

Jacopo Gaspari, <https://orcid.org/0000-0002-8361-2963>
Ernesto Antonini, <https://orcid.org/0000-0001-9055-6149>
Lia Marchi, <https://orcid.org/0000-0002-2009-576X>
Dipartimento di Architettura, Università di Bologna, Italia

jacopo.gaspari@unibo.it
ernesto.antonini@unibo.it
lia.marchi3@unibo.it

Abstract. L'edilizia abitativa svolge un ruolo chiave nel percorso globale verso la transizione energetica e a tal fine il retrofitting degli edifici rappresenta un importante asset. Nonostante le misure di sostegno e gli incentivi, il tasso degli interventi di trasformazione è ancora troppo lento. Ciò in particolare per l'edilizia sociale, a causa delle peculiari complessità e delle limitate risorse pubbliche da cui in Italia dipende. Lo studio propone uno strumento predittivo in grado di facilitare il processo decisionale, permettendo il confronto dei livelli di performance che possono raggiungere le diverse azioni di retrofitting, in funzione delle caratteristiche dell'edificio, dei costi di intervento, dei tempi e della disponibilità delle risorse. Lo strumento è testato su un caso studio di edilizia sociale a Bologna, nell'ambito di uno studio svolto in collaborazione con ACER Bologna.

Parole chiave: Tecnologie abilitanti; Transizione energetica; Housing sociale; Strumento predittivo; Interazione edificio-utente.

Introduzione

Il conseguimento di una rapida ed efficace transizione energetica rappresenta uno dei pilastri fondamentali per far fronte agli impatti del cambiamento climatico. L'Unione Europea (UE) riconosce la tecnologia come potente strumento per raggiungere questo traguardo (Commissione Europea, 2019), in particolare con riferimento al settore delle costruzioni, che rappresenta uno degli asset più rilevanti e critici per la transizione. Da un lato, gli edifici sono responsabili globalmente di oltre un terzo del consumo totale di energia finale e di circa il 37% delle emissioni correlate di CO₂ (IEA, 2021a, 2021b). Dall'altro, si stima che il settore possieda uno dei maggiori potenziali di riduzione dell'energia e delle emissioni, grazie alla flessibilità della domanda che lo alimenta (Levine *et al.*, 2007; McKinsey & Company, 2009). Nonostante gli investimenti crescenti che si registrano in tutto il mondo per migliorare l'efficienza energetica degli edifici, l'A-

genzia Internazionale dell'Ambiente stima che entro il 2030 la spesa debba triplicare, per aumentare il tasso di retrofit energetico a circa il 2,5% all'anno, indispensabile per raggiungere lo scenario a emissioni quasi zero entro il 2050 (IEA, 2021a).

Coerentemente con questa prospettiva, il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza Italiano ha assegnato alla rivoluzione verde e alla transizione energetica (Missione 2) oltre un terzo dei 191,5 miliardi di euro di finanziamento previsti (Presidenza del Consiglio dei Ministri, 2021), destinando alle misure di efficienza energetica e alla riqualificazione dell'ambiente costruito oltre il 25% del finanziamento della Missione (Tab. 1).

L'applicazione del cosiddetto Superbonus, che consiste in una detrazione fiscale del 110% delle spese di riqualificazione energetica (D.L. 34/2020) ha indotto un'accelerazione in questa direzione. Secondo ENEA (2022), al 31 maggio 2022 in Italia erano in corso 172.450 interventi di retrofit, di cui il 15% era relativo a edifici plurifamiliari. In questi ultimi, soprattutto, sono emerse alcune problematiche procedurali – legate a processi amministrativi e decisionali – che limitano la velocità di ristrutturazione del patrimonio, nonché la qualità dei risultati. Sebbene sul mercato siano disponibili diversi metodi e software per supportare la simulazione e la valutazione di azioni di retrofit sulle prestazioni dell'edificio, la loro applicazione è spesso dispendiosa in termini di tempo e non conveniente per i proprietari degli edifici. La massiccia richiesta di riqualificazione energetica beneficerebbe invece di strumenti predittivi veloci, per supportare il processo decisionale su larga scala, mirando a indirizzare gli investimenti verso gli interventi più efficaci o

Enabling technologies
to support energy
transition in social
housing

Abstract. Housing plays a key role in the world path to energy transition, and retrofitting buildings is a major asset to this end. Unfortunately, despite the supporting measures and incentives promoted in many countries, the renovation rate is still too slow. This is even more complex within some specific assets, such as social housing, which, especially in Italy, depends on the availability of public funds. The study proposes a predictive tool conceived as an enabler in the decision-making process, capable of considering and comparing the performance levels that different retrofitting actions can reach, according to building features, intervention costs, timing, and resource availability. The tool is tested on a social housing case study in Bologna.

Keywords: Enabling technologies; Energy transition; Social housing; Predictive tool; Building-user interaction.

Introduction

A fast and effective energy transition is a crucial pillar to cope with the current and future climate change and environmental crisis. The European Union (EU) acknowledges technology as a powerful means to achieve this milestone at multiple levels (European Commission, 2019), particularly with reference to the construction sector, which is one of the most relevant and challenging assets within the process. On the one hand, buildings globally account for over one-third of total final energy consumption, and for about 37% of world energy-related CO₂ emissions, if indirect emissions from electricity, heat and materials used in buildings are included (IEA, 2021a, 2021b). On the other, they are estimated to own one of the largest energy and carbon reduction potential due to their features and flexible demand (Levine

et al., 2007; McKinsey & Company, 2009). Despite the recent investments to improve building energy efficiency worldwide, the International Environmental Agency estimates that the expense has to triple by 2030 to boost the energy retrofit rate at about 2.5% per year and reach the Net Zero Emissions Scenario by 2050 (IEA, 2021a). Therefore, according to the EU vision and, especially, with the Next Generation EU plan, the Italian Recovery Plan (PNRR) allocates to the Green revolution and energy transition the highest funds among the six missions (Presidenza del Consiglio dei Ministri, 2021). On a total amount of 191.5 billion euros, M2 is assigned over one third of the funding. As reported in table 1, M2 is split into four sub-missions, where notably energy efficiency measures and the renovation of the built environment receive over 25%

Tab. 01 | Risorse PNRR allocate in relazione alla Missione 2 (elaborata dagli autori)
 PNRR resources allocated with relation to Mission 2 (elaborated by the authors)

M2	Green Revolution and Ecological Transition	59.47 B€
M2C1	Circular Economy and Sustainable Agriculture	5.27 B€ (8.9%)
M2C2	Renewable Energy, Hydrogen, Network and Sustainable Mobility	23.78 B€ (40.0%)
M2C3	Energy Efficiency and Redevelopment of Buildings	15.36 B€ (25.8%)
M2C4	Protection of the Territory and Water Resources	15.06 B€ (25.3%)

urgenti (Dall’O’ *et al.*, 2020; Housing Europe, 2021). Ciò in particolare nel caso di patrimoni immobiliari estesi ed eterogenei, come quelli dell’edilizia sociale.

La transizione energetica nell’edilizia sociale

Il patrimonio di edilizia sociale italiano, costituito da circa 900.000 alloggi, pari al 3,8% dello stock abitativo nazionale (Censis, 2008), è un asset particolarmente critico da gestire, nel quale il consumo di energia rappresenta sempre più una questione cruciale.

Il parco di alloggi disponibile risulta ampiamente insufficiente a soddisfare la domanda attuale (Federcasa, 2019). Ciò induce gli Enti gestori ad utilizzarlo nel modo più efficiente possibile, attraverso un’intensa attività di manutenzione e retrofit, non disponendo di risorse economiche sufficienti per espandere significativamente lo stock con nuovi edifici.

Tuttavia, la larga maggioranza degli alloggi ha un fabbisogno energetico medio superiore a 150 kWh/m²a, quindi non solo impattano in modo significativo sul bilancio ambientale del costruito, ma contribuiscono ad aggravare la condizione economica di utenti già fragili (ENEA, 2016; Aranda *et al.*, 2017). Ciò rende urgente avviare una massiccia campagna di riqualificazione energetica del patrimonio abitativo sociale, per la quale si registra vasto consenso, ma una cronica carenza di risorse affidate ai gestori per provvedervi. Inoltre, una conoscenza quasi sempre lacunosa dello stato del vasto patrimonio amministrato da ciascuna Azienda Casa rende particolarmente complessa e incerta la definizione delle priorità degli interventi (Melis, 2010; Sirombo *et al.*, 2017; Tzortzopoulos *et al.*, 2019).

In questo quadro, il Dipartimento di Architettura dell’Uni-

versità di Bologna e ACER Bologna (gestore del patrimonio di edilizia sociale di Bologna) hanno avviato una collaborazione per sviluppare soluzioni innovative per l’efficientamento energetico di patrimoni immobiliari complessi, quale quello gestito da ACER. Con il progetto InSPiRE (*Integrated technologies for Smart buildings and PREDictive maintenance*) finanziato nell’ambito del POR FESR 2014-2020 è stato messo a punto uno strumento predittivo di rapida applicazione, con cui valutare e confrontare i livelli prestazionali conseguibili con diverse azioni di retrofitting, in relazione alle caratteristiche dell’edificio, ai costi e ai tempi di intervento. Ciò per consentire ai gestori di pianificare efficacemente l’impiego delle proprie risorse, fisiche ed economiche. La metodica sviluppata è un sistema di supporto alle decisioni che rende disponibile al soggetto responsabile un set di dati e informazioni sistematizzate e comparabili sul parco amministrato, arricchite da indicatori di efficacia e impatto.

of the mission funding, to be coupled with the massive effort on renewable energy that also deals with energy supply for constructions. The so-called *Superbonus* certainly represents a booster to this end, consisting in a tax deduction of 110% of the expenses for energy retrofit, including installation of photovoltaic systems and energy storage in buildings (D.L. 34/2020). According to ENEA, on May, 31 2022, 172,450 retrofits were ongoing in Italy (ENEA, 2022), 15% of which was undertaken in multi-family buildings where several procedural issues have emerged, mainly dealing with administrative and decisional processes, limiting the speed and the quality of the stock renovation. Several methods, algorithms and software are available in the market to support the simulation and assessment of retrofit actions on building

performance, but their application is often time consuming and not convenient for building owners, especially for those managing large assets. The massive call for energy retrofit would instead benefit from predictive speedy tools to support decision-making at a large scale, such as in the social housing stock, aiming at targeting the investments to the more promising interventions (Dall’O’ *et al.*, 2020; Housing Europe, 2021).

Energy transition in social housing

Italian Social Housing (SH), which consists of about 900,000 dwellings that account for approximately 3.8% of the national residential stock (Censis, 2008), is a complex asset to manage, where energy consumption is a relevant issue. Because it is largely insufficient to meet the current demand (Federcasa, 2019), SH manag-

ers are driven to handle their assets as efficiently as possible by making dwellings fully useable through intensive maintenance and retrofit, without having enough resources to launch the construction of new buildings to significantly expand the stock. Most of the existing asset demand over 150 kWh/m²y, thus highly contributing to worsen the environmental burden as well as the economic status of already vulnerable users in the specific case of SH (ENEA, 2016; Aranda *et al.*, 2017). This requires a massive energy renovation campaign of the social housing stock, which meets with extensive consensus, but there is a persistent shortage of resources devoted to the purpose. In addition, a general lack of knowledge about the asset status makes prioritisation of interventions particularly challenging (Melis, 2010; Sirombo *et al.*, 2017; Tzortzopoulos *et al.*, 2019).

Metodologia

Lo studio si articola nelle seguenti fasi:

- I. Sviluppo di un metodo speditivo per ottenere informazioni affidabili sulla prestazione energetica degli edifici del parco amministrato da ACER Bologna.
- II. Selezione di scenari di retrofitting alternativi basati sulle modalità di intervento adottate più ricorrentemente in passato e definizione di una procedura per integrare gli scenari nel metodo speditivo di ricognizione delle prestazioni degli edifici del parco, in modo da consentire il confronto fra strategie alternative e la valutazione predittiva di tempi, costi e benefici in termini di efficienza energetica conseguibile.

Within this general framework, the Department of Architecture of the University of Bologna and ACER Bologna (Social Housing Agency of Bologna) started a cooperation to explore the application of innovative solutions for energy efficiency of complex stock like the one managed by ACER. InSPiRE project (Integrated technologies for Smart buildings and PREDictive maintenance), funded under the umbrella of POR FESR 2014-2020, developed a predictive tool capable of considering and comparing the performance levels that possible retrofitting actions can reach, depending on building features, intervention costs and timing, and resource availability. This is aimed to allow managers to effectively plan the use of financial, economic and material resources. The developed methodology is a system designed to support the decision-making process by providing

III. Monitoraggio e valutazione critica degli effetti degli interventi, comprese osservazioni sugli impatti legati al comportamento dell'utente.

La prima fase mira a colmare le lacune informative sullo stato del patrimonio, che in genere consiste in migliaia di abitazioni diverse per caratteristiche, tempi di costruzione e livelli di conservazione, delle quali i gestori dispongono di dati eterogenei, spesso incompleti, quasi sempre inadeguati a determinare le prestazioni di ciascuna unità, rendendo così impossibile un confronto, quindi anche l'assegnazione di priorità e la conseguente pianificazione degli interventi.

Per superare questo ostacolo, si è deciso di procedere con due modalità diverse. La prima si applica quando è disponibile il certificato di prestazione energetica, da cui vengono ricavati i dati necessari a determinare il profilo dell'alloggio. Gli alloggi privi di certificazione vengono invece trattati secondo una diversa modalità, risultando improponibile procedere con il calcolo analitico, la cui esecuzione è inconciliabile con i vincoli di tempi e risorse a cui le Aziende Casa devono sottostare (Vodola *et al.*, 2022).

Per questi alloggi sono state definite e testate due metodiche speditive, con cui è possibile ottenere rapidamente dati omogenei su vasti parchi edilizi.

La prima metodica speditiva (opzione a) è totalmente parametrica e consiste nell'assegnare a ciascun alloggio un profilo di prestazione energetica in relazione alla sua appartenenza ad una classe tipologica tramite Tabula (Tabula WebTool, online). La seconda metodica (opzione b) prevede la stima del profilo di prestazione energetica dell'alloggio tramite un set minimo di dati relativi alle sue dimensioni e caratteristiche costruttive.

data sets and organised comparable information concerning the managed stock, with the addition of impact and effectiveness indicators to be used as benchmark levels obtained by actions previously implemented across the same stock.

Methodology

The study is divided into the following phases:

- i. Development of a time-saving method to collect reliable data regarding the energy performance level of building stock managed by ACER.
- ii. Selection of alternative retrofitting scenarios, based on those most frequently adopted in the past, and definition of a procedure to integrate the identified scenarios into a time-saving mapping process of the building stock performance

to allow a comparative approach among alternative strategies and the predictive evaluation of time, costs and benefits in terms of achievable energy efficiency.

- iii. Monitoring and critical evaluation of the effects of interventions, including observations on impact related to user behavior

The first phase aims at filling the knowledge gap often faced by SH managers on their stock, which usually consists of thousands of dwellings differing in features, construction time, and conservation levels. SH agencies have indeed heterogeneous and inadequate data about the status of their assets. This makes it difficult to compare their baseline performance, assign priorities, and plan interventions accordingly.

To overcome this obstacle, it was decided to proceed in two different ways.

L'opzione a) fa ricorso a Tabula, uno strumento terzo di riconosciuta autorevolezza, accessibile online, che permette di assegnare la classe di prestazione energetica a un edificio residenziale in funzione dei consumi medi di edifici simili per tipologia, ubicazione e periodo di costruzione. Questa scelta è particolarmente utile quando dell'edificio sono disponibili negli archivi del Gestore solo i dati catastali, situazione che caratterizza una rilevante quota del parco.

L'opzione b) è invece una procedura intermedia, da utilizzare quando il soggetto gestore dispone già o può recuperare rapidamente alcuni dati essenziali sulle caratteristiche dell'immobile, che possono essere elaborati per stimarne il fabbisogno energetico tramite un calcolo semplificato. Il set di dati minimo comprende volume dell'edificio, superficie e trasmittanza termica media degli elementi di involucro.

Questa opzione permette di ridurre l'approssimazione inevitabilmente maggiore in cui si incorre utilizzando l'opzione a), ma risulta praticabile solo in un limitato numero di casi, a causa delle ampie lacune che si registrano nella documentazione disponibile relativa al parco.

La seconda fase dello studio mira a fornire ai gestori una procedura per confrontare diverse opzioni di retrofit attuabili, ciascuna associata ai relativi indici di costo dell'intervento e agli effetti attesi sulla domanda energetica dell'edificio, in relazione al suo stato attuale, come determinato dalle valutazioni della Fase 1.

A questo fine, basandosi sulle azioni più frequentemente attuate in passato dal Gestore, è stato individuato un set di interventi ricorrenti, ai quali sono stati associati indicatori di impatto energetico ed economico che possono essere applicati parametricamente a un edificio o a un gruppo di fabbricati. Gli inter-

The first approach is applied when the energy performance certificate [EPC] is available to extract the necessary data, which are used to define the dwelling's profile. The units without EPC are processed in a different way as the analytical calculation is totally unfeasible due to time and resource constraints, which typically affect the Housing Companies, in addition to the need for very detailed input data that would burden the process further (Vodola *et al.*, 2022).

The proposed study offers two alternatives: one based on Tabula (option a) and the other on a Minimum Dataset (option b).

Option a) consists in accessing a widely used and recognised third party tool, such as Tabula (*Tabula WebTool*, online) that assigns energy performance class based on parametric data, according to the average consumption

of buildings grouped per typology, location and construction period. This choice is preferable when only cadastral data are available, not requiring the operator to possess specific knowledge.

Option b) is an intermediate procedure to be used when SH agencies already have or can quickly retrieve a data set that can be processed to estimate the energy demand according to a simplified calculation method. The minimum data set includes building volume, net floor area, envelope surface, envelope area to volume ratio, and average thermal transmittance of technical units. This option allows to reduce the approximation occurring when using option a), but it is feasible only in a limited number of cases, due to the large gaps that are recorded in the available documentation regarding the stock.

venti al momento selezionabili sono l'isolamento dell'involucro verticale opaco, l'isolamento della copertura e la sostituzione dei serramenti, ma altre opzioni possono essere facilmente aggiunte (Fig. 1). Per ciascuna, la metodica prevede la selezione di due livelli di prestazione incrementali: retrofit base e avanzato. Il primo consiste nell'applicazione di misure standard per il raggiungimento delle soglie minime da normativa (tipicamente il valore di trasmittanza di riferimento). Il secondo ipotizza il ricorso alla migliore tecnologia disponibile sul mercato con cui ottenere un miglioramento di almeno il 30% rispetto ai requisiti minimi di legge. Ad ogni intervento così definito è stato poi assegnato un costo parametrico standard (BPIE, 2010). Quindi lo strumento è stato completato con una funzione di utilità che confronta in modo iterativo diversi scenari e restituisce gli esiti attraverso una visualizzazione intuitiva, a beneficio dei gestori. La terza fase, ancora in corso, consiste nel monitoraggio degli effetti degli interventi di riqualificazione, effettuati a seguito dell'applicazione della procedura qui descritta, e nell'analisi dei *feedback* degli utenti finali.

Perciò, è stata avviata l'elaborazione dei dati forniti da sensori ambientali installati in un campione di alloggi, di diversi edifici e si è lanciata una campagna di sondaggi, mirata a indagare in modo specifico la percezione degli utenti degli alloggi. L'obiettivo delle due azioni parallele è quello di fornire riscontri incrociati sia sul livello di comfort percepito in relazione a quello rilevato strumentalmente, sia rispetto all'influenza del comportamento degli utenti sulle condizioni ambientali, che è una questione rilevante soprattutto nella prospettiva di raggiungere un elevato livello di risparmio energetico e di contrastare il rischio di povertà energetica in una popolazione a basso reddito.

The second phase of the study aims at providing SH managers with a procedure to compare different retrofit options, which vary by type of intervention, cost, and effect on the building energy demand. To this end, a set of recurring interventions, based on the actions most frequently implemented by the housing stock manager in the past, has been identified, to which energy and economic impact indicators have been associated to be applied parametrically to a building or a group of buildings. The basic available options are envelope insulation, roof insulation and replacement of windows and doors, but other options can be easily added to the set (Fig. 1). For each of them, two increasingly higher performance levels have been determined, namely basic and advanced refurbishment. The first consists in the application of standard measures to reach the

minimum regulation thresholds (typically U value). The second envisages the use of the best available technology to achieve higher energy performance, or at least a 30% improvement over the legal minimum requirements. Each intervention was assigned a standard cost (BPIE, 2010). Then the tool was completed with a part that iteratively compares several refurbishment scenarios and offers the SH manager user-friendly visualisations.

The third phase, which is still in progress, consists in monitoring the effects of renovation actions and in analysing feedback from the end users.

The third phase, which is still ongoing, consists in monitoring the effects of renovation actions, carried out following the application of the proposed procedure, and in analysing feedback from the end users. Hence, the processing of data provided by en-

vironmental sensors installed in some sample units of different buildings has commenced and a survey campaign has been launched, aimed at specifically investigating end user perception. The aim of these parallel actions is to provide a cross-check of both in terms of comfort perceived in relation to the one instrumentally measured, and with respect to the influence of user behaviour on environmental conditions, which is an important issue in the perspective of achieving a high level of energy savings and of tackling the risk of energy poverty of a highly exposed low-income population.

This phase is currently ongoing with instrumental data collection and preparation of the questionnaire. In particular, the first is making use of smart meters and sensors installed by ACER in selected renovated dwellings, where data about indoor air quality (e.g. VOC and CO₂ levels) as well as on thermal comfort are being collected, and will be compared with feedback from end-users. Regarding the questionnaire, instead, it is under discussion how to design it and what is the most appropriate medium to deliver it effectively in order to encourage the widest possible response. Based on previous experiences of the research team (Gaspari *et al.*, 2021), reflections on the user capacity of positively or negatively shaping a building energy demand are being proposed. Beyond general data on respondents, such as age, gender, literacy level, which help to better frame the answers, specific topics will be investigated, including awareness level on environmental issues and contribution of users in the building energy demand; understanding and capacity of interacting with building systems and information on thermal comfort

Caso studio

Il protocollo sviluppato dalle prime fasi di ricerca è stato applicato a un caso di studio, con lo scopo di verificarne fattibilità ed efficacia e di correggerne eventuali difetti. Adottando un

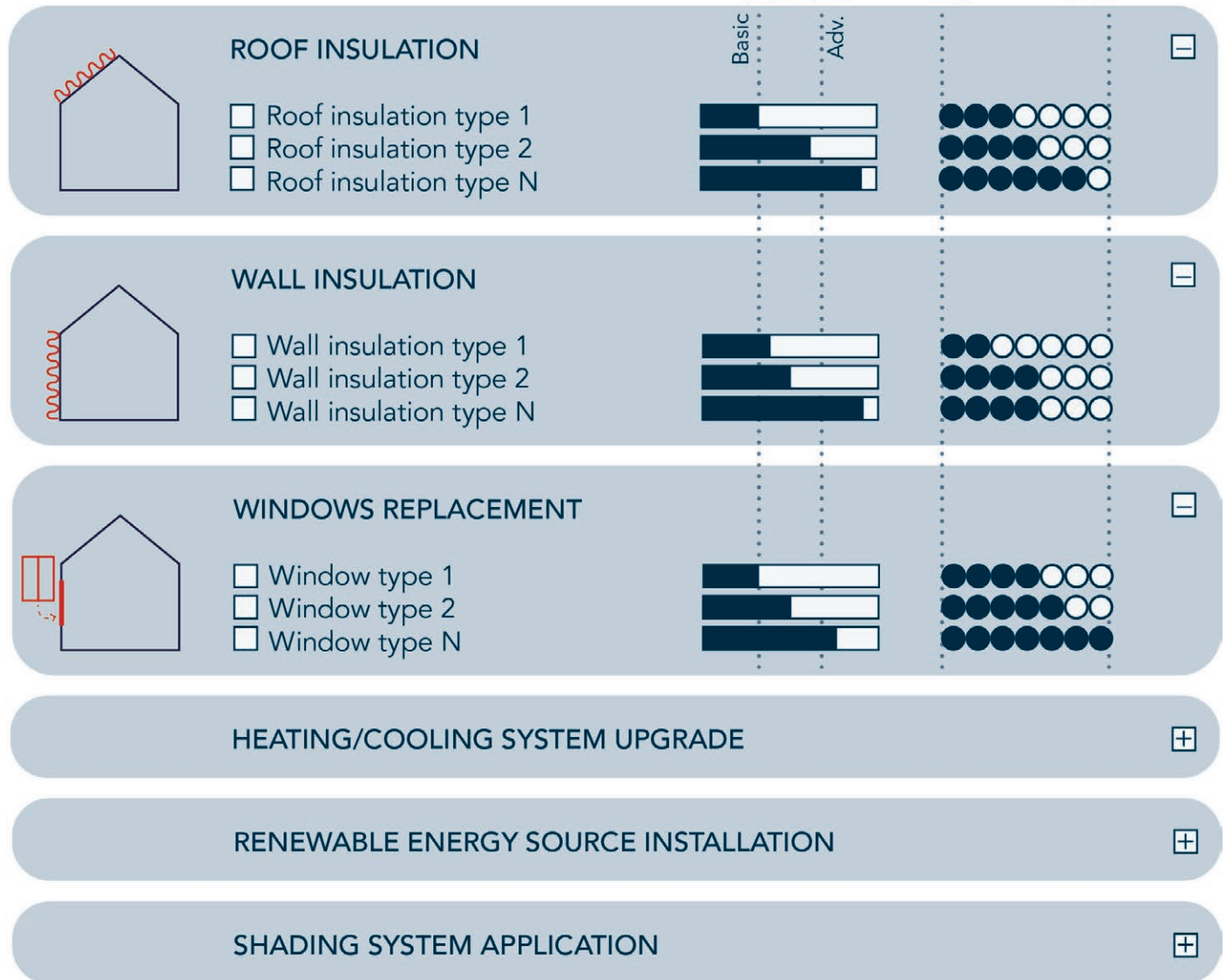
CATEGORIES OF RETROFIT OPTIONS

INTERVENTION
SAVING TARGET
kWh/m²y [%]

PARAMETRIC
COST
[€/m²]

30% 60%

300 1200



and air quality; willingness to change behaviour in favour of lower bills and/or environmental benefits.

Case study

The tool developed since the early stages was applied to a case study to test and adjust potential flaws. Therefore, assuming an iterative process of implementation and refinement, each phase was tested on a representative sample of buildings belonging to ACER Bologna.

First, the rapid method to calculate the building's current EP was implemented on 6 buildings, selected

among those provided with an EP certificate (for validation purposes) and representative of the whole stock per construction periods and conservation status. Their EP was then estimated by Tabula Webtool and compared with the one from EP certificate. The calculation of discrepancy between the two values completed the evaluation regarding the method's reliability and accuracy levels. As a result, errors were verified as acceptable for the purpose. The second phase of the procedure was then implemented.

Figure 2 outlines a possible visualisation output for one of the above case

studies: basic facts and current energy performance of the building are reported in the upper part; details on different retrofits (i.e. basic and advanced scenarios) are provided below, allowing to easily compare their effects. Figure 2 shows the result of each scenario in terms of both energy saving and average cost of the intervention. Figure 3 shows the solution defined for the advanced retrofit scenario.

At last, the effects of this intervention are being monitored through instrumental analysis, and will soon be integrated with the results of the surveys for building occupants.

Result and discussion

The result of the study is a digital tool allowing SH managers to quickly simulate and compare the effects of different retrofit interventions. In terms of output, the three methodological phases correspond to the three steps of the resulting digital tool, whose implementation workflow is outlined in figure 4. In the actual version, the tool allows to compare at least two alternatives for each of the three technical building element classes considered. Therefore, in few minutes the manager obtains at least 8 alternative intervention scenarios, which can be potential-

processo iterativo di implementazione e affinamento, ogni fase è stata testata su un campione rappresentativo di edifici appartenenti ad ACER Bologna. In primo luogo, è stato testato il metodo speditivo per calcolare l'indice di prestazione energetica di partenza di 6 fabbricati, selezionati tra quelli dotati di certificato EP (ai fini della validazione) e rappresentativi dell'intero stock per epoca di costruzione e stato di conservazione. Il loro EP è stato poi stimato tramite Tabula Webtool e confrontato con quello da certificato. Il calcolo della discrepanza tra i due valori ha completato la valutazione relativa all'affidabilità e al livello di accuratezza del metodo speditivo, i cui errori – inferiori all'11% – sono stati giudicati accettabili rispetto allo scopo. Quindi, si è proceduto applicando ai 6 edifici la Fase 2 della procedura.

La figura 2 illustra schematicamente la visualizzazione degli esiti di tale applicazione su uno degli edifici: nella parte superiore sono riportati i dati di base e la prestazione energetica attuale dell'edificio; in quella inferiore, i dettagli dei diversi interventi di retrofit (ovvero, scenari di base e avanzati) e il loro confronto. La figura 2 mostra i risultati di ciascuno scenario sia in termini di risparmio energetico sia di costi medi dell'intervento; la figura 3 la stratigrafia adottata nella soluzione di retrofit avanzato. Per valutare gli effetti di questo intervento, i dati delle analisi strumentali sono attualmente in corso di elaborazione e verranno integrati a breve con gli esiti dei questionari agli utenti.

Risultati e discussione

Il risultato dello studio è uno strumento digitale che consente ai gestori di alloggi sociali di simulare e confrontare rapidamente gli effetti di diversi interventi di retrofit attuabili sul pro-

ly replicated for the 18,000 dwellings managed by the Agency. The easy output interface supports the evaluation of comparative scenarios on both the same building and a group of different buildings. Agencies can be thus supported by reliable and easy to retrieve facts for informed decision-making and to prioritise actions.

The implementation of the tool on 6 sample buildings proved that the errors in EP calculation deriving from the speedy method are acceptable as balanced by benefits in terms of time, cost and general effort saving for SH managers during the planning stage. Considering that the sample's average EP is around 180 kW/m²y, thus among the worst performing of the considered ACER stock, it was possible to simulate the relative effects that could be obtained by applying the different scenarios to the whole stock.

Limits and potentialities

The study tried to overcome the limitations of the already available decision-making tools in this field by developing a simple but effective multi-criteria procedure. That is, a tool capable of considering several aspects of building sustainability at the same time, from environmental to financial aspects.

The study tried to overcome the limits of the decision-making tools already available in this field by developing a simple but effective multi-criteria evaluation procedure, i.e. a tool capable of simultaneously considering aspects of environmental and economic sustainability. Although only a few recurring retrofits are implemented in this version of the tool, the open structure allows for easy additions and changes. For example, the future version could embed the assessments of the environ-

prio patrimonio. In termini di output, le tre fasi della metodologia corrispondono ai tre stadi a cui opera lo strumento digitale risultante, come rappresentato in figura 4.

Nella sua attuale configurazione, lo strumento permette di confrontare gli effetti di almeno due variabili progettuali per ciascuna delle tre classi di elementi tecnici considerate. In pochi minuti, quindi, il gestore è in grado di ottenere scenari alternativi pari ad almeno 8 combinazioni differenti di modalità di intervento, potendo estendere tali scenari predittivi anche a tutti i 18.000 alloggi amministrati da ACER Bologna, ovvero a sottoinsiemi di tale parco. L'interfaccia di output supporta la valutazione di scenari comparativi sia sullo stesso edificio, che su un gruppo di edifici diversi, rendendo così disponibili in breve tempo dati affidabili, sulla cui base prendere decisioni informate e dare priorità alle azioni.

L'implementazione dello strumento sui sei edifici campione ha dimostrato che gli errori di calcolo dell'EP derivanti dal metodo speditivo sono accettabili in valore e ampiamente compensati dal risparmio di tempo e costi altrimenti richiesti. Tenuto conto che la prestazione energetica degli edifici del campione si attesta su 180 kW/m²a, collocandoli fra quelli del parco con la prestazione energetica più scarsa, è stato possibile simulare gli effetti ponderati che si otterrebbero applicando all'intero parco i diversi scenari di intervento.

Limiti e potenzialità

Lo studio ha cercato di superare i limiti degli strumenti decisionali già disponibili in questo campo, sviluppando una procedura di valutazione multicriteriale semplice ma efficace, ovvero uno strumento in grado di considerare contemporaneamente

mental effects of design choices (associating embodied energy and carbon footprint indicators), or even allow the simulation of user behavioural change as a result of awareness campaigns and feedback from smart meters and in-home integrated apps.

Actually, the tool allows to optimise asset management by exploiting the available resources and data regarding the building conditions, speeding up data retrieval and the comparative process, thus identifying the most effective renovation measures and buildings requiring the most urgent and prompt reactions.

Both during the circumstances of exceptional tax incentives, such as the Super bonus, and during the ordinary lack of resources, more effective planning is a crucial condition to prioritise actions and quantify them over a timeframe according to reliable criteria.

The tool operates considering the involved quantities to define and prioritise actions to be carried out in a more limited number, while optimising the limited resources in the hands of the housing companies.

Conclusions

The primary goal of the study was to provide the Social Housing Companies with a timesaving but effective supporting tool to plan maintenance and retrofit actions on the wide and heterogeneous building stock they manage. The proposed methodology highlights the potential coming from organised decisional processes, thus the adoption of effective supporting tools. This becomes particularly important when public funding and resources are involved in addition to relevant social issues that require appropriate criteria to define the priorities while maximising

BUILDING 1

Via Albani - Via Dall'Arca, Bologna, ITA

AS IS STATUS



Construction 1951
 Floor area 725 m²
 Volume 14758
 Inhabitants 115 m³
 Structure bricks bearing wall



EP_{gl,nren}
 211.55 kWh/m²y

RETROFIT SCENARIOS

Analytic EP calculation [kWh/m²y]

Current	Deep refurbishment
211.55	31.9

Tabula WebTool EP estimatee [kWh/m²y]

Current	Basic retrofit	Advanced retrofit
218.2	97.1	59.1

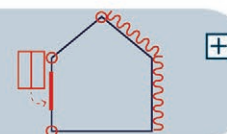
Option 1 Basic retrofit

Energy saving 32%
 Cost 2000 €/m²



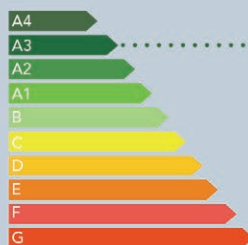
Option 2 Advanced retrofit

Energy saving 73%
 Cost 3200 €/m²



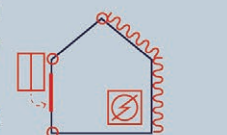
Option 3 Deep refurbishment

- Wall and roof thermal insulation
- Windows replacement
- Installation of photovoltaic panels
- Heating system replacement
- Cooling system passive integration



EP_{gl,nren}
 31.9 kWh/m²y

Total saving
 11.938 kWh/y



aspetti di sostenibilità ambientale ed economica.

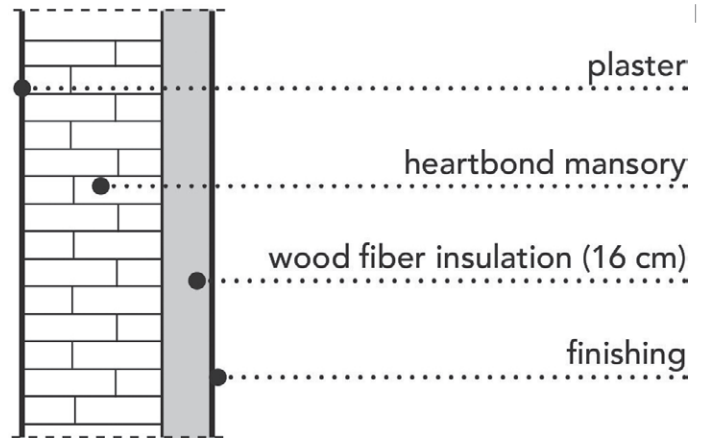
Sebbene in questa versione dello strumento siano implementati solo pochi interventi di retrofit ricorrenti, la struttura aperta consente facilmente integrazioni e modifiche. Ad esempio, la versione futura potrebbe incorporare valutazioni sugli effetti ambientali delle scelte progettuali (associando indicatori di *embodied energy* e *carbon footprint*), o consentendo anche la simulazione del cambiamento comportamentale degli utenti per effetto di campagne di sensibilizzazione e dei feedback dei contabilizzatori intelligenti e delle app di interazione integrate nelle abitazioni.

Tuttavia, già ora lo strumento permette di ottimizzare la gestione degli asset in base alle risorse disponibili e alle condizioni degli edifici, velocizzando il processo di reperimento e confronto dei dati, quindi l'individuazione delle misure di riqualificazione più efficaci e degli edifici che necessitano di interventi incisivi.

Sia in presenza di incentivi fiscali eccezionali, come il Super bonus, sia in circostanze ordinarie di carenza di risorse, una più efficace pianificazione è condizione indispensabile per prioritizzare gli interventi e dosarli nel tempo sulla base di criteri attendibili. Lo strumento agisce infatti sulla quantità per determinare e prioritizzare gli interventi, da effettuare in numero più limitato, quindi per ottimizzare le scarse risorse a disposizione delle Aziende Casa.

Conclusioni

L'obiettivo primario dello studio era di fornire alle agenzie di edilizia sociale uno strumento di ausilio alla pianificazione rapida ma efficace di azioni di manutenzione e retrofit sui grandi



ed eterogenei asset che sono chiamate a gestire. La metodica sviluppata evidenzia le potenzialità di processi decisionali razionali per attuare la riqualificazione energetica del parco edificato; quindi, l'utilità di strumenti che li supportino efficacemente. Ciò in particolare quando siano in gioco risorse finanziarie e fisiche pubbliche e siano coinvolti rilevanti aspetti sociali, che richiedono di utilizzare criteri accurati per fissare le priorità e massimizzare i benefici ottenibili dagli interventi.

Nonostante sia rivolta prevalentemente all'housing sociale, la soluzione sviluppata è potenzialmente applicabile anche in altri segmenti del parco edilizio, soprattutto in considerazione della spinta alla riqualificazione energetica e delle problematiche procedurali evidenziate negli interventi su edifici plurifamiliari, che potrebbero essere almeno parzialmente alleviate attuando simulazioni predittive con metodiche speditive del tipo di quelle qui proposte.

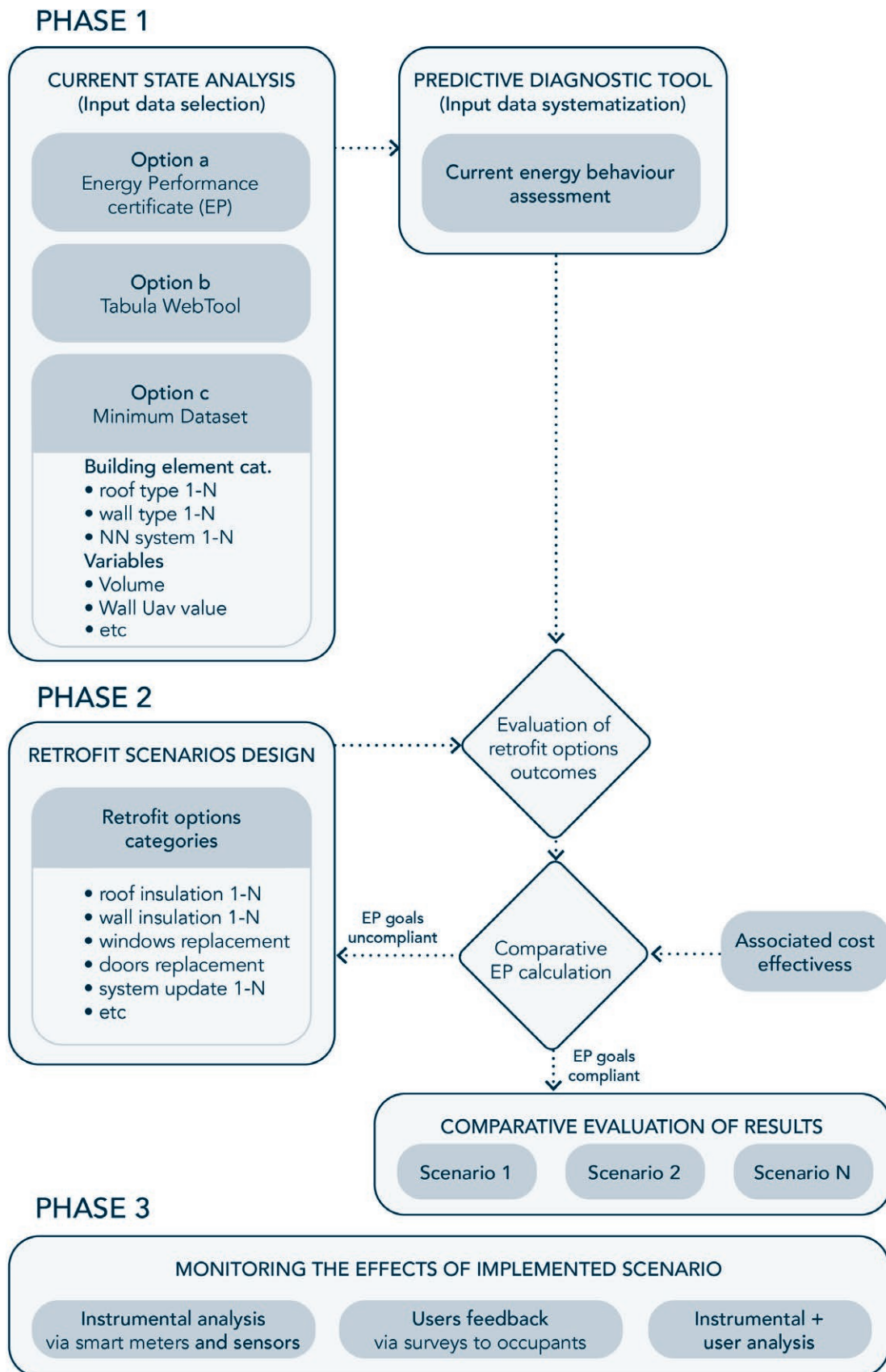
Ulteriori potenziali benefici dello studio investono altri temi di attualità: il risparmio energetico e riduzione delle emissioni nel patrimonio edilizio e i loro conseguenti impatti ambientali positivi, a medio e lungo termine; la gestione ottimizzata delle risorse pubbliche; il miglioramento del comfort abitativo e la riduzione del rischio di povertà energetica per gli utenti. Rispetto

the potential benefits from the undertaken actions.

Although it is mainly intended to support social housing initiatives, the solution developed is potentially applicable to other segments of the building stock, particularly considering the energy efficiency driver and the procedural problems detected during interventions on multi-family buildings, which could be at least partially reduced by implementing predictive simulations based on timesaving methods such as the one presented.

The study also addresses other important topics: the energy saving and carbon emission reduction of the built environment, and the subsequent positive environmental impact both in the medium and long terms; the optimised management of public finances; the improvement of user comfort and the reduction of energy poverty risk.

As concerns the latter, while the first research actions were focused on reducing issues deriving from technical aspects of the building – thus targeted at improving the energy performance of the stock – the ongoing phase aims at working on the share of energy demand that mostly depends on user behaviour. This will be achieved by raising their awareness and active response through information registered and made available via in-home digital tools.



a quest'ultimo tema e ai suoi molteplici risvolti, mentre le azioni considerate nella prima fase della ricerca hanno puntato alle criticità legate alla risposta tecnica dell'edificio – cioè a migliorare quanto più possibile le prestazioni energetiche del patrimonio ACER, la fase in corso di sviluppo mira a intervenire anche sulla componente di consumi dipendente dal comportamento dell'utente, rendendolo più consapevolmente attivo grazie alle informazioni registrate dai sensori, e rese disponibili tramite efficaci dispositivi di comunicazione digitale.

REFERENCES

- Aranda, J., Zabalza, I., Conserva, A., Millán, G. (2017), "Analysis of energy efficiency measures and retrofitting solutions for social housing buildings in Spain as a way to mitigate energy poverty", *Sustainability*, Vol. 9, n.10, p. 1869.
- BPIE (2010), *Cost Optimality. Discussing methodology and challenges within the recast Energy Performance of Buildings Directive*, available at: https://www.bpie.eu/wp-content/uploads/2015/10/BPIE_costoptimality_publication2010.pdf (accessed 25 August 2022).
- Censis (2008), *Social Housing e agenzie pubbliche per la casa*, Dexia, Roma.
- Dall'O, G., Ferrari, S., Bruni, E., Bramonti, L. (2020), "Effective implementation of ISO 50001: A case study on energy management for heating load reduction for a social building stock in Northern Italy", *Energy and Buildings*, Vol. 219, p. 110029.
- Decreto Legislativo 34/2020 Decreto rilancio, available at: <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2020/05/19/20G00052/sg> (accessed 22 August 2022).
- ENEA (2016), *Rapporto Annuale Efficienza energetica (RAEE) 2016*, available at: <https://www.ufficienzaenergetica.enea.it/pubblicazioni/raee-rapporto-annuale-sull-efficienza-energetica/rapporto-annuale-sull-efficienza-energetica-2016.html> (accessed 24 July 2022).
- ENEA (2022), *Rapporto ENEA dati mensili Superbonus*, available at: https://www.ufficienzaenergetica.enea.it/images/detrazioni/Avvisi/Report_dati_mensili_31_05_22.pdf (accessed 08 August 2022).
- European Commission (2019), *The European Green Deal. COM(2019) 640 final*, available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640> (accessed 28 August 2022).
- Federcasa (2019), *Federcasa e Federcostruzioni: in italia servono 300mila nuove case popolari*, available at: <https://www.federcasa.it/appello-di-federcasa-e-federcostruzioni-in-italia-servono-300mila-nuove-case-popolari/> (accessed 20 August 2021).
- Gaspari, J., Antonini, E., Marchi, L., Vodola, V. (2021), "Energy transition at home: A survey on the data and practices that lead to a change in household energy behavior", *Sustainability*, Vol. 13, n.9, p. 5268.
- Housing Europe (2021), *The state of housing in Europe*, available at: <https://www.stateofhousing.eu> (accessed 28 August 2022).
- IEA (2021a), *Tracking Buildings 2021*, IEA, Paris.
- IEA (2021b), *World Energy Outlook 2021*, available at: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021> (accessed 28 August 2022).
- Levine, M. et al. (2007), "Residential and commercial buildings, Climate Change 2007: Mitigation, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", in Metz, B. et al. (Eds.), *Climate Change 2007 Mitigation of Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, U.K. & New York, U.S.A., pp. 387-446.
- McKinsey & Company (2009), *Pathways to a Low-Carbon Economy. Version 2 of the global greenhouse gas abatement cost curve*, available at: https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/dotcom/client_service/sustainability/cost%20curve%20pdfs/pathways_lowcarbon_economy_version2.ashx (accessed 28 August 2022).
- Melis, P. (2010), *La valutazione della qualità globale degli edifici residenziali nella programmazione degli interventi di riqualificazione alla scala del patrimonio edilizio*. Tesi di dottorato, Ingegneria Edile, Ciclo XXIII, Università degli Studi di Cagliari.
- Presidenza del Consiglio dei Ministri (2021), *Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza*, available at: <https://www.governo.it/sites/governo.it/files/PNRR.pdf> (accessed 22 August 2022).
- Siroombo, E., Filippi, M., Catalano, A., Sica, A. (2017), "Building monitoring system in a large social housing intervention in Northern Italy", *Energy Procedia*, Vol. 140, pp. 386-397.
- Tabula WebTool, available at: <https://webtool.building-typology.eu/#bm> (accessed 20 March 2021).
- Tzortzopoulos, P., Ma, L., Soliman Junior, J., Koskela, L. (2019), "Evaluating social housing retrofit options to support clients' decision Making-SIMPLER BIM protocol", *Sustainability*, Vol.11, n.9, p. 2507.
- Vodola, V., Antonini, E., Gaspari, J., Marchi, L. (2022), "A Methodology for Fast Simulation of Energy Retrofitting Scenarios of Social Building Stock", in Littlewood, J. R., Howlett, R. J., and Jain, L. C. (Eds.), *Sustainability in Energy and Buildings 2021*, Springer, Singapore, pp. 147-157.