classified under the 'all' category, as it addresses three distinct scopes in its analysis. Studies with 'major' renovations have more energy efficiency, implying more energy savings (Monteiro et al., 2017; Moore et al., 2019; Van De Moortel et al., 2019b). Notably, 80% of the studies either do not report the renovation level or provide insufficient information to assess it. This observation aligns with previous research, including Feng et al. (2020) and Leichter & Piccardo (2024), who highlighted the lack of clear definitions for the renovation level in the literature. In this study, the Vancouver Building Bylaws were employed as a reference framework to classify renovation levels based on Leichter & Piccardo (2024). The limited reporting on renovation intensity constrains the ability to robustly assess renovation impacts across different scales, leaving a critical gap in the literature. Addressing this gap is essential for advancing the comparability of renovation studies and enhancing the reproducibility of the sustainability assessments.

3.2.1.3. Scale of study

The reviewed literature was classified according to four spatial scales: region, city, neighbourhood, building, various (in more than one category) or absent (not defined) (Leichter & Piccardo, 2024). Some studies involved more than one scale. Figure 8 shows the scale of the studies with patterns. This analysis of studies is influenced by the scale and degree of detail adopted; for example, the studies at the building scale often concentrate on construction materials (Salzer et al., 2017), while research at broader scales emphasises the benefits of renovation and reconstruction (Anastasiya et al., 2023; Shama & Motlak, 2019).

Most of the studies focused on the building (44%) and neighbourhood (39%) levels. Only a small number went beyond to examine the city-scale. Notably, one study (Noka et al., 2022) integrated

the city and building-level perspectives together. Some research focused on the neighbourhood and city scale (Afshan & Sinha, 2023; Ferlito et al., 2022; Christoffersen et al., 2023; Ruiz & Guevara, 2021), where Ruiz & Guevara (2021) investigated the Colombian housing sector, with their focus eventually at the city scale, despite sometimes referring to the neighbourhoods. A study by Roversi et al. (2017) adopted a multi-scalar approach, moving from individual building interventions to considerations of the broader urban environment (neighbourhood), thus addressing both the concept of buildings and the wider built-up context. A minority of studies could not be put within the established scales. The review by Batra (2023) examined non-European countries and prioritised sectoral and policy dynamics over a specific geographical scale and analysed how public–private partnerships are adapted across different national contexts. Similarly, Jones & Valero-Silva (2021) worked on a methodological study that is not fixed to any region (or site), instead offering a framework which has a broad methodological applicability. While the study by Larsen et al. (2023) had many scales and shifted from one to another.

3.2.2. Methodological approaches to sustainability assessments

This section analyses the methodologies used in the reviewed literature. By following the triple bottom line approach (environmental, economic, and social) and considering the LCSA framework, a comprehensive understanding of methodologies and dimensions is presented in further sub-sections.

3.2.2.1. Integration of sustainability dimensions

Firstly, the sustainability dimensions of all 120 studies were examined. Figure 9 shows that nearly a third of studies (34.18%) focus on all three pillars of sustainability. The second most common category comprises the environmental-only studies, which account for 20.00%. In dual-focus studies, combining environmental and economic perspectives (15.00%) are most common in the reviewed literature, followed by combinations of environmental-social (10.83%) and economic-social (5.83%). Studies focusing only on economic aspects are 5.83 %, while social aspects are 8.33% of studies. When considered individually, the economic and social dimensions are much less represented as stand-alone primary research foci than the environmental dimension. Beyond their stand-alone occurrence, economic and social pillars are more often assessed together with one other dimension, for example in environmental–economic or environmental–social combinations, rather than being systematically considered alongside both other pillars in a fully integrated three-pillar assessment. This indicates that while economic and social aspects are present in the literature, largely through stand-alone or pairwise applications, relatively few studies (34.18%) adopt a comprehensive three-pillar perspective that brings environmental, economic, and social dimensions together simultaneously.

Most studies offering integrated sustainability assessments merely present a parallel interpretation of the outcomes from various sustainability evaluations, which are quantified through indicators. A small percentage of works (Luque Castillo & Yepes, 2025b, 2025a; Marrero et al., 2024; Rocha-Tamayo et al., 2025) utilised a multi-criteria decision analysis (MCDA) or a similar weighting methodology to integrate two or three sustainability domains into a unified score. The weight given to each sustainability domain in the MCDA was variable among the studies. For instance, Marrero et al. (2024) adopted an environmentally driven framework, allocating 50% of the weight to environmental factors, 30% to social aspects, and 20% to the economy; Rocha-Tamayo et al. (2025) heavily prioritised the economic domain at 52%, while assigning 25% to environmental and 23% to social spheres; Luque Castillo & Yepes (2025a) emphasised economic aspects. Multi-objective optimisation applications were limited (Josa & Borrion, 2025; Larrea-Sáez et al., 2024; Thibault et al., 2025). Finally, other works (Kameni Nematchoua & Andre Marie, 2025; Van De Moortel et al., 2019a) combined environmental and economic assessments, monetising the environmental impacts through the application of specific shadow prices to each environmental impact category.

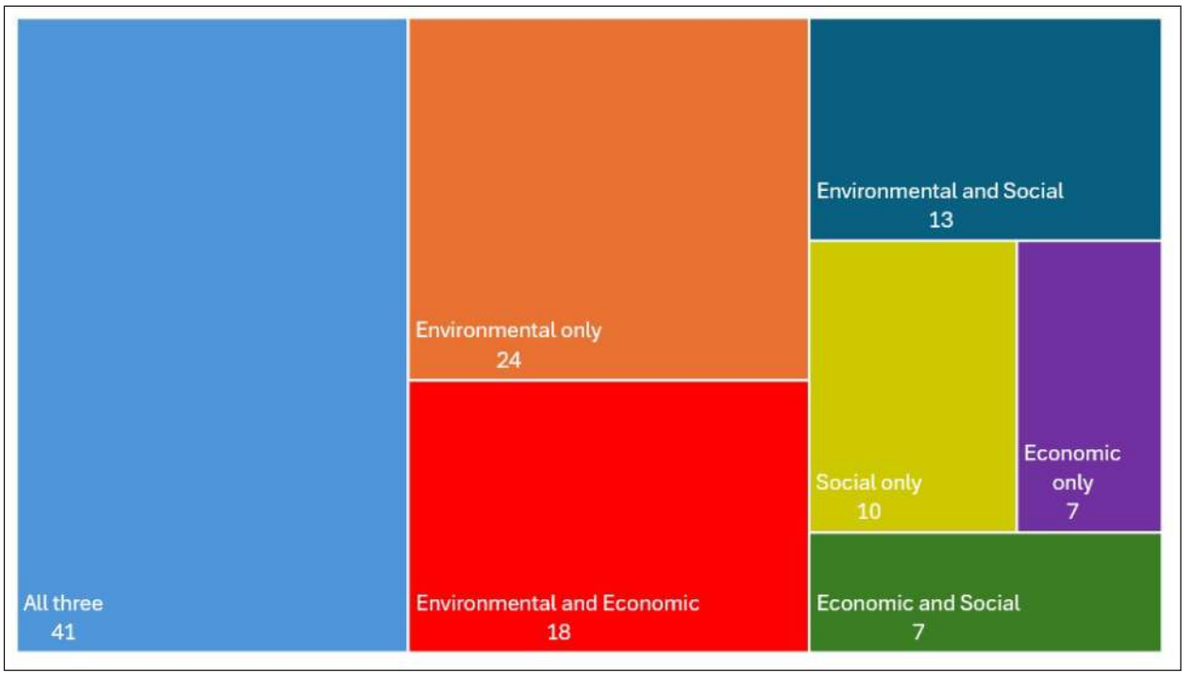


Figure 9. Type of sustainability dimension used in literature

3.2.2.2. Research methodologies

This study identifies an extremely high preference for simulation-based techniques. Figure 10 illustrates different methods used in the studies, to better understand the definitions of the terminologies, Section 2.3 can be referred to. Additionally, one document may apply more than one methodology. Modelling and simulation are the most used approaches (41.10%). This is followed by case studies (16.56%) and theoretical and conceptual category methodologies (14.11%), highlighting the diversity of methodological approaches adopted in the literature. The survey category is represented by 13.50% of the approaches identified in the reviewed literature. Review and experimental approaches are relatively scarce, with only 11.04% and 3.68%, respectively.

Given that modelling and simulation constitute the dominant methodological approach within the reviewed literature and represent the primary means of operationalising life-cycle-based sustainability assessments, further disaggregation of this category was necessary to identify how LCSA methodologies (LCA, LCC, and S-LCA) are applied in SSH district refurbishment. This also enabled the exclusion of simulation-based studies that do not explicitly adopt an LCSA framework and therefore fall outside the analytical scope of this review. Thus, a breakdown of the modelling and simulation category into different LCSA techniques was done (Fig. 11). It reveals that within the modelling and simulation category, LCA is the most widely used method, with 40% of the modelling and simulation approaches identified. LCC (15%) is also significant, reflecting a good focus on the integration of economic evaluation and decision-support tools. S-LCA (10%) is less common, indicating more limited, growing attention to social factors and system modelling. A further 35% of studies employ alternative simulation methods, which are outside the scope of this research, thus underscoring methodological diversity (note: these percentages are calculated on the subset of 67 documents (41.1% of the total sample) that were classified as modelling and simulation studies; moreover, a single document can employ more than one methodology).

This methodological breakdown helps in understanding the current research trends in the field, focusing on the dominance of simulation-based approaches, and in understanding the research gaps, as there are fewer studies on social-focused assessments (that is, S-LCA). It also serves as a guide to understand the need for future research directions, suggesting areas that are nascent and need deeper exploration and methodological understanding. The LCSA methods will be explained in further sections.

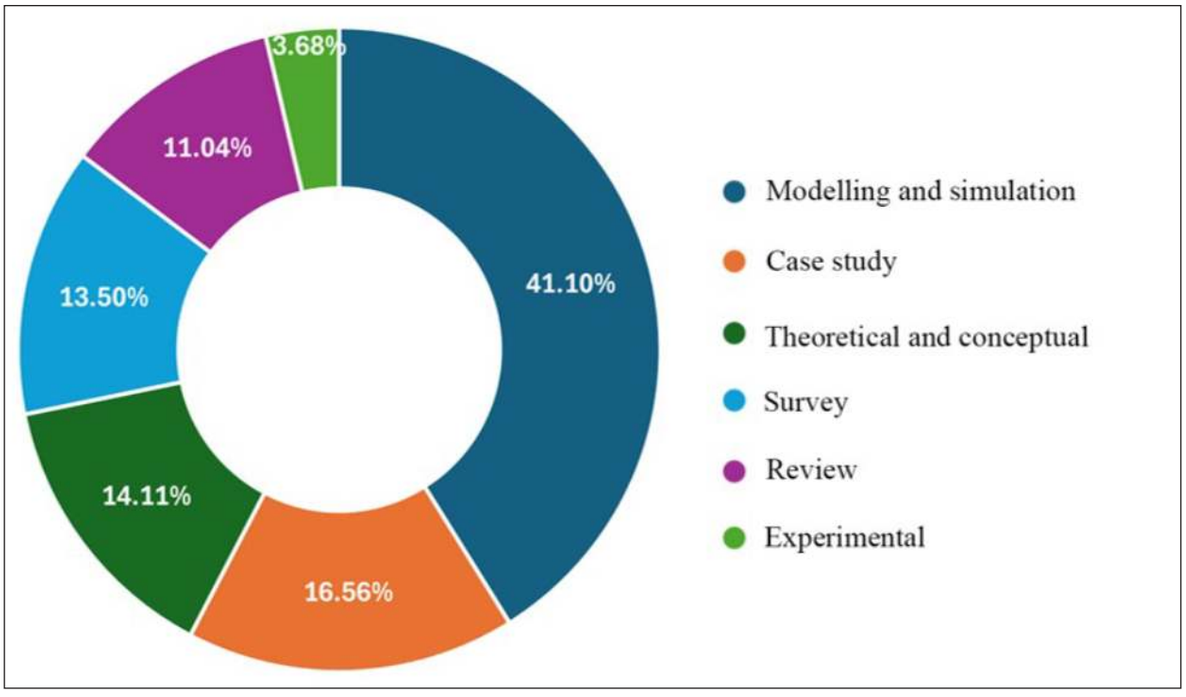


Figure 10. Methodologies used in the literature.

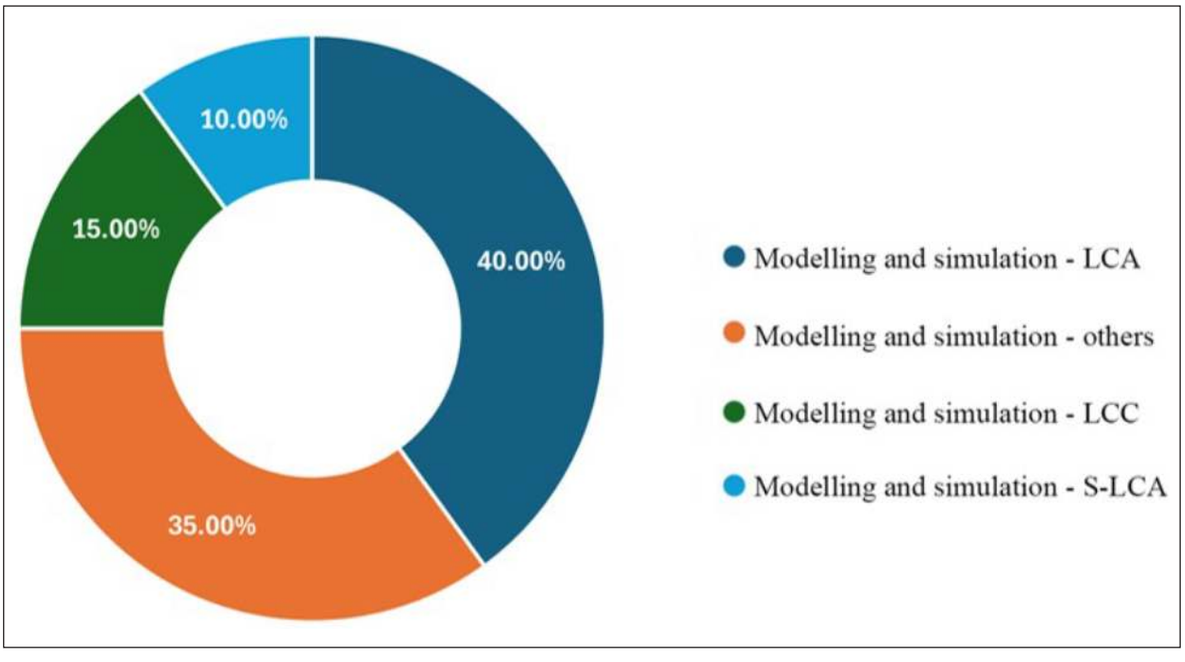


Figure 11. Breakdown of modelling and simulation.

3.2.2.3. LCSA methods

LCSA is an integrated framework that evaluates environmental, economic, and social impacts of building interventions across the life cycle by jointly applying LCA, LCC, and S-LCA to support comparative and informed decision-making (Amini Toosi et al., 2020; Balasbaneh et al., 2020; Chen et al., 2024; Settembre Blundo et al., 2018; Thibault et al., 2025). Most of the life cycle-based research was primarily concentrated on LCA, followed by LCC assessment methods, as illustrated by the

dominance of blue and orange bars across Figure 12. In contrast, research employing S-LCA (depicted in green) has been comparatively limited, with only 10 identified studies. The application of a fully multi-dimensional approach (LCSA) was particularly rare, with one study published in each of 2018, 2020, 2022, 2024, and 2025. This temporal pattern indicates that, despite growing overall research volume, comprehensive sustainability assessments integrating environmental, economic, and social dimensions remain underdeveloped in the literature, while standalone S-LCA applications are likewise scarce. Given that S-LCA constitutes a core component of LCSA, its limited development directly constrains the broader adoption of integrated LCSA approaches. These findings highlight a critical research gap: the need for broader adoption of integrated LCSA frameworks and a stronger methodological emphasis on social sustainability metrics in SSH refurbishment. The following sub-sections examine LCA, LCC, and S-LCA in greater detail (as explained in the methodology described in Section 2.3).

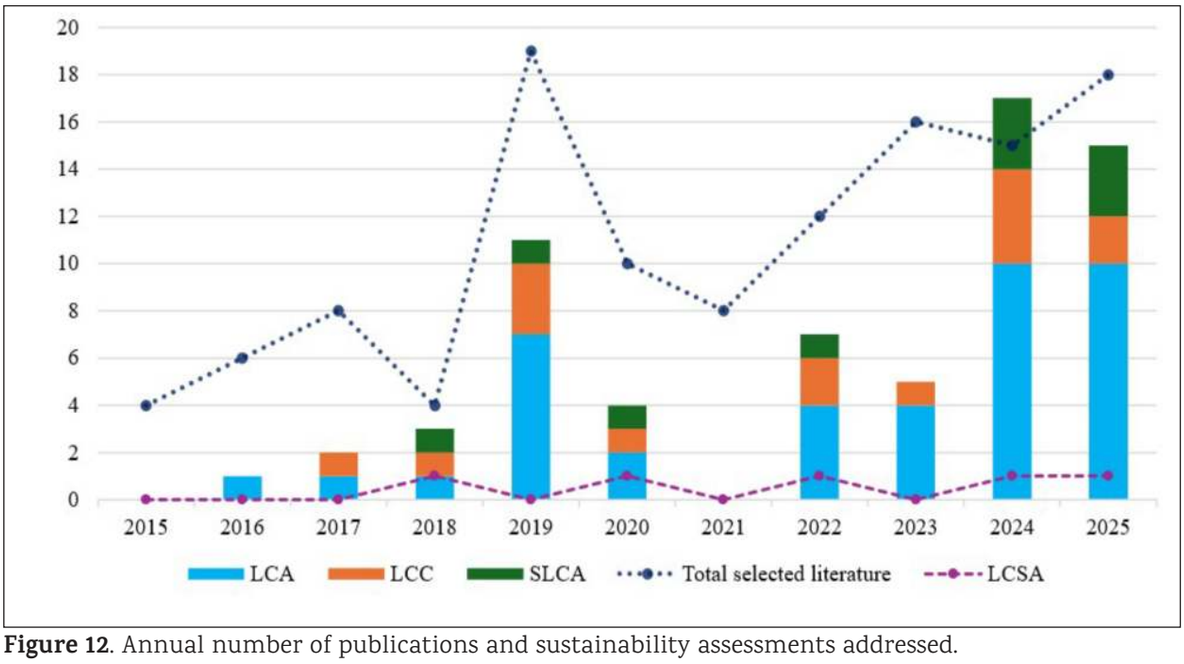


Figure 12. Annual number of publications and sustainability assessments addressed.

I) Life cycle assessment - LCA

LCA is a recognised methodology to evaluate the environmental impacts associated with every stage of a product's life, from the extraction of raw materials at the source to production, use, and finally disposal/recycling (International Organization for Standardization, 2020b, 2020a). The foundational framework for LCA is provided by the International Organisation for Standardisation (ISO) in ISO 14040 (International Organization for Standardization, 2020a) and 14044 (International Organization for Standardization, 2020b). In the specific context of the construction sector, these international standards are complemented by EN 15978 (CEN, 2011), which provides the specific methodology for assessing the environmental performance of buildings while remaining aligned with the ISO 14040 framework. These standards make LCA a comprehensive and systematic tool that helps identify where the major environmental burdens can arise and how to reduce their impact. Out of the 120 documents studied, 40 focused on LCA, with 2 of them taking a theoretical approach; therefore, they were not included in Table 3. Among these, 26 documents applied LCA exclusively, while 7 combined it with LCC. Additionally, 5 documents produced an integrated LCSA. Only two documents employed LCA together with just S-LCA.

(i) Lifespan

Table 3 describes the lifespan, FUs, databases, LCIA method, and software used in the reviewed

studies. The lifespan of the buildings considered in different studies varies considerably from 25 to 100 years, with the most prevalent being 50 or 60 years (see Tab. 3). Longer life spans typically emphasise operational impacts, while shorter evaluation periods tend to give more importance to production embodied impacts. To account for the replacement of building components, many authors defined the service life of individual elements as well as that of the building as a whole. For instance, Van De Moortel et al. (2019b) adopted a building life span of 60 years, while the boiler had a service life of 30 years or 20 years, the internal roof finishes required replacement every 30 years, and 10% of roof tiles were replaced in the same period. A similar case was also observed in another research by the same authors (Van De Moortel et al., 2019a), where the building lifespan was 60 years, while boilers were replaced every 20 years. In another research (Pan & Chu, 2016), the authors considered a lifespan of 50 years for the building and a service life of 7.5 years for the water system. While another study (Sattler & Österreicher, 2019) used a 100-year building lifespan, they examined two insulation materials with differing durability (one replaced twice over the building's life, while the other was replaced once every 50 years). Also, Larrea-Sáez et al. (2024) used a lifespan of 50 years and a change of heating devices after 20 years; Salzer et al. (2017) used a service life of 25 years for all social housing building technologies. This informs about the different lifespans used for buildings, materials and equipment, and how they affect the results of the assessment.

(ii) System boundaries

The specification of system boundaries remains fundamental in LCA (Hunkeler, 2016), yet its implementation across the literature exhibits few inconsistencies. Figure 13 presents a breakdown of life cycle stages addressed in the reviewed literature, based on the structure of EN 15978 (CEN, 2011). It shows that the production stage (A1-A3) and construction stage (A4-A5) were assessed by most authors; they are followed by the use and end-of-life stages, with representation varying between 29% and 57%. While module D was accounted for in 43% of the reviewed documents (Balasbaneh et al., 2020; Larrea-Sáez et al., 2023; Mohaddes Khorassani et al., 2019; Passarelli & Mouton, 2023; Salzer et al., 2017; Satola et al., 2020), this emphasises the limited engagement with circularity potentials such as reuse, recovery, or recycling. Module B1 was under-researched (14%); even Salzer et al. (2017) mentioned that B1 is rarely documented in both exemplary projects and social housing. No study out of the works examined adopted a comprehensive cradle-to-cradle approach encompassing all modules (A1-D), while some studies followed a 'cradle-to-cradle' approach but missed a few life cycle modules (Marrero et al., 2024; Satola et al., 2020).

(iii) Functional unit (FU)

Several types of FUs were observed in the reviewed literature (Tab. 3). The first type was the unit of area (square metre) (Hernandez-Cruz et al., 2024; Larrea-Sáez et al., 2023, 2024; Luque Castillo & Yepes, 2025a; Marrero et al., 2024; Passarelli & Mouton, 2023; Rincón et al., 2023; Salzer et al., 2017; Satola et al., 2020), with a focus on the unit area of the gross floor, living area, and dwelling area. Then, another common FU used by several studies was the entire building over its life span (Amini Toosi et al., 2022; Eleftheriou et al., 2022; Gámez-García et al., 2019; Mohaddes Khorassani et al., 2019; Settembre Blundo et al., 2018; Sula et al., 2022; Van De Moortel et al., 2019b, 2019a). One study (Sattler & Österreicher, 2019) did not mention the FU explicitly, although it referred to building performance over a 100-year lifespan, expressed both per square meter and for the total building. Some studies used unconventional FU: in the study by Shinde et al. (2022), the authors used 'one year of household consumption of 16 different spending categories, ranging from food and housing to travel and recreational activities'. Their approach employed machine learning to capture household-specific consumption patterns and rebound effects, enabling a dynamic assessment of how economic changes, such as reduced housing costs, translate into shifts in consumption behaviour across categories. Another study (Borrion et al., 2019) used multiple FUs based on the scale and the application of the LCA method (e.g., person, household, community). Only a few (Arceo et al., 2025; Kameni Nematchoua & Andre Marie, 2025) of the reviewed studies indirectly used an occupancy-based FU to reflect the impact per capita rather than just per unit area. Then several component-level FUs could be detected: there was the quantity of material (cubic metres or kg),

which was mainly used for building materials such as concrete and wood (Fernandez et al., 2023), '1 m² of wall assembly over 50 years' (Fernandez et al., 2023), green wall surface (Pan & Chu, 2016), one window (Balasbaneh et al., 2020), and 1 m² of a wall panel (Dani et al., 2025).

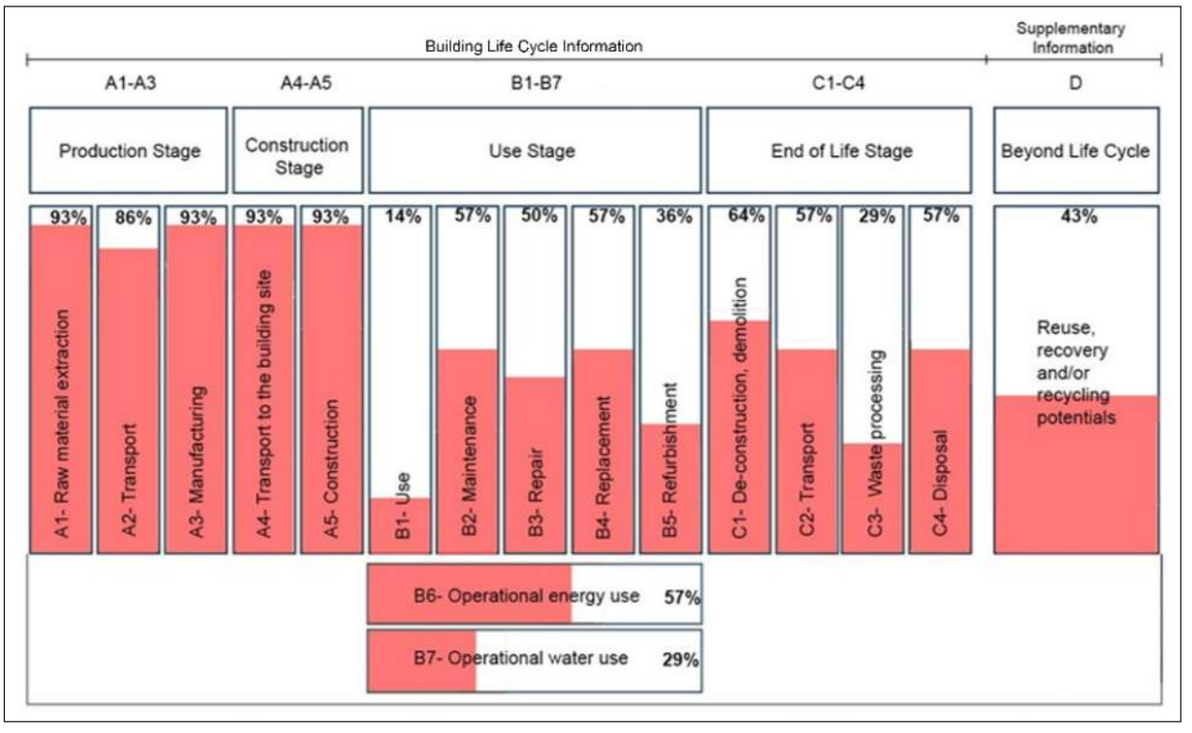


Figure 13. Coverage of life cycle modules in the reviewed LCA studies, based on EN 15978 *(CEN, 2011)*.

(iv) LCI databases

From the 38 documents described in the Table 3, 36 (95%) of them defined the database they used in their assessment, out of which 26 (68%) of them used ecoinvent either solely or with another database. The other studies relied on multiple databases, such as EPA data (Larrea-Sáez et al., 2024) for emissions from wood and pellet stoves, Agribalyse v1.2 and EXIOBASE v2.2 (Shinde et al., 2022), the Malaysian Life Cycle Inventory Database based on ecoinvent (Balasbaneh et al., 2020), an internal dataset developed by Andalué Ambiental (Larrea-Sáez et al., 2023), Baubook (Sattler & Österreicher, 2019), and the Andalusian Construction Cost Database (ACCD)—which, although primarily a cost database, was applied for extracting bill of quantities and linking them to ecoinvent environmental datasets (Marrero et al., 2024).

(v) LCIA methods

As illustrated in Table 3, IPCC is the most frequently used LCIA method (9 studies, 23.7%), followed by ReCiPe (6 studies, 15.8%), CML 2001 (6 studies, 15.8%), the Environmental Footprint (4 studies, 10.5%), IMPACT 2002+ (3 studies, 7.9%), and the Cumulative Energy Demand (2 studies, 5.3%). Other methods found in the literature included TRACI and the JRC's ILCD. Several studies used the indicators required by EN 15804. A trend was also observed in the application of LCA and energy modelling tools (software column in Table 3). SimaPro was the most used software for LCA, which was used 10 out of 30 times (33.3%). Other LCA tools, less frequently used, are GaBi, One Click LCA, and openLCA. MS Excel was used for simple assessments. To estimate building operational energy uses and renewable production in LCA, the energy simulation software used included Energy Plus, TRNSYS, HOMER, and VIP Energy. A single work used machine learning to calculate household consumption patterns and rebound effects, which were subsequently assessed using LCA.

Table 3. Methodological dimensions of LCA

Reference	FU	Life span (years)	Databases	LCIA method	Software
Salzer et al. (2017)	1 m² of built-up area per service life	25 (10, 40 for additional scenarios)	Ecoinvent	Cumulative Energy Demand (CED) (Huijbregts et al., 2010), Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC (IPCC, 2014), Impact 2002+ (Jolliet et al., 2003)	SimaPro
Passarelli & Mouton (2023)	1 m²	60	Athena Sustainable Materials Institute database, Environmental Product Declaration (EPD)	EPA TRACI² 2.1, in accordance with ISO 21930/31	Impact Estimator for Buildings (IE4B v.5.4.0101)
Fernandez et al. (2023)	1 m³ of concrete, 1 m² of wall	40	Ecoinvent	Environmental Footprint	SimaPro
Van De Moortel et al. (2019b)	Building	60 (building), 10, 20, 30 (energy systems), 30 (roof, windows, and walls)	Ecoinvent	Belgian LCA method in line with European standard EN15804+A1:2013	ABS
Borrion et al. (2019)	Various (e.g. person, householdand community)	ABS	ABS	ReCiPe	ABS (Developed a new calculator)
Sattler & Österreicher (2019)	Building, 1 m² of gross floor area	100 (building), 10-20-25-35-50 (components)	Baubook	EN 15804:2012+A1:2013	Eco2Soft
Shinde et al. (2022)	1 year of household consumption (16 categories), expressed as monetary expense (in CHF) or a quantity (in kg or number of items)	ABS	Ecoinvent v3.3, Agribalyse v1.2 andEXIOBASE v2.2	IPCC	Python (Machine Learning Random Forest Regression-based model)
Satola et al. (2020)	1 m² of total gross building area (GFA) per service life	25	Ecoinvent 3.6 (adjusted to Shanghai conditions)	ReCiPe	SimaPro, TRNSYS, HOMER Pro

Follow Table 3. Methodological dimensions of LCA

Reference	FU	Life span (years)	Databases	LCIA method	Software
Eleftheriou et al. (2022)	Building (area ≤ 64 m² and a wall height ≤ 3 m)	ABS	Ecoinvent	Zea Escamilla & Habert, (2017) based on IPCC 2013	MS Excel
Sula et al. (2022)	Building	30	Ecoinvent	ABS (Mentions Global Warming Potential, GWP in CO_2eq)	VIP Energy, LCA Manual Modelling
Amini Toosi et al. (2022)	Building	30	Ecoinvent, International Life Cycle Data System (ILCD 2.0 2018)	ILCD 2.0 2018 (Joint Research Centre of the European Commission, JRC)	Energy Plus, MATLAB, Grasshopper
Balasbaneh et al. (2020)	1 window (120 cm × 120 cm)	40	Ecoinvent to Malaysian circumstances, Malaysian life cycle inventory database (MYLCID)	IPCC	SimaPro
Hernandez et al. (2019)	1 kWh of heat delivered to the dwellings	15 (heat pump)	Ecoinvent	ABS (Indicators from EN 15978)	ABS
Gámez-García et al. (2019)	Building (42 m² dwelling)	50 building, (30-door and windows, 5-paint)	CYPE, Ecoinvent	IPCC, CED, CML[1] 2001	ABS
Van De Moortel et al. (2019a)	Building	60 (building), 20 (boiler)	ABS	Belgian LCA method	ABS
Mohaddes Khorassani et al. (2019)	Complete building complex	100	Ecoinvent, Literature	IMPACT 2002+	SimaPro 8.0.2
Settembre Blundo et al. (2018)	Complete building complex	100	Ecoinvent	IMPACT 2002+	SimaPro
Pan & Chu (2016)	1 m² of the vertical greenery system (VGS)	50 (VGS), 10 (vegetation), 7.5 (drip lines), 7.5 (watering tubes).	GaBi/Sphera LCI,ecoinvent	CML[1] 2001	GaBi
Marrero et al. (2024)	1 m² of ground floor area	ABS	Ecoinvent, Andalusian Construction Costs Database (ACCD) for Environmental Footprint (EF), Carbon Footprint (CF), Water Footprint (WF) and Embodied Energy (EE), and their Construction and Demolition Waste (CDW)	ABS	SimaPro, PREDICE tool

Follow Table 3. Methodological dimensions of LCA

Reference	FU	Life span (years)	Databases	LCIA method	Software
Rincón et al. (2023)	1 m² of living area	ABS	Ecoinvent	IPCC	openLCA v1.10.3
Larrea-Sáez et al. (2023)	1 m² of the total dwelling floor area	50	Ecoinvent v3	ReCiPe	SimaPro 8.0, DesignBuilder v6.1.0.6, EnergyPlus
Larrea-Sáez et al. (2024)	1 m² of dwelling floor area	50 (building), 20 (heating systems)	Ecoinvent, Environmental Protection Agency (EPA) 1996	ReCiPe	EnergyPlus, LCA tool not specified.
Hernandez-Cruz et al. (2024)	1 m² of conditioned area of the building	30	All SimaPro libraries (Ecoinvent)	ReCiPe Endpoint (H) v1.13	SimaPro
Di Ruocco (2024)	Different building technological units	50	University of Bath's Inventory Carbon & Energy	GWP (EN 15804)	ABS
Chen et al. (2024)	1 m3 of the prefabricated components	ABS (cradle-to-gate)	Ecoinvent	CML[1]	Excel
Saez et al. (2024)	Building	50	Ecoinvent v3.8	Environmental Footprint v3	SketchUp Pro 2021, OpenStudio 1.2.0, Energy Plus V9.5.0, Simapro v9
Luque Castillo & Yepes (2025a)	1 m² of total built-up area	50	Ecoinvent v3.7.1	ReCiPe 2008 (Hierarchical)	OpenLCA
Thibault et al. (2025)	Building	50	Information sur les Impacts Environnementaux et Sanitaires, INIES (Information on Environmental and Health Impacts, INIES)	IPCC	ABS
Arceo et al. (2025)	Capita*year	50	Natural Resources Canada's National Energy Use Database	Environment and Climate Change Canada (ECCC)	Excel, STATA17
Dani et al. (2025)	1 m² of panel	50	Building Research Association of New Zealand (BRANZ) database	EN 15804+A1:2013	LCAQuick V3.6
Seddiki & Bennadji (2025)	Building	60	One Click LCA EPDs database	EN15804 +A2	One Click LCA
Leichter et al. (2025)	Building	60	Ecoinvent 3.6	CML[1] v4.4	SimaPro 9.1

Follow Table 3. Methodological dimensions of LCA

Reference	FU	Life span (years)	Databases	LCIA method	Software
Martínes et al. (2025)	1 kg of local construction materials	ABS (cradle-to-gate)	Ecoinvent	IPCC 2013, Environmental Footprint 3.0	SimaPro v. 9.4.0.2
Teng et al. (2024)	Residential building	50	Chinese life cycle database (CLCD)	CML[1] (mainly)	PKPM software
Rocha-Tamayo et al. 2025)	Structure with a floor area of 84 m²	40	ABS	ABS	ABS
Keena et al. (2024)	Apartment with a floor area of 80 m²	ABS	Ecoinvent v3	Environmental Footprint (likely)	GaBi v9, Autodesk Revit 2023
Kameni Nematchoua & Andre Marie (2025)	Building, occupant, m² usable floor area	80 (building), 30 (windows), 10 (plasters), 20 (equipment)	Ecoinvent 3.1	ABS (12 indicators derived from CML[1], Eco-indicator 99, IPCC, etc.)	EQUER, Pleaides LCAv 6.25.3
Jørgensen et al. (2025)	m²*year	50	One Click LCA EPDs database	EN15804 (GWP)	OneClickLCA, Revit 2024

Note:
*ABS (Absent), [1]CML: Institute of Environmental Sciences at Leiden University (Centrum voor Milieuwetenschappen Leiden),
[2] Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other environmental Impacts

II) Life cycle costing – LCC

LCC fulfils the economic pillar of sustainability following ISO 15686-5:2017 (International Organization for Standardization, 2017). It appeared in only 15 (Amini Toosi et al., 2022; Balasbaneh et al., 2020; Chen et al., 2024; Fahlstedt et al., 2024; Hernandez et al., 2019; Keena et al., 2024; Luque Castillo & Yepes, 2025a; Magdy & Elhamy, 2023; Serrano-Jimenez et al., 2017; Settembre Blundo et al., 2018; Sula et al., 2022; Teng et al., 2024; Thibault et al., 2025; Van De Moortel et al., 2019a, 2019b) of the 120 reviewed documents, with just 3 of them using LCC in isolation (Fahlstedt et al., 2024; Magdy & Elhamy, 2023; Serrano-Jimenez et al., 2017), while 7 of them combined it with LCA (Hernandez et al., 2019; Keena et al., 2024; Luque Castillo & Yepes, 2025a; Sula et al., 2022; Teng et al., 2024; Van De Moortel et al., 2019a, 2019b) and 5 used it within the full LCSA framework (Amini Toosi et al., 2022; Balasbaneh et al., 2020; Chen et al., 2024; Settembre Blundo et al., 2018; Thibault et al., 2025). This distribution emphasises LCC's growing role with other life cycle assessment techniques while not diminishing its limited standalone use.

(i) Lifespan

The choice of the study period and building service life assumption critically affects which refurbishment strategy appears economically optimal. Generally, longer service lives tend to emphasise operating costs, whereas shorter evaluation periods place greater weight on initial capital costs. The studies reviewed employed varying analysis periods depending on the decision-making context, though LCC's life span is frequently implicit rather than explicit. Amini Toosi et al. (2022) integrated LCC with LCA and S-LCA without an explicit life span parameter reported for the economic dimension; therefore, a 30-year period can be assumed, to be consistent with the lifespan adopted in LCA.

Similarly, two additional LCSA studies adopted the lifespan defined in LCA without explicitly specifying it for the LCC. One (Balasbaneh et al., 2020) stated that LCC covers costs 'throughout the life cycle' (40 years) without restating a distinct service life, while another (Settembre Blundo et al., 2018) incorporated LCC within a holistic 100-year LCSA framework. This does not imply that LCC's lifespan was missing, but it was implicit and aligned with the complete LCSA assessment. Other studies that combined LCC with LCA adopted a consistent lifespan across both assessments (Hernandez et al., 2019; Larrea-Sáez et al., 2024; Sula et al., 2022; Van De Moortel et al., 2019b, 2019a). Studies with the focus solely on LCC were explicit in defining the life span: Serrano-Jimenez et al. (2017) used 30-year periods for Mediterranean building renovation packages, while Magdy & Elhamy (2023) applied 8 and 16 years (three scenarios, one using 8 and two using 16 years), for modelling the life span of Egyptian affordable housing.

(ii) System boundaries

In LCC, system boundaries were delineated by financial cost components rather than modular life cycle stages. Across the reviewed literature, LCC system boundaries were rarely stated explicitly from A-D like LCA modules (based on EN 15978 (CEN, 2011)), favouring cost classifications: investment, operation, maintenance, and replacement. Standalone LCC typically prioritises Capital Expenditure (CAPEX) and Operational Expenditure (OPEX) (e.g., energy savings), frequently omitting End-of-Life (EoL) processes and residual values (Magdy & Elhamy, 2023; Serrano-Jimenez et al., 2017). The inconsistent integration of EoL and residual values stems from system boundary choices, data scarcity and the negligible Net Present Value (NPV) of future cash flows when weighed against immediate capital outlays. This focus centres boundaries on use-stage economic optimisation. Conversely, LCSA studies exhibited methodological divergence: while Balasbaneh et al. (2020) synchronised LCC with LCA modules, in Amini Toosi et al. (2022) and Settembre Blundo et al. (2018), LCC maintained a structure based on financial streams (e.g., R&D development costs, investment costs, operational costs, rental income, restoration costs, and decommissioning costs, including dismantling, recycling, and disposal costs) rather than on a modular mapping. However, studies that combined LCC with LCA tend to implicitly align system boundaries.

(iii) Functional unit (FU)

In most cases in the reviewed literature, the FU in LCC corresponded to the economic performance of a retrofit measure, system, or building over its assessment period, without being explicitly labelled as a FU. When LCC and LCA are combined, aligned FUs are essential for robust and interpretable sustainability assessments. Only a few LCC studies explicitly adopted the same FU as in the LCA: 1 kWh of heat delivered to the dwellings (with LCC expressed in €/kWh) (Hernandez et al., 2019), the entire building complex (Settembre Blundo et al., 2018) and 1 m² of dwelling floor area (Larrea-Sáez et al., 2024). Several studies implicitly adopted the building or dwelling as the FU (Amini Toosi et al., 2022; Magdy & Elhamy, 2023; Settembre Blundo et al., 2018; Sula et al., 2022; Van De Moortel et al., 2019b, 2019a), particularly when LCC was applied in combination with LCA to assess alternative renovation strategies (Amini Toosi et al., 2022; Settembre Blundo et al., 2018; Sula et al., 2022; Van De Moortel et al., 2019b, 2019a). In these cases, the economic outcomes were reported per building or dwelling system, enabling direct comparison of alternative scenarios at the building scale.

(iv) Databases

LCC applications in the reviewed literature were based on heterogeneous data sources, reflecting the context-specific nature of economic assessments. Most studies derived cost data from market prices, national statistics, project-specific estimates, or regulatory sources, rather than from unified LCC databases. In the case of the absence of local-specific cost data, some foreign databases were considered and adapted to the local context by adjusting labour costs to national standards (Luque Castillo & Yepes, 2025b).

(v) Costing methods

Most of the reviewed studies employed the Net Present Value (NPV) as the primary method for assessment (Amini Toosi et al., 2022; Magdy & Elhamy, 2023; Sula et al., 2022). A smaller subset of studies expanded conventional LCC by monetising environmental impacts, such as Van De Moortel et al. (2019b) using Belgium's national LCA methodology to assign monetary values to these impacts. They also employed Financial Life Cycle Cost (F-LCC) to assess renovation costs, allowing comparison with Environmental Life Cycle Costs (E-LCC). Balasbaneh et al. (2020) used overall cost, incorporating extraction, production, transport, labour wages, and end-of-life costs at their present value within the LCC formulation. Some studies provided detailed financial formulas and sensitivity analyses, while others limited themselves to simplified cost comparisons, as in Settembre Blundo et al. (2018), which focused on restoration costs, including costs, benefits, and VAT.

III) Social life cycle assessment - S-LCA

According to EN 16309:2014 (CEN, 2014), social performance assessment differs noticeably from environmental and economic dimensions, requiring both quantitative and qualitative methods across categories such as health and comfort, accessibility, safety and security, maintenance, neighbourhood impacts, and adaptability. Thus, in 2009, the first Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products were published, which were updated in 2020 (UNEP, 2009, 2020). S-LCA assesses the social impact of products and services across their life cycle (UNEP, 2020). Despite its recognised importance, the use of S-LCA remained extremely limited in the reviewed SSH research. Only 10 documents out of the 120 documents incorporated S-LCA assessments (Amini Toosi et al., 2022; Babos et al., 2023; Balasbaneh et al., 2020; Borri et al., 2024; Chen et al., 2024; Josa & Borrion, 2025; Martínes et al., 2025; Mohaddes Khorassani et al., 2019; Settembre Blundo et al., 2018; Thibault et al., 2025).

(i) Lifespan

The life span in S-LCA was usually not declared explicitly. When S-LCA was combined with LCA or LCC, analyses generally adopted the same life span. However, in some cases, different timeframes were considered. For instance, although the LCA proposed by Mohaddes Khorassani et al. (2019) adopted a 'cradle-to-grave' approach with a 100-year horizon, the lifespan considered for the S-LCA spans from the start of the renovation (2001) to the year in which the study was conducted (2015). This reflects the reliance of their S-LCA on primary, empirically collected stakeholder data (interviews and community consultations), which is inherently bounded to the period over which such data can be gathered. This illustrates that S-LCA lifespans also depend on the data-collection constraints and methodological choices.

(ii) System boundaries

Within the S-LCA system, boundaries were typically less formally defined and organised than those in LCA. They tend to be narrative, stakeholder-driven, or tailored to specific contexts rather than systematically aligned with EN 15978 stages (CEN, 2011). S-LCA is strongly stakeholder-oriented, assessing social impacts across different stakeholder groups and selected indicators, rather than focusing on strict temporal dynamics (like LCA and LCC). The selection of the stakeholders is a specific boundary of S-LCA. It is informed by the UNEP/SETAC guidelines, which identify six categories of stakeholders: workers, local communities, consumers, society, actors in the value chain, and children (UNEP, 2020, 2021).

Martínes et al. (2025) followed the UNEP/SETAC guidelines and proposed a gate-to-gate S-LCA focusing on a single stakeholder: the workers. Borri et al. (2024) developed a cradle-to-gate S-LCA following the phases set by the standard EN 15978 for LCA. The stakeholders considered were workers, local community, society, consumers, and value chain actors. Chen et al. (2024) aligned with the UNEP/SETAC guidelines and identified four stakeholders: workers, local community, consumers, and society. In addition to complying with the UNEP/SETAC guidelines, Settembre Blundo et al. (2018) also relied on the AA1000 Accountability Principles Standards (Thibault et al., 2025) to identify

the stakeholders involved in the management of cultural heritage based on the criteria of responsibility, influence, proximity, dependency, and representation. Based on the UNEP/SETAC methodological sheets (UNEP, 2021), the S-LCA framework proposed incorporates five stakeholder categories. Josa & Borrion (2025) developed a stakeholder-oriented system boundary: workers were considered only during production, construction, and demolition phases; users were included exclusively in the operational phase; value chain actors were involved in the waste management stage; and the local community and society were considered across the entire life cycle.

The boundary of the S-LCA model in the work by Amini Toosi et al. (2022) was described only narratively (without exact stages or modules). It was implicitly aligned with the overall LCSA assessment system under study, without explicit differentiation for social impacts. Similarly, Balasbaneh et al. (2020) did not outline S-LCA by explicitly defining life cycle stages, though the LCA proposed in the same work followed EN 15978 (CEN, 2011) with a clear inclusion of the related modules. Mohaddes Khorassani et al. (2019) also used stakeholders, social topics, and performance indicators. They also highlighted that system boundary definition becomes unclear when social impacts are included, explicitly noting challenges in aligning S-LCA with LCA boundaries. This approach indicated a boundary based on the social criteria. Settembre Blundo et al. (2018) structured the system boundary around phases of restoration, including decision-making, execution, and management processes. This reflects a process-oriented boundary definition, where social impacts are linked to activities and governance structures.

(iii) Functional unit (FU)

Typically, when S-LCA was integrated with LCA or LCC, the same FU was utilised across all analyses. The FU adopted in the S-LCA studies used the building complex restoration (Mohaddes Khorassani et al., 2019), building (Amini Toosi et al., 2022), building component (window) (Balasbaneh et al., 2020) and the provision of the same net usable floor area and building services (Josa & Borrion, 2025). Borri et al. (2024) did not consider any FU since it was not necessary when only qualitative data were used. In Settembre Blundo et al. (2018), the FU was not clearly quantified in a specific physical unit, but it was rather implicit and corresponded to processes activated by the building renovation analysed. In S-LCA, the FU is typically implicit and reframed as a system, intervention, or stakeholder-based reference, aligned with the nature of social impact assessment.

(iv) Data collection

S-LCA combined qualitative and quantitative data. Primary data collection was carried out through interviews or surveys with the main stakeholders (Settembre Blundo et al., 2018). Compared with LCA and LCC, S-LCA often relies on more subjective and qualitative information due to the difficulty of quantifying social impacts consistently. Qualitative insights gathered from interviews can be compared with data provided by government agencies or relevant academic sources to validate the findings. Secondary data were obtained from literature or established databases and represented generic rather than site-specific information. Databases for S-LCA have been expanding, and some are explicitly designed to be compatible with traditional LCA databases and models. PSILCA (Goedkoop et al., 2020), for instance, is compatible with environmental LCA databases (e.g., ecoinvent), enabling integrated sustainability assessments.

(v) Impact assessment methods

Two primary approaches are commonly applied in S-LCA impact assessment: the reference scale approach (Type I) and the impact pathway approach (Type II). The reference scale approach (Type I) evaluates social impacts using predefined indicators and reference scales (e.g. scoring workers' conditions or community wellbeing against ordinal scales), and the impact pathway approach (Type II) models causal cause-and-effect chains from interventions to social outcomes along an impact pathway (i.e. the explicit cause-and-effect chain from life-cycle activities to social outcomes) (UNEP, 2020). UNEP/SETAC guidelines provided a list of social impact categories and indicators. Implementing UNEP/SETAC guidelines, Pré Sustainability's Handbook for Product Social

Impact Assessment (Tokede & Traverso, 2020) provided a practical approach to assess social impacts across a product's life cycle, organised into 19 subcategories evaluated through recommended performance indicators.

Martínes et al. (2025) proposed a Type I assessment based on the construction of reference scales, from -2 for a very low performance to +2 for a very high performance. The scores were not aggregated in a single end-point impact measure. Josa & Borrion (2025) adopted a Type I approach and proposed different quantitative indicators of impact; they were normalised through a min/max procedure and summed up (without weighting) to obtain an end-point scoring system. Chen et al. (2024), based on the UNEP methodology, identified 14 subcategories of impact and 21 evaluation indicators. They were normalised to a range of −1 to +1 and weighted by each indicator's importance to calculate the final social impact score. The Analytic Hierarchy Process (AHP) methodology was employed to determine the weighting factors. Balasbaneh et al. (2020) strictly followed UNEP/SETAC guidelines, selected context-specific indicators for building renovations, applied AHP weighting, and used normalisation to ensure scenario comparability. Mohaddes Khorassani et al. (2019) also adopted the method proposed by the UNEP/SETAC guidelines and Pré Sustainability's Handbook. To assess the indicators on the basis of the latter, a scale-based scoring system (ranging from -2 for undesirable performance and +2 for an ideal performance) was used to assess social impacts for indicators. Scores were aggregated in different ways (e.g., social topic, stakeholder group, total) using different weighting systems. To avoid scores being influenced by the number of actors involved, the scores were normalised by dividing them by the total number of actors, thereby reducing aggregation bias and ensuring comparability across stakeholders.

Settembre Blundo et al. (2018) instead translated the S-LCA results into a stakeholder prioritisation index using power, urgency, and proximity criteria. This approach differs markedly from the one proposed by the UNEP/SETAC guidelines, as it emphasises stakeholder expectations over standardised social impact categories. Amini Toosi et al. (2022) focused on the safety and security of the electricity supply, which was identified as an S-LCA impact category in EN16309:2014+A1:2014 (CEN, 2014). The 'self-consumption of PV-generated electricity' was used as a proxy for grid overload mitigation and user protection, reflecting concerns related to the resilience of the electricity infrastructure. These S-LCA impact categories were chosen to align with the case study's goal of grid resilience, instead of using a generic list, as recommended by UNEP/SETAC guidelines (UNEP, 2020, 2021) and by recent literature (Tokede & Traverso, 2020). The cumulative impact indicator was not normalised by reference values, but the authors used an internal normalisation procedure relative to the baseline scenario (pre-retrofit scenario): they defined the S-LCA index by dividing each scenario's self-consumption metric by that of the pre-retrofit baseline, producing a dimensionless number where values greater than 'one' signal social performance improvement. The authors (Amini Toosi et al., 2022) emphasised flexibility and future extensibility of their methodology, as they mentioned that their model can adopt additional social indicators or standardised S-LCA metrics.

3.2.3 Conflict cases in integrated assessments

The central value of integrated assessments lies in the systematic identification of trade-offs among different sustainability domains and conflicting sustainability conclusions. The alignment of methodological approaches in studies combining different dimensions of sustainability is crucial to effectively detect trade-offs between different sustainability domains. Some conflict cases can be identified in the studies analysed:

- Many renovation strategies achieved similarly low carbon and cost performance, with LCA and LCC showing aligned trends and limited dispersion across optimal solutions (Arceo et al., 2025). However, measures that resulted as environmentally friendly (long lifetime benefits) can appear economically unattractive, especially when high investment costs are sustained, and high discount rates are applied (Babos et al., 2023; Keena et al., 2024).
- Arceo et al. (2025) affirmed that meaningful reductions in thermal discomfort (social impact

indicator) systematically require accepting higher life cycle emissions, higher costs, or both.

- Potential trade-offs may systematically emerge between environmental performance, economic sustainability, and social objectives. In Babos et al. (2023), environmentally friendly measures, as informed by LCA, introduced tensions with affordability and inclusiveness when assessed through LCC and S LCA perspectives, particularly in social housing contexts. Keena et al. (2024) argued that, lacking green financing, the higher costs of low-impact recycled materials would reduce affordability and exclude average-income households.
- In the study of local construction materials in Ecuador (Martínes et al., 2025), a significant trade-off existed between materials with low environmental impacts and their social performance. Traditional materials, like adobe and moulded clay brick, were produced using artisanal methods that require little to no machinery, resulting in very low GHG emissions. However, these same processes were characterised by 'very low' social performance, mainly in relation to working conditions (e.g., low salaries, lack of formal social security, higher risks of injuries and lack of adequate protective equipment).

4. Critical research gaps and future directions

The findings of this study indicate that S-LCA is the most critically underdeveloped methodology within the LCSA for SSH refurbishments. Only 10 of the 120 reviewed studies employ S-LCA, compared to 40 utilising LCA and 15 adopting LCC. This under-representation reflects fundamental gaps in S-LCA methodological maturity and standardisation. Historically, the lack of internationally recognised standards comparable to ISO 14040/14044 (International Organization for Standardization, 2020a, 2020b) for LCA or ISO 15686-5 (International Organization for Standardization, 2017) for LCC has severely constrained the adoption of S-LCA and cross-study comparability.

The ten S-LCA studies analysed in this review further reveal methodological inconsistencies (Amini Toosi et al., 2022; Babos et al., 2023; Balasbaneh et al., 2020; Borri et al., 2024; Chen et al., 2024; Josa & Borrion, 2025; Martínes et al., 2025; Mohaddes Khorassani et al., 2019; Settembre Blundo et al., 2018; Thibault et al., 2025). Indicator selection varies considerably across projects, with social impact categories remaining largely undefined and non-harmonised. Data transparency is frequently insufficient, as baseline conditions and weighting assumptions are often inadequately reported. Moreover, stakeholder engagement protocols lack clear structure and standardisation, limiting the robustness and reproducibility of the assessments. These findings collectively highlight structural research gaps in indicator harmonisation, reporting transparency, stakeholder protocol design, and cross-case comparability within S-LCA applications for SSH refurbishment. LCA and LCC, in contrast, demonstrate comparatively higher levels of methodological maturity. The robustness of LCA stems from internationally consolidated FUs, clearly defined system boundary protocols (cradle-to-gate, cradle-to-grave, cradle-to-cradle), established LCIA characterisation methods, and well-defined lifespans of buildings and components, which were consistently observed in the reviewed documents. The alignment of these elements enables meaningful cross-project comparisons. Similarly, LCC benefits from established methods, indicators, and service-life assumptions documented in national reports, thereby facilitating greater harmonisation of economic parameters across studies.

This imbalance between environmental/economic maturity and social methodological fragmentation represents a central gap in advancing integrated LCSA for SSH refurbishment, which is reflected in the limited number of studies (five) applying LCSA despite its conceptual maturity. Strengthening S-LCA frameworks is therefore a prerequisite for advancing LCSA implementation in SSH refurbishment contexts.

Based on these gaps, this review identifies the following future research directions:

(1) Standardisation of S-LCA: Advancing the application of S-LCA in SSH refurbishment requires the adoption of standardisation mechanisms similar to those that have strengthened LCA and LCC methodologies. S-LCA must progressively develop commonly agreed social indicators, clearer system boundary definitions, and transparent weighting conventions, while

acknowledging that complete standardisation of social indicators remains challenging due to its location-specific, context-dependent, and cultural nature. S-LCA is highly context-specific, any move toward greater standardisation should be preceded by extensive international discussion and collaborative work among researchers and practitioners, both in S-LCA and in other similarly context-dependent fields. The newly released ISO 14075:2024 (International Organization for Standardization, 2024), together with Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products and Organizations by UNEP/SETAC from 2020 (UNEP, 2020), provides a foundational framework capable of supporting the establishment of such conventions.

(2) Transparent reporting and stakeholder protocols: S-LCA should adopt the transparent reporting practices long embedded in LCA methodologies. While LCC studies routinely document discount rates and service life assumptions, S-LCA applications rarely disclose weighting methodologies, stakeholder identification criteria, or prioritisation frameworks. Future research should therefore prioritise explicit documentation of baseline conditions, weighting logic, and participatory processes to improve reproducibility and policy relevance. Finally, standardised protocols for stakeholder identification, participatory engagement, and equitable preference-weighting must be developed and systematically tested to ensure transparent inclusion of affected communities and vulnerable populations throughout the SSH refurbishment lifecycle.

(3) Dedicated S-LCA data infrastructure: The development of dedicated and, critically, cost-effective S-LCA databases for building and neighbourhood contexts, analogous to environmental data, could substantially improve data availability, methodological consistency, and cross-study comparability by systematically documenting social baseline conditions in housing environments. Without such data infrastructure, S-LCA is likely to remain fragmented and insufficient for informing not only equitable SSH refurbishment but also broader building refurbishment policy and practice.

(4) Geographic expansion: Research scope must simultaneously expand geographically to under-represented regions, including Africa, Latin America, and Asia, investigating how assessment methodologies adapt to alternative housing tenure systems, governance frameworks, and social priorities specific to non-European contexts. Given that most of the reviewed studies concentrate on Europe (Section 3.1.2), limiting the relevance and transferability of SSH refurbishment approaches to the global majority facing acute housing affordability and energy poverty challenges. Future empirical applications in countries such as India, Brazil, and China, where emerging research activity was observed in Phase 2 (Section 3.1.2), could enhance methodological diversity and contextual robustness.

(5) Multi-scale assessment: Assessment understandings must advance beyond the building scale that currently dominates (44% of reviewed studies) to district and neighbourhood scales. Future research should prioritise multi-scale modelling approaches capable of capturing cross-building synergies, shared infrastructure effects, and neighbourhood-level social outcomes such as community cohesion and cultural continuity.

In summary, the principal research gaps relate to (1) S-LCA methodological fragmentation, (2) limited LCSA integration, (3) restricted geographic representation, (4) insufficient neighbourhood-scale assessment, and (5) inadequate standardisation of stakeholder engagement practices. Addressing these gaps (1) through (5) is essential for achieving harmonised methodological development, improved data infrastructures, expanded global application, and integrated multi-scale frameworks, which is essential for enabling SSH refurbishment to achieve climate neutrality by 2050 while preserving housing affordability, energy access, and social equity for Europe's most vulnerable populations.

5. Conclusions

This systematic review of 120 peer-reviewed documents (2015–2025) examined the sustainability

assessment methodologies applied to Sustainable Social Housing (SSH) refurbishment. By integrating bibliometric analysis with content analysis, the review shows that LCA and LCC are methodologically mature and widely applied, whereas S-LCA remains scarce and fragmented. This imbalance underscores the under-representation and methodological inconsistency of S-LCA in refurbishment literature, and systematically documents geographic, scale-related, and stakeholder-engagement gaps (outlined in Section 4). This imbalance reflects gaps in S-LCA methodological standardisation and limited attention to social sustainability despite its critical importance to equitable and affordable housing renovation, which is also emphasised by the EU and the UN policy frameworks. Beyond this central imbalance, the review also documents geographic concentration in Europe, a predominant focus on the building rather than the neighbourhood and district scale, and the absence of standardised stakeholder engagement protocols.

These findings demonstrate the value of the review in addressing the gaps it identifies. First, it consolidates a dispersed body of work into a coherent evidence base, allowing the current state of SSH refurbishment assessment to be seen as a whole for the first time. Second, it clarifies how existing assessment methodologies are applied and reveals where current practices fail to capture social dimensions, moving the field beyond a general awareness that 'social sustainability is overlooked' and towards specific, actionable methodological shortcomings. Third, it points to concrete methodological and empirical pathways for future studies. In doing so, the review offers a reference framework for researchers, practitioners, and policymakers seeking to work on social housing refurbishment strategies that jointly address climate neutrality, affordability, and social equity. It also supports future researchers in developing more standardised S-LCA applications (similar to LCA and LCC), thus improving the interpretability and comparability of results across different contexts.

Finally, building on this evidence base, achieving equitable and better sustainable social housing (SSH) refurbishments requires three interconnected advances: (1) developing standardised S-LCA protocols analogous to LCA for global accessibility including clearer indicator sets, system boundaries, and reporting practices, supported by guidance from ISO 14075:2024 (International Organization for Standardization, 2024) and the UNEP/SETAC guidelines (UNEP, 2020) (while recognising that such standardisation is inherently challenging due to the context-specific and culturally embedded nature of social impacts); (2) advancing social sustainability metrics (particularly S-LCA) and integrating them systematically into LCSA frameworks, supported by dedicated, cost-effective S-LCA databases, and extending their application beyond the current European concentration to under-represented regions and to the district and neighbourhood scale, where cross-building and community-level social outcomes remain largely unassessed; and (3) establishing inclusive stakeholder engagement frameworks throughout the lifecycle, supported by standardised protocols for identifying and engaging affected communities and vulnerable populations, to ensure their transparent and meaningful participation. Taken together, these advances would make S-LCA studies more comparable, reproducible, and policy-relevant, and would position SSH refurbishment to contribute to climate neutrality by 2050 without compromising affordability, energy access, or social equity for Europe's most vulnerable populations.

Acknowledgements

This research was conducted as part of the PhD research, which is a part of the project PNRR-NGEU, which has received funding from the MUR–DM 118/2023. The authors gratefully acknowledge the support from the H2020 EU-funded project Climate Positive Circular Communities (grant agreement ID: 101036723), which aims at creating climate-positive circular communities in Europe and increasing the building renovation rate in the continent. The authors also gratefully acknowledge the support from the HORIZON EU-funded project ProLight (grant agreement ID: 101079902).

Authors Contribution

The authors' contributions are equally divided for this article.

Bibliography

Abdelmageed S. & Zayed T. (2020). A study of literature in modular integrated construction - Critical review and future directions. *Journal of Cleaner Production*, *277*, 124044. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124044

Afshan N. & Sinha R.C. (2023). An investigation of the parameters affecting affordable housing location choice. *Engineering Proceedings*, *53*(1), 33. https://doi.org/10.3390/IOCBD2023-15359

Amini Toosi H., Lavagna M., Leonforte F., Del Pero C. & Aste N. (2020). Life cycle sustainability assessment in building energy retrofitting: A review. *Sustainable Cities and Society*, *60*, 102248. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102248

Amini Toosi H., Lavagna M., Leonforte F., Del Pero C. & Aste N. (2022). A novel LCSA–machine-learning-based optimization model for sustainable building design: A case study of energy storage systems. *Building and Environment*, *209*, 108656. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108656

Anastasiya B.-V., Elena T. & Oleg B. (2023). Cities' sustainable development: Revealing interproject synergies and trade-offs and making them manageable. *Public Administration Issues*, (5), 130–146. https://doi.org/10.17323/1999-5431-2023-0-5-130-146

Arceo A., Touchie M. & O'Brien W. (2025). Beyond density: Examining overlooked drivers of housing and neighborhood greenhouse gas emissions. *Sustainable Cities and Society*, *120*, 106131. https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106131

Babos A., Csizmady A., Orbán A. & Szabó J. (2023). Evaluation framework for social impact on the E-Co-Housing project in Budapest. *Periodica Polytechnica Social and Management Sciences*, *32*(1), 47–57. https://doi.org/10.3311/PPso.17956

Baharudin R., Md Hashim N. & Abdul Malek J. (2021). Bibliometric analysis of knowledge and awareness toward climate change from 2010 to 2019. *Proceedings of the RSU International Research Conference 2020*, 1577–1589. https://doi.org/10.14458/RSU.res.2020.46

Balasbaneh A.T., Yeoh D. & Zainal Abidin A.R. (2020). Life cycle sustainability assessment of window renovations in schools against noise pollution in tropical climates. *Journal of Building Engineering*, *32,* 101784. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101784

Balocco C., Pierucci G. & De Lucia M. (2022). An experimental method for building energy need evaluation at real operative conditions. A case study validation. *Energy and Buildings*, *266*, 112114. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112114

Batra R. (2023). Review of public–private partnerships across building sectors in nine European countries: Key adaptations for PPP in housing. *Engineering, Construction and Architectural Management*, *30*(7), 2904–2927. https://doi.org/10.1108/ECAM-07-2021-0664

Bertoldi P., Maduta C., Tsemekidi-Tzeiranaki S., D'Agostino D., Paci D., Clementi E.L. & Castellazzi L. (2025). Transformative investment strategy for carbon–neutral residential buildings in the European Union. *Energy and Buildings*, *347*, 116232. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.116232

Borri E., Zsembinszki G. & Cabeza L.F. (2024). Evaluation of the social impact of an energy system for residential heating applications based on a novel seasonal thermal energy storage. *Journal of Energy Storage*, *86*, 111210. https://doi.org/10.1016/j.est.2024.111210

Borrion A., Matsushita J., Austen K., Johnson C. & Bell S. (2019). Development of LCA calculator to support community infrastructure co-design. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *24*(7), 1209–1221. https://doi.org/10.1007/s11367-018-1492-2

Bottero M. & Datola G. (2020). Addressing social sustainability in urban regeneration processes. An application of the social multi-criteria evaluation. *Sustainability*, *12*(18), 7579. https://doi.org/10.3390/su12187579

CEN. (2011). *Sustainability of construction works—Assessment of environmental performance of buildings—Calculation method* (CEN Standard No. EN 15978:2011).

CEN. (2014). *Sustainability of construction works—Assessment of social performance of buildings—Calculation methodology* (CEN Standard No. EN 16309:2014).

Centre for Science and Technology Studies, Leiden University. (2024). *VOSviewer - Visualizing scientific landscapes*. https://www.vosviewer.com/

Chen X., Su S., Yuan J., Li J., Lou F. & Wang Q. (2024). Analyzing the environmental, economic, and

social sustainability of prefabricated components: Modeling and case study. *Sustainability (Switzerland)*, *16*(1), 342. https://doi.org/10.3390/su16010342

Cherian P., Palaniappan S., Menon D. & Anumolu M.P. (2020). Comparative study of embodied energy of affordable houses made using GFRG and conventional building technologies in India. *Energy and Buildings*, *223*, 110138. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110138

Christoffersen J., Grollov S.T., Philips W. & Hafner M. (2023). Healthy Homes Barometer 2022: Its impact on health and life satisfaction, as well as its wider socio-economic costs. In P. Pilehchi Ha M. Schweiker B. Kobas S. Koth & T. Auer (Eds.), *Proceedings of Healthy Buildings Europe 2023: Beyond Disciplinary Boundaries* (Vol. 1, pp. 439-446). International Society of Indoor Air Quality and Climate. https://mms.isiaq.org/members/store_product.php?orgcode=ISIA&pid=85511573

Colina Vargas A., Espinoza-Mina M., Alvarez D.L. & Espinosa J.N. (2022). Bibliometric software: The most commonly used in research. *CEUR Workshop Proceedings*, *3282*, 47–65. https://ceur-ws.org/Vol-3282/icaiw_aiesd_1.pdf

Dani A.A., Feng R., Fang Z. & Roy K. (2025). Life cycle assessment of a structural insulated panel modular house in New Zealand. *Buildings*, *15*(1), 1535. https://doi.org/10.3390/buildings15010146

Di Ruocco G. (2024). Renovation Wave in Europe: Low-carbon design for the refurbishment of social housing in Southern Italy. *Buildings*, *14*(6), 1535. https://doi.org/10.3390/buildings14061535

Dissanayake C. & Weerasinghe U.G.D. (2021). Urban microclimate and outdoor thermal comfort of public spaces in warm-humid cities: A comparative bibliometric mapping of the literature. *American Journal of Climate Change*, *10*(04), 433–466. https://doi.org/10.4236/ajcc.2021.104023

Eleftheriou E., Lopez Muñoz L.F., Habert G. & Zea Escamilla E. (2022). Parametric approach to simplified life cycle assessment of social housing projects. *Sustainability*, *14*(12), 7409. https://doi.org/10.3390/su14127409

Engelken M., Römer B., Drescher M., Welpe I.M. & Picot A. (2016). Comparing drivers, barriers, and opportunities of business models for renewable energies: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *60*, 795–809. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.163

Escorcia Hernández J.R., Torabi Moghadam S., Sharifi A. & Lombardi P. (2023). Cities in the times of COVID-19: Trends, impacts, and challenges for urban sustainability and resilience. *Journal of Cleaner Production*, *432*, 139735. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139735

Fahlstedt O., Ramesh R., Hamdy M., Temeljotov-Salaj A., Rasmussen F.N. & Bohne R. A. (2024). Building renovation plan - introducing energy and cost into the managerial perspectives: A case study. *Energy and Buildings*, *310*, 114080. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114080

Fanghella V. & Della Valle N. (2021). A behavioral model for in-home displays usage in social housing districts. In A. Bisello, D. Vettorato, H. Haarstad & J. Borsboom-van Beurden (Eds.), *Smart and sustainable planning for cities and regions: Results of SSPCR 2019* (pp. 511–524). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57332-4_36

Farrukh M., Meng F., Raza A. & Tahir M.S. (2020). Twenty seven years of Sustainable Development Journal: A bibliometric analysis. *Sustainable Development*, *28*(6), 1725–1737. https://doi.org/10.1002/sd.2120

Feng H., Liyanage D.R., Karunathilake H., Sadiq R. & Hewage K. (2020). BIM-based life cycle environmental performance assessment of single-family houses: Renovation and reconstruction strategies for aging building stock in British Columbia. *Journal of Cleaner Production*, *250*, 119543. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119543

Ferlito T.-L., Musonda I., Tjebane M.M. & Onososen A. (2022). Systematic literature review on sustainable construction strategies for the development of affordable housing. *International Conference on Construction in the 21st Century,* 195–203. https://pure.uj.ac.za/en/publications/systematic-literature-review-on-sustainable-construction-strategi/

Fernandez L.I.C., Caldas L.R. & Mendoza Reales O.A. (2023). Environmental evaluation of 3D printed concrete walls considering the life cycle perspective in the context of social housing. *Journal of Building Engineering*, *74*, 106915. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106915

Gámez-García D.C., Saldaña-Márquez H., Gómez-Soberón J.M., Arredondo-Rea S.P., Gómez-Soberón M.C. & Corral-Higuera R. (2019). Environmental challenges in the residential sector: Life cycle assessment of Mexican social housing. *Energies*, *12*(14), 2837. https://doi.org/10.3390/en12142837

Goedkoop M.J., de Beer I.M., Harmens R., Saling P., Morris D., Florea A., Hettinger A.L., Indrane D., Visser D., Morao A., Musoke-Flores E., Alvarado C., Rawat I., Schenker U., Head M., Collotta M., Andro T., Viot J.-F. & Whatelet A. (2020). *Product social impact assessment handbook 2020*. PRé Sustainability.

Hernandez P., Hernandez J., Urra I. & Grisaleña D. (2019). Life cycle environmental and cost evaluation of heating and hot water supply in social housing nZEBs. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *323*(1), 012162. https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012162

Hernandez-Cruz P., Flores-Abascal I., Hidalgo-Betanzos J.M., Almeida M. & Erkoreka-Gonzalez A. (2024). Environmental and energy analysis of the renovation of social housing buildings under various climate change scenarios and user profiles. *Journal of Building Engineering*, *98*, 111164. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.111164

Hong J., Kang H., Jung S., Sung S., Hong T., Park H.S. & Lee D.-E. (2020). An empirical analysis of environmental pollutants on building construction sites for determining the real-time monitoring indices. *Building and Environment*, *170*, 106636. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106636

Huijbregts M.A.J., Hellweg S., Frischknecht R., Hendriks H.W.M., Hungerbühler K. & Hendriks A.J. (2010). Cumulative energy demand as predictor for the environmental burden of commodity production. *Environmental Science & Technology*, *44*(6), 2189–2196. https://doi.org/10.1021/es902870s

Hunkeler D. (2016). Life Cycle Assessment (LCA): A guide to best practice. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *21*(7), 1063–1066. https://doi.org/10.1007/s11367-016-1083-z

Hunter G.W., Sagoe G., Vettorato D. & Jiayu D. (2019). Sustainability of low carbon city initiatives in China: A comprehensive literature review. *Sustainability*, *11*(16), 4342. https://doi.org/10.3390/su11164342

International Organization for Standardization. (2017). *Buildings and constructed assets—Service life planning—Part 5: Life-cycle costing* (ISO Standard No. 15686-5:2017). https://www.iso.org/standard/61148.html

International Organization for Standardization. (2020a). *Environmental management—Life cycle assessment—Principles and framework* (ISO Standard No. 14040:2006+A1:2020). https://www.iso.org/standard/37456.html

International Organization for Standardization. (2020b). *Environmental management—Life cycle assessment—Requirements and guidelines* (ISO Standard No. 14044:2006+A2:2020). https://www.iso.org/standard/38498.html

International Organization for Standardization. (2024). *Environmental management—Principles and framework for social life cycle assessment* (ISO Standard No. 14075:2024). https://www.iso.org/standard/61118.html

IPCC. (2014). *Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.

IPCC. (2023a). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009325844

IPCC. (2023b). *Climate change 2022: Mitigation of climate change. Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009157926

Ira R.T. (2021). *Effect of construction on the environment*. Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.4770033

Jiang W. & Kang W. (2019). A review on the low-carbon city study: Development and trends. *Chinese Journal of Urban and Environmental Studies*, *7*(2), 1950006. https://doi.org/10.1142/S2345748119500064

Jolliet O., Margni M., Charles R., Humbert S., Payet J., Rebitzer G. & Rosenbaum R. (2003). IMPACT 2002+: A new life cycle impact assessment methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *8*(6), 324. https://doi.org/10.1007/BF02978505

Jones A. & Valero-Silva N. (2021). Social impact measurement in social housing: A theory-based investigation into the context, mechanisms and outcomes of implementation. *Qualitative*

Research in Accounting and Management, *18*(3), 361–389. https://doi.org/10.1108/QRAM-01-2019-0023

Jørgensen M.B., Kristoffersen A.E. & Kamari A. (2025). Evaluating the environmental impact of building renovation depth: A Danish perspective. *Sustainability*, *17*(24), 11107. https://doi.org/10.3390/su172411107

Josa I. & Borrion A. (2025). Rebuilding or retrofitting? An assessment of social impacts using Social Life Cycle Assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, *112*, 107794. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2024.107794

Kamal-Chaoui L. & Robert A. (2009). *Competitive cities and climate change* (OECD Regional Development Working Papers No. 2009/02). OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/218830433146

Kameni Nematchoua M. & Andre Marie M. M. (2025). Reducing the environmental footprint of urban housing in sub-Saharan Africa: A case study of Cameroon. *Buildings*, *15*(12), 2141. https://doi.org/10.3390/buildings15122141

Keena N., Rondinel-Oviedo D.R., Pomasonco-Alvis M. & Bouffard A. (2024). Beyond Green: Integrating economic and social aspects to environmental life cycle assessments in Canadian housing. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1363*(1), 012017. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1363/1/012017

Krings A. & Schusler T.M. (2020). Equity in sustainable development: Community responses to environmental gentrification. *International Journal of Social Welfare*, *29*(4), 321–334. https://doi.org/10.1111/ijsw.12425

Kwok K.H., Savaget P., Fukushige S. & Halog A. (2024). The necessity for end-of-life photovoltaic technology waste management policy: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*, *461*, 142497. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142497

Larrea-Sáez L., Cuevas C. & Casas-Ledón Y. (2023). Energy and environmental assessment of the Chilean social housing: Effect of insulation materials and climates. *Journal of Cleaner Production*, *392*, 136234. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136234

Larrea-Sáez L., Muñoz E., Cuevas C. & Casas-Ledón Y. (2024). Optimizing insulation and heating systems for social housing in Chile: Insights for sustainable energy policies. *Energy*, *290*, 130024. https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.130024

Larsen V.G., Antoniucci V., Tollin N., Sattrup P.A., Jens K., Birkved M., Holmboe T. & Marella G. (2023). A methodological framework to foster social value creation in architectural practice. *Sustainability*, *15*(3), 1849. https://doi.org/10.3390/su15031849

Leichter M., Dodoo A. & Piccardo C. (2025). Life cycle assessment of energy renovation versus demolition and new construction in the context of a social housing project. *Clean Technologies and Environmental Policy*, *27*(4), 1845–1861. https://doi.org/10.1007/s10098-024-03054-z

Leichter M. & Piccardo C. (2024). Assessing life cycle sustainability of building renovation and reconstruction: A comprehensive review of case studies and methods. *Building and Environment*, *262*, 111817. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111817

Lu Y., Chen Y., Jiang Z., Ge Y., Yao R., Geng S., Zhang J., Chen F., Wang Y., Chen G. & Yang D. (2023). Research progress of ferroptosis in Parkinson's disease: A bibliometric and visual analysis. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *15*, 1278323. https://doi.org/10.3389/fnagi.2023.1278323

Luque Castillo X. & Yepes V. (2025a). Life cycle assessment of social housing construction: A multicriteria approach. *Building and Environment*, *282*, 113294. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113294

Luque Castillo X. & Yepes V. (2025b). Multi-criteria decision methods in the evaluation of social housing projects. *Journal of Civil Engineering and Management*, *31*(6), 608–630. https://doi.org/10.3846/jcem.2025.24425

Magdy Y. & Elhamy A.A. (2023). Energy optimization for affordable housing via microclimate and energy simulation, case study: Bashayer El Kheir 1, Alexandria, Egypt. *Future Cities and Environment*, *9*(1). https://doi.org/10.5334/fce.186

Marrero M., Rivero-Camacho C., Martínez-Rocamora A., Alba-Rodríguez D. & Lucas-Ruiz V. (2024). Holistic assessment of the economic, environmental, and social impact of building construction. Application to housing construction in Andalusia. *Journal of Cleaner Production*, *434*, 140170.

https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140170
Martínes J.S., Barros E., Padrón K., Aguirre J., Matasci C., Crenna E., Gauch M., Vanegas P. & Sucozhañay D. (2025). Assessing the sustainability of local construction materials in Ecuador through an interdisciplinary approach. *Sustainability*, *17*(5), 1775. https://doi.org/10.3390/su17051775
Mohaddes Khorassani S., Ferrari A.M., Pini M., Settembre Blundo D., García Muiña F.E. & García J.F. (2019). Environmental and social impact assessment of cultural heritage restoration and its application to the Uncastillo Fortress. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *24*(7), 1297–1318. https://doi.org/10.1007/s11367-018-1493-1
Monteiro C.S., Causone F., Cunha S., Pina A. & Erba S. (2017). Addressing the challenges of public housing retrofits. *Energy Procedia, 134,* 442–451. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.600
Moore T., Sheriff G., Whaley D.M. & Berry S.R. (2019). Does tenure matter for occupant experiences of low-energy housing? *Smart Innovation, Systems and Technologies*, *131*, 453–463. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04293-6_44
Nikolic J., Thellufsen J.Z., Sorknæs P., Madsen P.T. & Nørgaard L.S. (2025). Let's make PED work - How current knowledge can contribute to future positive energy districts. *Sustainable Cities and Society*, *132*, 106817. https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106817
Noka V., Schumacher K., Weiß J. & Bergmann J. (2022). Socio-ecological transformation of residential heating in Berlin (Paper No. 7-042-22). In *eceee 2022 Summer Study proceedings* (pp. 945–954). European Council for an Energy Efficient Economy.
Pan L. & Chu L.M. (2016). Energy saving potential and life cycle environmental impacts of a vertical greenery system in Hong Kong: A case study. *Building and Environment*, *96*, 293–300. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.06.033
Passarelli R.N. & Mouton B.J. (2023). Embodied life cycle impacts of lightweight building methods for affordable houses in the USA: Comparison of conventional, circular, and regenerative strategies. *Journal of Building Engineering*, *77*, 107513. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107513
Passas I. (2024). Bibliometric analysis: The main steps. *Encyclopedia*, *4*(2), 1014–1025. https://doi.org/10.3390/encyclopedia4020065
Rincón C.E., Montoya J.A. & Archila H.F. (2023). Bamboo construction inspired by vernacular techniques for reducing carbon footprint: A life cycle assessment (LCA). *Sustainability*, *15*(24), 16893. https://doi.org/10.3390/su152416893
Robinson-Garcia N., Sugimoto C.R., Murray D., Yegros-Yegros A., Larivière V. & Costas R. (2019). The many faces of mobility: Using bibliometric data to measure the movement of scientists. *Journal of Informetrics*, *13*(1), 50–63. https://doi.org/10.1016/j.joi.2018.11.002
Rocha-Tamayo A., García-Troncoso N., Josa I. & de la Fuente A. (2025). Sustainability-based comparison of local bahareque and conventional reinforced concrete structural system for social housing construction. *Frontiers in Sustainable Cities*, *7,* 1634678. https://doi.org/10.3389/frsc.2025.1634678
Roversi R., Cumo F., Gugliermetti L., Pennacchia E. & Pavan G. (2017). Building environments for an ageing society. Surveying tools and intervention strategies. *Journal of Technology for Architecture and Environment*, *14*, 309–318.
Ruiz A. & Guevara J. (2021). Energy efficiency strategies in the social housing sector: Dynamic considerations and policies. *Journal of Management in Engineering*, *37*(4). https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000937
Sabando-Vera D., Montalván-Burbano N., Parrales-Guerrero K., Yonfá-Medranda M. & Plaza-Úbeda J. A. (2025). Growing a greener future: A bibliometric analysis of green innovation in SMEs. *Technological Forecasting and Social Change*, *212*, 123976. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2025.123976
Saez V.C., Quintana-Gallardo A., Mendiguchía-Fontes F.A., Garzón B.S. & Guillén-Guillamón I. (2024). The present and future of the use phase of social housing in Tucumán, Argentina: An LCA perspective. *Sustainability (Switzerland)*, *16*(12), 4958. https://doi.org/10.3390/su16124958
Salim H.K., Stewart R.A., Sahin O. & Dudley M. (2019). Drivers, barriers and enablers to end-of-life management of solar photovoltaic and battery energy storage systems: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, *211*, 537–554. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.229

Salzer C., Wallbaum H., Ostermeyer Y. & Kono J. (2017). Environmental performance of social housing in emerging economies: Life cycle assessment of conventional and alternative construction methods in the Philippines. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *22*(11), 1785–1801. https://doi.org/10.1007/s11367-017-1362-3

Satola D., Kristiansen A.B., Houlihan-Wiberg A., Gustavsen A., Ma T. & Wang R.Z. (2020). Comparative life cycle assessment of various energy efficiency designs of a container-based housing unit in China: A case study. *Building and Environment*, *186*. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107358

Sattler S. & Österreicher D. (2019). Assessment of sustainable construction measures in building refurbishment—life cycle comparison of conventional and multi-active façade systems in a social housing complex. *Sustainability*, *11*(16), 4487. https://doi.org/10.3390/su11164487

Seddiki M. & Bennadji A. (2025). A life cycle carbon assessment and multi-criteria decision-making framework for building renovation within the circular economy context: A case study. *Buildings*, *15(11),* 1894. https://doi.org/10.3390/buildings15111894

Serrano-Jimenez A., Barrios-Padura A. & Molina-Huelva M. (2017). Towards a feasible strategy in Mediterranean building renovation through a multidisciplinary approach. *Sustainable Cities and Society*, *32*, 532–546. https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.05.002

Settembre Blundo D., Ferrari A.M., Fernández del Hoyo A., Riccardi M.P. & García Muiña F.E. (2018). Improving sustainable cultural heritage restoration work through life cycle assessment based model. *Journal of Cultural Heritage*, *32*, 221–231. https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.01.008

Shama Z.S. & Motlak J.B. (2019). Indicators for sustainable housing. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *518*(2), 022009. https://doi.org/10.1088/1757-899X/518/2/022009

Shinde R., Froemelt A., Kim A. & Hellweg S. (2022). A novel machine-learning approach for evaluating rebounds-associated environmental footprint of households and application to cooperative housing. *Journal of Environmental Management*, *304*, 114205. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114205

Singh V.K., Singh P., Karmakar M., Leta J. & Mayr P. (2021). The journal coverage of Web of Science, Scopus and Dimensions: A comparative analysis. *Scientometrics*, *126*(6), 5113–5142. https://doi.org/10.1007/s11192-021-03948-5

Sula M., Mahapatra K. & Mainali B. (2022). Addressing housing shortage through energy and space-efficient retrofitting: The case study of a Swedish single-family house. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1085*(1), 012038. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1085/1/012038

Tajani F. & Morano P. (2015). An evaluation model of the financial feasibility of social housing in urban redevelopment. *Property Management*, *33*(2), 133–151. https://doi.org/10.1108/PM-02-2014-0007

Teng Y., Li Z., Li T., Li Y., Gong E., Tiong R.L.K. & Liu S. (2024). Regeneration diagnosis for the service lifespans of residential buildings on a circular economy perspective. *Energy and Buildings*, *319,* 114536. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114536

Thibault G., Simon L. & Robin G. (2025). Integrating life cycle sustainability assessment into building renovation strategies. *Building and Environment*, *286*, 113694. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113694

Tokede O. & Traverso M. (2020). Implementing the guidelines for social life cycle assessment: Past, present, and future. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *25*(10), 1910–1929. https://doi.org/10.1007/s11367-020-01814-9

Torabi Moghadam S., Delmastro C., Corgnati S.P. & Lombardi P. (2017). Urban energy planning procedure for sustainable development in the built environment: A review of available spatial approaches. *Journal of Cleaner Production*, *165*, 811–827. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.142

Tseng Y.-H. & Tsay M.-Y. (2013). Journal clustering of library and information science for subfield delineation using the bibliometric analysis toolkit: CATAR. *Scientometrics*, *95*(2), 503–528. https://doi.org/10.1007/s11192-013-0964-1

United Nations Environment Programme. (2009). *Guidelines for social life cycle assessment of products* (C. Benoît & B. Mazijn, Eds.).

United Nations Environment Programme. (2020). *Guidelines for social life cycle assessment of products and organizations 2020* (C. Benoît Norris M. Traverso S. Neugebauer E. Ekener T.

Schaubroeck S. Russo Garrido M. Berger S. Valdivia A. Lehmann M. Finkbeiner & G. Arcese, Eds.).
United Nations Environment Programme. (2021). *Methodological sheets for subcategories in social life cycle assessment (S-LCA) 2021* (M. Traverso S. Valdivia A. Luthin L. Roche G. Arcese S. Neugebauer L. Petti M. D'Eusanio B. M. Tragnone R. Mankaa J. Hanafi C. Benoît Norris & A. Zamagni, Eds.).
United Nations Department of Economic and Social Affairs. (2025). *The Sustainable Development Goals report 2025*. https://unstats.un.org/sdgs/report/2025
United Nations Human Settlements Programme. (2022). *World Cities Report 2022: Envisaging the future of cities*. https://unhabitat.org/wcr/2022/
Vaismoradi M., Turunen H. & Bondas T. (2013). Content analysis and thematic analysis: Implications for conducting a qualitative descriptive study. *Nursing & Health Sciences*, *15*(3), 398–405. https://doi.org/10.1111/nhs.12048
Van De Moortel E., Allacker K., De Troyer F., Stijnen L. & Schoofs E. (2019a). Energy renovation of social housing: Finding a balance between increasing insulation and improving heating system efficiency. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *290*(1), 012137. https://doi.org/10.1088/1755-1315/290/1/012137
Van De Moortel E., Allacker K., De Troyer F., Stijnen L. & Schoofs E. (2019b). Life cycle environmental impact of refurbishment of social housing. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *323*(1), 012013. https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012013
van Eck N.J. & Waltman L. (2007). VOS: A new method for visualizing similarities between objects. In R. Decker & H.-J. Lenz (Eds.), *Advances in data analysis: Proceedings of the 30th Annual Conference of the Gesellschaft für Klassifikation* (pp. 299–306). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-70981-7_34
van Eck N.J. & Waltman L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, *84*(2), 523–538. https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3
Wang X., Wang G., Chen T., Zeng Z. & Heng C.K. (2023). Low-carbon city and its future research trends: A bibliometric analysis and systematic review. *Sustainable Cities and Society*, *90*, 104381. https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104381
Wieser A.A., Scherz M., Passer A. & Kreiner H. (2021). Challenges of a healthy built environment: Air pollution in construction industry. *Sustainability*, *13*(18), 10469. https://doi.org/10.3390/su131810469
Yuan H. & Shen L. (2011). Trend of the research on construction and demolition waste management. *Waste Management*, *31*(4), 670–679. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.10.030
Yushchenko A. & Patel M.K. (2016). Contributing to a green energy economy? A macroeconomic analysis of an energy efficiency program operated by a Swiss utility. *Applied Energy*, *179*, 1304–1320. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.12.028
Zea Escamilla E. & Habert G. (2017). Method and application of characterisation of life cycle impact data of construction materials using geographic information systems. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *22*(8), 1210–1219. https://doi.org/10.1007/s11367-016-1238-y
Zea Escamilla E., Habert G. & Wohlmuth E. (2016). When CO2 counts: Sustainability assessment of industrialized bamboo as an alternative for social housing programs in the Philippines. *Building and Environment*, *103*, 44–53. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.04.003

valori e valutazioni
teorie ed esperienze

Società Italiana di Estimo e Valutazione

Valutazione della sostenibilità del ciclo di vita degli interventi di ristrutturazione dell'edilizia sociale sostenibile: una revisione sistematica

Belal Neazi[1,2,*], Sara Torabi Moghadam[1], Gianluca Grazieschi[2], Patrizia Lombardi[1], Adriano Bisello[2]

[1] Dipartimento Interateneo di Scienze, Progetto e Politiche del Territorio - DIST, Politecnico di Torino, Viale Mattioli 39, 10125, Torino, Italia; belal.neazi@polito.it; sara.torabi@polito.it; patrizia.lombardi@polito.it
[2] Istituto per le energie rinnovabili, Eurac Research, Via Alessandro Volta 13/A, 39100, Bolzano, Italia; gianluca.grazieschi@eurac.edu; adriano.bisello@eurac.edu
* autore corrispondente

Parole chiave

edilizia sociale; ristrutturazione; valutazione della sostenibilità del ciclo di vita (LCSA); valutazione del ciclo di vita (LCA); valutazione dei costi del ciclo di vita (LCC); valutazione sociale del ciclo di vita (S-LCA)

Abstract

L'Unione Europea ha avviato strategie di ristrutturazione del patrimonio edilizio per affrontare l'invecchiamento del parco edilizio e sostenere la neutralità climatica. Nell'edilizia sociale, tuttavia, la ristrutturazione deve conciliare l'accessibilità economica, l'efficienza energetica, la prevenzione della gentrificazione verde e il coinvolgimento inclusivo dei portatori di interesse. La ricerca attuale è ancora frammentata e si concentra soprattutto sulle dimensioni ambientali ed economiche, trascurando quelle sociali. Questo contributo propone una revisione sistematica delle metodologie di valutazione della sostenibilità lungo il ciclo di vita (LCSA), ossia LCA, LCC e S-LCA, applicate alla ristrutturazione dell'edilizia sociale, al fine di individuare le tendenze di ricerca, le lacune e le direzioni future. È stata adottata una metodologia di revisione sistematica articolata in tre fasi: (i) identificazione della letteratura, (ii) analisi bibliometrica quantitativa e (iii) analisi qualitativa dei contenuti. Sulla base di 120 documenti sottoposti a revisione tra pari pubblicati tra il 2015 e il 2025, lo studio classifica la letteratura in funzione degli interventi edilizi, delle dimensioni della sostenibilità e dell'applicazione di LCA, LCC e S-LCA. I risultati mostrano forti squilibri geografici e disciplinari: la LCA è la metodologia più utilizzata, seguita dalla LCC, mentre la S-LCA resta ancora limitata e meno matura. La scarsa maturità metodologica della S-LCA ne riduce inoltre la comparabilità tra studi. Per rendere l'edilizia sociale più equa e sostenibile, sono necessari protocolli S-LCA standardizzati, metriche sociali più solide e forme di coinvolgimento inclusivo dei portatori di interesse lungo l'intero ciclo di vita.

1. Introduzione

Le aree urbane sono responsabili di oltre il 60% delle emissioni globali di gas a effetto serra (GHG). Nel 2019, il settore delle costruzioni ha contribuito a circa il 21% delle emissioni mondiali di GHG (IPCC, 2023b). Di queste emissioni, il 57% era costituito da CO_2 indiretta, il 24% da CO_2 diretta e il 18% era riconducibile alla produzione dei componenti edilizi (IPCC, 2023b). Tra il 1990 e il 2019, le

emissioni globali di CO_2 riconducibili agli edifici sono aumentate del 50% (IPCC, 2023a). Nel 2021, circa il 56% della popolazione mondiale risiedeva in centri urbani, quota che si prevede raggiungerà il 68% entro il 2050 (United Nations Human Settlements Programme, 2022); tali aree consumano tra il 60% e l'80% dell'energia globale e generano una quota analoga delle emissioni di CO_2 (Kamal-Chaoui & Robert, 2009). Questi andamenti evidenziano il ruolo degli edifici nella mitigazione climatica e sottolineano l'importanza di migliorare le prestazioni del patrimonio edilizio esistente.

Oltre alla sua impronta climatica, il settore delle costruzioni costituisce una delle principali fonti di occupazione, ma anche un rilevante contributore all'inquinamento (Ira, 2021), generando, lungo l'intero ciclo di vita degli edifici, inquinamento atmosferico, rumore e inquinamento idrico che incidono sia sull'ambiente sia sulla salute umana (Hong et al., 2020; Wieser et al., 2021). All'interno di questo settore, l'edilizia residenziale riveste una posizione distintiva: l'abitare sostenibile rappresenta un indicatore cruciale del livello di sviluppo di un Paese, poiché include dimensioni sociali, economiche e ambientali e svolge un ruolo significativo nel conseguimento degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (in particolare quelli relativi a città e comunità sostenibili, riduzione della povertà e delle disuguaglianze, salute, energia e azione per il clima) (Shama & Motlak, 2019). L'abitare sostenibile è strettamente connesso a diverse sfaccettature dello sviluppo sostenibile, in quanto mira a garantire una migliore qualità della vita, ambienti stabili e salubri a costi accessibili, bilanciando al contempo le dimensioni economica, sociale e ambientale della sostenibilità nelle fasi di progettazione e costruzione (Shama & Motlak, 2019). In questo quadro più ampio, l'edilizia residenziale sociale assume un rilievo particolare, poiché interviene direttamente sull'accessibilità economica e sull'accesso all'alloggio per diversi gruppi sociali, costituendo un passo importante verso una maggiore inclusione sociale nell'Unione europea. Tuttavia, tali interventi possono talvolta generare effetti indesiderati, come la cosiddetta "gentrificazione verde" (dovuta al miglioramento delle prestazioni ambientali e della percezione di attrattività dei quartieri, con conseguente aumento dei canoni e dei valori immobiliari), fenomeno criticato perché rischia di aggravare le disuguaglianze esistenti anziché ridurle (Krings & Schusler, 2020).

Nonostante la centralità della dimensione sociale nell'ambito abitativo, gli aspetti ambientali ed economici della sostenibilità hanno ricevuto finora un'attenzione di gran lunga maggiore in letteratura, mentre la dimensione sociale è stata in generale trascurata (Bottero & Datola, 2020), risultando in particolare poco esplorata nelle valutazioni di sostenibilità legate all'edilizia residenziale. Tuttavia, il contesto sta cambiando, soprattutto alla luce degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite, e in particolare dell'SDG 11 su città e comunità sostenibili, che pone l'accento sulla creazione di insediamenti urbani inclusivi e sostenibili (United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2025). La sostenibilità sociale è ampiamente riconosciuta come un concetto complesso e multidimensionale, che comprende questioni quali disuguaglianze, processi di espulsione degli abitanti e qualità dell'alloggio (Bottero & Datola, 2020). Tali aspetti risultano particolarmente rilevanti quando si affronta il tema della ristrutturazione dell'edilizia residenziale sociale, poiché gli interventi incidono direttamente su residenti spesso vulnerabili. In questo tipo di contesti, i miglioramenti delle prestazioni energetiche o ambientali devono essere bilanciati con l'accessibilità economica, l'inclusione, la tutela contro i fenomeni di displacement e la partecipazione effettiva degli abitanti ai processi decisionali.

Il Green Deal europeo comprende misure legislative volte a sostenere una transizione verde che conduca alla neutralità climatica dell'Unione europea entro il 2050. Uno degli elementi chiave di questa strategia consiste nell'assicurare che la transizione sia al tempo stesso accessibile ed equa. Per raggiungere tale traguardo di neutralità climatica, l'UE ha avviato specifiche strategie di ristrutturazione del patrimonio edilizio, poiché circa il 35% degli edifici esistenti ha più di 50 anni e quasi il 75% è energeticamente inefficiente, pur essendo destinato a rimanere in uso almeno fino al 2050 (Bertoldi et al., 2025). Nonostante la Direttiva sulla prestazione energetica degli edifici, la Direttiva sull'efficienza energetica e l'iniziativa Renovation Wave, i tassi attuali di ristrutturazione rimangono piuttosto bassi (circa l'1% all'anno), e solo lo 0,2% circa del parco edilizio è oggetto di interventi profondi di ristrutturazione fino a livelli di edifici a energia quasi zero (nZEB), ben al di sotto del 5% stimato come necessario affinché l'Europa consegua gli obiettivi di efficienza energetica al 2030 e resti in linea con la traiettoria verso la neutralità climatica (Bertoldi et al., 2025). Di conseguenza,

risulta necessario accelerare la ristrutturazione profonda e ad alte prestazioni del patrimonio esistente, piuttosto che fare affidamento unicamente sulla nuova edificazione nZEB.

Ciò è ancora più rilevante nel settore dell'edilizia sociale, dove povertà energetica, scarso comfort interno e vetustà degli edifici tendono a sovrapporsi e dove gli interventi di ristrutturazione possono contemporaneamente ridurre le emissioni di GHG, abbassare le bollette energetiche e migliorare la salute e le condizioni di vita (Bertoldi et al., 2025). In questo quadro, i Positive Energy Districts (PED), ossia distretti urbani ad alta efficienza energetica con bilanci energetici netti nulli o positivi, stanno emergendo come una soluzione promettente per combinare ristrutturazione profonda, generazione rinnovabile in sito e gestione intelligente dei sistemi (Nikolic et al., 2025). Tuttavia, le ricerche che collegano esplicitamente i PED ai contesti di edilizia sociale sono ancora limitate. Per ampliare la prospettiva oltre il solo concetto di PED e considerata la scarsità di dati relativi a interventi PED su alloggi sociali, questo studio adotta una visione più ampia della sostenibilità. Viene introdotta la nozione di interventi di Edilizia Residenziale Sociale Sostenibile (*Sustainable Social Housing, SSH*), che comprende tutte le tipologie di intervento e di miglioramento sugli alloggi sociali finalizzate a incrementare le prestazioni ambientali, economiche e sociali, andando oltre i soli interventi orientati a PED o nZEB.

Quando sono applicati all'edilizia sociale, i concetti di PED, qui indicati come distretti SSH, possono offrire l'opportunità di migliorare allo stesso tempo l'accessibilità economica, l'efficienza energetica e le condizioni abitative. Lo sfruttamento di tali opportunità rende la ristrutturazione SSH un contesto particolarmente rilevante per valutare la sostenibilità in modo integrato, considerando congiuntamente le dimensioni ambientale, economica e sociale. Data la forte interrelazione tra sistemi abitativi, transizioni urbane verso la sostenibilità ed equità sociale, comprendere come le metodologie di valutazione della sostenibilità vengano applicate alla ristrutturazione dell'edilizia residenziale sociale è essenziale per supportare processi decisionali basati su evidenze nelle città sostenibili e, più in generale, nella loro evoluzione verso la sostenibilità. Le decisioni di ristrutturazione implicano effetti di lungo periodo in termini di materiali, energia, costi e impatti sociali lungo l'intero ciclo di vita dell'edificio. Approcci basati sul ciclo di vita, come la valutazione della sostenibilità del ciclo di vita (*Life Cycle Sustainability Assessment,* LCSA), forniscono un quadro adeguato per cogliere in modo coerente queste molteplici dimensioni per l'intera durata di vita dell'edificio (Balasbaneh et al., 2020). Uno studio precedente di Amini Toosi et al. (2020) ha esaminato l'applicazione della LCSA nella riqualificazione energetica degli edifici, analizzando l'integrazione di LCA, LCC, S-LCA e studi di ciclo di vita multidimensionale e mettendo in evidenza alcune limitazioni metodologiche nelle valutazioni di sostenibilità esistenti. Tuttavia, tali studi non hanno ancora analizzato in modo specifico le metodologie di valutazione della sostenibilità nel contesto della ristrutturazione sostenibile dell'edilizia residenziale sociale (SSH). Si tratta di un vuoto rilevante, poiché in questo ambito equità sociale, accessibilità economica e partecipazione dei portatori di interesse (stakeholder) sono centrali per una valutazione realmente completa, al pari delle dimensioni ambientali ed economiche. Questo vuoto evidenzia la necessità di una rassegna che consolidi un corpo di letteratura finora frammentato, focalizzato sulle metodologie applicate alla ristrutturazione SSH, e che chiarisca in che modo – e con quale efficacia – tali metodologie riescano a cogliere congiuntamente le dimensioni ambientale, economica e sociale.

Alla luce di queste considerazioni, il presente studio propone una revisione sistematica della letteratura volta ad esaminare le metodologie, incluse le metodologie di valutazione della sostenibilità lungo il ciclo di vita (LCA, LCC e S-LCA), attualmente applicate agli interventi di SSH, e a identificare tendenze di ricerca, lacune e possibili direzioni future attraverso le seguenti domande di ricerca:

- Qual è l'attuale stato dell'arte in materia di valutazioni di sostenibilità della ristrutturazione SSH?
- Quali sono le tipologie di intervento edilizio e gli approcci metodologici alle valutazioni di sostenibilità presenti nella letteratura disponibile?
- Quali sono le lacune della ricerca e le possibili direzioni di sviluppo nella ristrutturazione SSH?

Per rispondere a tali quesiti è stata condotta una revisione sistematica della letteratura (*systematic review)* articolata in tre fasi: la prima fase ha riguardato l'identificazione della letteratura e la selezione dei documenti più rilevanti; la seconda fase ha previsto un'analisi bibliometrica quantitativa per la valutazione delle tendenze di ricerca; la terza fase ha comportato un'analisi qualitativa dei contenuti, con particolare attenzione alle tipologie di intervento edilizio e agli approcci metodologici alle valutazioni di sostenibilità, al fine di individuare lacune e possibili direzioni future. Il contributo è strutturato come segue: la Sezione 1 introduce il tema e le domande di ricerca; la Sezione 2 descrive la metodologia; la Sezione 3 presenta i risultati; la Sezione 4 li discute evidenziando gli elementi critici e le direzioni future; la Sezione 5 riporta le conclusioni dello studio.

2. Metodologia

L'approccio metodologico adottato consiste in una revisione sistematica articolata in tre fasi (Fig. 1), adattata dall'impostazione proposta da Torabi Moghadam et al. (2017), Wang et al. (2023) e Escorcia Hernández et al. (2023), e articolata nelle seguenti fasi:

Fase 1 – identificazione della letteratura;

Fase 2 – analisi bibliometrica quantitativa;

Fase 3 – analisi qualitativa dei contenuti.

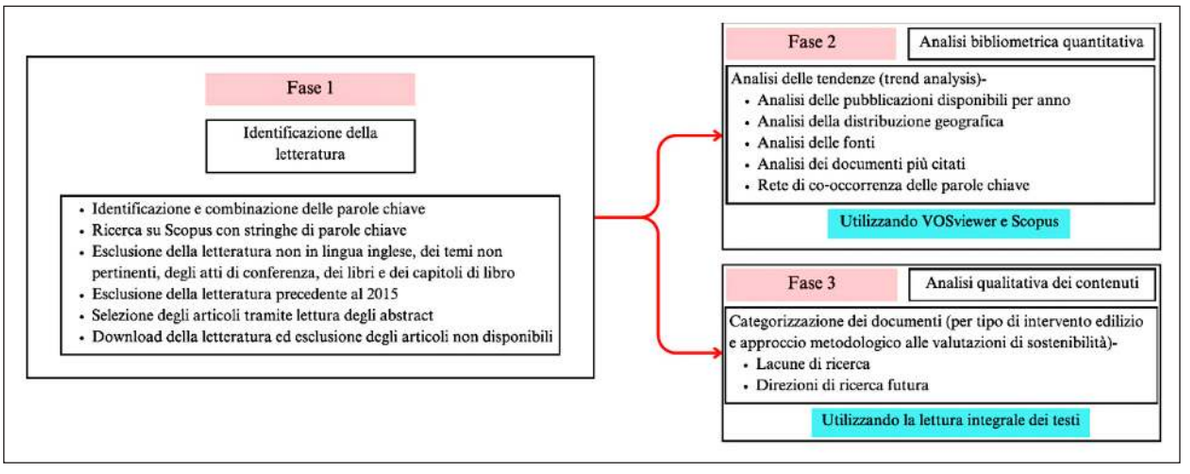


Figura 1. Le diverse fasi della revisione proposta.

2.1. Fase 1 – Identificazione della letteratura

Nella prima fase è stata condotta una ricerca sistematica mediante parole chiave selezionate con attenzione sulla banca dati Scopus. Studi comparativi precedenti hanno evidenziato una sostanziale sovrapposizione tra le riviste indicizzate in Web of Science e in Scopus (Singh et al., 2021), garantendo così la completezza dei dati e l'affidabilità di questa banca dati, riducendo il rischio di esclusione di contributi significativi.

La stringa di ricerca è stata definita per titolo, abstract e parole chiave in Scopus. La selezione delle parole chiave ha seguito un processo iterativo, volto a individuare le combinazioni più efficaci e ad aumentare l'affidabilità e l'ampiezza dei risultati (Abdelmageed & Zayed, 2020). Le parole chiave sono state organizzate in quattro insiemi tematici per garantire una copertura bilanciata e mirata. Il primo insieme comprendeva espressioni riferite ai quadri concettuali delle pratiche edilizie sostenibili, tra cui "*positive energy district*", "*sustainable*", "*green*", "*energy efficient*" e "*near-zero energy building*". Il secondo insieme era dedicato al contesto abitativo, con termini quali "*social housing*", "*public housing*", "*affordable housing*" e "*public sector housing*". Il terzo insieme includeva parole chiave relative agli impatti e ai metodi di valutazione, come "*environmental impacts*", "*economic*

impacts" e "*social impacts*". Il quarto insieme raccoglieva parole chiave relative alla *Social Life Cycle Assessment* (S-LCA), alla *Life Cycle Costing* (LCC) e alla *Life Cycle Assessment* (LCA), combinate con termini che descrivono gli interventi, quali *refurbishment*, *renovation*, *restoration* e *redevelopment*. Nella query su Scopus, le parole chiave all'interno di ciascun cluster sono state collegate con l'operatore OR (ad esempio "*social housing*" OR "*public housing*" OR "*affordable housing*"), mentre i quattro cluster sono stati combinati tra loro mediante l'operatore AND, includendo varianti ortografiche per ampliare i risultati della ricerca.

La ricerca iniziale ha restituito 1649 documenti (Fig. 2). In una prima fase di esclusione sono stati rimossi i contributi non redatti in lingua inglese, le rassegne di conferenza, i libri e i capitoli di libro, le errate, gli editoriali, le note e le brevi indagini *(short surveys)*, a causa della limitata pertinenza rispetto agli obiettivi della revisione, di vincoli di accessibilità e della natura fortemente onerosa di una valutazione approfondita di tali tipologie di documenti. Sono state inoltre escluse le pubblicazioni afferenti ai settori di Fisica e Astronomia, Scienze agrarie e biologiche, Medicina, Farmacologia, Tossicologia e Farmaceutica, Neuroscienze, Immunologia e Microbiologia, Odontoiatria, Veterinaria e Biochimica, Genetica e Biologia molecolare, con una riduzione del numero di documenti a 1269. Lo studio si è concentrato sulla letteratura pubblicata tra il gennaio 2015 e il 31 dicembre 2025, periodo selezionato per garantire l'attenzione sulle ricerche più recenti, migliorare la coerenza, la comparabilità e la rilevanza dei risultati e rendere gestibile il volume dei dati nel tempo disponibile. Dopo l'applicazione del filtro temporale, sono rimasti 1069 documenti. Nella fase finale, gli abstract sono stati letti e sono stati mantenuti solo i contributi ritenuti pertinenti per un'analisi approfondita; i documenti sono stati inclusi esclusivamente se riguardavano alloggi sociali o alloggi a prezzi accessibili, con un focus sulla ristrutturazione sostenibile, e affrontavano almeno una delle dimensioni della sostenibilità. Questo processo ha portato a una selezione di 121 documenti; una pubblicazione è stata successivamente esclusa poiché non era scaricabile, determinando un *dataset* finale di 120 documenti, impiegati nelle analisi successive. Per limitare il rischio di bias nella selezione, per ogni record escluso è stata documentata la motivazione, in corrispondenza di ciascuna fase di screening. I documenti esclusi sono stati riesaminati in più cicli, effettuati in giorni diversi, al fine di rafforzare la coerenza e l'accuratezza del processo di selezione.

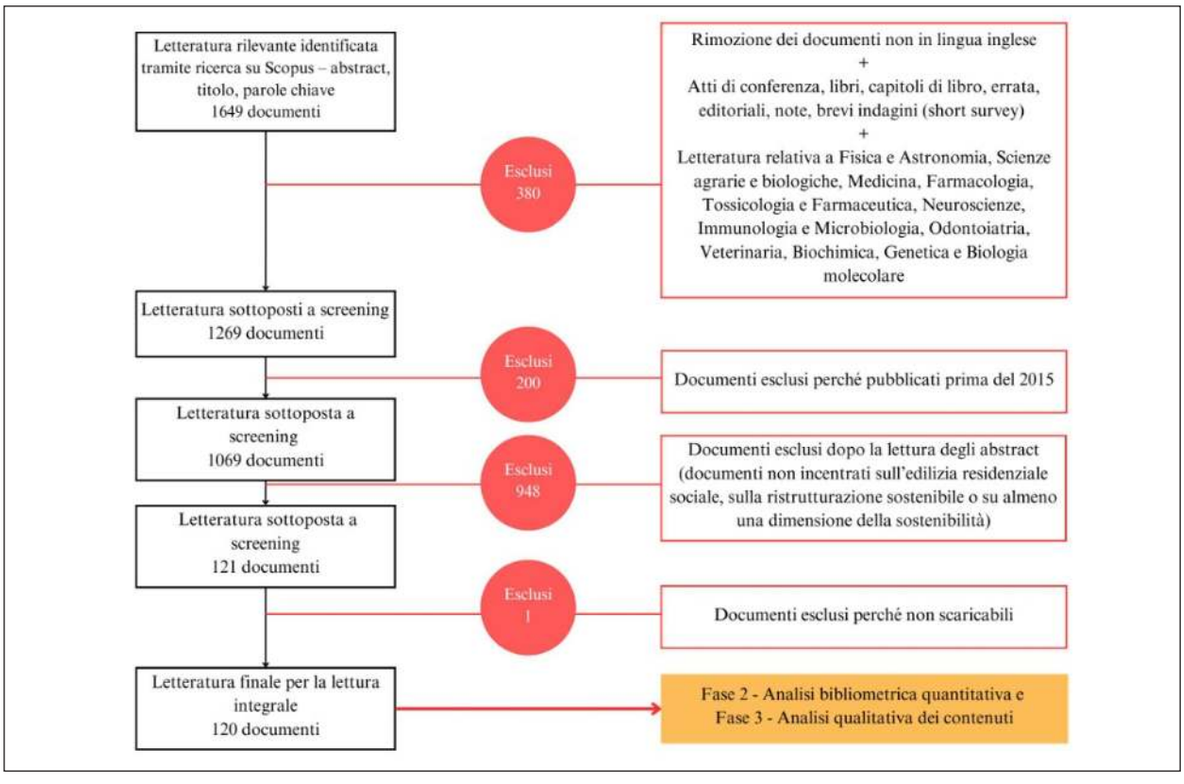


Figura 2. Identificazione della letteratura (Fase 1) per l'utilizzo nelle fasi successive.

2.2. Fase 2 – Analisi bibliometrica quantitativa

Questa fase di analisi bibliometrica, condotta sui 120 documenti, ha consentito di esplorare la struttura del campo di ricerca analizzando le diverse relazioni tra autori, paesi e parole chiave. Questo approccio è stato fondamentale per comprendere i temi di ricerca, individuare le tendenze e cogliere la composizione e l'evoluzione del panorama scientifico (Passas, 2024). Rispetto alle tradizionali revisioni narrative della letteratura, che possono talvolta risultare soggette a bias e a un ambito di analisi limitato (Farrukh et al., 2020; Tseng & Tsay, 2013), l'analisi bibliometrica offre una visione più oggettiva e complessiva del panorama delle pubblicazioni (Baharudin et al., 2021; Robinson-Garcia et al., 2019). In questa fase viene affrontata la prima domanda di ricerca, incentrata sull'identificazione dell'attuale stato dell'arte e delle principali tendenze.

Uno studio di Colina Vargas et al. (2022) ha identificato *VOSviewer, CiteSpace* e *Bibliometrix* come gli strumenti più prominenti ed efficaci per la valutazione delle pubblicazioni scientifiche. Per questa ricerca è stato selezionato *VOSviewer* (versione 1.6.20) per la sua capacità di produrre mappe bibliometriche dettagliate. Si tratta di uno strumento gratuito, basato su Java, sviluppato presso la Leiden University, Paesi Bassi (Centre for Science and Technology Studies, 2024).

In questa seconda fase *VOSviewer* è stato utilizzato per creare reti di co-occorrenza tra parole chiave. Ciò ha permesso di comprendere i principali elementi messi in evidenza dagli studi precedenti (Abdelmageed & Zayed, 2020; Hunter et al., 2019; Jiang & Kang, 2019). *VOSviewer* è stato impiegato in numerosi lavori (Abdelmageed & Zayed, 2020; Dissanayake & Weerasinghe, 2021; van Eck & Waltman, 2007, 2010) per quantificare parametri bibliometrici e individuarne le tendenze. Tali visualizzazioni risultano fondamentali per identificare lo stato dell'arte attuale e le possibili direzioni future di ricerca (Sabando-Vera et al., 2025). Un passaggio cruciale ha riguardato la predisposizione di file *thesaurus* per affrontare il problema della contabilizzazione separata di termini simili (ad esempio *"building"* e *"buildings"* o *"lca"* e *"life cycle assessment"*); tali file hanno permesso di accorpare i termini affini, migliorando l'accuratezza e la chiarezza dei risultati.

La distribuzione spaziale della ricerca è stata mappata per individuare concentrazioni geografiche di studi. Inoltre, la distribuzione annuale dei documenti, le principali fonti, la distribuzione geografica e i documenti maggiormente citati sono stati ottenuti utilizzando le funzioni di analisi disponibili in *Scopus* (funzione di analisi dei risultati).

2.3. Fase 3 – Analisi qualitativa dei contenuti

La terza fase dello studio ha previsto un esame qualitativo della letteratura, attraverso un'analisi dei contenuti dei 120 documenti identificati nella prima fase. Ogni documento è stato letto integralmente, così da consentire una classificazione e un'analisi dei contenuti completa. Questa fase è stata adattata dalla proposta metodologica di Leichter & Piccardo (2024). Per tale fase è stato sviluppato un protocollo articolato in due parti, al fine di facilitarne la comprensione.

La prima parte riguardava la "tipologia di interventi edilizi" e ogni documento è stato classificato come segue:

- Funzione e tipologia edilizia: la funzione dell'edificio include residenziale, istituzionale o varie (uso misto), mentre la tipologia comprende monofamiliare, multifamiliare, patrimonio culturale, educativo, varie, oppure non specificata.
- Tipo di progetto e livello di ristrutturazione: il tipo di progetto comprende ristrutturazione, ricostruzione, nuova costruzione oppure assente; il livello di ristrutturazione viene distinto in interventi maggiori, medi, minori, assenti, oppure comprendenti tutte e tre le tipologie (in riferimento ai *Vancouver bylaws*, adattati da Leichter & Piccardo (2024)).
- Scala di studio: regione, città, quartiere, edificio, varie oppure assente.

La seconda parte era incentrata sugli approcci metodologici alle valutazioni di sostenibilità, e ogni documento è stato classificato come segue:

- Integrazione delle dimensioni della sostenibilità: le tre dimensioni della sostenibilità –

ambientale, economica e sociale – sulla base della struttura proposta da Leichter & Piccardo (2024).

- Metodologie di ricerca: caso di studio, revisione, modellazione e simulazione (che includono LCA, LCC, S-LCA e altri metodi), teorico e concettuale, indagine (*surveys*) e studi sperimentali (Engelken et al., 2016; Kwok et al., 2024; Salim et al., 2019; Yuan & Shen, 2011) (Tab. 1).

Tabella 1. Definizione degli approcci metodologici utilizzati per classificare le metodologie nella letteratura analizzata

Metodo	Definizione
Caso di studio	Questo tipo di studio utilizza dati qualitativi raccolti direttamente sul campo (ad esempio interviste, dati specifici del sito) per esaminare un problema o un caso. I dati utilizzati sono dati primari (Salim et al., 2019; Yuan & Shen, 2011).
Revisione	Studio che passa in rassegna e valuta criticamente la ricerca disponibile (Engelken et al., 2016; Kwok et al., 2024; Salim et al., 2019; Yuan & Shen, 2011).
Modellazione e simulazione	Studio che impiega un modello matematico a supporto dei processi decisionali. I metodi utilizzati comprendono valutazioni di ciclo di vita, modellazione matematica, metodi di decisione multicriterio e altre tecniche eventualmente combinate tra loro (Salim et al., 2019; Yuan & Shen, 2011).
Teorico e concettuale	Studio che analizza quadri teorici o contesti concettuali (Engelken et al., 2016; Kwok et al., 2024; Salim et al., 2019).
Indagine (*Survey*)	Studio basato sulla raccolta di dati tramite interviste in presenza e altre tecniche quali questionari, gruppi di discussione (*focus group)* e laboratori partecipativi (*workshop)* con esperti del settore (Kwok et al., 2024; Salim et al., 2019; Yuan & Shen, 2011).
Sperimentale	Studio che adotta una metodologia scientifica, in cui una o più variabili possono essere modificate per ottenere un risultato atteso (Kwok et al., 2024; Salim et al., 2019).

Inoltre, le metodologie di *LCSA* (LCA, LCC e S-LCA) adottate negli studi di modellazione e simulazione sono state descritte nel dettaglio nella parte finale dell'analisi. I contributi basati su LCA, LCC e S-LCA sono stati esaminati considerando: (i) il ciclo di vita, (ii) i confini del sistema (*system boundaries*), (iii) le unità funzionali (UF), (iv) le basi dati utilizzate (con particolare attenzione alle modalità di raccolta dati per S-LCA, data la varietà degli approcci impiegati) e (v) i metodi di valutazione degli impatti di ciclo di vita (LCIA) e, per LCC, i metodi di contabilizzazione dei costi.

Sono stati infine analizzati i casi che mettono in evidenza conflitti e compromessi (*trade-off)* all'interno delle valutazioni di sostenibilità integrate. Questa analisi qualitativa approfondita ha consentito di sviluppare una comprensione solida dei principali temi di ricerca consolidati, delle pratiche metodologiche adottate e delle lacune conoscitive esistenti, fornendo la base per le discussioni successive sulle future direzioni di ricerca.

3. Risultati e discussione

Questa sezione organizza la letteratura esaminata, composta da 120 documenti identificati (si veda la Sezione 2.1), in due parti. La Sezione 3.1 si concentra sulle principali tendenze tramite un'analisi bibliometrica quantitativa condotta con Scopus e VOSviewer, mentre la Sezione 3.2 si focalizza sull'analisi qualitativa dei contenuti.

3.1. Analisi bibliometrica quantitativa

Questa fase ha previsto un'analisi bibliometrica condotta sul dataset finale di 120 documenti selezionati nella prima fase (Sezione 2.1), garantendo un'analisi mirata del campo di ricerca. VOSviewer (versione 1.6.20) è stato utilizzato per la visualizzazione, mentre alcune analisi sono state svolte direttamente su Scopus. L'approccio ha integrato la valutazione degli andamenti delle pubblicazioni nel periodo considerato (2015–2025). L'analisi ha inoltre incluso la visualizzazione dei con-

tributi geografici per paese, per evidenziare la partecipazione alla ricerca a livello globale, l'identificazione delle principali fonti della letteratura rilevante e la lista dei documenti più citati. Un altro aspetto centrale è stato la rete di co-occorrenza delle parole chiave, che ha permesso un'analisi per cluster dei temi principali e delle relazioni tra gli argomenti. Questo metodo ha fornito indicazioni preziose sullo stato dell'arte e sulle tendenze di ricerca nel campo della ristrutturazione dell'SSH.

3.1.1. Analisi delle pubblicazioni disponibili per anno

L'analisi ha esaminato la distribuzione temporale delle pubblicazioni (Fig. 3), evidenziando una produzione scientifica relativamente ridotta tra il 2015 e il 2018; questo è stato anche il motivo per considerare il 2015 come anno di cut-off. Il picco si è registrato nel 2019, con 19 documenti pubblicati, seguito da 18 pubblicazioni nel 2025. Nel 2023 sono stati pubblicati 16 contributi, mentre nel 2024 i documenti sono stati 15, indicando un interesse di ricerca crescente e continuo in questo ambito. Tra i 120 documenti analizzati, 82 erano articoli su rivista, 35 atti di conferenza e 3 articoli di revisione, a conferma del numero molto limitato di studi di revisione (Fig. 4).



Figura 3. Distribuzione annuale della letteratura selezionata.

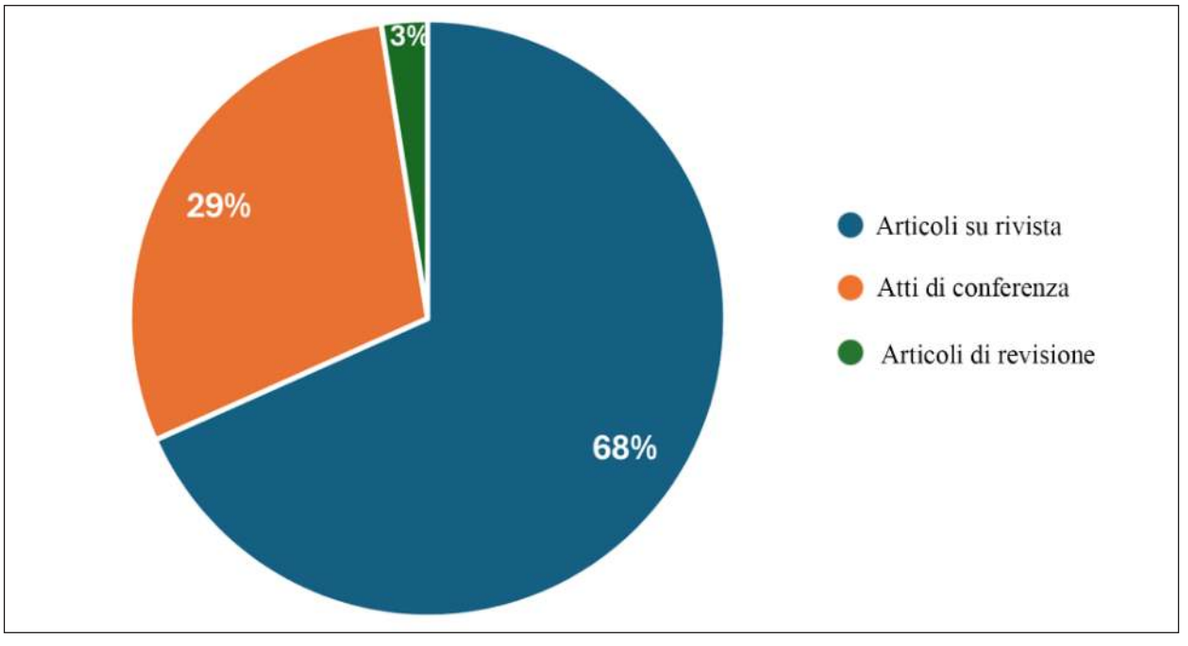


Figura 4. Distribuzione delle pubblicazioni per tipologia.

3.1.2. Analisi della distribuzione geografica

La distribuzione geografica della letteratura può essere osservata nella Figura 5, che mostra un'elevata concentrazione di documenti in Europa (una possibile spiegazione è l'attenzione dell'UE alla neutralità climatica del continente), che rappresenta la quota maggiore delle pubblicazioni analizzate. L'Italia guida il gruppo dei paesi con il numero massimo di pubblicazioni, pari a 21, seguita dalla Spagna e dal Regno Unito, con rispettivamente 14 e 13 pubblicazioni, e quindi dal Brasile, con 8 contributi. India e Cina, insieme ai paesi europei Belgio, Danimarca e Svizzera, seguono con 6 pubblicazioni. Altri contributori sono gli Stati Uniti con 5 pubblicazioni, Germania (4), Australia (4), Colombia (4) e Svezia (4), mentre Messico, Paesi Bassi e Norvegia hanno ciascuno 3 pubblicazioni. L'analisi evidenzia un significativo squilibrio geografico, con una rappresentanza minima delle nazioni africane (solo Egitto, Camerun e Sudafrica con una pubblicazione ciascuna), un numero limitato di studi provenienti dall'Australia (4) e dalla Nuova Zelanda (2), e una copertura scarsa anche dei paesi latinoamericani, con Colombia (4), Messico (3), Cile (2), Argentina (2) ed Ecuador (2). Questo modello suggerisce che la ricerca in questo campo rimane prevalentemente concentrata nelle economie europee più sviluppate, mentre altre regioni risultano notevolmente sottorappresentate nella produzione scientifica, evidenziando potenziali lacune nella copertura globale della ricerca (fanno eccezione Brasile, India e Cina, che emergono come nuovi poli di ricerca). Vale la pena osservare che, sebbene questa rassegna consideri solo pubblicazioni in lingua inglese, una consistente attività di ricerca proviene comunque da paesi non anglofoni, come Italia, Messico e Brasile, insieme a diverse altre nazioni.

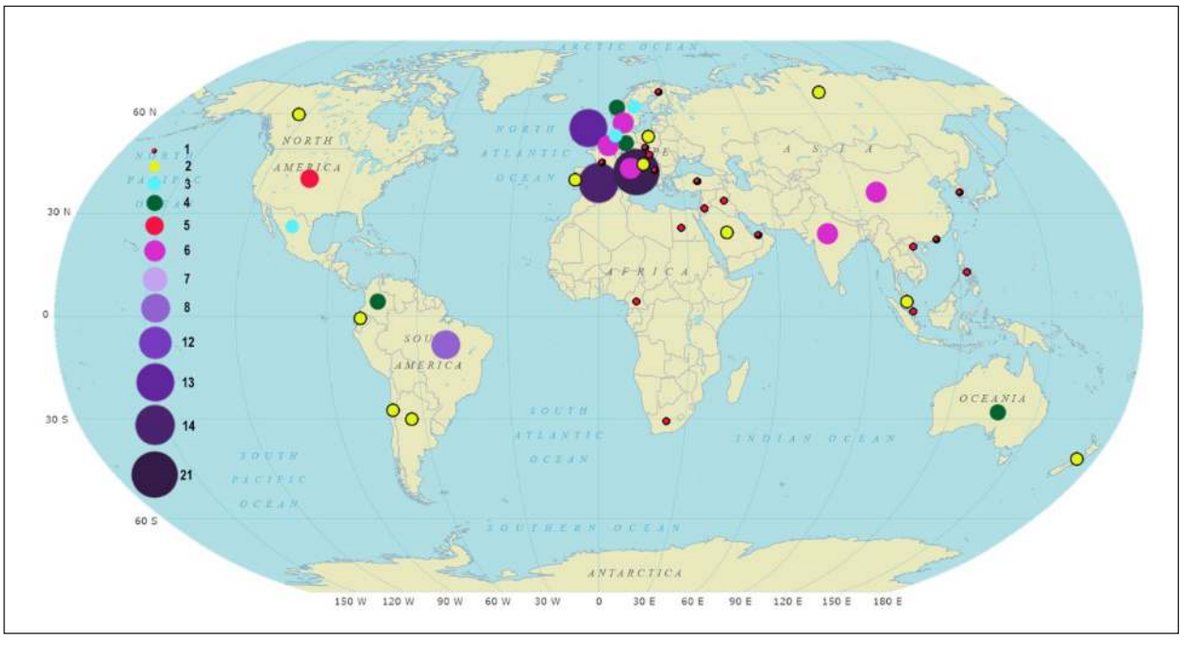


Figura 5. Distribuzione geografica della letteratura reperita.

3.1.3. Analisi delle fonti

La terza analisi dello studio bibliometrico ha riguardato le principali fonti di pubblicazione. La Figura 6 mostra le dodici fonti con il maggior numero di contributi, ottenute tramite la funzione di analisi delle citazioni per le fonti all'interno dello strumento di analisi di Scopus, con una soglia minima di 2 documenti per rivista. Due fonti risultano essere i contributori principali: *Sustainability (MDPI)* e *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, che apportano rispettivamente 14 e 10 pubblicazioni sul totale dei 120 documenti analizzati. La terza rivista più produttiva è *Building and Environment* con 6 pubblicazioni, seguita da *Buildings (MDPI)* e *Buildings and Energy*, ciascuna con 5 contributi. Le classifiche basate sul CiteScore mostrano che *Sustainability (MDPI)* ha ottenuto

il CiteScore più alto tra le prime due fonti, con un valore pari a 7,7. Tuttavia, considerando l'insieme delle prime 12 riviste, *Sustainable Cities and Society* presenta il CiteScore più elevato (22,4), pur avendo solo tre documenti. Il CiteScore è un indicatore importante per valutare la rilevanza di una fonte e la sua influenza all'interno della comunità accademica (Escorcia Hernández et al., 2023). Questa analisi mette in luce la concentrazione della produzione scientifica in un numero relativamente ristretto di sedi editoriali (Escorcia Hernández et al., 2023), contribuendo a comprendere l'impatto relativo e la qualità delle fonti che alimentano la ricerca sulla ristrutturazione dell'SSH.

3.1.4. Analisi dei documenti più citati

La quarta analisi dello studio bibliometrico ha riguardato i documenti con il maggior numero di citazioni, concentrandosi sulle 12 pubblicazioni più citate per comprenderne il focus di ricerca e i contributi (Tab. 2). Il numero totale di citazioni costituisce un indicatore dell'impatto di ciascun documento all'interno della comunità accademica (Escorcia Hernández et al., 2023). La pubblicazione con il più alto numero di citazioni è quella di Pan & Chu (2016), con 88 citazioni. Questo studio ha analizzato il potenziale di risparmio energetico e gli impatti ambientali dei sistemi di verde verticale (VGS) a Hong Kong, confrontando i consumi elettrici per il raffrescamento degli appartamenti con e senza VGS, e ha condotto una LCA per valutare i carichi ambientali associati al sistema VGS. All'estremità opposta del gruppo delle 12 più citate, la ricerca di Tajani & Morano (2015) conta 33 citazioni; gli autori hanno sviluppato un modello di valutazione a supporto dei processi decisionali degli enti pubblici nei progetti di rigenerazione urbana che coinvolgono l'edilizia sociale e investitori privati.

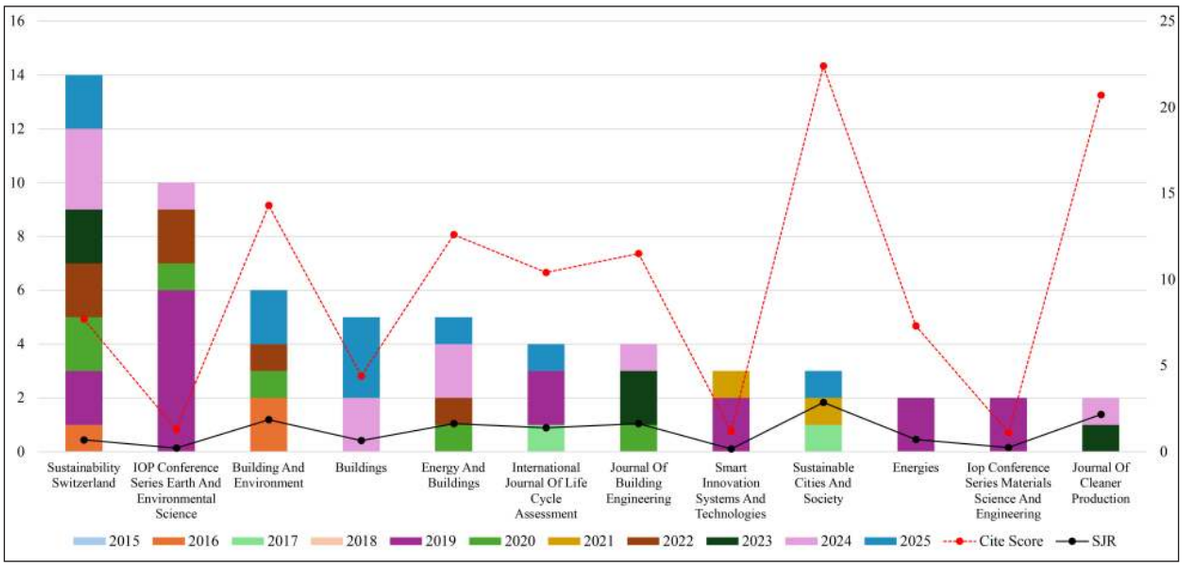


Figura 6. Principali fonti di letteratura (dodici).

Tabella 2. Elenco dei dodici documenti più citati

N.	Riferimento	Anno	Titolo del documento	Citazioni	Fonte
1	Pan & Chu (2016)	2016	Energy saving potential and life cycle environmental impacts of a vertical greenery system in Hong Kong: A case study	88	Building and Environment
2	Zea Escamilla et al. (2016)	2016	When CO_2 counts: Sustainability assessment of industrialized bamboo as an alternative for social housing programs in the Philippines	59	Building and Environment
3	Satola et al. (2020)	2020	Comparative life cycle assessment of various energy efficiency designs of a container-based housing unit in China: A case study	57	Building and Environment

Segue Tabella 2. Elenco dei dodici documenti più citati

N.	Riferimento	Anno	Titolo del documento	Citazioni	Fonte
4	Settembre Blundo et al. (2018)	2018	Improving sustainable cultural heritage restoration work through life cycle assessment-based model	52	Journal of Cultural Heritage
5	Amini Toosi et al. (2022)	2022	A novel LCSA-Machine learning based optimization model for sustainable building design-A case study of energy storage systems	48	Building and Environment
6	Balasbaneh et al. (2020)	2020	Life cycle sustainability assessment of window renovations in schools against noise pollution in tropical climates	47	Journal of Building Engineering
7	Bottero & Datola (2020)	2020	Addressing social sustainability in urban regeneration processes. An application of the social multi-criteria evaluation	43	Sustainability (Switzerland)
8	Monteiro et al. (2017)	2017	Addressing the challenges of public housing retrofits	40	Energy Procedia
9	Yushchenko & Patel (2016)	2016	Contributing to a green energy economy? A macroeconomic analysis of an energy efficiency program operated by a Swiss utility	37	Applied Energy
10	Cherian et al. (2020)	2020	Comparative study of embodied energy of affordable houses made using GFRG and conventional building technologies in India	36	Energy and Buildings
11	Serrano-Jimenez et al. (2017)	2017	Towards a feasible strategy in Mediterranean building renovation through a multidisciplinary approach	35	Sustainable Cities and Society
12	Tajani & Morano (2015)	2015	An evaluation model of the financial feasibility of social housing in urban redevelopment	33	Property Management

Di tutta la letteratura esaminata, 10 documenti non hanno ricevuto alcuna citazione. Questa analisi delle citazioni aiuta a comprendere i temi di ricerca che hanno ricevuto maggiore attenzione nel campo e a individuare i ricercatori più importanti che vi operano.

3.1.5. Rete di co-occorrenza delle parole chiave

La Figura 7 presenta la rete di co-occorrenza generata dalle 29 parole chiave più rilevanti individuate nella letteratura analizzata. Nella visualizzazione (Fig. 7), la dimensione dei nodi riflette la frequenza di ciascuna parola chiave, mentre lo spessore dei collegamenti tra i nodi indica l'intensità della relazione tra due concetti (Escorcia Hernández et al., 2023; Lu et al., 2023). La centralità di una parola chiave ne evidenzia l'importanza all'interno del campo di ricerca. Questi nodi rappresentano in genere i concetti più influenti e maggiormente discussi, offrendo indicazioni utili sui temi e sulle tendenze attuali (Lu et al., 2023). Valutare il grado di centralità consente di identificare i temi chiave e gli argomenti attuali di maggiore interesse per la comunità scientifica.

Nella Figura 7, le parole chiave sono raggruppate in tre cluster tematici (rosso, verde e blu), ciascuno organizzato attorno a uno o più concetti interconnessi. I temi centrali sono sustainable development, housing ed environmental impact. I cluster sono:

- Cluster 1 (Rosso, 11 parole), ancorato a termini ad alta centralità come *housing* (52 occorrenze), *energy utilization* (17) ed *energy efficiency* (15). Le altre parole chiave del cluster sono *carbon dioxide*, *costs*, *economic analysis*, *energy conservation*, *global warming*, *investments*, *architectural design* e *sensitivity analysis*. Questo cluster rappresenta le dimensioni economiche e ambientali del sustainable *social housing*, con focus sull'uso delle risorse, sulla riduzione delle emissioni e sulle strategie di investimento. È significativo che

housing ed *energy utilization* non solo compaiano frequentemente, ma costituiscano anche l'ossatura di molte relazioni concettuali nella letteratura (Balocco et al., 2022; Fanghella & Della Valle, 2021; Larrea-Sáez et al., 2024; Noka et al., 2022).

- Cluster 2 (Verde, 11 parole), strutturato attorno a *sustainable development* (47 occorrenze), che funge da ponte tra diversi domini tematici, includendo *affordable housing*, *social housing*, *economic and social effects*, *quality of life*, *urban planning*, *social impact*, *social inclusion*, *building*, *sustainability* e *climate change*. Questo cluster è modellato dai temi della sostenibilità sociale e della pianificazione urbana.
- Cluster 3 (Blu, 7 parole) ruota intorno a *environmental impact* (34 occorrenze), seguito da *life cycle assessment* (18 occorrenze). Il cluster si concentra sulle metodologie di valutazione e sull'analisi ambientale, con le parole chiave *life cycle*, *construction*, *construction industry*, *decision making* ed *environmental impact assessment*. Ciò evidenzia l'impegno della letteratura verso una valutazione basata sul ciclo di vita degli effetti ambientali e delle pratiche costruttive.

Questi cluster dimostrano come la letteratura combini temi fondamentali: ottimizzazione energetica ed economica per l'edilizia sostenibile (Cluster 1), equità sociale e qualità della vita nella sostenibilità urbana (Cluster 2), e metodi valutativi per decisioni costruttive ambientalmente responsabili (Cluster 3).

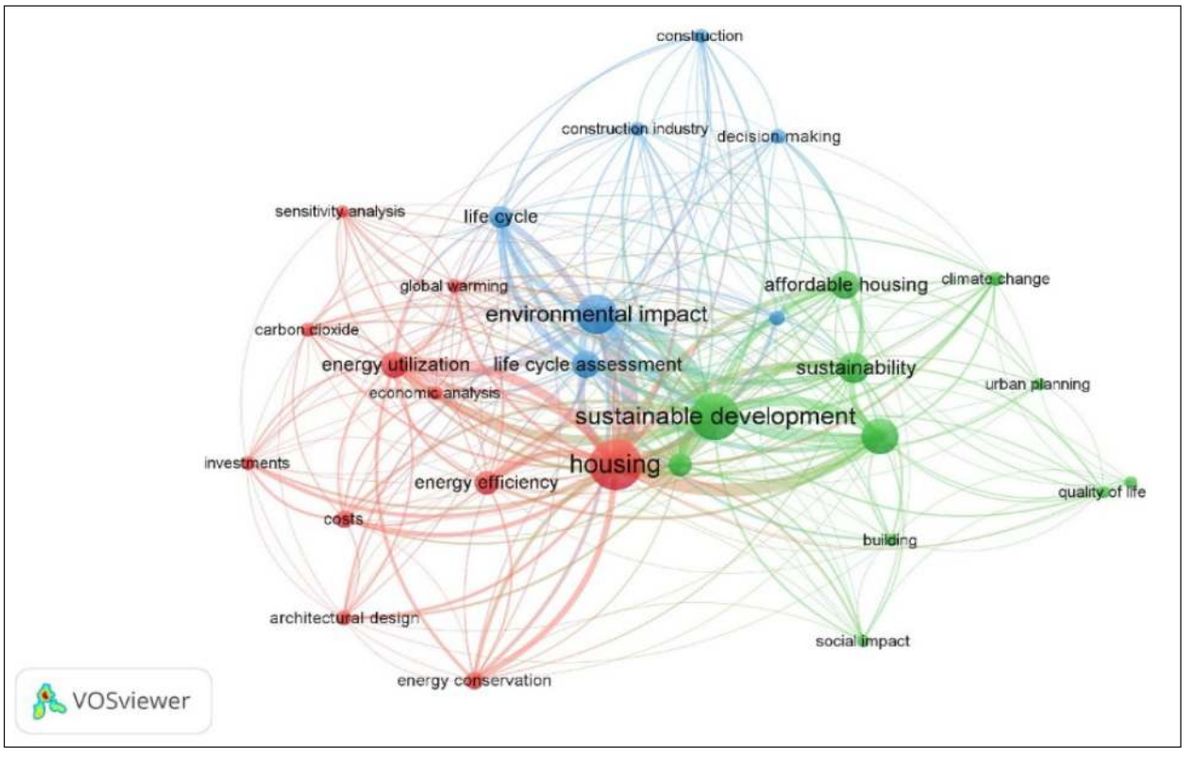


Figura 7. Rete di co-occorrenza delle parole chiave nei documenti analizzati.

3.2. Analisi qualitativa dei contenuti

È stata condotta un'ampia analisi qualitativa della letteratura, riesaminando in modo sistematico i 120 documenti identificati nella Fase 1 (Sezione 2.1). L'analisi dei contenuti prevede una codifica e una categorizzazione sistematiche delle informazioni testuali al fine di individuare schemi ricorrenti e frequenze all'interno della letteratura, fornendo così indicazioni sulle lacune della ricerca (Vaismoradi et al., 2013). L'analisi dei contenuti consente di ridurre i dati in categorie significative e, al tempo stesso, di quantificare con cautela codici e categorie (ad esempio contando la loro fre-

quenza) come proxy della loro rilevanza (Vaismoradi et al., 2013). Questo approccio supporta un esame trasparente e descrittivo di come i concetti sono rappresentati e enfatizzati nei diversi studi.

In questa rassegna, l'analisi dei contenuti ha seguito il protocollo descritto nella metodologia della Fase 3 (Sezione 2.3) ed è stata organizzata in due parti principali: (i) il tipo di interventi edilizi, in cui gli studi sono stati classificati in base alla funzione e tipologia dell'edificio, al tipo di progetto e al livello di ristrutturazione, e alla scala di analisi; e (ii) gli approcci metodologici alle valutazioni di sostenibilità, in cui gli studi sono stati categorizzati secondo le dimensioni della sostenibilità (ambientale, economica, sociale) e le metodologie LCSA di ricerca (ad esempio LCA, LCC, S-LCA). Questa codifica strutturata ha permesso di individuare pattern dominanti, combinazioni sottorappresentate e lacune di ricerca nelle valutazioni delle ristrutturazioni dell'SSH. Inoltre, è stata condotta un'analisi delle metodologie LCSA per comprendere le lacune di ricerca presenti nelle stesse metodologie LCSA.

3.2.1. Tipo di interventi edilizi

Il diagramma di Sankey in Figura 8 offre una panoramica dei tipi di interventi edilizi trattati nella letteratura esaminata e rappresenta graficamente le relazioni tra le principali caratteristiche degli interventi. Il diagramma visualizza come gli studi sono distribuiti in funzione della destinazione d'uso e della tipologia dell'edificio, del tipo di progetto e del livello di ristrutturazione, e della scala di analisi, mettendo in evidenza le interconnessioni tra queste dimensioni invece di considerarle come categorie isolate. Ciascuna di queste dimensioni viene esaminata in dettaglio nelle sottosezioni successive (Sezioni 3.2.1.1–3.2.1.3), consentendo una discussione più articolata su come i diversi tipi di interventi edilizi sono rappresentati e valutati nella letteratura.

3.2.1.1. Funzione e tipologia dell'edificio

La prima parte riguarda la funzione e la tipologia dell'edificio (rappresentate in Fig. 8), che descrivono le funzioni principali degli edifici (ad esempio *residenziali*, *istituzionali, varie*) e la loro tipologia (*monofamiliari, multifamiliari, educativo, patrimonio culturale o varie*). Questa sezione individua le principali tendenze emerse dalla letteratura esaminata e contribuisce a mettere in evidenza le aree ancora poco esplorate, informando così sulle lacune di ricerca. La categoria 'varie' viene utilizzata per indicare casi con funzioni e tipologie edilizie miste, che non possono essere ricondotte a una singola funzione o tipologia prevalente.

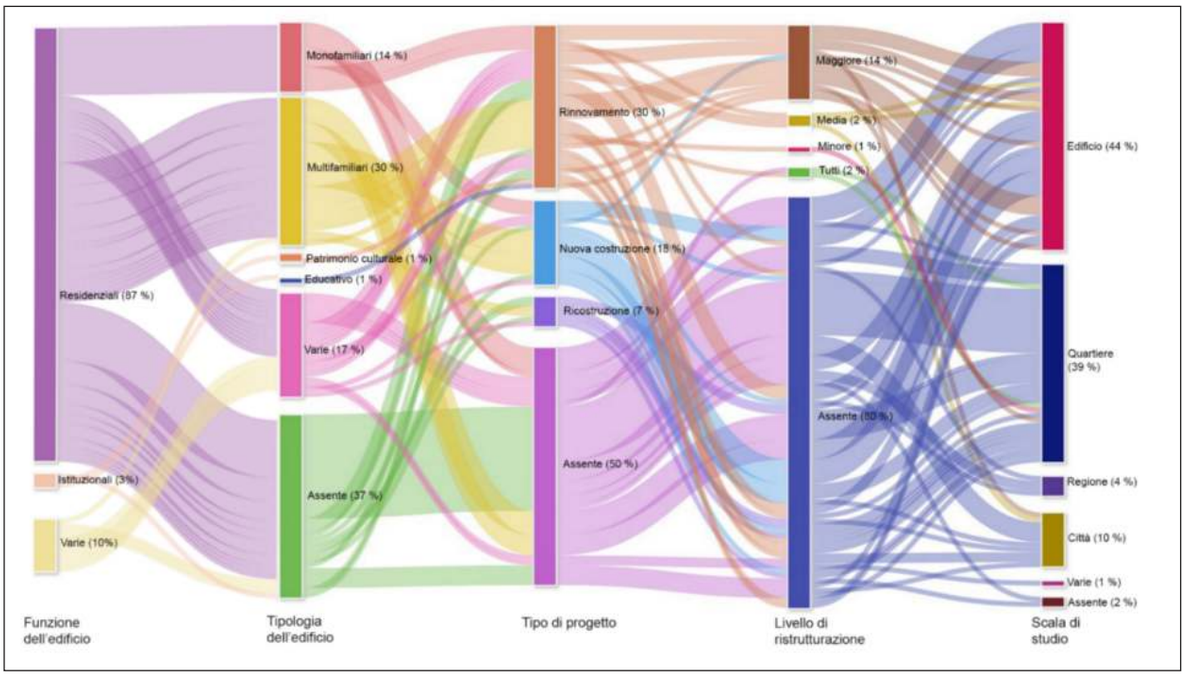


Figura 8. Diagramma di Sankey delle tipologie di intervento edilizio.

Come mostrato nel diagramma (Fig. 8), gli edifici residenziali dominano la letteratura (87%), con le tipologie multifamiliari (30%) e monofamiliari (14%) che risultano le più frequentemente studiate. Questa prevalenza riflette due aspetti: in primo luogo, le parole chiave utilizzate nella ricerca su Scopus, che includevano edilizia sociale, possono aver influenzato queste categorie; in secondo luogo, la priorità costante attribuita al retrofit residenziale nella ricerca sulla sostenibilità, come evidenziato anche in precedenti revisioni (Leichter & Piccardo, 2024).

Sebbene la rassegna si concentri principalmente sulla ristrutturazione dell'SSH, è stato osservato un numero limitato di studi relativi a edifici istituzionali, selezionati per la presenza di edilizia sociale, per la loro rilevanza metodologica e per l'applicabilità dei risultati delle valutazioni LCSA ai contesti di SSH. Solo una piccola frazione degli studi ha analizzato edifici istituzionali (3%).

La ricerca non ha incluso soltanto l'edilizia sociale, ma anche edifici ad uso misto, con alcune parti o alcuni blocchi residenziali, mentre altri erano commerciali o di differente tipologia, che rientrano nella categoria 'varie'. La categoria 'varie' rappresenta il 10% delle funzioni d'uso e il 17% delle tipologie edilizie, nel tentativo di cogliere l'eterogeneità; tuttavia, tali approcci inclusivi restano limitati. Un aspetto interessante è osservato in uno studio (Magdy & Elhamy, 2023) in cui le funzioni dell'edificio ricadono nella categoria varie, mentre la tipologia è multifamiliare, poiché 3 dei 17 blocchi (17,6%) incorporano funzioni non residenziali al piano terra. Queste comprendono strutture educative (asilo nido), servizi sociali (orfanotrofio e associazione per persone con disabilità), funzioni amministrative (uffici immobiliari e di gestione del progetto) e servizi essenziali (ufficio postale e ufficio di manutenzione).

Una quota consistente (37%) della letteratura rientra nella categoria 'assente' per quanto riguarda la tipologia edilizia, il che indica sia articoli di review con un ampio raggio di interesse sia casi in cui non è stato possibile individuare una tipologia. Ciò potrebbe derivare da una rendicontazione incompleta, dall'assenza di un requisito esplicito di dettaglio oppure da scelte metodologiche deliberate volte a escludere una classificazione tipologica approfondita, creando quindi difficoltà in termini di replicabilità e comparabilità tra gli studi.

3.2.1.2. Tipo di progetto e livello di ristrutturazione

In questa sottosezione, come mostrato nel grafico (Fig. 8), la prima parte riguarda il tipo di progetto, indicando se lo studio si concentra sul rinnovamento, sulla ricostruzione, sulla nuova costruzione oppure se è assente (non definito), mentre la seconda parte valuta il livello di ristrutturazione (minore, media, maggiore, tutti oppure assente). Va sottolineato che alcuni studi affrontano più di uno di questi aspetti. Inoltre, tutti gli studi si concentrano su qualche forma di strategia di ristrutturazione; tuttavia, quando non era presente una definizione chiara di 'rinnovamento' o di termini equivalenti, essi sono stati mantenuti nella categoria 'assente'. L'analisi della letteratura esaminata evidenzia notevoli incoerenze, come illustrato nel diagramma di Sankey in Figura 8. Sebbene i progetti di rinnovamento costituiscano il 30% del campione studiato (la tipologia più diffusa), solo una piccola parte specifica esplicitamente il livello di ristrutturazione: il 14% dei casi è classificato come '*maggiore*', il 2% come '*media*', l'1% come '*minore*', mentre il 2% comprende '*tutti*' i livelli di ristrutturazione. Lo studio di Serrano-Jimenez et al. (2017) è stato inserito nella categoria '*tutti*', poiché affronta tre diversi ambiti di intervento nella propria analisi. Gli studi con ristrutturazioni '*maggiore*' presentano una maggiore efficienza energetica, implicando risparmi energetici più elevati (Monteiro et al., 2017; Moore et al., 2019; Van De Moortel et al., 2019b). È rilevante osservare che l'80% degli studi non riporta il livello di ristrutturazione oppure fornisce informazioni insufficienti per valutarlo. Questa constatazione è in linea con ricerche precedenti, tra cui Feng et al. (2020) e Leichter & Piccardo (2024), che hanno messo in evidenza la mancanza di definizioni chiare del livello di ristrutturazione nella letteratura. In questo studio, i *Vancouver Building Bylaws* sono stati utilizzati come quadro di riferimento per classificare i livelli di ristrutturazione, seguendo l'impostazione proposta da Leichter & Piccardo (2024). La limitata rendicontazione sull'intensità degli interventi limita la possibilità di valutare in modo solido gli impatti delle ristrutturazioni alle diverse scale, lasciando una lacuna critica nella letteratura. Affrontare tale mancanza è essenziale per migliorare la comparabilità degli studi sulle ristrutturazioni e aumentare la riproducibilità delle valutazioni di sostenibilità.

3.2.1.3. Scala di studio

La letteratura esaminata è stata classificata secondo quattro scale spaziali: regione, città, quartiere, edificio, varie (quando rientra in più di una categoria) oppure assente (non definita) (Leichter & Piccardo, 2024). Alcuni studi hanno coinvolto più di una scala. La Figura 8 mostra le scale degli studi con i relativi pattern. Questa analisi è influenzata dalla scala e dal grado di dettaglio adottato; ad esempio, gli studi alla scala dell'edificio si concentrano spesso sui materiali da costruzione (Salzer et al., 2017), mentre le ricerche a scale più ampie enfatizzano i benefici della ristrutturazione e della ricostruzione (Anastasiya et al., 2023; Shama & Motlak, 2019).

La maggior parte degli studi si è concentrata sulla scala dell'edificio (44%) e di quartiere (39%). Solo un numero limitato di lavori si è spinto oltre, esaminando la scala della città. In particolare, uno studio (Noka et al., 2022) ha integrato congiuntamente le prospettive alle scale 'città' e 'edificio'. Alcune ricerche si sono focalizzate sulle scale 'quartiere' e 'città' (Afshan & Sinha, 2023; Ferlito et al., 2022; Christoffersen et al., 2023; Ruiz & Guevara, 2021) dove Ruiz & Guevara (2021) hanno indagato il settore dell'edilizia residenziale in Colombia, con un focus finale sulla scala urbana, pur riferendosi talvolta ai quartieri. Uno studio di Roversi et al. (2017) ha adottato un approccio multiscalare, passando dagli interventi sul singolo edificio alle considerazioni sul contesto urbano più ampio (*neighbourhood*), affrontando così sia il concetto di edificio sia il tessuto edificato circostante. Una minoranza di studi non poteva essere ricondotta alle scale predefinite. La review di Batra (2023) ha esaminato paesi non europei e ha dato priorità alle dinamiche settoriali e di policy rispetto a una scala geografica specifica, analizzando come i partenariati pubblico–privato vengano adattati nei diversi contesti nazionali. Analogamente, Jones & Valero-Silva (2021) hanno sviluppato uno studio metodologico non ancorato a una particolare regione o sito, proponendo invece un quadro con ampia applicabilità metodologica. Lo studio di Larsen et al. (2023), infine, ha utilizzato molte scale, passando dall'una all'altra nel corso dell'analisi.

3.2.2. Approcci metodologici alle valutazioni di sostenibilità

Questa sezione analizza le metodologie utilizzate nella letteratura esaminata. Seguendo l'approccio della *triple bottom line* (ambientale, economica e sociale) e considerando il quadro LCSA, nelle sottosezioni successive viene presentata una comprensione approfondita delle metodologie e delle dimensioni considerate.

3.2.2.1. Integrazione delle dimensioni di sostenibilità

In primo luogo, sono state esaminate le dimensioni della sostenibilità di tutti i 120 studi. La Figura 9 mostra che quasi un terzo dei lavori (34,18%) si concentra su 'tutti e tre' i pilastri della sostenibilità. La seconda categoria più frequente è costituita dagli studi 'solo ambientale', che rappresentano il 20,00%. Tra gli studi a doppio focus, le combinazioni 'ambientale ed economico' (15,00%) sono le più comuni nella letteratura esaminata, seguite dalle combinazioni 'ambientale e sociale' (10,83%) ed 'economico e sociale' (5,83%). Gli studi classificati come 'solo economico' sono il 5,83%, mentre quelli 'solo sociale' sono l'8,33%. Considerate singolarmente, le dimensioni economica e sociale risultano molto meno rappresentate come focus primari autonomi di ricerca rispetto alla dimensione ambientale. Al di là della loro occorrenza come dimensioni isolate, i pilastri economico e sociale vengono più spesso valutati insieme a un'altra dimensione, ad esempio in combinazioni ambientale-economica o ambientale-sociale, piuttosto che essere sistematicamente considerati congiuntamente alle altre due dimensioni in una valutazione pienamente integrata a tre pilastri. Questo indica che, sebbene gli aspetti economici e sociali siano presenti nella letteratura, prevalentemente attraverso applicazioni autonome o a coppie, relativamente pochi studi (34,18%) adottano una prospettiva completa a tre pilastri che consideri simultaneamente le dimensioni ambientale, economica e sociale.

La maggior parte degli studi che propongono valutazioni integrate di sostenibilità si limita a offrire una lettura parallela dei risultati delle diverse valutazioni di sostenibilità, quantificati tramite indicatori. Una piccola percentuale di lavori (Luque Castillo & Yepes, 2025b, 2025a; Marrero et al.,

2024; Rocha-Tamayo et al., 2025) ha utilizzato un'analisi decisionale multicriterio (MCDA) o metodologie di pesatura analoghe per integrare due o tre dimensioni di sostenibilità in un unico punteggio. Il peso attribuito a ciascun dominio di sostenibilità nel MCDA varia tra gli studi. Ad esempio, Marrero et al. (2024) hanno adottato un quadro fortemente orientato all'ambiente, assegnando il 50% del peso ai fattori ambientali, il 30% agli aspetti sociali e il 20% all'economia; Rocha-Tamayo et al. (2025) hanno invece fortemente prioritizzato il dominio economico (52%), attribuendo il 25% all'ambiente e il 23% alla sfera sociale; Luque Castillo & Yepes (2025a) hanno enfatizzato gli aspetti economici. Le applicazioni di ottimizzazione multi-obiettivo risultano limitate (Josa & Borrion, 2025; Larrea-Sáez et al., 2024; Thibault et al., 2025). Infine, altri lavori (Kameni Nematchoua & Andre Marie, 2025; Van De Moortel et al., 2019a) hanno combinato le valutazioni ambientali ed economiche monetizzando gli impatti ambientali attraverso l'applicazione di specifici prezzi ombra (*shadow prices)* a ciascuna categoria di impatto ambientale.

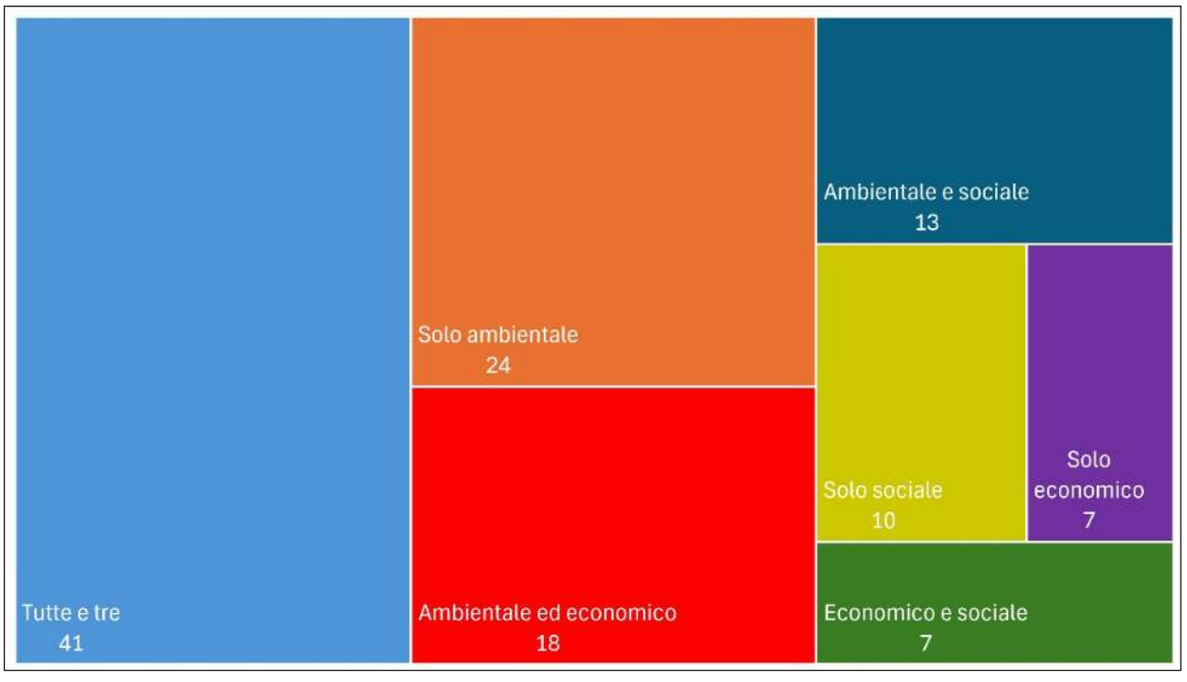


Figura 9. Tipologia di dimensione di sostenibilità utilizzata nella letteratura.

3.2.2.2. Metodologie di ricerca

Questo studio evidenzia una fortissima preferenza per le tecniche basate sulla simulazione. La Figura 10 illustra i diversi metodi utilizzati negli studi; per comprendere meglio le definizioni della terminologia impiegata, si può fare riferimento alla Sezione 2.3. Inoltre, un singolo documento può applicare più di una metodologia. 'Modellazione e simulazione' risultano essere gli approcci più utilizzati (41,10%). Seguono i case studies (16,56%) e le metodologie della categoria 'teorico e cocettuale' (14,11%), a conferma della varietà di approcci metodologici adottati nella letteratura. La categoria 'indagine' è rappresentata dal 13,50% delle metodologie individuate negli studi esaminati. Gli approcci di revisione e quelli 'sperimentali' sono relativamente poco frequenti, con solo l'11,04% e il 3,68% rispettivamente.

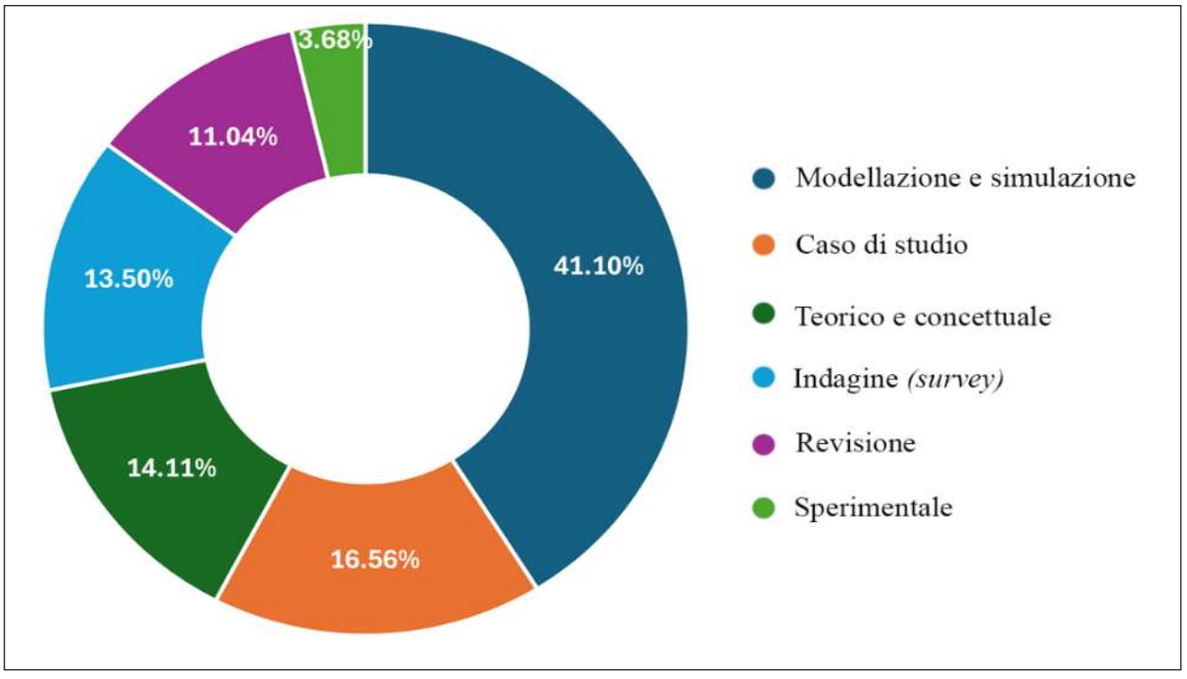


Figura 10. Metodologie utilizzate negli studi presenti in letteratura.

Poiché 'modellazione e simulazione' costituiscono l'approccio metodologico dominante nella letteratura esaminata e rappresentano il principale mezzo con cui operare delle valutazioni di sostenibilità basate sul ciclo di vita, si è resa necessaria un'ulteriore disaggregazione di questa categoria per identificare come le metodologie LCSA (LCA, LCC e S-LCA) vengano applicate nella ristrutturazione dei distretti SSH. Questa operazione ha anche permesso di escludere gli studi basati su simulazioni che non adottano esplicitamente un quadro LCSA e che, di conseguenza, rientrano al di fuori dell'ambito analitico di questa review. Di conseguenza, è stata effettuata una scomposizione della categoria 'modellazione e simulazione' nelle diverse tecniche LCSA (Fig. 11). Dalla Figura emerge che, all'interno di questa categoria, la LCA è il metodo più diffuso, con il 40% degli approcci di modellazione e simulazione identificati. La LCC (15%) risulta anch'essa significativa, riflettendo una buona attenzione all'integrazione tra valutazione economica e strumenti di supporto alle decisioni. La S-LCA (10%) è meno frequente, segnalando una minore attenzione, sebbene in crescita – verso i fattori sociali e la modellazione dei sistemi. Un ulteriore 35% degli studi impiega metodi di simulazione alternativi, che si collocano al di fuori dello scopo di questa ricerca, evidenziando così una notevole diversità metodologica. (Nota: queste percentuali sono calcolate sul sottoinsieme di 67 documenti, pari al 41,1% del campione totale, classificati come studi di 'modellazione e simulazione'; inoltre, un singolo documento può utilizzare più di una metodologia). Questa scomposizione metodologica consente di comprendere le tendenze di ricerca attuali nel campo, mettendo in evidenza il predominio degli approcci basati sulla simulazione e le lacune esistenti, in particolare il numero ridotto di studi dedicati alle valutazioni con forte focus sociale (ossia S-LCA). Essa funge anche da guida per individuare le necessità delle future direzioni di ricerca, suggerendo ambiti ancora in fase iniziale che richiedono un ulteriore approfondimento e consolidamento metodologico. Le metodologie LCSA verranno descritte più nel dettaglio nelle sezioni successive.

3.2.2.3. Metodi LCSA

LCSA è un quadro integrato che valuta gli impatti ambientali, economici e sociali degli interventi edilizi lungo l'intero ciclo di vita, applicando congiuntamente LCA, LCC e S-LCA per supportare decisioni comparative e informate (Amini Toosi et al., 2020; Balasbaneh et al., 2020; Chen et al., 2024; Settembre Blundo et al., 2018; Thibault et al., 2025). La maggior parte delle ricerche basate sul ciclo

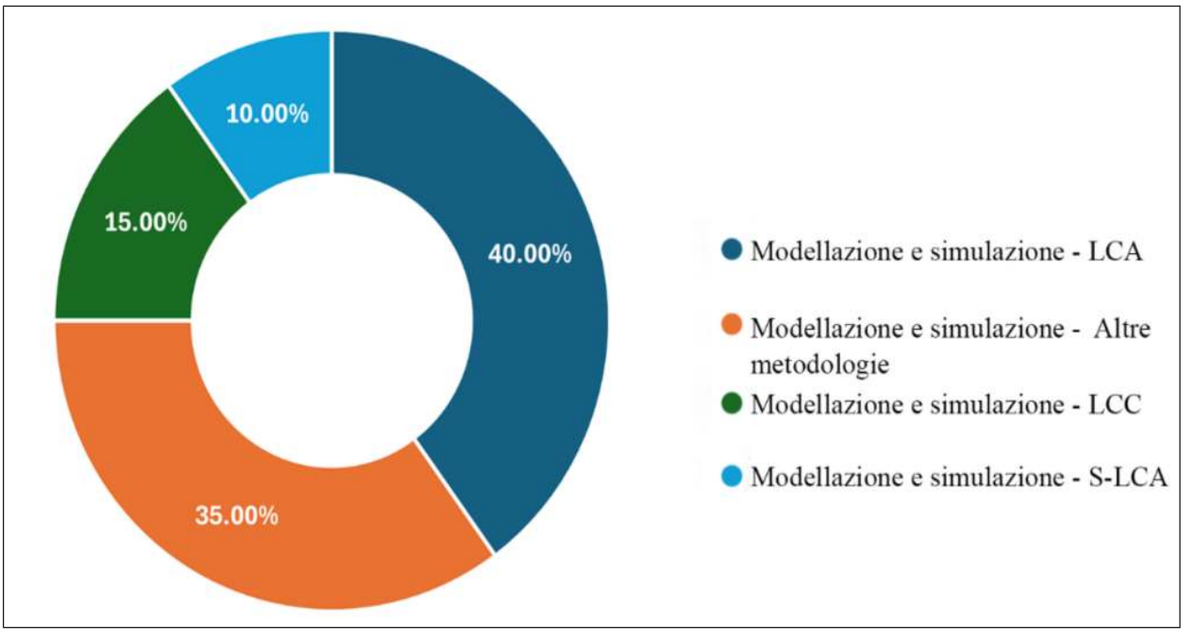


Figura 11. Scomposizione delle metodologie di modellazione e simulazione.

di vita si è concentrata principalmente sulla LCA, seguita dai metodi di valutazione LCC, come evidenziato dal predominio delle barre blu e arancioni in Figura 12. Al contrario, gli studi che impiegano la S-LCA (rappresentata in verde) risultano relativamente limitati, con soli 10 contributi individuati. L'applicazione di un approccio pienamente multidimensionale (LCSA) è particolarmente rara, con un solo studio pubblicato rispettivamente nel 2018, 2020, 2022, 2024 e 2025. Questo andamento temporale indica che, nonostante l'aumento complessivo della produzione scientifica, le valutazioni di sostenibilità veramente comprensive, in grado di integrare dimensioni ambientali, economiche e sociali, rimangono poco sviluppate nella letteratura, così come sono scarsi gli studi che applicano la S-LCA come metodo autonomo. Poiché la S-LCA costituisce un componente fondamentale dell'LCSA, il suo limitato sviluppo rappresenta un vincolo diretto all'adozione più ampia di approcci LCSA integrati. Questi risultati evidenziano una lacuna critica di ricerca: la necessità di una più

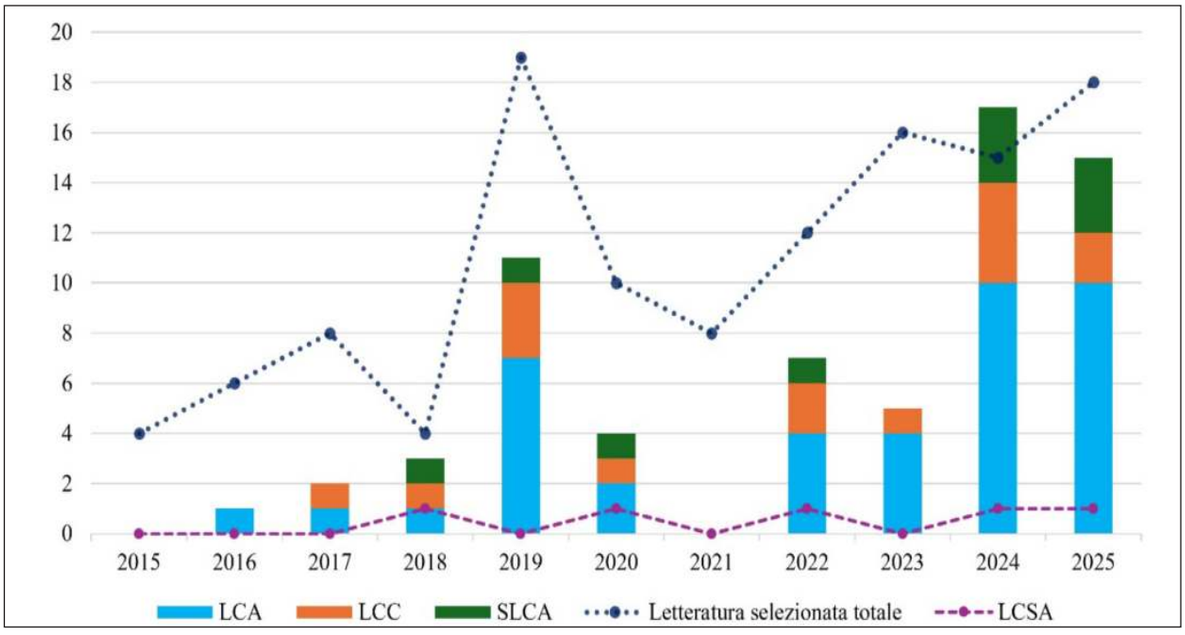


Figura 12. Numero annuale di pubblicazioni e di valutazioni di sostenibilità considerate.

ampia applicazione di quadri LCSA integrati e di un più forte accento metodologico sulle metriche di sostenibilità sociale nella ristrutturazione dell'SSH. Le sottosezioni che seguono esaminano in maggior dettaglio LCA, LCC e S-LCA (come spiegato nella metodologia in Sezione 2.3).

I) Valutazione del ciclo di vita – LCA

La LCA è una metodologia riconosciuta per valutare gli impatti ambientali associati a tutte le fasi del ciclo di vita di un prodotto, dall'estrazione delle materie prime alla produzione, all'uso e, infine, allo smaltimento/riciclo (International Organization for Standardization, 2020b, 2020a). Il quadro di riferimento per la LCA è fornito dall'International Organization for Standardization (ISO) nelle norme ISO 14040 (International Organization for Standardization, 2020a) e 14044 (International Organization for Standardization, 2020b). Nel settore delle costruzioni, tali standard internazionali sono integrati dalla norma EN 15978 (CEN, 2011), che definisce la metodologia specifica per valutare le prestazioni ambientali degli edifici, rimanendo allineata al quadro ISO 14040. Questi standard rendono la LCA uno strumento completo e sistematico, in grado di individuare dove si generano i principali carichi ambientali e come ridurne l'impatto. Dei 120 documenti analizzati, 40 si sono concentrati sulla LCA, e 2 di questi hanno adottato un approccio teorico; pertanto, non sono stati inclusi nella Tabella 3. Tra i restanti, 26 documenti hanno applicato esclusivamente la LCA, mentre 7 l'hanno combinata con la LCC. Inoltre, 5 studi hanno sviluppato una LCSA integrata. Solo due lavori hanno impiegato la LCA insieme alla sola S-LCA.

(i) Ciclo di vita

La Tabella 3 descrive il ciclo di vita, le UF, i database, il metodo LCIA e i software utilizzati negli studi esaminati. La durata di vita degli edifici considerati varia significativamente, da 25 a 100 anni, con valori più ricorrenti pari a 50 o 60 anni (si veda Tab. 3). Cicli di vita più lunghi tendono a enfatizzare gli impatti in fase d'uso, mentre periodi di valutazione più brevi attribuiscono maggiore peso agli impatti incorporati di produzione. Per tenere conto della sostituzione dei componenti edilizi, molti autori hanno definito la vita utile dei singoli elementi, oltre a quella dell'edificio nel suo complesso. Ad esempio, Van De Moortel et al. (2019b) hanno adottato una vita utile dell'edificio pari a 60 anni, mentre la caldaia aveva una vita di servizio di 30 o 20 anni; le finiture della copertura interna richiedevano sostituzione ogni 30 anni e il 10% delle tegole veniva sostituito nello stesso periodo. Un caso analogo è stato osservato in un altro lavoro degli stessi autori (Van De Moortel et al., 2019a), in cui la vita utile dell'edificio era ancora di 60 anni, ma le caldaie venivano sostituite ogni 20 anni. In un'altra ricerca (Pan & Chu, 2016), gli autori hanno considerato un ciclo di vita di 50 anni per l'edificio e una vita di servizio di 7,5 anni per il sistema idrico. In uno studio successivo (Sattler & Österreicher, 2019) è stato adottato un ciclo di vita edilizio di 100 anni, esaminando due materiali isolanti con durabilità diversa (uno sostituito due volte nell'arco di vita dell'edificio, l'altro ogni 50 anni). Larrea-Sáez et al. (2024) hanno utilizzato una durata di 50 anni e la sostituzione dei sistemi di riscaldamento dopo 20 anni; Salzer et al. (2017) hanno considerato una vita utile di 25 anni per tutte le tecnologie degli edifici di edilizia sociale. Questo insieme di risultati mostra la varietà di cicli di vita adottati per edifici, materiali e apparecchiature e come tali scelte influenzino gli esiti della valutazione.

(ii) Confini del sistema

La definizione dei confini del sistema è fondamentale nella LCA (Hunkeler, 2016), ma la sua applicazione nella letteratura presenta alcune incoerenze. La Figura 13 propone una suddivisione delle fasi del ciclo di vita considerate negli studi esaminati, basata sulla struttura della EN 15978 (CEN, 2011). La figura mostra che la fase di produzione (A1–A3) e la fase di costruzione (A4–A5) sono state valutate dalla maggior parte degli autori; seguono le fasi d'uso e di fine vita, con una rappresentazione compresa tra il 29% e il 57%. Sebbene il modulo D sia stato considerato nel 43% dei documenti esaminati (Balasbaneh et al., 2020; Larrea-Sáez et al., 2023; Mohaddes Khorassani et al., 2019; Passarelli & Mouton, 2023; Salzer et al., 2017; Satola et al., 2020), ciò mette in evidenza il coinvolgimento ancora limitato rispetto alle potenzialità di circolarità, come riuso, recupero o riciclo. Il modulo B1 è risultato

poco studiato (14%); persino Salzer et al. (2017) osservano che B1 è raramente documentato sia nei progetti esemplari sia nell'edilizia sociale. Nessuno degli studi esaminati ha adottato un vero approccio dalla culla alla culla (*cradle-to-cradle)* che copra tutti i moduli (A1–D), mentre alcuni lavori si sono avvicinati a un approccio dalla culla alla culla pur omettendo alcuni moduli del ciclo di vita (Marrero et al., 2024; Satola et al., 2020).

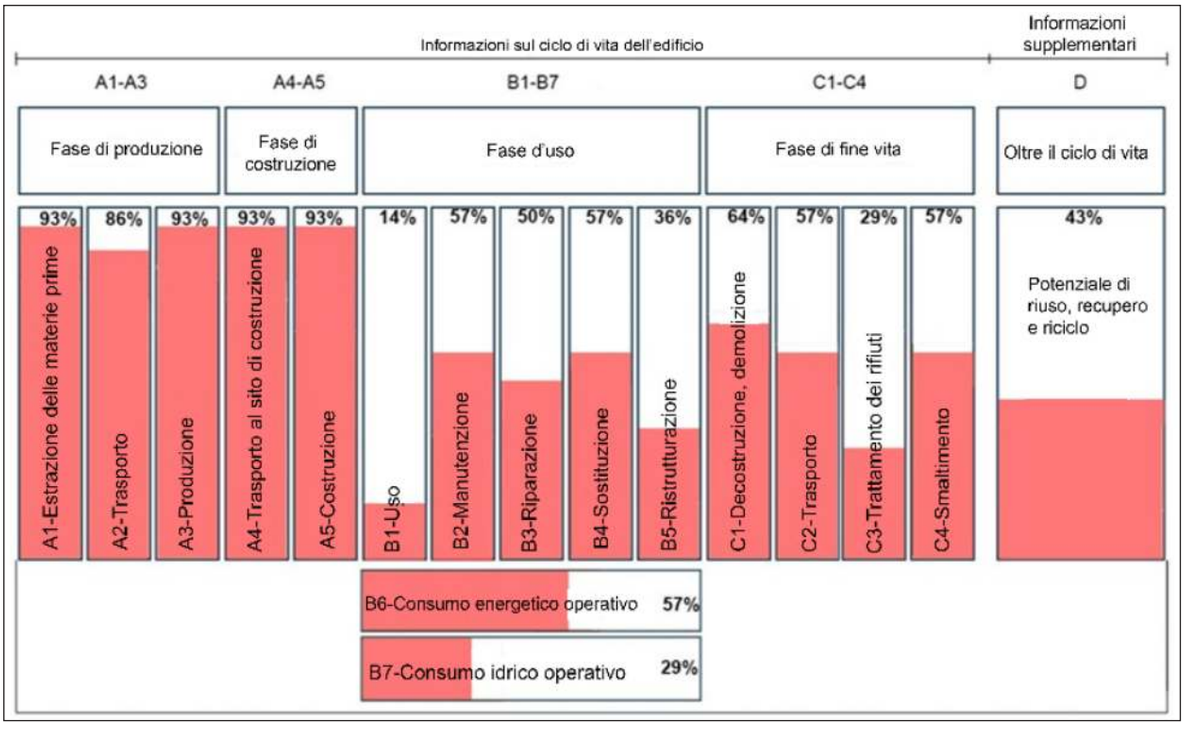


Figura 13. Copertura dei moduli del ciclo di vita negli studi LCA esaminati, in riferimento alla norma EN 15978 (CEN, 2011).

(iii) Unità funzionali (UF)

Nella letteratura esaminata sono stati osservati diversi tipi di UF (Tab. 3). Il primo tipo è l'unità di superficie (metro quadrato) (Hernandez-Cruz et al., 2024; Larrea-Sáez et al., 2023, 2024; Luque Castillo & Yepes, 2025a; Marrero et al., 2024; Passarelli & Mouton, 2023; Rincón et al., 2023; Salzer et al., 2017; Satola et al., 2020), con attenzione alla superficie lorda, all'area abitabile e all'area dell'alloggio. Un'altra UF comune utilizzata da vari studi è l'intero edificio lungo il suo periodo di vita utile (Amini Toosi et al., 2022; Eleftheriou et al., 2022; Gámez-García et al., 2019; Mohaddes Khorassani et al., 2019; Settembre Blundo et al., 2018; Sula et al., 2022; Van De Moortel et al., 2019b, 2019a). Uno studio (Sattler & Österreicher, 2019) non ha menzionato esplicitamente l'UF, pur riferendosi alle prestazioni dell'edificio su 100 anni, espresse sia per metro quadrato sia per l'intero edificio. Alcuni studi hanno utilizzato UF non convenzionali. Nel lavoro di Shinde et al. (2022), gli autori hanno adottato come UF 'un anno di consumo domestico suddiviso in 16 diverse categorie di spesa, dall'alimentazione e dall'abitazione fino ai viaggi e alle attività ricreative'. Il loro approccio ha impiegato tecniche di apprendimento automatico (*machine learning)* per cogliere i modelli di consumo specifici dei nuclei familiari e gli effetti di rimbalzo, consentendo una valutazione dinamica di come i cambiamenti economici, come la riduzione dei costi dell'abitazione, si traducano in variazioni dei comportamenti di consumo tra le diverse categorie. Un altro studio (Borrion et al., 2019) ha utilizzato UF multiple in funzione della scala e dell'applicazione del metodo LCA (ad esempio, persona, nucleo familiare, comunità). Solo pochi lavori (Arceo et al., 2025; Kameni Nematchoua & Andre Marie, 2025) hanno impiegato in modo indiretto un'UF basata sull'occupazione, per riflettere gli impatti pro capite anziché soltanto per unità di superficie. Sono state inoltre individuate varie UF a livello di componente. Alcuni studi hanno utilizzato la quantità di materiale (metri cubi o kg), soprattutto per materiali da costruzione come calcestruzzo e legno (Fernandez et al., 2023), oppure '1 m^2 di calcestruzzo su 50 anni' (Fernandez et al., 2023), la superficie di parete verde (*green wall surface*, (Pan

& Chu, 2016)), una finestra (Balasbaneh et al., 2020) e '1 m² di pannello di parete' (Dani et al., 2025).

(iv) Banche dati LCI

Dei 38 documenti descritti in Tabella 3, 36 (95%) hanno esplicitamente indicato il database utilizzato nelle valutazioni; di questi, 26 (68%) hanno impiegato *ecoinvent*, da solo o in combinazione con altri database. Gli altri studi hanno fatto ricorso a più sorgenti dati, come i dati EPA (Larrea-Sáez et al., 2024) per le emissioni dei sistemi a legna e pellet, Agribalyse v1.2 e EXIOBASE v2.2 (Shinde et al., 2022), il Malaysian Life Cycle Inventory Database basato su *ecoinvent* (Balasbaneh et al., 2020), un dataset interno sviluppato da Andalué Ambiental (Larrea-Sáez et al., 2023), Baubook (Sattler & Österreicher, 2019) e l'Andalusian Construction Cost Database (ACCD) che, pur essendo principalmente un database di costi, è stato utilizzato per estrarre le *bill of quantities* e collegarle ai dataset ambientali di *ecoinvent* (Marrero et al., 2024).

(v) Metodi di LCIA

Come illustrato nella Tabella 3, l'IPCC è il metodo LCIA più utilizzato (9 studi, 23,7%), seguito da ReCiPe (6 studi, 15,8%), CML 2001 (6 studi, 15,8%), impronta ambientale (*environmental footprint)* (4 studi, 10,5%), IMPACT 2002+ (3 studi, 7,9%) e domanda cumulativa di energia (*Cumulative Energy Demand)* (2 studi, 5,3%). Altri metodi riscontrati in letteratura includono TRACI e l'ILCD del JRC. Vari studi hanno utilizzato gli indicatori richiesti dalla EN 15804. È stata rilevata anche una tendenza nell'uso congiunto di strumenti LCA e software di modellazione energetica (colonna "software" in Tab. 3). SimaPro è il software più adottato per la LCA, utilizzato in 10 casi su 30 (33,3%). Altri strumenti LCA, meno frequenti, sono GaBi, One Click LCA e openLCA. MS Excel è impiegato per valutazioni più semplici. Per stimare i consumi energetici operativi degli edifici e la produzione rinnovabile all'interno della LCA, i software di simulazione energetica utilizzati includono EnergyPlus, TRNSYS, HOMER e VIP Energy. Un solo lavoro ha impiegato tecniche di apprendimento automatico per calcolare i modelli di consumo domestico e gli effetti di rimbalzo, valutandoli successivamente tramite LCA.

Tabella 3. Dimensioni metodologiche dell'LCA

Riferimento	UF (unità funzionale)	Durata di vita (anni)	Banche dati	Metodo LCIA	Software
Salzer et al. (2017)	1 m² di superficie edificata per l'intera vita utile	25 (10, 40 per scenari aggiuntivi)	Ecoinvent	Domanda Energetica Cumulativa (CED) (Huijbregts et al., 2010), Gruppo intergovernativo sul cambiamento climatico, IPCC (IPCC, 2014), Impact 2002+ (Jolliet et al., 2003)	SimaPro
Passarelli & Mouton (2023)	1 m²	60	Athena Sustainable Materials Institute database, Dichiarazione Ambientale di Prodotto (EPD)	EPA TRACI² 2.1, in accordo con ISO 21930/31	Impact Estimator for Buildings (IE4B v.5.4.0101)
Fernandez et al. (2023)	1 m³ di calcestruzzo, 1 m² di parete	40	Ecoinvent	Environmental Footprint (impronta ambientale)	SimaPro
Van De Moortel et al. (2019b)	Edificio	60 (edificio), 10, 20, 30 (sistemi energetici), 30 (copertura, serramenti e pareti)	Ecoinvent	Metodo LCA belga in linea con la norma europea EN15804+A1:2013	ABS

Segue Tabella 3. Dimensioni metodologiche dell'LCA

Riferimento	UF (unità funzionale)	Durata di vita (anni)	Banche dati	Metodo LCIA	Software
Borrion et al. (2019)	Varie (ad es. persona, nucleo familiare e comunità)	ABS	ABS	ReCiPe	ABS (sviluppato un nuovo calcolatore)
Sattler & Österreicher (2019)	Edificio,1 m² di superficie lorda di pavimento	100 (edificio), 10-20-25-35-50 (componenti)	Baubook	EN 15804:2012+A1:2013	Eco2Soft
Shinde et al. (2022)	1 anno di consumo domestico (16 categorie), espresso come spesa monetaria (in CHF) o come quantità (in kg o numero di elementi)	ABS	Ecoinvent v3.3, Agribalyse v1.2 e EXIOBASE v2.2	IPCC	Python (modello di regressione Random Forest basato su machine learning)
Satola et al. (2020)	1 m² di superficie lorda totale dell'edificio (GFA) per vita utile di servizio	25	Ecoinvent 3.6 (adattato alle condizioni di Shanghai)	ReCiPe	SimaPro, TRNSYS, HOMER Pro
Eleftheriou et al. (2022)	Edificio (superficie ≤ 64 m² e altezza della parete ≤ 3 m)	ABS	Ecoinvent	Zea Escamilla & Habert (2017) based on IPCC 2013	MS Excel
Sula et al. (2022)	Edificio	30	Ecoinvent	ABS (Menziona il potenziale di riscaldamento globale (GWP) in CO_2eq)	VIP Energy, LCA Manual Modelling
Amini Toosi et al. (2022)	Edificio	30	Ecoinvent, International Life Cycle Data System (ILCD 2.0 2018)	ILCD 2.0 2018 (Centro comune di ricerca della Commissione europea, JRC)	Energy Plus, MATLAB, Grasshopper
Balasbaneh et al. (2020)	1 finestra (120 cm × 120 cm)	40	Ecoinvent adattato al contesto malese, Malaysian Life Cycle Inventory Database (MYLCID)	IPCC	SimaPro
Hernandez et al. (2019)	1 kWh di calore fornito alle abitazioni	15 (pompa di calore)	Ecoinvent	ABS (Indicatori da EN 15978)	ABS

Segue Tabella 3. Dimensioni metodologiche dell'LCA

Riferimento	UF (unità funzionale)	Durata di vita (anni)	Banche dati	Metodo LCIA	Software
Gámez-García et al. (2019)	Edificio(42 m² dwelling)	50 edificio, (30-porte e finestre, 5-pitture)	CYPE, Ecoinvent	IPCC, CED, CML[1] 2001	ABS
Van De Moortel et al. (2019a)	Edificio	60 (edificio), 20 (caldaia)	ABS	Metodo LCA belga	ABS
Mohaddes Khorassani et al. (2019)	Complesso edilizio completo	100	Ecoinvent, letteratura	IMPACT 2002+	SimaPro 8.0.2
Settembre Blundo et al. (2018)	Complesso edilizio completo	100	Ecoinvent	IMPACT 2002+	SimaPro
Pan & Chu (2016)	1 m² del sistema di verde verticale (VGS)	50 (VGS),10 (vegetazione), 7,5 (linee di gocciolamento), 7,5 (tubi di irrigazione).	GaBi/Sphera LCI,ecoinvent	CML[1] 2001	GaBi
Marrero et al. (2024)	1 m² di superficie lorda di pavimento (piano terra)	ABS	Ecoinvent, banca dati dei costi di costruzione dell'Andalusia (Andalusian Construction Costs Database, ACCD) per l'impronta ambientale (*Environmental Footprint*), l'impronta di carbonio (*Carbon Footprint*), l'impronta idrica (*Water Footprint*) e l'energia incorporata (*Embodied Energy*), e per i relativi rifiuti da costruzione e demolizione (*Construction and Demolition Waste*).	ABS	SimaPro, Strumento PREDICE
Rincón et al. (2023)	1 m² di superficie abitabile	ABS	Ecoinvent	IPCC	openLCA v1.10.3
Larrea-Sáez et al. (2023)	1 m² di superficie abitabile	50	Ecoinvent v3	ReCiPe	SimaPro 8.0, DesignBuilder v6.1.0.6, EnergyPlus
Larrea-Sáez et al. (2024)	1 m² di superficie dell'alloggio	50 (edificio), 20 (sistemi di riscaldamento)	Ecoinvent, Agenzia per la protezione dell'ambiente (EPA 1996)	ReCiPe	EnergyPlus, strumento LCA non specificato.

Segue Tabella 3. Dimensioni metodologiche dell'LCA

Riferimento	UF (unità funzionale)	Durata di vita (anni)	Banche dati	Metodo LCIA	Software
Hernandez-Cruz et al. (2024)	1 m² di superficie climatizzata dell'edificio	30	Tutte le librerie di SimaPro (Ecoinvent)	ReCiPeEndpoint (H) v1.13	SimaPro
Di Ruocco (2024)	Diverse unità tecnologiche dell'edificio	50	Inventory of Carbon & Energy (ICE) dell'Università di Bath	GWP (EN 15804)	ABS
Chen et al. (2024)	1 m³ dei componenti prefabbricati	ABS(dalla culla al cancello)	Ecoinvent	CML[1]	Excel
Saez et al. (2024)	Edificio	50	Ecoinvent v3.8	Environmental Footprint v3	SketchUp Pro 2021, OpenStudio 1.2.0, Energy Plus V9.5.0, Simapro v9
Luque Castillo & Yepes (2025a)	1 m² di superficie edificata totale	50	Ecoinvent v3.7.1	ReCiPe 2008 (Hierarchical)	OpenLCA
Thibault et al. (2025)	Edificio	50	*Information sur les Impacts Environnementaux et Sanitaires, INIES* (Informazioni sugli impatti ambientali e sanitari, INIES)	IPCC	ABS
Arceo et al. (2025)	Abitante* anno	50	Natural ResourcesCanada's National Energy Use Database	Environment and Climate Change Canada (ECCC)	Excel, STATA17
Dani et al. (2025)	1 m² di pannello	50	Banca dati dell'Associazione per la ricerca edilizia della Nuova Zelanda (Building Research Association of New Zealand, BRANZ).	EN 15804+A1:2013	LCAQuick V3.6
Seddiki & Bennadji (2025)	Edificio	60	Banca dati EPD di One Click LCA	EN15804 +A2	One Click LCA
Leichter et al. (2025)	Edificio	60	Ecoinvent 3.6	CML[1] v4.4	SimaPro 9.1
Martínes et al. (2025)	1 kg di materiali da costruzione locali	ABS (dalla culla al cancello)	Ecoinvent	IPCC 2013, Environmental Footprint 3.0	SimaPro v. 9.4.0.2
Teng et al. (2024)	Edificio residenziale	50	Chinese life cycledatabase (CLCD)	CML[1] (mainly)	PKPM software

Segue Tabella 3. Dimensioni metodologiche dell'LCA

Riferimento	UF (unità funzionale)	Durata di vita (anni)	Banche dati	Metodo LCIA	Software
Rocha-Tamayo et al. 2025)	Struttura con una superficie di pavimento di 84 m²	40	ABS	ABS	ABS
Keena et al. (2024)	Appartamento con una superficie di pavimento di 80 m²	ABS	Ecoinvent v3	Environmental Footprint (probabile)	GaBi v9, Autodesk Revit 2023
Kameni Nematchoua & Andre Marie (2025)	Edificio, occupante, m² di superficie utile	80 (edifico), 30 (finestre), 10 (intonaci), 20 (attrezzature)	Ecoinvent 3.1	ABS (12 indicatori derivati da CML[1], Eco-indicator 99, IPCC, etc.)	EQUER, Pleaides LCAv 6.25.3
Jørgensen et al. (2025)	m²*anno	50	Banca dati EPD di One Click LCA	EN15804 (GWP)	OneClickLCA, Revit 2024

Note:
* ABS (Informazione assente)
[1] CML: Istituto di scienze ambientali dell'Università di Leiden (Centrum voor Milieuwetenschappen Leiden),
[2] Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other Environmental Impacts, strumento per la valutazione e la riduzione degli impatti chimici e di altri impatti ambientali.

II) Valutazione dei costi del ciclo di vita – LCC

La LCC copre il pilastro economico della sostenibilità in conformità alla norma ISO 15686-5:2017 (International Organization for Standardization, 2017). È stata riscontrata solo in 15 dei 120 documenti esaminati (Amini Toosi et al., 2022; Balasbaneh et al., 2020; Chen et al., 2024; Fahlstedt et al., 2024; Hernandez et al., 2019; Keena et al., 2024; Luque Castillo & Yepes, 2025a; Magdy & Elhamy, 2023; Serrano-Jimenez et al., 2017; Settembre Blundo et al., 2018; Sula et al., 2022; Teng et al., 2024; Thibault et al., 2025; Van De Moortel et al., 2019a, 2019b). Solo 3 studi hanno utilizzato la LCC in modo isolato (Fahlstedt et al., 2024; Magdy & Elhamy, 2023; Serrano-Jimenez et al., 2017), mentre 7 l'hanno combinata con la LCA (Hernandez et al., 2019; Keena et al., 2024; Luque Castillo & Yepes, 2025a; Sula et al., 2022; Teng et al., 2024; Van De Moortel et al., 2019a, 2019b) e 5 l'hanno impiegata all'interno di un quadro LCSA completo (Amini Toosi et al., 2022; Balasbaneh et al., 2020; Chen et al., 2024; Settembre Blundo et al., 2018; Thibault et al., 2025). Questa distribuzione evidenzia il ruolo crescente della LCC in combinazione con altre tecniche di valutazione del ciclo di vita, pur confermando il suo uso limitato come metodo autonomo.

(i) Ciclo di vita

La scelta del periodo di studio e dell'ipotesi di vita utile dell'edificio influenza in modo critico quale strategia di ristrutturazione risulti economicamente ottimale. In generale, vite utili più lunghe tendono a enfatizzare i costi operativi, mentre periodi di valutazione più brevi attribuiscono maggior peso ai costi di capitale iniziali. Gli studi esaminati hanno impiegato orizzonti di analisi variabili in funzione del contesto decisionale, sebbene il ciclo di vita della LCC risulti spesso implicito piuttosto che esplicitamente dichiarato. Amini Toosi et al. (2022) hanno integrato LCC con LCA e S-LCA senza riportare un parametro esplicito di durata per la dimensione economica; di conseguenza, si può assumere un periodo di 30 anni per coerenza con la vita utile adottata nella LCA.

In modo analogo, altri due studi LCSA hanno utilizzato il ciclo di vita definito nella LCA senza specificarlo separatamente per la LCC: (Balasbaneh et al., 2020) affermano che la LCC copre i costi

'lungo l'intero ciclo di vita' (40 anni) senza ridefinire una vita di servizio distinta, mentre (Settembre Blundo et al., 2018) integrano la LCC in un quadro LCSA olistico di 100 anni. Ciò non implica l'assenza del ciclo di vita nella LCC, ma piuttosto la sua natura implicita e allineata all'intera valutazione LCSA. Altri studi che combinano LCC e LCA adottano un ciclo di vita coerente tra le due valutazioni (Hernandez et al., 2019; Larrea-Sáez et al., 2024; Sula et al., 2022; Van De Moortel et al., 2019b, 2019a). Gli studi concentrati esclusivamente sulla LCC definiscono esplicitamente la durata: Serrano-Jimenez et al. (2017) utilizzano un periodo di 30 anni per i pacchetti di ristrutturazione di edifici mediterranei; Magdy & Elhamy (2023) applicano orizzonti di 8 e 16 anni (tre scenari, uno con 8 anni e due con 16 anni) per modellare la vita utile dell'edilizia popolare egiziana.

(ii) Confini del sistema

Nella LCC, i confini del sistema sono delineati dai componenti di costo finanziario, più che dai moduli di ciclo di vita. Nella letteratura esaminata, i confini della LCC sono raramente esplicitati secondo i moduli A–D come nella LCA (basata su EN 15978 (CEN, 2011)), privilegiando invece classificazioni di costo: investimento, esercizio, manutenzione e sostituzione. Le applicazioni di LCC autonoma tendono a concentrarsi su Capital Expenditure (CAPEX) e Operational Expenditure (OPEX) (ad esempio risparmi energetici), omettendo spesso i processi di fine vita (End-of-Life, EoL) e i valori residui (Magdy & Elhamy, 2023; Serrano-Jimenez et al., 2017). L'integrazione incoerente di EoL e valori residui dipende dalle scelte di confini del sistema, dalla scarsità di dati e dal valore attuale netto (NPV) spesso trascurabile dei flussi futuri rispetto ai costi di capitale immediati. Questo orientamento concentra i confini sull'ottimizzazione economica in fase d'uso. Al contrario, gli studi LCSA che combinano LCC e LCA mostrano divergenze metodologiche: mentre Balasbaneh et al. (2020) sincronizzano la LCC con i moduli LCA, altri lavori (Amini Toosi et al., 2022; Settembre Blundo et al., 2018) mantengono per la LCC una struttura basata su flussi economici (ad esempio costi di ricerca e sviluppo, costi di investimento, costi operativi, redditi da locazione, costi di restauro e costi di dismissione, inclusi smontaggio, riciclo e smaltimento) anziché su una mappatura modulare. Tuttavia, gli studi che combinano LCC e LCA tendono ad allineare implicitamente i confini del sistema.

(iii) Unità funzionali (UF)

Nella maggior parte dei casi, l'UF in LCC corrisponde alle prestazioni economiche di una misura di retrofit, di un sistema o di un edificio nel periodo di valutazione, senza essere esplicitamente etichettata come UF. Quando LCC e LCA vengono utilizzate congiuntamente, UF allineate sono essenziali per ottenere valutazioni di sostenibilità robuste e interpretabili. Solo pochi studi di LCC hanno adottato esplicitamente la stessa UF della LCA: 1 kWh di calore fornito agli alloggi (con la LCC espressa in €/kWh) (Hernandez et al., 2019), l'intero complesso edilizio (Settembre Blundo et al., 2018) e 1 m² di superficie utile dell'alloggio (Larrea-Sáez et al., 2024). Diversi studi hanno adottato implicitamente l'edificio o l'unità abitativa come UF (Amini Toosi et al., 2022; Magdy & Elhamy, 2023; Settembre Blundo et al., 2018; Sula et al., 2022; Van De Moortel et al., 2019b, 2019a), in particolare quando la LCC è stata applicata in combinazione con la LCA per valutare strategie alternative di ristrutturazione (Amini Toosi et al., 2022; Settembre Blundo et al., 2018; Sula et al., 2022; Van De Moortel et al., 2019b, 2019a). In tali casi, i risultati economici sono riportati per edificio o sistema abitativo, consentendo il confronto diretto tra scenari alternativi alla scala dell'edificio.

(iv) Banche dati

Le applicazioni di LCC nella letteratura esaminata si basano su sorgenti di dati eterogenee, riflettendo la natura fortemente contestuale delle valutazioni economiche. La maggior parte degli studi ha ricavato i dati di costo da prezzi di mercato, statistiche nazionali, stime specifiche di progetto o fonti regolatorie, piuttosto che da database LCC unificati. In assenza di dati di costo locali specifici, alcuni database esteri sono stati considerati e adattati al contesto nazionale, ad esempio adeguando i costi della manodopera agli standard nazionali (Luque Castillo & Yepes, 2025b).

(v) Metodi di contabilizzazione dei costi

La maggior parte degli studi ha impiegato il Valore Attuale Netto (Net Present Value, NPV) come metodo principale di valutazione (Amini Toosi et al., 2022; Magdy & Elhamy, 2023; Sula et al., 2022).

Un sottoinsieme più ristretto di lavori ha ampliato la LCC convenzionale monetizzando gli impatti ambientali: ad esempio, Van De Moortel et al. (2019b) hanno utilizzato la metodologia nazionale belga di LCA per attribuire valori monetari agli impatti ambientali. Gli autori hanno inoltre impiegato la costo del ciclo di vita finanziario (F-LCC) per valutare i costi di ristrutturazione, consentendo il confronto con gli costi ambientali del ciclo di vita (E-LCC). Balasbaneh et al. (2020) hanno considerato il costo complessivo, includendo estrazione, produzione, trasporto, salari della manodopera e costi di fine vita attualizzati alla data di valutazione all'interno della formulazione LCC. Alcuni studi hanno fornito formule finanziarie dettagliate e analisi di sensibilità, mentre altri si sono limitati a confronti di costo semplificati, come nel caso di Settembre Blundo et al. (2018), che si sono focalizzati sui costi di restauro, includendo costi, benefici e IVA.

III) Valutazione sociale del ciclo di vita – S-LCA

Secondo la EN 16309:2014 (CEN, 2014), la valutazione delle prestazioni sociali si differenzia in modo significativo dalle dimensioni ambientali ed economiche, richiedendo metodi sia quantitativi sia qualitativi su categorie quali salute e comfort, accessibilità, sicurezza e protezione, manutenzione, impatti sul quartiere e adattabilità. Nel 2009 sono state pubblicate le prime Linee guida per la valutazione del ciclo di vita sociale dei prodotti (*Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products)*, successivamente aggiornate nel 2020 (UNEP, 2009, 2020). La S-LCA valuta gli impatti sociali di prodotti e servizi lungo il loro ciclo di vita (UNEP, 2020). Nonostante la sua riconosciuta importanza, l'uso della S-LCA è rimasto estremamente limitato nella ricerca sull'SSH esaminata. Solo 10 documenti sui 120 considerati hanno incorporato valutazioni S-LCA (Amini Toosi et al., 2022; Babos et al., 2023; Balasbaneh et al., 2020; Borri et al., 2024; Chen et al., 2024; Josa & Borrion, 2025; Martínes et al., 2025; Mohaddes Khorassani et al., 2019; Settembre Blundo et al., 2018; Thibault et al., 2025).

(i) Ciclo di vita

Il ciclo di vita in S-LCA di solito non viene dichiarato in modo esplicito. Quando la S-LCA è stata combinata con LCA o LCC, le analisi hanno generalmente adottato lo stesso ciclo di vita delle altre valutazioni; tuttavia, in alcuni casi sono stati considerati orizzonti temporali differenti. Ad esempio, sebbene la LCA proposta da Mohaddes Khorassani et al. (2019) adottasse un approccio dalla culla alla tomba (*cradle-to-grave)* con un orizzonte di 100 anni, la durata considerata per la S-LCA va dall'inizio della ristrutturazione (2001) all'anno di realizzazione dello studio (2015). Questo riflette il fatto che la loro S-LCA si basa su dati primari, raccolti empiricamente presso gli stakeholder (interviste e consultazioni con la comunità), che sono intrinsecamente limitati al periodo in cui tali dati possono essere raccolti. Ciò mostra che anche la durata di vita considerata nella S-LCA dipende dai vincoli di raccolta dei dati e dalle scelte metodologiche adottate.

(ii) Confini del sistema

Nei sistemi S-LCA, i confini del sistema risultano di norma meno formalizzati e strutturati rispetto a quelli della LCA. Essi tendono a essere narrativi, guidati dagli stakeholder o adattati a contesti specifici, più che allineati sistematicamente alle fasi EN 15978 (CEN, 2011). La S-LCA è fortemente incentrata sui portatori di interessi (stakeholder), valutando gli impatti sociali su diversi gruppi di attori e su indicatori selezionati, piuttosto che concentrarsi su dinamiche strettamente temporali come avviene in LCA e LCC. La selezione degli stakeholder costituisce un confine specifico della S-LCA: essa è informata dalle linee guida UNEP/SETAC, che identificano sei categorie di stakeholder – lavoratori *(workers),* comunità locali *(local communities),* consumatori *(consumers),* società *(society),* attori nella catena del valore *(value chain actors)* e bambini *(children)* (UNEP, 2020, 2021).

Martínes et al. (2025) hanno seguito le linee guida UNEP/SETAC e proposto una S-LCA dalla porta alla porta *(gate-to-gate)* focalizzata su un solo stakeholder, i lavoratori. Borri et al. (2024) hanno sviluppato una S-LCA dalla culla al cancello (*cradle-to-gate)* seguendo le fasi definite dalla EN 15978 per la LCA, considerando come stakeholder lavoratori, comunità locali, società, consumatori e attori della catena del valore. Chen et al. (2024) si sono allineati alle linee guida UNEP/SETAC e hanno individuato quattro categorie di stakeholder: lavoratori, comunità locali, consumatori e società. Oltre a rispettare le UNEP/SETAC, Settembre Blundo et al. (2018) hanno fatto riferimento anche agli

AA1000 Accountability Principles Standards (Thibault et al., 2025) per identificare gli stakeholder coinvolti nella gestione del patrimonio culturale, basandosi su criteri di responsabilità, influenza, prossimità, dipendenza e rappresentanza. Sulla base delle schede metodologiche UNEP/SETAC (UNEP, 2021), il quadro S-LCA proposto incorpora cinque categorie di stakeholder. Josa & Borrion (2025) hanno sviluppato confini di sistema orientati agli stakeholder: i lavoratori sono considerati solo nelle fasi di produzione, costruzione e demolizione; gli utenti (*users)* esclusivamente in fase operativa; gli attori della catena del valore nella gestione dei rifiuti; le comunità locali e le società lungo l'intero ciclo di vita.

Nel lavoro di Amini Toosi et al. (2022), il confine del modello S-LCA è descritto solo in forma narrativa (senza indicare con precisione fasi o moduli), implicando un allineamento con il sistema complessivo LCSA oggetto di studio, senza una differenziazione esplicita per gli impatti sociali. In modo analogo, Balasbaneh et al. (2020) non hanno definito la S-LCA attraverso un'esplicita articolazione delle fasi del ciclo di vita, benché la LCA proposta nello stesso lavoro segua la EN 15978 (CEN, 2011) con un chiaro riferimento ai moduli. Mohaddes Khorassani et al. (2019) hanno utilizzato gli stakeholder, i temi sociali e gli indicatori di performance, osservando che la definizione dei confini del sistema diventa poco chiara quando si includono gli impatti sociali e sottolineando esplicitamente le difficoltà di allineare i confini S-LCA a quelli dell'LCA. Tale approccio suggerisce confini basati su criteri sociali. Settembre Blundo et al. (2018) hanno strutturato i confini del sistema attorno alle fasi di restauro, includendo processi di decisione, esecuzione e gestione. Ciò riflette una definizione dei confini orientata ai processi, in cui gli impatti sociali sono collegati alle attività e alle strutture di governance.

(iii) Unità funzionali (UF)

In genere, quando la S-LCA è integrata con LCA o LCC, viene adottata la stessa UF in tutte le analisi. Le UF utilizzate negli studi S-LCA comprendono il restauro del complesso edilizio (Mohaddes Khorassani et al., 2019), l'edificio (Amini Toosi et al., 2022), il componente edilizio (la finestra) (Balasbaneh et al., 2020) e la fornitura della stessa superficie netta utilizzabile e degli stessi servizi edilizi (Josa & Borrion, 2025). Borri et al. (2024) non hanno considerato alcuna UF, poiché non era necessaria nel caso di utilizzo esclusivo di dati qualitativi. In Settembre Blundo et al. (2018), l'UF non è stata quantificata in una specifica unità fisica, ma è risultata implicita e corrispondente ai processi attivati dalla ristrutturazione dell'edificio analizzato. In S-LCA, l'UF è tipicamente implicita e riformulata come sistema, intervento o riferimento basato sugli stakeholder, in coerenza con la natura della valutazione degli impatti sociali.

(iv) Modalità di raccolta dati

La S-LCA combina dati qualitativi e quantitativi. La raccolta di dati primari è stata condotta tramite interviste o questionari rivolti ai principali stakeholder (Settembre Blundo et al., 2018). Rispetto a LCA e LCC, la S-LCA si basa spesso su informazioni più soggettive e qualitative, a causa della difficoltà di quantificare gli impatti sociali in modo coerente. Le evidenze qualitative raccolte mediante interviste possono essere confrontate con dati forniti da agenzie governative o da fonti accademiche pertinenti per validare i risultati. I dati secondari sono stati ottenuti dalla letteratura o da database consolidati e rappresentano informazioni generiche piuttosto che specifiche del sito. I database per S-LCA sono in espansione, e alcuni sono progettati per essere compatibili con i database e i modelli di LCA ambientale. PSILCA (Goedkoop et al., 2020), ad esempio, è compatibile con database ambientali come *ecoinvent*, consentendo valutazioni di sostenibilità integrate.

(v) Metodi di valutazione degli impatti di ciclo di vita

Due approcci principali sono comunemente utilizzati nella valutazione degli impatti S-LCA: l'approccio basato su scale di riferimento (*reference scale approach,* Tipo I) e l'approccio basato sui percorsi di impatto (*impact pathway approach*,Tipo II). L'approccio della scala di riferimento (Tipo I) valuta gli impatti sociali utilizzando indicatori e scale di riferimento predefinite (ad esempio attribuendo punteggi alle condizioni dei lavoratori o al benessere della comunità rispetto a scale ordinali), mentre l'approccio del percorso di impatto (Tipo II) modella catene causali di tipo causa-ef-

fetto dalle azioni di intervento agli esiti sociali lungo un percorso di impatto (cioè la catena causa-effetto esplicita che collega le attività di ciclo di vita agli esiti sociali) (UNEP, 2020). Le linee guida UNEP/SETAC forniscono un elenco di categorie di impatto sociale e indicatori. Sulla base di tali linee guida, il *Handbook for Product Social Impact Assessment* di Pré Sustainability (Tokede & Traverso, 2020) offre un approccio pratico per valutare gli impatti sociali lungo il ciclo di vita di un prodotto, organizzato in 19 sottocategorie valutate tramite indicatori di performance raccomandati.

Martínes et al. (2025) hanno proposto una valutazione di tipo I basata sulla costruzione di scale di riferimento, da −2 per una prestazione molto bassa a +2 per una prestazione molto alta. I punteggi non sono stati aggregati in un unico indicatore di impatto di punto finale *(end-point).* Josa & Borrion (2025) hanno adottato un approccio di tipo I, proponendo diversi indicatori quantitativi di impatto, normalizzati tramite una procedura *min/max* e sommati (senza pesatura) per ottenere un sistema di punteggio di punto finale. Chen et al. (2024), basandosi sulla metodologia UNEP, hanno individuato 14 sottocategorie di impatto e 21 indicatori di valutazione. I punteggi sono stati normalizzati in un intervallo da −1 a +1 e pesati in base all'importanza di ciascun indicatore per calcolare il punteggio sociale finale. L'Analytic Hierarchy Process (AHP) è stato utilizzato per determinare i fattori di pesatura. Balasbaneh et al. (2020) hanno seguito in modo rigoroso le linee guida UNEP/SETAC, selezionato indicatori specifici per il contesto della ristrutturazione edilizia, applicato la pesatura AHP e utilizzato la normalizzazione per garantire la comparabilità tra scenari. Mohaddes Khorassani et al. (2019) hanno adottato a loro volta il metodo proposto dalle linee guida UNEP/SETAC e dal *Handbook* di Pré Sustainability. Per valutare gli indicatori secondo quest'ultimo, è stato utilizzato un sistema di punteggio basato su scale (da −2 per una prestazione indesiderabile a +2 per una prestazione ideale), applicato agli indicatori di impatto sociale. I punteggi sono stati aggregati in diversi modi (ad esempio per tema sociale, gruppo di stakeholder, totale) utilizzando differenti sistemi di pesatura. Per evitare che i punteggi fossero influenzati dal numero di attori coinvolti, essi sono stati normalizzati dividendo per il numero totale di attori, riducendo così i bias di aggregazione e garantendo la comparabilità tra stakeholder.

Settembre Blundo et al. (2018) hanno invece tradotto i risultati SLCA in un indice di priorità degli stakeholder basato sui criteri di potere, urgenza e prossimità. Questo approccio differisce in modo significativo da quello proposto dalle linee guida UNEP/SETAC, poiché enfatizza le aspettative degli stakeholder più che le categorie standardizzate di impatto sociale. Amini Toosi et al. (2022) si sono concentrati sulla sicurezza e sull'affidabilità della fornitura elettrica, identificata come una categoria di impatto SLCA nella EN 16309:2014+A1:2014 (CEN, 2014). L'autoconsumo dell'energia elettrica generata da impianti fotovoltaici è stato utilizzato come proxy per la mitigazione dei sovraccarichi di rete e la protezione degli utenti, riflettendo preoccupazioni legate alla resilienza dell'infrastruttura elettrica. Queste categorie di impatto SLCA sono state scelte per allinearsi all'obiettivo del caso studio – la resilienza della rete – invece di ricorrere a un elenco generico, come raccomandato dall'UNEP/SETAC (UNEP, 2020, 2021) e dalla letteratura recente (Tokede & Traverso, 2020). L'indicatore cumulativo di impatto non è stato normalizzato rispetto a valori di riferimento; gli autori hanno utilizzato una procedura di normalizzazione interna rispetto allo scenario di base (scenario preretrofit). Hanno definito un indice SLCA dividendo la metrica di selfconsumption di ciascun scenario per quella del baseline preretrofit, ottenendo un valore adimensionale in cui valori superiori a '1' indicano un miglioramento della prestazione sociale. Gli autori (Amini Toosi et al., 2022) hanno sottolineato la flessibilità e la futura estensibilità della loro metodologia, affermando che il modello può integrare ulteriori indicatori sociali o metriche SLCA standardizzate.

3.2.3 Casi di conflitto nelle valutazioni integrate

Il valore centrale delle valutazioni integrate risiede nell'identificazione sistematica dei compromessi (*trade-off)* tra i diversi domini di sostenibilità e nelle conclusioni contrastanti che possono emergere. L'allineamento degli approcci metodologici negli studi che combinano differenti dimensioni della sostenibilità è cruciale per individuare in modo efficace i compromessi tra i diversi domini. Alcuni casi di conflitto sono stati individuati negli studi analizzati:

- Molte strategie di ristrutturazione hanno raggiunto prestazioni similmente basse in termini di emissioni di carbonio e costi, con LCA e LCC che mostrano andamenti allineati e una dispersione limitata tra le soluzioni ottimali (Arceo et al., 2025). Tuttavia, misure che risultano ambientalmente favorevoli (benefici su lunghi orizzonti temporali) possono apparire economicamente poco attraenti, soprattutto quando richiedono elevati costi di investimento e si applicano alti tassi di sconto (Babos et al., 2023; Keena et al., 2024).
- Arceo et al. (2025) hanno affermato che riduzioni significative del disagio termico (indicatore di impatto sociale) richiedono sistematicamente di accettare maggiori emissioni sul ciclo di vita, costi più elevati, oppure entrambi.
- Potenziali compromessi emergono in modo sistematico tra prestazioni ambientali, sostenibilità economica e obiettivi sociali. In Babos et al. (2023), misure ambientalmente favorevoli, come evidenziato dalla LCA, introducono tensioni con l'accessibilità economica e l'inclusività quando vengono valutate tramite LCC e S-LCA, in particolare nei contesti di edilizia sociale. Keena et al. (2024) sostengono che, in assenza di strumenti di strumenti di finanziamento verde (*green financing)*, i maggiori costi associati ai materiali riciclati a basso impatto ridurrebbero l'accessibilità economica e escluderebbero le famiglie a reddito medio.
- Nello studio sui materiali locali da costruzione in Ecuador (Martínes et al., 2025), è stato riscontrato un compromesso significativo tra materiali a basso impatto ambientale e la loro performance sociale. Materiali tradizionali come l'adobe e i mattoni in argilla modellata sono prodotti con metodi artigianali che richiedono poca o nessuna meccanizzazione, comportando emissioni di gas serra molto basse; tuttavia, questi stessi processi presentano prestazioni sociali "molto basse", soprattutto in relazione alle condizioni di lavoro (ad esempio bassi salari, assenza di copertura previdenziale formale, maggior rischio di infortuni e carenza di dispositivi di protezione adeguati).

4. Lacune di ricerca critiche e direzioni future

I risultati di questo studio indicano che la S-LCA è la metodologia più criticamente sottosviluppata all'interno della LCSA per la ristrutturazione dell'SSH. Solo 10 dei 120 studi esaminati impiegano S-LCA, a fronte di 40 che utilizzano LCA e 15 che adottano LCC. Questa sottorappresentazione riflette lacune fondamentali nella maturità metodologica e nella standardizzazione della S-LCA. Storicamente, l'assenza di standard internazionali riconosciuti, comparabili a ISO 14040/14044 (International Organization for Standardization, 2020a, 2020b) per la LCA o a ISO 15686-5 (International Organization for Standardization, 2017) per la LCC, ha fortemente limitato l'adozione della S-LCA e la comparabilità tra studi.

I dieci studi SLCA analizzatiin questa revisioneevidenziano ulteriori incoerenze metodologiche (Amini Toosi et al., 2022; Babos et al., 2023; Balasbaneh et al., 2020; Borri et al., 2024; Chen et al., 2024; Josa & Borrion, 2025; Martínes et al., 2025; Mohaddes Khorassani et al., 2019; Settembre Blundo et al., 2018; Thibault et al., 2025). La selezione degli indicatori varia in modo evidente tra i progetti, con categorie di impatto sociale per lo più non definite e non armonizzate. La trasparenza dei dati risulta frequentemente insufficiente, poiché le condizioni di base e le ipotesi di pesatura sono spesso riportate in modo incompleto. Inoltre, i protocolli di coinvolgimento degli stakeholder mancano di una struttura e di una standardizzazione chiare, limitando la robustezza e la riproducibilità delle valutazioni. Nel complesso, questi risultati mettono in luce lacune strutturali di ricerca in termini di armonizzazione degli indicatori, trasparenza del reporting, progettazione dei protocolli di coinvolgimento degli stakeholder e comparabilità tra i diversi casi nelle applicazioni S-LCA alla ristrutturazione dell'SSH. LCA e LCC mostrano, per contro, livelli di maturità metodologica relativamente più elevati. La solidità della LCA deriva dall'uso consolidato di UF standard, da protocolli di confini del sistema chiaramente definiti (dalla culla al cancello, dalla culla alla tomba, dalla culla alla culla), da metodi LCIA di caratterizzazione stabiliti e da vite utili di edifici e componenti ben definite, elementi riscontrati con coerenza nei documenti esaminati. L'allineamento di questi aspetti consente confronti significativi tra progetti diversi. Analogamente, la LCC beneficia di metodi, indicatori e

ipotesi di vita utile consolidati e documentati in rapporti nazionali, favorendo una maggiore armonizzazione dei parametri economici tra studi.

Questo squilibrio tra la maturità delle dimensioni ambientale/economiche e la frammentazione metodologica della dimensione sociale rappresenta una lacuna centrale per l'avanzamento della LCSA integrata nella ristrutturazione dell'SSH, come dimostra il numero limitato di studi (cinque) che applicano la LCSA nonostante la sua maturità concettuale. Rafforzare i quadri S-LCA è pertanto un prerequisito per far progredire l'implementazione della LCSA nei contesti di ristrutturazione dell'SSH.

Sulla base di questi vuoti conoscitivi, la presente rassegna individua le seguenti direzioni di ricerca futura:

(1) Standardizzazione della S-LCA: L'avanzamento dell'applicazione della S-LCA nella ristrutturazione dell'SSH necessita dell'adozione di meccanismi di standardizzazione analoghi a quelli che hanno consolidato le metodologie LCA e LCC. La S-LCA deve sviluppare progressivamente indicatori sociali condivisi, definizioni più chiare dei confini del sistema, convenzioni trasparenti di pesatura, riconoscendo al tempo stesso che una completa standardizzazione degli indicatori sociali è difficile, data la natura fortemente contestuale, localizzata e culturale degli impatti sociali. La S-LCA è altamente dipendente dal contesto; qualsiasi movimento verso una maggiore standardizzazione dovrebbe essere preceduto da ampie discussioni internazionali e da un lavoro collaborativo tra ricercatori e professionisti, sia nell'ambito della S-LCA sia in altri campi analogamente dipendenti dal contesto. La recente pubblicazione della ISO 14075:2024 (International Organization for Standardization, 2024), insieme alle *Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products and Organizations* UNEP/SETAC del 2020 (UNEP, 2020), offre un quadro di base in grado di sostenere l'istituzione di tali convenzioni.

(2) Protocolli trasparenti di reporting e di coinvolgimento degli stakeholder: La S-LCA dovrebbe adottare pratiche di rendicontazione trasparente da tempo radicate nelle metodologie LCA. Mentre gli studi di LCC documentano regolarmente tassi di sconto e ipotesi di vita utile, le applicazioni S-LCA raramente dichiarano le metodologie di pesatura, i criteri di identificazione degli stakeholder o i quadri di prioritizzazione. La ricerca futura dovrebbe quindi dare priorità alla documentazione esplicita delle condizioni di base, della logica di pesatura e dei processi partecipativi, così da migliorare la riproducibilità e la rilevanza per le politiche. Infine, è necessario sviluppare e testare sistematicamente protocolli standardizzati per l'identificazione degli stakeholder, il coinvolgimento partecipativo e la pesatura equa delle preferenze, per garantire l'inclusione trasparente delle comunità interessate e delle popolazioni vulnerabili lungo l'intero ciclo di vita della ristrutturazione dell'SSH.

(3) Infrastrutture dedicate di dati per la S-LCA: Lo sviluppo di database S-LCA dedicati e, soprattutto, economicamente accessibili per i contesti di edifici e quartieri, analoghi ai dati ambientali, potrebbe migliorare in modo sostanziale la disponibilità di dati, la coerenza metodologica e la comparabilità tra studi, documentando in modo sistematico le condizioni sociali di base negli ambienti abitativi. In assenza di tali infrastrutture di dati, la S-LCA rischia di rimanere frammentata e insufficiente a supportare non solo una ristrutturazione equa dell'SSH, ma anche politiche e pratiche di ristrutturazione edilizia più ampie.

(4) Espansione geografica: L'ambito della ricerca deve ampliarsi geograficamente verso regioni attualmente sottorappresentate, tra cui Africa, America Latina e Asia, indagando come le metodologie di valutazione si adattino a regimi di occupazione degli alloggi, quadri di governance e priorità sociali differenti rispetto ai contesti europei. Poiché la maggior parte degli studi esaminati è concentrata sull'Europa (Sezione 3.1.2), la trasferibilità e la rilevanza degli approcci di ristrutturazione SSH risultano limitate rispetto alla maggioranza globale che affronta problemi acuti di accessibilità economica alla casa e povertà energetica. Future applicazioni empiriche in paesi come India, Brasile e Cina, dove la Fase 2 (Sezione 3.1.2) ha evidenziato un'attività di ricerca emergente, potrebbero accrescere la diversità metodologica e la robustezza contestuale.

(5) Valutazioni multiscalari: Le comprensioni degli impatti dovranno inoltre andare oltre la scala dell'edificio, che attualmente domina il campione (44% degli studi), per estendersi alle scale di distretto e quartiere. La ricerca futura dovrebbe privilegiare approcci di modellazione multiscalare in grado di cogliere sinergie tra edifici, effetti delle infrastrutture condivise e risultati sociali a livello di quartiere, come coesione comunitaria e continuità culturale.

In sintesi, i principali vuoti di ricerca riguardano: (1) la frammentazione metodologica della S-LCA, (2) la limitata integrazione all'interno della LCSA, (3) la rappresentatività geografica ristretta, (4) la carenza di valutazioni alla scala di quartiere e (5) l'insufficiente standardizzazione delle pratiche di coinvolgimento degli stakeholder. Affrontare i punti (1)-(5) è essenziale per sviluppare metodologie armonizzate, migliorare le infrastrutture di dati, ampliare l'applicazione a livello globale e consolidare quadri integrati multiscalari, rendendo così possibile che la ristrutturazione dell'edilizia residenziale sociale contribuisca al raggiungimento della neutralità climatica entro il 2050, preservando al contempo l'accessibilità economica degli alloggi, l'accesso all'energia e l'equità sociale per le popolazioni più vulnerabili in Europa.

5. Conclusioni

Questa revisione sistematica di 120 documenti sottoposti a revisione paritaria (2015–2025) ha esaminato le metodologie di valutazione della sostenibilità applicate alla ristrutturazione dell'Edilizia Residenziale Sociale (SSH). Integrando l'analisi bibliometrica con l'analisi dei contenuti, la rassegna mostra che LCA e LCC sono metodologicamente mature e ampiamente applicate, mentre la S-LCA rimane rara e frammentata. Questo squilibrio sottolinea la sottorappresentazione e l'incoerenza metodologica della S-LCA nella letteratura sulla ristrutturazione e documenta in modo sistematico i vuoti relativi alla dimensione geografica, alle scale di analisi e al coinvolgimento degli stakeholder (illustrati nella Sezione 4). Tale squilibrio riflette carenze nella standardizzazione metodologica della S-LCA e una limitata attenzione alla sostenibilità sociale, nonostante la sua importanza cruciale per una ristrutturazione equa e accessibile, come sottolineato anche dai quadri politici dell'UE e delle Nazioni Unite. Oltre a questo squilibrio centrale, la rassegna evidenzia anche una concentrazione geografica in Europa, un'attenzione prevalente all'edificio piuttosto che alle scale di quartiere e distretto, e l'assenza di protocolli standardizzati per il coinvolgimento degli stakeholder.

Questi risultati dimostrano il valore della rassegna nell'affrontare i vuoti che essa stessa individua. In primo luogo, essa consolida un insieme di lavori dispersi in una base di evidenze coerente, permettendo per la prima volta di cogliere lo stato attuale della valutazione della ristrutturazione dell'SSH nel suo complesso. In secondo luogo, essa mostra dove le pratiche di valutazione esistenti non riescono a cogliere le dimensioni sociali, spostando il campo oltre la generica consapevolezza che "la sostenibilità sociale è trascurata" verso carenze metodologiche specifiche e azionabili. In terzo luogo, essa indica percorsi metodologici ed empirici concreti per gli studi futuri. In tal modo, la rassegna offre un quadro di riferimento per ricercatori, professionisti e decisori politici che intendono sviluppare strategie di ristrutturazione dell'edilizia sociale in grado di affrontare congiuntamente neutralità climatica, accessibilità economica ed equità sociale. Inoltre, essa supporta i futuri ricercatori nello sviluppo di applicazioni di S-LCA più standardizzate (analogamente a LCA e LCC), migliorando così l'interpretabilità e la confrontabilità dei risultati in contesti diversi.

Infine, sulla base di questa base di evidenze, la realizzazione di interventi di ristrutturazione dell'SSH più equi e di qualità superiore richiede tre avanzamenti interconnessi: (1) sviluppare protocolli standardizzati di SLCA analoghi a quelli dell'LCA per garantirne l'accessibilità globale, inclusi insiemi di indicatori più chiari, confini di sistema meglio definiti e pratiche di rendicontazione trasparenti, sostenuti dalle linee guida ISO 14075:2024 (International Organization for Standardization, 2024) e dalle linee guida UNEP/SETAC (UNEP, 2020) (riconoscendo al contempo che tale standardizzazione è intrinsecamente complessa a causa della natura contestuale e culturalmente radicata degli impatti sociali); (2) far progredire le metriche di sostenibilità sociale (in particolare la SLCA) e integrarle in modo sistematico nei quadri LCSA, sostenute da database SLCA dedicati ed economi-

camente accessibili, estendendone al contempo l'applicazione oltre l'attuale concentrazione europea verso regioni sottorappresentate e verso le scale di distretto e quartiere, dove gli esiti sociali interedificio e di comunità rimangono in larga misura non valutati; e (3) istituire quadri inclusivi di coinvolgimento degli stakeholder lungo l'intero ciclo di vita, sostenuti da protocolli standardizzati per identificare e coinvolgere le comunità interessate e le popolazioni vulnerabili, così da garantirne una partecipazione trasparente e significativa. Nel loro insieme, questi avanzamenti renderebbero gli studi di SLCA più comparabili, riproducibili e rilevanti per le politiche, e permetterebbero alla ristrutturazione dell'SSH di contribuire alla neutralità climatica entro il 2050 senza compromettere l'accessibilità economica, l'accesso all'energia o l'equità sociale per le popolazioni più vulnerabili d'Europa.

Riconoscimenti

Questa ricerca è stata condotta nell'ambito dell'attività di dottorato, che rientra nel progetto PNRR-NGEU, finanziato dal MUR–DM 118/2023. Gli autori desiderano esprimere il proprio sincero ringraziamento al progetto Horizon 2020 finanziato dall'Unione europea, Climate Positive Circular Communities - ARV (accordo di sovvenzione n. 101036723), che mira a creare comunità circolari climate-positive in Europa e ad aumentare il tasso di ristrutturazione del patrimonio edilizio nel continente. Gli autori ringraziano inoltre il progetto Horizon finanziato dall'Unione Europea ProLight (accordo di sovvenzione n. 101079902) per il supporto fornito.

Contributo degli autori

Il contributo degli autori a questo articolo è equamente ripartito.

Bibliografia

Abdelmageed S. & Zayed T. (2020). A study of literature in modular integrated construction - Critical review and future directions. *Journal of Cleaner Production*, *277*, 124044. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124044

Afshan N. & Sinha R.C. (2023). An investigation of the parameters affecting affordable housing location choice. *Engineering Proceedings*, *53*(1), 33. https://doi.org/10.3390/IOCBD2023-15359

Amini Toosi H., Lavagna M., Leonforte F., Del Pero C. & Aste N. (2020). Life cycle sustainability assessment in building energy retrofitting: A review. *Sustainable Cities and Society*, *60*, 102248. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102248

Amini Toosi H., Lavagna M., Leonforte F., Del Pero C. & Aste N. (2022). A novel LCSA–machine-learning-based optimization model for sustainable building design: A case study of energy storage systems. *Building and Environment*, *209*, 108656. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108656

Anastasiya B.-V., Elena T. & Oleg B. (2023). Cities' sustainable development: Revealing interproject synergies and trade-offs and making them manageable. *Public Administration Issues*, (5), 130–146. https://doi.org/10.17323/1999-5431-2023-0-5-130-146

Arceo A., Touchie M. & O'Brien W. (2025). Beyond density: Examining overlooked drivers of housing and neighborhood greenhouse gas emissions. *Sustainable Cities and Society*, *120*, 106131. https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106131

Babos A., Csizmady A., Orbán A. & Szabó J. (2023). Evaluation framework for social impact on the E-Co-Housing project in Budapest. *Periodica Polytechnica Social and Management Sciences*, *32*(1), 47–57. https://doi.org/10.3311/PPso.17956

Baharudin R., Md Hashim N. & Abdul Malek J. (2021). Bibliometric analysis of knowledge and awareness toward climate change from 2010 to 2019. *Proceedings of the RSU International Research Conference 2020*, 1577–1589. https://doi.org/10.14458/RSU.res.2020.46

Balasbaneh A.T., Yeoh D. & Zainal Abidin A.R. (2020). Life cycle sustainability assessment of window renovations in schools against noise pollution in tropical climates. *Journal of Building*

Engineering, *32,* 101784. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101784
Balocco C., Pierucci G. & De Lucia M. (2022). An experimental method for building energy need evaluation at real operative conditions. A case study validation. *Energy and Buildings*, *266*, 112114. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112114
Batra R. (2023). Review of public–private partnerships across building sectors in nine European countries: Key adaptations for PPP in housing. *Engineering, Construction and Architectural Management*, *30*(7), 2904–2927. https://doi.org/10.1108/ECAM-07-2021-0664
Bertoldi P., Maduta C., Tsemekidi-Tzeiranaki S., D'Agostino D., Paci D., Clementi E.L. & Castellazzi L. (2025). Transformative investment strategy for carbon–neutral residential buildings in the European Union. *Energy and Buildings*, *347*, 116232. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.116232
Borri E., Zsembinszki G. & Cabeza L.F. (2024). Evaluation of the social impact of an energy system for residential heating applications based on a novel seasonal thermal energy storage. *Journal of Energy Storage*, *86*, 111210. https://doi.org/10.1016/j.est.2024.111210
Borrion A., Matsushita J., Austen K., Johnson C. & Bell S. (2019). Development of LCA calculator to support community infrastructure co-design. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *24*(7), 1209–1221. https://doi.org/10.1007/s11367-018-1492-2
Bottero M. & Datola G. (2020). Addressing social sustainability in urban regeneration processes. An application of the social multi-criteria evaluation. *Sustainability*, *12*(18), 7579. https://doi.org/10.3390/su12187579
CEN. (2011). *Sustainability of construction works—Assessment of environmental performance of buildings—Calculation method* (CEN Standard No. EN 15978:2011).
CEN. (2014). *Sustainability of construction works—Assessment of social performance of buildings—Calculation methodology* (CEN Standard No. EN 16309:2014).
Centre for Science and Technology Studies, Leiden University. (2024). *VOSviewer - Visualizing scientific landscapes*. https://www.vosviewer.com/
Chen X., Su S., Yuan J., Li J., Lou F. & Wang Q. (2024). Analyzing the environmental, economic, and social sustainability of prefabricated components: Modeling and case study. *Sustainability (Switzerland)*, *16*(1), 342. https://doi.org/10.3390/su16010342
Cherian P., Palaniappan S., Menon D. & Anumolu M.P. (2020). Comparative study of embodied energy of affordable houses made using GFRG and conventional building technologies in India. *Energy and Buildings*, *223*, 110138. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110138
Christoffersen J., Grollov S.T., Philips W. & Hafner M. (2023). Healthy Homes Barometer 2022: Its impact on health and life satisfaction, as well as its wider socio-economic costs. In P. Pilehchi Ha M. Schweiker B. Kobas S. Koth & T. Auer (Eds.), *Proceedings of Healthy Buildings Europe 2023: Beyond Disciplinary Boundaries* (Vol. 1, pp. 439-446). International Society of Indoor Air Quality and Climate. https://mms.isiaq.org/members/store_product.php?orgcode=ISIA&pid=85511573
Colina Vargas A., Espinoza-Mina M., Alvarez D.L. & Espinosa J.N. (2022). Bibliometric software: The most commonly used in research. *CEUR Workshop Proceedings*, *3282*, 47–65. https://ceur-ws.org/Vol-3282/icaiw_aiesd_1.pdf
Dani A.A., Feng R., Fang Z. & Roy K. (2025). Life cycle assessment of a structural insulated panel modular house in New Zealand. *Buildings*, *15*(1), 1535. https://doi.org/10.3390/buildings15010146
Di Ruocco G. (2024). Renovation Wave in Europe: Low-carbon design for the refurbishment of social housing in Southern Italy. *Buildings*, *14*(6), 1535. https://doi.org/10.3390/buildings14061535
Dissanayake C. & Weerasinghe U.G.D. (2021). Urban microclimate and outdoor thermal comfort of public spaces in warm-humid cities: A comparative bibliometric mapping of the literature. *American Journal of Climate Change*, *10*(04), 433–466. https://doi.org/10.4236/ajcc.2021.104023
Eleftheriou E., Lopez Muñoz L.F., Habert G. & Zea Escamilla E. (2022). Parametric approach to simplified life cycle assessment of social housing projects. *Sustainability*, *14*(12), 7409. https://doi.org/10.3390/su14127409
Engelken M., Römer B., Drescher M., Welpe I.M. & Picot A. (2016). Comparing drivers, barriers, and opportunities of business models for renewable energies: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *60*, 795–809. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.163
Escorcia Hernández J.R., Torabi Moghadam S., Sharifi A. & Lombardi P. (2023). Cities in the times of

COVID-19: Trends, impacts, and challenges for urban sustainability and resilience. *Journal of Cleaner Production*, *432*, 139735. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139735

Fahlstedt O., Ramesh R., Hamdy M., Temeljotov-Salaj A., Rasmussen F.N. & Bohne R. A. (2024). Building renovation plan - introducing energy and cost into the managerial perspectives: A case study. *Energy and Buildings*, *310*, 114080. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114080

Fanghella V. & Della Valle N. (2021). A behavioral model for in-home displays usage in social housing districts. In A. Bisello, D. Vettorato, H. Haarstad & J. Borsboom-van Beurden (Eds.), *Smart and sustainable planning for cities and regions: Results of SSPCR 2019* (pp. 511–524). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57332-4_36

Farrukh M., Meng F., Raza A. & Tahir M.S. (2020). Twenty seven years of Sustainable Development Journal: A bibliometric analysis. *Sustainable Development*, *28*(6), 1725–1737. https://doi.org/10.1002/sd.2120

Feng H., Liyanage D.R., Karunathilake H., Sadiq R. & Hewage K. (2020). BIM-based life cycle environmental performance assessment of single-family houses: Renovation and reconstruction strategies for aging building stock in British Columbia. *Journal of Cleaner Production*, *250*, 119543. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119543

Ferlito T.-L., Musonda I., Tjebane M.M. & Onososen A. (2022). Systematic literature review on sustainable construction strategies for the development of affordable housing. *International Conference on Construction in the 21st Century,* 195–203. https://pure.uj.ac.za/en/publications/systematic-literature-review-on-sustainable-construction-strategi/

Fernandez L.I.C., Caldas L.R. & Mendoza Reales O.A. (2023). Environmental evaluation of 3D printed concrete walls considering the life cycle perspective in the context of social housing. *Journal of Building Engineering*, *74*, 106915. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106915

Gámez-García D.C., Saldaña-Márquez H., Gómez-Soberón J.M., Arredondo-Rea S.P., Gómez-Soberón M.C. & Corral-Higuera R. (2019). Environmental challenges in the residential sector: Life cycle assessment of Mexican social housing. *Energies*, *12*(14), 2837. https://doi.org/10.3390/en12142837

Goedkoop M.J., de Beer I.M., Harmens R., Saling P., Morris D., Florea A., Hettinger A.L., Indrane D., Visser D., Morao A., Musoke-Flores E., Alvarado C., Rawat I., Schenker U., Head M., Collotta M., Andro T., Viot J.-F. & Whatelet A. (2020). *Product social impact assessment handbook 2020*. PRé Sustainability.

Hernandez P., Hernandez J., Urra I. & Grisaleña D. (2019). Life cycle environmental and cost evaluation of heating and hot water supply in social housing nZEBs. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *323*(1), 012162. https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012162

Hernandez-Cruz P., Flores-Abascal I., Hidalgo-Betanzos J.M., Almeida M. & Erkoreka-Gonzalez A. (2024). Environmental and energy analysis of the renovation of social housing buildings under various climate change scenarios and user profiles. *Journal of Building Engineering*, *98*, 111164. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.111164

Hong J., Kang H., Jung S., Sung S., Hong T., Park H.S. & Lee D.-E. (2020). An empirical analysis of environmental pollutants on building construction sites for determining the real-time monitoring indices. *Building and Environment*, *170*, 106636. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106636

Huijbregts M.A.J., Hellweg S., Frischknecht R., Hendriks H.W.M., Hungerbühler K. & Hendriks A.J. (2010). Cumulative energy demand as predictor for the environmental burden of commodity production. *Environmental Science & Technology*, *44*(6), 2189–2196. https://doi.org/10.1021/es902870s

Hunkeler D. (2016). Life Cycle Assessment (LCA): A guide to best practice. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *21*(7), 1063–1066. https://doi.org/10.1007/s11367-016-1083-z

Hunter G.W., Sagoe G., Vettorato D. & Jiayu D. (2019). Sustainability of low carbon city initiatives in China: A comprehensive literature review. *Sustainability*, *11*(16), 4342. https://doi.org/10.3390/su11164342

International Organization for Standardization. (2017). *Buildings and constructed assets—Service life planning—Part 5: Life-cycle costing* (ISO Standard No. 15686-5:2017). https://www.iso.org/standard/61148.html

International Organization for Standardization. (2020a). *Environmental management—Life cycle assessment—Principles and framework* (ISO Standard No. 14040:2006+A1:2020). https://www.iso.org/standard/37456.html
International Organization for Standardization. (2020b). *Environmental management—Life cycle assessment—Requirements and guidelines* (ISO Standard No. 14044:2006+A2:2020). https://www.iso.org/standard/38498.html
International Organization for Standardization. (2024). *Environmental management—Principles and framework for social life cycle assessment* (ISO Standard No. 14075:2024). https://www.iso.org/standard/61118.html
IPCC. (2014). *Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
IPCC. (2023a). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009325844
IPCC. (2023b). *Climate change 2022: Mitigation of climate change. Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009157926
Ira R.T. (2021). *Effect of construction on the environment*. Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.4770033
Jiang W. & Kang W. (2019). A review on the low-carbon city study: Development and trends. *Chinese Journal of Urban and Environmental Studies*, *7*(2), 1950006. https://doi.org/10.1142/S2345748119500064
Jolliet O., Margni M., Charles R., Humbert S., Payet J., Rebitzer G. & Rosenbaum R. (2003). IMPACT 2002+: A new life cycle impact assessment methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *8*(6), 324. https://doi.org/10.1007/BF02978505
Jones A. & Valero-Silva N. (2021). Social impact measurement in social housing: A theory-based investigation into the context, mechanisms and outcomes of implementation. *Qualitative Research in Accounting and Management*, *18*(3), 361–389. https://doi.org/10.1108/QRAM-01-2019-0023
Jørgensen M.B., Kristoffersen A.E. & Kamari A. (2025). Evaluating the environmental impact of building renovation depth: A Danish perspective. *Sustainability*, *17*(24), 11107. https://doi.org/10.3390/su172411107
Josa I. & Borrion A. (2025). Rebuilding or retrofitting? An assessment of social impacts using Social Life Cycle Assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, *112*, 107794. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2024.107794
Kamal-Chaoui L. & Robert A. (2009). *Competitive cities and climate change* (OECD Regional Development Working Papers No. 2009/02). OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/218830433146
Kameni Nematchoua M. & Andre Marie M. M. (2025). Reducing the environmental footprint of urban housing in sub-Saharan Africa: A case study of Cameroon. *Buildings*, *15*(12), 2141. https://doi.org/10.3390/buildings15122141
Keena N., Rondinel-Oviedo D.R., Pomasonco-Alvis M. & Bouffard A. (2024). Beyond Green: Integrating economic and social aspects to environmental life cycle assessments in Canadian housing. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1363*(1), 012017. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1363/1/012017
Krings A. & Schusler T.M. (2020). Equity in sustainable development: Community responses to environmental gentrification. *International Journal of Social Welfare*, *29*(4), 321–334. https://doi.org/10.1111/ijsw.12425
Kwok K.H., Savaget P., Fukushige S. & Halog A. (2024). The necessity for end-of-life photovoltaic technology waste management policy: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*, *461*, 142497. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142497
Larrea-Sáez L., Cuevas C. & Casas-Ledón Y. (2023). Energy and environmental assessment of the Chilean social housing: Effect of insulation materials and climates. *Journal of Cleaner Production*, *392*, 136234. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136234
Larrea-Sáez L., Muñoz E., Cuevas C. & Casas-Ledón Y. (2024). Optimizing insulation and heating

systems for social housing in Chile: Insights for sustainable energy policies. *Energy*, *290*, 130024. https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.130024

Larsen V.G., Antoniucci V., Tollin N., Sattrup P.A., Jens K., Birkved M., Holmboe T. & Marella G. (2023). A methodological framework to foster social value creation in architectural practice. *Sustainability*, *15*(3), 1849. https://doi.org/10.3390/su15031849

Leichter M., Dodoo A. & Piccardo C. (2025). Life cycle assessment of energy renovation versus demolition and new construction in the context of a social housing project. *Clean Technologies and Environmental Policy*, *27*(4), 1845–1861. https://doi.org/10.1007/s10098-024-03054-z

Leichter M. & Piccardo C. (2024). Assessing life cycle sustainability of building renovation and reconstruction: A comprehensive review of case studies and methods. *Building and Environment*, *262*, 111817. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111817

Lu Y., Chen Y., Jiang Z., Ge Y., Yao R., Geng S., Zhang J., Chen F., Wang Y., Chen G. & Yang D. (2023). Research progress of ferroptosis in Parkinson's disease: A bibliometric and visual analysis. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *15*, 1278323. https://doi.org/10.3389/fnagi.2023.1278323

Luque Castillo X. & Yepes V. (2025a). Life cycle assessment of social housing construction: A multicriteria approach. *Building and Environment*, *282*, 113294. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113294

Luque Castillo X. & Yepes V. (2025b). Multi-criteria decision methods in the evaluation of social housing projects. *Journal of Civil Engineering and Management*, *31*(6), 608–630. https://doi.org/10.3846/jcem.2025.24425

Magdy Y. & Elhamy A.A. (2023). Energy optimization for affordable housing via microclimate and energy simulation, case study: Bashayer El Kheir 1, Alexandria, Egypt. *Future Cities and Environment*, *9*(1). https://doi.org/10.5334/fce.186

Marrero M., Rivero-Camacho C., Martínez-Rocamora A., Alba-Rodríguez D. & Lucas-Ruiz V. (2024). Holistic assessment of the economic, environmental, and social impact of building construction. Application to housing construction in Andalusia. *Journal of Cleaner Production*, *434*, 140170. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140170

Martínes J.S., Barros E., Padrón K., Aguirre J., Matasci C., Crenna E., Gauch M., Vanegas P. & Sucozhañay D. (2025). Assessing the sustainability of local construction materials in Ecuador through an interdisciplinary approach. *Sustainability*, *17*(5), 1775. https://doi.org/10.3390/su17051775

Mohaddes Khorassani S., Ferrari A.M., Pini M., Settembre Blundo D., García Muiña F.E. & García J.F. (2019). Environmental and social impact assessment of cultural heritage restoration and its application to the Uncastillo Fortress. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *24*(7), 1297–1318. https://doi.org/10.1007/s11367-018-1493-1

Monteiro C.S., Causone F., Cunha S., Pina A. & Erba S. (2017). Addressing the challenges of public housing retrofits. *Energy Procedia, 134,* 442–451. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.600

Moore T., Sheriff G., Whaley D.M. & Berry S.R. (2019). Does tenure matter for occupant experiences of low-energy housing? *Smart Innovation, Systems and Technologies*, *131*, 453–463. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04293-6_44

Nikolic J., Thellufsen J.Z., Sorknæs P., Madsen P.T. & Nørgaard L.S. (2025). Let's make PED work - How current knowledge can contribute to future positive energy districts. *Sustainable Cities and Society*, *132*, 106817. https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106817

Noka V., Schumacher K., Weiß J. & Bergmann J. (2022). Socio-ecological transformation of residential heating in Berlin (Paper No. 7-042-22). In *eceee 2022 Summer Study proceedings* (pp. 945–954). European Council for an Energy Efficient Economy.

Pan L. & Chu L.M. (2016). Energy saving potential and life cycle environmental impacts of a vertical greenery system in Hong Kong: A case study. *Building and Environment*, *96*, 293–300. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.06.033

Passarelli R.N. & Mouton B.J. (2023). Embodied life cycle impacts of lightweight building methods for affordable houses in the USA: Comparison of conventional, circular, and regenerative strategies. *Journal of Building Engineering*, *77*, 107513. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107513

Passas I. (2024). Bibliometric analysis: The main steps. *Encyclopedia*, *4*(2), 1014–1025. https://doi.org/10.3390/encyclopedia4020065

Rincón C.E., Montoya J.A. & Archila H.F. (2023). Bamboo construction inspired by vernacular techniques for reducing carbon footprint: A life cycle assessment (LCA). *Sustainability*, *15*(24), 16893. https://doi.org/10.3390/su152416893

Robinson-Garcia N., Sugimoto C.R., Murray D., Yegros-Yegros A., Larivière V. & Costas R. (2019). The many faces of mobility: Using bibliometric data to measure the movement of scientists. *Journal of Informetrics*, *13*(1), 50–63. https://doi.org/10.1016/j.joi.2018.11.002

Rocha-Tamayo A., García-Troncoso N., Josa I. & de la Fuente A. (2025). Sustainability-based comparison of local bahareque and conventional reinforced concrete structural system for social housing construction. *Frontiers in Sustainable Cities*, *7,* 1634678. https://doi.org/10.3389/frsc.2025.1634678

Roversi R., Cumo F., Gugliermetti L., Pennacchia E. & Pavan G. (2017). Building environments for an ageing society. Surveying tools and intervention strategies. *Journal of Technology for Architecture and Environment*, *14*, 309–318.

Ruiz A. & Guevara J. (2021). Energy efficiency strategies in the social housing sector: Dynamic considerations and policies. *Journal of Management in Engineering*, *37*(4). https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000937

Sabando-Vera D., Montalván-Burbano N., Parrales-Guerrero K., Yonfá-Medranda M. & Plaza-Úbeda J. A. (2025). Growing a greener future: A bibliometric analysis of green innovation in SMEs. *Technological Forecasting and Social Change*, *212*, 123976. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2025.123976

Saez V.C., Quintana-Gallardo A., Mendiguchía-Fontes F.A., Garzón B.S. & Guillén-Guillamón I. (2024). The present and future of the use phase of social housing in Tucumán, Argentina: An LCA perspective. *Sustainability (Switzerland)*, *16*(12), 4958. https://doi.org/10.3390/su16124958

Salim H.K., Stewart R.A., Sahin O. & Dudley M. (2019). Drivers, barriers and enablers to end-of-life management of solar photovoltaic and battery energy storage systems: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, *211*, 537–554. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.229

Salzer C., Wallbaum H., Ostermeyer Y. & Kono J. (2017). Environmental performance of social housing in emerging economies: Life cycle assessment of conventional and alternative construction methods in the Philippines. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *22*(11), 1785–1801. https://doi.org/10.1007/s11367-017-1362-3

Satola D., Kristiansen A.B., Houlihan-Wiberg A., Gustavsen A., Ma T. & Wang R.Z. (2020). Comparative life cycle assessment of various energy efficiency designs of a container-based housing unit in China: A case study. *Building and Environment*, *186*. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107358

Sattler S. & Österreicher D. (2019). Assessment of sustainable construction measures in building refurbishment—life cycle comparison of conventional and multi-active façade systems in a social housing complex. *Sustainability*, *11*(16), 4487. https://doi.org/10.3390/su11164487

Seddiki M. & Bennadji A. (2025). A life cycle carbon assessment and multi-criteria decision-making framework for building renovation within the circular economy context: A case study. *Buildings*, *15(11),* 1894. https://doi.org/10.3390/buildings15111894

Serrano-Jimenez A., Barrios-Padura A. & Molina-Huelva M. (2017). Towards a feasible strategy in Mediterranean building renovation through a multidisciplinary approach. *Sustainable Cities and Society*, *32*, 532–546. https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.05.002

Settembre Blundo D., Ferrari A.M., Fernández del Hoyo A., Riccardi M.P. & García Muiña F.E. (2018). Improving sustainable cultural heritage restoration work through life cycle assessment based model. *Journal of Cultural Heritage*, *32*, 221–231. https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.01.008

Shama Z.S. & Motlak J.B. (2019). Indicators for sustainable housing. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *518*(2), 022009. https://doi.org/10.1088/1757-899X/518/2/022009

Shinde R., Froemelt A., Kim A. & Hellweg S. (2022). A novel machine-learning approach for evaluating rebounds-associated environmental footprint of households and application to cooperative housing. *Journal of Environmental Management*, *304*, 114205. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114205

Singh V.K., Singh P., Karmakar M., Leta J. & Mayr P. (2021). The journal coverage of Web of Science, Scopus and Dimensions: A comparative analysis. *Scientometrics*, *126*(6), 5113–5142.

https://doi.org/10.1007/s11192-021-03948-5

Sula M., Mahapatra K. & Mainali B. (2022). Addressing housing shortage through energy and space-efficient retrofitting: The case study of a Swedish single-family house. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1085*(1), 012038. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1085/1/012038

Tajani F. & Morano P. (2015). An evaluation model of the financial feasibility of social housing in urban redevelopment. *Property Management*, *33*(2), 133–151. https://doi.org/10.1108/PM-02-2014-0007

Teng Y., Li Z., Li T., Li Y., Gong E., Tiong R.L.K. & Liu S. (2024). Regeneration diagnosis for the service lifespans of residential buildings on a circular economy perspective. *Energy and Buildings*, *319,* 114536. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114536

Thibault G., Simon L. & Robin G. (2025). Integrating life cycle sustainability assessment into building renovation strategies. *Building and Environment*, *286*, 113694. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113694

Tokede O. & Traverso M. (2020). Implementing the guidelines for social life cycle assessment: Past, present, and future. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *25*(10), 1910–1929. https://doi.org/10.1007/s11367-020-01814-9

Torabi Moghadam S., Delmastro C., Corgnati S.P. & Lombardi P. (2017). Urban energy planning procedure for sustainable development in the built environment: A review of available spatial approaches. *Journal of Cleaner Production*, *165*, 811–827. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.142

Tseng Y.-H. & Tsay M.-Y. (2013). Journal clustering of library and information science for subfield delineation using the bibliometric analysis toolkit: CATAR. *Scientometrics*, *95*(2), 503–528. https://doi.org/10.1007/s11192-013-0964-1

United Nations Environment Programme. (2009). *Guidelines for social life cycle assessment of products* (C. Benoît & B. Mazijn, Eds.).

United Nations Environment Programme. (2020). *Guidelines for social life cycle assessment of products and organizations 2020* (C. Benoît Norris M. Traverso S. Neugebauer E. Ekener T. Schaubroeck S. Russo Garrido M. Berger S. Valdivia A. Lehmann M. Finkbeiner & G. Arcese, Eds.).

United Nations Environment Programme. (2021). *Methodological sheets for subcategories in social life cycle assessment (S-LCA) 2021* (M. Traverso S. Valdivia A. Luthin L. Roche G. Arcese S. Neugebauer L. Petti M. D'Eusanio B. M. Tragnone R. Mankaa J. Hanafi C. Benoît Norris & A. Zamagni, Eds.).

United Nations Department of Economic and Social Affairs. (2025). *The Sustainable Development Goals report 2025*. https://unstats.un.org/sdgs/report/2025

United Nations Human Settlements Programme. (2022). *World Cities Report 2022: Envisaging the future of cities*. https://unhabitat.org/wcr/2022/

Vaismoradi M., Turunen H. & Bondas T. (2013). Content analysis and thematic analysis: Implications for conducting a qualitative descriptive study. *Nursing & Health Sciences*, *15*(3), 398–405. https://doi.org/10.1111/nhs.12048

Van De Moortel E., Allacker K., De Troyer F., Stijnen L. & Schoofs E. (2019a). Energy renovation of social housing: Finding a balance between increasing insulation and improving heating system efficiency. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *290*(1), 012137. https://doi.org/10.1088/1755-1315/290/1/012137

Van De Moortel E., Allacker K., De Troyer F., Stijnen L. & Schoofs E. (2019b). Life cycle environmental impact of refurbishment of social housing. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *323*(1), 012013. https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012013

van Eck N.J. & Waltman L. (2007). VOS: A new method for visualizing similarities between objects. In R. Decker & H.-J. Lenz (Eds.), *Advances in data analysis: Proceedings of the 30th Annual Conference of the Gesellschaft für Klassifikation* (pp. 299–306). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-70981-7_34

van Eck N.J. & Waltman L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, *84*(2), 523–538. https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3

Wang X., Wang G., Chen T., Zeng Z. & Heng C.K. (2023). Low-carbon city and its future research trends: A bibliometric analysis and systematic review. *Sustainable Cities and Society*, *90*, 104381.

https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104381
Wieser A.A., Scherz M., Passer A. & Kreiner H. (2021). Challenges of a healthy built environment: Air pollution in construction industry. *Sustainability*, *13*(18), 10469. https://doi.org/10.3390/su131810469
Yuan H. & Shen L. (2011). Trend of the research on construction and demolition waste management. *Waste Management*, *31*(4), 670–679. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.10.030
Yushchenko A. & Patel M.K. (2016). Contributing to a green energy economy? A macroeconomic analysis of an energy efficiency program operated by a Swiss utility. *Applied Energy*, *179*, 1304–1320. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.12.028
Zea Escamilla E. & Habert G. (2017). Method and application of characterisation of life cycle impact data of construction materials using geographic information systems. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *22*(8), 1210–1219. https://doi.org/10.1007/s11367-016-1238-y
Zea Escamilla E., Habert G. & Wohlmuth E. (2016). When CO2 counts: Sustainability assessment of industrialized bamboo as an alternative for social housing programs in the Philippines. *Building and Environment*, *103*, 44–53. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.04.003