

## STRUMENTI DI MONITORAGGIO PER ABILITARE IL RISPARMIO ENERGETICO NELL'EDILIZIA SOCIALE

## MONITORING TOOLS AS ENERGY SAVING ENABLERS IN SOCIAL HOUSING CONTEXT

Jacopo Gaspari, Lia Marchi, Carlotta Oberosler, Ernesto Antonini

### ABSTRACT

Il miglioramento dell'infrastruttura digitale previsto dal Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) prospetta per il settore residenziale nuove opportunità di riduzione dei consumi energetici basate sul comportamento dell'utente. La dotazione di strumenti intelligenti per il monitoraggio energetico consentirebbe di migliorare il comfort indoor, limitare la spesa delle famiglie e ridurre l'impatto ambientale. Tuttavia, la diffusione di tali tecnologie, già disponibili sul mercato, dipende dalla capacità di interagire attivamente con esse e dalla comprensione dei relativi vantaggi. Lo studio indaga l'interazione degli utenti con la dotazione impiantistica tipica degli alloggi sociali, incrociando l'opinione degli abitanti con rilievi strumentali su un caso pilota a Bologna, allo scopo di definire le caratteristiche di uno strumento integrativo per informare l'utente e suggerire buone pratiche di consumo.

The improvement of the digital infrastructure envisaged by the National Recovery and Resilience Plan (PNRR) promises new opportunities for reducing energy consumption based on user behaviour for the residential sector. Smart tools for energy monitoring would make it possible to improve indoor comfort, limit household expenses and reduce their environmental impact. However, the diffusion of these technologies, which are already available on the market, largely depends on the ability of users to actively interact with them and on the understanding of their advantages. The study investigates the interaction of users with the typical system and equipment of social housing, comparing the opinion of the inhabitants with instrumental monitoring on a pilot case in Bologna, in order to define the characteristics of an integrative tool to inform the user and suggest good energy use practices.

### KEYWORDS

transizione energetica e digitale, edilizia sociale, povertà energetica, contatore intelligente, comportamento dell'utente

energy and digital transition, social housing, energy poverty, smart monitoring, user behaviour

**Jacopo Gaspari**, Architect and PhD, is an Associate Professor at the Department of Architecture of the University of Bologna (Italy). His research interests concern transition and energy efficiency, the development of adaptive envelope solutions, and the mitigation of climate change in the built environment. E-mail: jacopo.gaspari@unibo.it

**Lia Marchi**, Architect and PhD, is a Research Fellow, Adjunct Professor at the Department of Architecture of the University of Bologna (Italy). Her main research interests are green building technologies and design support tools, the design of sustainable holistic factories and the interactions between building and user. E-mail: lia.marchi3@unibo.it

**Carlotta Oberosler**, Architect, is a Technical Officer at the Emilia-Romagna House Company (ACER) in Bologna (Italy), where she deals with social housing linked both to the design phase and the management process. E-mail: coberosler@acerbologna.it

**Ernesto Antonini**, Architect and PhD, is a Full Professor at the Department of Architecture of the University of Bologna (Italy). Vice-president of the SITdA, he researches on innovative building techniques and materials, tools for the construction process, construction and demolition waste and sustainable architecture.



Le azioni previste dal Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza<sup>1</sup> (PNRR) a sostegno della transizione energetica – che ne costituisce un obiettivo primario – investono un complesso di ambiti, tra cui assume particolare rilievo quello di adeguare e migliorare l'infrastruttura digitale (Gaspari et alii, 2022). Oltre il 20% dei 191,5 Miliardi di euro del Piano è infatti dedicato all'azione 'M1 – Digitalizzazione', con lo scopo dichiarato di semplificare processi di gestione e interfaccia tra sistemi digitali (Fig. 1). Nel campo delle forniture energetiche, ciò interessa soprattutto le attività di controllo e acquisizione dei dati da parte dei soggetti interessati e si traduce nel concreto in un duplice obiettivo: da un lato, per il soggetto pubblico, ottenere un quadro di riferimento più attendibile della domanda energetica e delle diverse fonti di approvvigionamento e dall'altro aprire nuovi interessanti scenari circa la possibilità di permettere all'utente un maggiore livello di comprensione degli effetti diretti dei suoi comportamenti quotidiani sui consumi energetici.

L'articolo illustra uno studio volto a indagare le potenzialità dei comportamenti dell'utente nel ridurre la domanda energetica dell'abitazione, ed è così strutturato: le prime due sezioni discutono il peso dell'edilizia residenziale nell'ambito delle politiche di supporto della transizione energetica; quindi, viene introdotto il panorama di strumenti e strategie ad oggi disponibili per stimolare l'adozione di buone pratiche energetiche in ambito domestico. Segue l'enunciazione delle finalità e degli obiettivi dello studio, quindi la metodologia generale e le fasi operative; infine, l'articolo presenta e discute i risultati ottenuti a seguito delle attività di ricerca condotte.

### Transizione energetica e ruolo degli utenti nel settore residenziale

Il settore residenziale rappresenta un asset strategico della transizione, essendo responsabile di circa il 27% dei consumi finali di energia, sia a livello globale (IEA, 2022) sia all'interno dell'Unione Europea (European Commission, 2022; Fig. 2). In Italia, il Rapporto sulla Situazione Energetica Nazionale del 2021 evidenzia che, nonostante i progressi registrati nei sei anni precedenti, occorre rivedere gli obiettivi e le strategie di efficientamento energetico, per stare al passo con l'ambizioso obiettivo comunitario di raggiungere la neutralità climatica entro il 2050 (Ministero della Transizione Ecologica, 2020), nonché per far fronte alla contingente crisi energetica dovuta alla diminuzione di approvvigionamento di gas dalla Russia.

Il rapporto evidenzia inoltre che nel 2021 la spesa energetica di una famiglia tipo ammontava a 3.300 euro<sup>2</sup>, corrispondente a circa il 10% del reddito familiare medio ISTAT. Circa il 53% di questa quota è impiegata per le bollette del gas e dell'energia elettrica domestica, dato che è certamente destinato a essere rivisto al rialzo considerando le oscillazioni che si stanno registrando nei prezzi dei combustibili (Fig. 3). Dunque, risulta ancora più necessario e urgente supportare la transizione energetica del settore residenziale mediante politiche, azioni e strumenti in grado di favorire la riduzione dei consumi degli edifici e i relativi costi; quindi, di abbattere gli impatti ambientali ad essi connessi e migliorare le condizioni di comfort indoor. A tal fine, vi sono molteplici traiettorie di azione.

Da un lato, vi è la consapevolezza che la maggior parte del potenziale di riduzione dei consumi dipenda dagli interventi tecnici sul patrimonio edilizio esistente, e in particolare da quelli volti a ridurre il fabbisogno energetico durante la fase di esercizio (Levine et alii, 2017). A questi è infatti dedicato un asset di finanziamento apposito del PNRR, all'interno della missione Rivoluzione Verde e Transizione Energetica: azione M2-C3 – Efficienza Energetica e Riqualificazione degli Edifici (Fig. 4). Grande attenzione è quindi rivolta a supportare la riqualificazione del patrimonio esistente per mezzo di incentivi e detrazioni fiscali. Dall'altro lato, tuttavia, la letteratura scientifica sul tema evidenzia la sempre maggiore rilevanza del ruolo dell'utente nell'adeguare i profili di consumo energetico, in relazione al mutare del mercato, al crescente livello di consapevolezza ambientale e alla capacità di interazione tra individuo e sistemi impiantistici più o meno intelligenti (Gaspari et alii, 2021; Sirombo et alii, 2021; Völker et alii, 2021). In questo quadro emerge con forza la potenzialità di impianti e strumenti digitali intelligenti come mezzi in grado di facilitare la transizione energetica (Romero, De Agustin and Tsitsanis, 2018).

Per quanto il cambiamento comportamentale possa determinare una quota modesta di riduzione dei consumi – il cui peso relativo, tuttavia, aumenta all'aumentare delle prestazioni energetiche dell'edificio – gli effetti attesi su larga scala sono comunque notevoli. In particolare, ciò focalizza l'attenzione sui possibili effetti che le condizioni al contorno inducono sulla povertà energetica, a cui risultano particolarmente esposte le fasce di popolazione più deboli, tipicamente insediate negli alloggi di edilizia sociale (BIPIE, 2014). Queste sono molto spesso caratterizzate da un generale disinteresse o scarso livello di consapevolezza degli effetti delle proprie azioni sui consumi energetici domestici, a cui contribuisce anche la mancanza di informazioni e riscontri diretti sugli stessi.

Quindi, a prescindere dalla risposta tecnica e dall'efficienza dell'edificio, si apre un interessante fronte di indagine sulle potenzialità derivanti dalla diffusione di mezzi e dispositivi informativi personalizzati sull'utente, quali strumenti abilitativi diretti, con effetti attesi particolarmente apprezzabili nelle fasce di popolazione esposte al rischio di povertà energetica – riduzione della bolletta mediante cambiamento comportamentale, non necessariamente derivante da un investimento economico di riqualificazione (Caballero and Della Valle, 2021; Hafner et alii, 2019).

### Strumenti di monitoraggio e risposta degli utenti

Il cambiamento comportamentale dell'utente in relazione ai modelli di consumo energetico domestico è dunque un tema di crescente interesse nella letteratura scientifica, con differenze di oltre il 40% rilevate nei consumi relativi a edifici identici, ma occupati da abitanti diversi (Delzenne et alii, 2017; Levine et alii, 2017). Per sfruttare tale potenziale e convergere verso gli obiettivi nazionali di transizione energetica, risulta necessario operare su due fronti complementari: da un lato, è imprescindibile introdurre strumenti in grado di registrare efficacemente e tempestivamente i livelli di consumo e quindi ottimizzare l'offerta; dall'altro, occorre assicurare l'ampia diffusione di sistemi che permettano all'utente di verificare facilmente

e in modo affidabile gli effetti dei propri comportamenti sulla domanda energetica.

Sul mercato sono già disponibili numerose tecnologie adatte allo scopo, e sono in corso diverse sperimentazioni per migliorarne l'efficacia, specialmente in relazione all'interazione con gli utenti (Darby, 2006; Ehrhardt-Martinez, Donnelly and Laitner, 2010; Joachain and Klopfer, 2014; Serrenho, Zangheri and Bertoldi, 2015). Tra queste, vale la pena menzionare i contatori intelligenti – che stanno progressivamente sostituendo quelli tradizionali su tutto il territorio – così come i moderni termostati e valvole termostatiche e le relative applicazioni online/su smartphone gestite dai fornitori di energia, ma anche strumenti più sofisticati in grado di interagire automaticamente con sistemi impiantistici di tipo domotico, ad esempio In-Home Display – IHD (Balakrishnan and Geetha, 2021; Gomes et alii, 2022).

Alcuni di questi dispositivi consentono all'utente di visualizzare i dati relativi ai propri consumi con frequenze variabili (da mensile a istantanea) e in certi casi di regolare manualmente o automaticamente i parametri che influenzano le condizioni di comfort interno. Taluni permettono anche la comparazione dei dati con quelli medi di altri utenti con caratteristiche simili e forniscono consigli concreti e indicazioni per risparmiare e ridurre l'impatto ambientale. Sebbene le modalità di interazione con i terminali impiantistici e il tipo di feedback che l'utente riceve possano influenzare fortemente le pratiche e i comportamenti, disporre di informazioni del loro effetto sul consumo di energia è quasi sempre utile, avendo spesso gli utenti scarsa consapevolezza di questa correlazione (Huebner, Cooper and Jones, 2013).

La vera sfida dunque non consiste tanto nello sviluppo di nuovi strumenti tecnici, ma riguarda piuttosto la diffusione su larga scala di questi dispositivi legata alla comprensione dei vantaggi della loro utilizzazione da parte degli utenti e dalla loro capacità di interagire attivamente e quindi di reagire alle informazioni rese disponibili. Oggi la straordinaria stagione di investimenti pubblici volti a supportare la transizione digitale ed energetica del patrimonio abitativo favorisce in maniera decisa l'avvio di sperimentazioni e riflessioni strategiche su questi temi da attuare in maniera sinergica con i programmi di riqualificazione già in corso.

Importanti ricerche sul tema dimostrano la centralità del problema, come è nel caso del progetto Social Green<sup>3</sup> in ambito Interreg o di Replicate<sup>4</sup> finanziato da H2020, entrambi centrati sullo studio e l'installazione di strumenti di monitoraggio intelligenti per ottimizzare i consumi energetici degli edifici e stimolare il cambiamento comportamentale. In ambito nazionale anche ENEA, con DHOMUS<sup>5</sup>, ha sviluppato una piattaforma dedicata agli utenti residenziali con l'obiettivo di renderli consapevoli dei propri consumi energetici e guidarli a contenere sia i consumi sia i costi. Tuttavia la replicabilità e la scalabilità di tali soluzioni rimangono il punto critico della questione e necessitano di ulteriori approfondimenti.

**Obiettivi e finalità** | In questo quadro, l'articolo riporta uno studio finalizzato a indagare il potenziale impatto del comportamento dell'utente sui consumi finali di energia dell'abitazione, quindi a delineare possibili strumenti e strategie per mas-

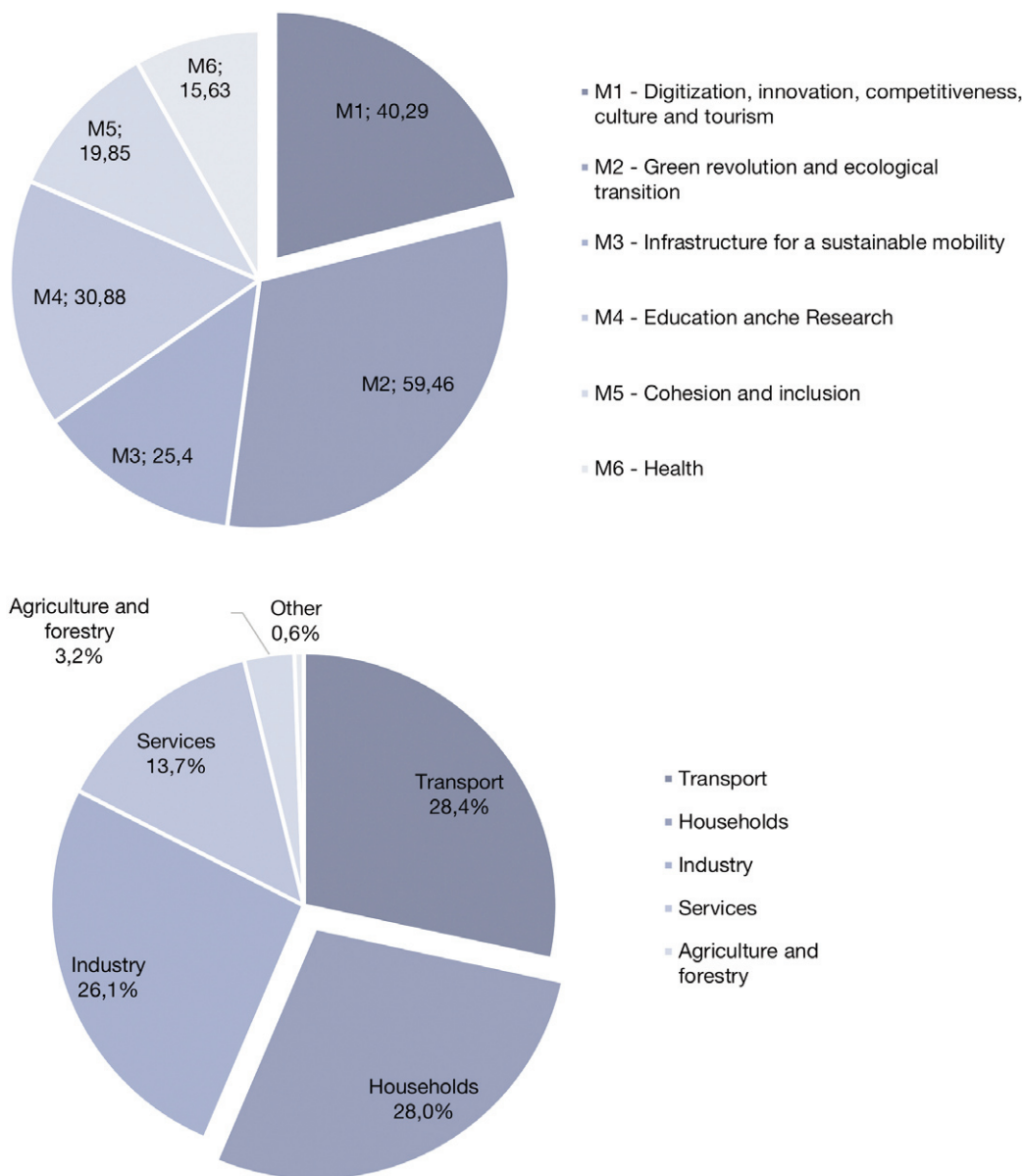


Fig. 1 | Breakdown of PNRR investments into 6 missions – MId (credit: C. Oberosler, 2022).

Fig. 2 | Final energy use per sector in Europe (credit: elaborated by the authors based on Eurostat, 2021).

simizzarne gli effetti su larga scala. In particolare la ricerca si focalizza sull'utilizzo di strumenti digitali per il monitoraggio e la gestione della domanda energetica all'interno delle abitazioni di edilizia residenziale pubblica, da combinare con gli interventi di manutenzione periodica e i ricorrenti programmi di riqualificazione degli alloggi operati dalle Aziende Casa.<sup>6</sup>

La ricerca dà seguito al progetto InSPIRE<sup>7</sup> (Integrated technologies for Smart buildings and PREdictive maintenance), finanziato dalla Regione Emilia-Romagna mediante il Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (POR FESR 2014-2020) e il Fondo per lo Sviluppo e la Coesione (FSC), che si proponeva l'implementazione di tecnologie abilitanti integrate a componenti e sistemi edilizi per il monitoraggio di parametri prestazionali energetici, strutturali, di salubrità ambientale e comfort degli alloggi. Lo studio si pone inoltre all'interno di una più ampia collaborazione tra l'Azienda Casa Emilia-Romagna di Bologna (ACER BO) e l'Università di Bologna, con lo scopo di supportare i gestori di edilizia pubblica nella pianificazione integrata di attività di manutenzione e riqualificazio-

ne, in particolare individuando strategie e tecnologie per alleviare la fragilità socioeconomica degli inquilini.

**Metodologia** | All'interno del parco edilizio in gestione ad ACER BO, consistente in oltre 18.000 alloggi distribuiti su un'area di competenza di oltre 3.700 kmq, l'approfondimento ha riguardato il distretto 'Bolognina', un'area della città di Bologna denotata da una straordinaria concentrazione di edilizia sociale, che rende la zona particolarmente delicata tanto dal punto di vista socioeconomico quanto energetico-ambientale (Fig. 5). In primo luogo, lo studio ha condotto alla definizione di una procedura per individuare le migliori strategie di riqualificazione energetica da adottare sul vasto e differenziato stock ACER, facilitando l'Azienda nella selezione degli interventi più efficaci caso per caso, e quindi nell'ottimizzazione delle scarse risorse finanziarie disponibili. Il risultato è uno strumento predittivo per la simulazione e comparazione speditiva degli effetti di diversi interventi di retrofitting sul patrimonio di edilizia sociale, capace di integrare considerazioni ambientali ed eco-

nomiche e quindi aiutare i gestori a selezionare e prioritizzare gli stessi interventi in maniera più efficace (Vodola et alii, 2022).

Su queste basi si inserisce una seconda fase di ricerca, volta a indagare come il comportamento degli utenti possa influenzare la domanda energetica dell'abitazione. Ovvero, quali strategie e quali strumenti possono introdurre i gestori di edilizia pubblica per stimolare efficacemente la riduzione dei consumi e al contempo alleviare i carichi economici sugli utenti finali. L'assunto di base è infatti che, per quanto gli effetti del comportamento energetico positivo dell'utente siano proporzionalmente più apprezzabili in edifici ad alte prestazioni, il ruolo delle buone pratiche di consumo energetico in ambito domestico possa assumere oggi più che mai rilievo, specialmente in contesti socioeconomici fragili come quelli oggetto di studio. Gli obiettivi specifici di questa fase sono: a) indagare le modalità con cui gli utenti interagiscono e comprendono le informazioni trasmesse dagli strumenti di monitoraggio e regolazione già disponibili negli alloggi, quindi valutarne l'efficacia nello stimolare e incoraggiare buone pratiche di consumo energetico; b) definire i requisiti e le caratteristiche di uno strumento digitale da integrare a tale strumentazione per migliorarne l'efficacia.

Di conseguenza, la metodologia adottata è così articolata:

– Fase 1: 1.a) mappatura della consistenza del parco edilizio disponibile; 1.b) definizione delle possibili strategie di riqualificazione energetica; 1.c) applicazione dello strumento e prioritizzazione degli interventi sugli edifici di proprietà ACER BO;

– Fase 2: 2.a) individuazione degli edifici campione entro il parco di ACER BO, assunti come caso pilota; 2.b) elaborazione di un questionario per gli utenti; 2.c) installazione di un set di strumenti di monitoraggio della qualità ambientale dell'alloggio, di cui sono indagati gli effetti e l'efficacia dell'interazione con gli utenti mediante analisi incrociata dei dati e confronto con gli esiti dei questionari somministrati; 2.d) elaborazione e confronto dei dati ottenuti; 2.e) definizione di strategie e studio di dispositivi integrabili negli alloggi per supportare l'utente nella comprensione del funzionamento del sistema e, in una sua più efficiente regolazione, da integrare con l'adozione di buone pratiche di consumo energetico; 2.f) predisposizione di uno strumento da installare negli alloggi campione; 2.g) verifica delle ipotesi sulla sua efficacia e fattibilità, mediante affinamento e integrazione della campagna di monitoraggio combinata con il questionario per gli utenti, ai fini di un suo lancio su larga scala. La successiva sezione dell'articolo presenta e discute gli esiti delle prime attività della fase 2.

**Fasi operative** | La prima attività della fase 2 della ricerca ha riguardato l'analisi delle funzionalità e potenzialità degli strumenti installati da ACER Bologna nell'ambito di un proprio programma di sperimentazione che ha portato all'installazione in un campione di alloggi di: cronotermostati manuali per la regolazione della temperatura in regime invernale; di sistemi di oscuramento esterni a movimentazione manuale; comandi di accensione/spegnimento dell'impianto di ventilazione meccanica controllata. Per indagare le modalità di interazione degli utenti con questa strumentazione, nonché gli effetti percepiti sulla qualità ambientale



dell'alloggio, è stato predisposto un questionario anonimo a risposta multipla (attività 2.b; Fig. 6). Nella definizione delle domande si è tenuto conto dell'eterogeneo livello di comprensione e alfabetizzazione riscontrabile nella particolare tipologia di utenti<sup>8</sup>, prediligendo un linguaggio semplice e diretto e un tempo di compilazione inferiore a dieci minuti.

Per poter inquadrare le risposte degli utenti rispetto alle condizioni ambientali effettive è stata quindi avviata una campagna di monitoraggio sia sugli edifici, che sui singoli alloggi. A scala di edificio sono stati raccolti tutti i dati relativi ai consumi energetici su base giornaliera ed eseguite indagini termografiche per valutare le dispersioni e i ponti termici eventualmente presenti. Nei singoli alloggi sono state installate sonde per il rilevamento delle temperature, dell'umidità, della CO<sub>2</sub> e dei Composti Organici Volatili (VOC), distribuite come nella Tabella 1 (attività 2.c). Contestualmente il questionario è stato somministrato ai residenti.

Successivamente si è proceduto alla raccolta e interpretazione dei dati relativi al questionario e al monitoraggio dei consumi e della qualità dell'aria interna. Su queste basi si sono avviate le successive azioni del programma di ricerca che consistono nella definizione di regolazioni e modalità di interazione tra utente e terminali del sistema impiantistico disponibili, nonché delle integrazioni delle funzionalità dei dispositivi, che potrebbero portare a un'efficace riduzione dei consumi e relativi effetti sulle bollette (attività 2.d, ancora in corso). Intanto si è condotto uno studio dei dispositivi disponibili sul mercato a questo scopo, indagando caratteristiche e potenzialità in particolare di quelli a basso costo e facile integrazione con la dotazione standard del patrimonio di edilizia sociale nazionale.

Ciò ha permesso di delineare le caratteristiche della strumentazione meglio integrabile da ACER negli alloggi del proprio stock per rispondere all'esigenza, definendo una sorta di 'blueprint' finalizzato a stimolare lo scambio di informazioni e dati tra sistema impiantistico e utente, da sottoporre in seguito a verifica mediante il lancio di una seconda campagna di indagine tra i residenti. Prima di replicare il processo l'esito è valutato sulla scorta delle seguenti domande: i requisiti fondamentali di tali strumentazioni sono soddisfatti? Come la strumentazione può favorire un efficace scambio di informazioni tra edificio e utente? Quali dati, in quali formati e con quali modalità di comunicazione le informazioni possono essere rese intelleggibili ad utenti non tecnici con bassi livelli di istruzione? Come suggerire e rendere possibile all'utente di agire in relazione alle informazioni che ottiene (ad esempio regolando il termostato o cambiando una certa pratica di consumo)?

### Sperimentazione e discussione dei risultati |

Questa prima fase della ricerca ha investito due immobili di proprietà di ACER Bologna, selezionati tra quelli recentemente oggetto di recupero e riqualificazione, dove gli effetti del cambiamento comportamentale sulla domanda energetica finale dell'alloggio sono maggiormente apprezzabili (Figg. 7, 8). I due edifici sono parte del complesso immobiliare che si trova in via Albani a Bologna, nell'area della Bolognina, e include 64 alloggi con superfici variabili tra 30 e 80 metri quadrati, oltre ad autorimesse e alcuni locali che ospitano ser-

vizi sociali per l'adolescenza (Fig. 9). I locali sono dotati di impianto di riscaldamento radiante a pavimento, con temperature regolabili per ciascun ambiente attraverso termostati. A monte del collettore di ogni unità immobiliare è stato installato un crono-termostato che consente di accendere/spegnere l'impianto a ore stabilite dall'utenza. Il sistema impiantistico è completato dalla ventilazione meccanica dotata di recuperatore di calore, a servizio di tutti gli ambienti. Inoltre, un impianto solare termico installato in copertura integra la produzione di acqua calda sanitaria. A seguito dell'intervento di riqualificazione completato nel 2020, gli immobili hanno conseguito la Certificazione CasaClima classe A, con un fabbisogno di energia pari a circa 26 kWh/m<sup>2</sup>anno.

Al momento della consegna degli alloggi agli utenti, ACER ha fornito un sintetico manuale di istruzioni contenente le indicazioni essenziali per l'uso degli impianti. È stato inoltre promosso un incontro di formazione in presenza, per fornire ai locatari indicazioni sulle tecnologie impiegate nella costruzione dell'edificio, sui contenuti della sperimentazione, sulle modalità di conduzione degli alloggi e dei relativi impianti. Tra febbraio 2019 e novembre 2020 sono stati effettuati monitoraggi relativi al benessere interno e ai consumi energetici degli alloggi (Fig. 10). Contemporaneamente, è stata condotta un'indagine telefonica tra gli inquilini, per rilevare il livello di soddisfazione della qualità ambientale percepita e della facilità d'uso e gestione degli impianti. Sulla base degli esiti

dell'indagine e del monitoraggio strumentale è stato compilato un report riassuntivo.

Nell'insieme, lo studio ha evidenziato un'elevata soddisfazione dell'utenza, come mostrato in Figura 11. In particolare, per quanto riguarda il controllo della temperatura in regime invernale (Q5, Q13), si rileva una buona soddisfazione degli utenti rispetto al comfort termico, riscontrato dai dati strumentali e confermato dalle verifiche termografiche sull'involucro. Tuttavia, alcune segnalazioni indicano una difficoltà di regolazione dell'impianto, dovuta a discrepanze tra la temperatura impostata dall'utente (set point) e quella – sempre maggiore – realmente registrata e percepita nella stanza. Per quanto riguarda il comfort termico in regime estivo (Q6-Q8), gli utenti risultano mediamente più soddisfatti rispetto a quello invernale, confermando di usare effettivamente i dispositivi di schermatura, regolando in relazione con i livelli di radiazione solare incidente. Tuttavia la metà degli intervistati segnala che preferirebbe un sistema più agile e automatico per la manovra degli oscuranti; inoltre, gli utenti insoddisfatti segnalano la necessità di installare un sistema per il raffrescamento estivo. Infine, in relazione alla qualità dell'aria interna (Q11, Q12), un terzo degli utenti lamenta come fastidioso il sistema di ventilazione, o a causa del rumore prodotto, o per l'inefficacia nell'eliminare odori sgradevoli all'interno degli ambienti.

Nonostante il generale livello di soddisfazione, il confronto delle risposte con gli esiti del monitoraggio strumentale ha evidenziato che vi sono si-

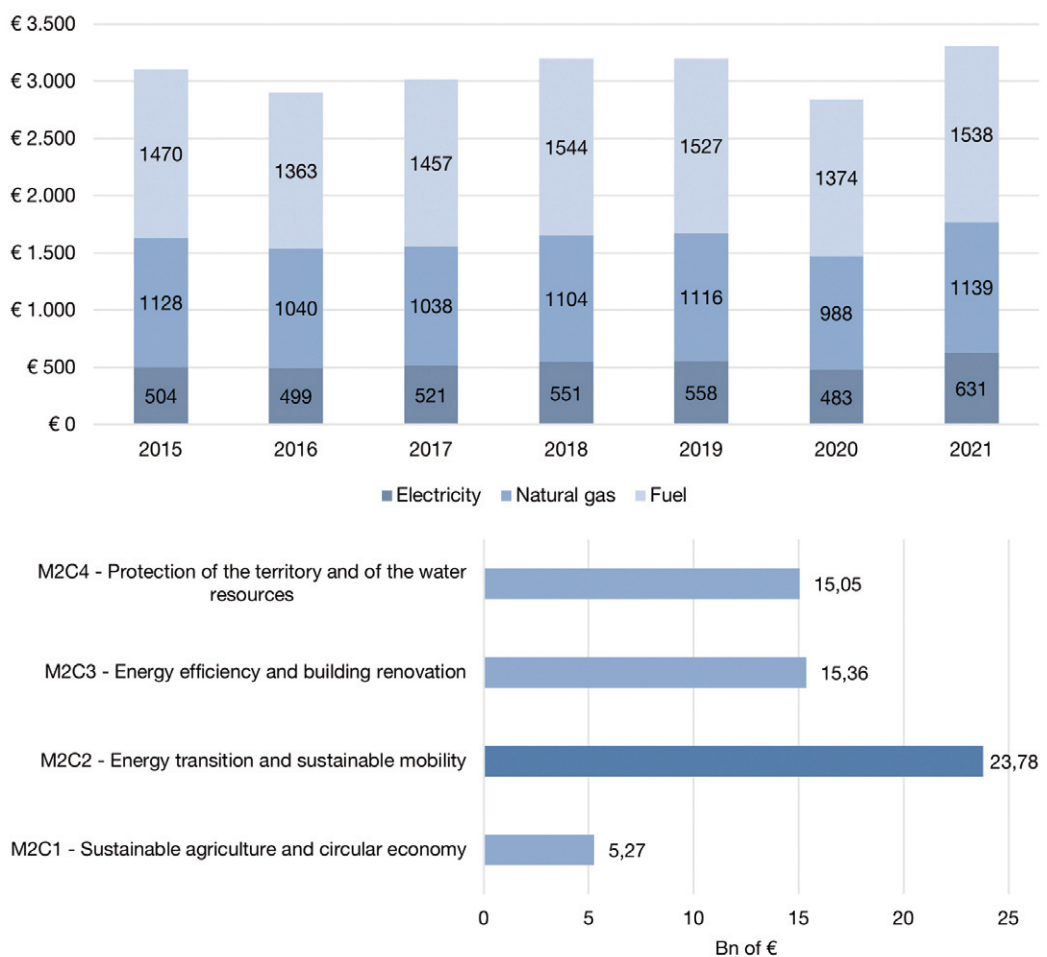


Fig. 3 | Trend in energy cost of a typical household per year, 2015-2021 (credit: elaborated by the authors based on GSE, ARERA, Istat and MISE, 2022).

Fig. 4 | Breakdown of investments in mission M2 – Green Revolution and Energy Transition (credit: C. Oberosler, 2022).



**Fig. 5** | Bolognina district in relation to the city of Bologna (credit: elaborated by C. Oberosler based on Google Maps, 2022).

gnificativi margini di miglioramento. Una simulazione ha infatti messo in luce che, abbassando la temperatura di 2 °C in regime invernale, qualora il sistema edificio-impianto assecondasse pienamente tale regolazione, sarebbe possibile dimezzare i consumi di metano e, di conseguenza, dimezzare i costi energetici per il riscaldamento. Scenari analoghi si evidenziano anche per gli altri parametri ambientali. Rispetto alla qualità dell'aria, infatti, l'utente non è al momento in grado di visualizzare dati relativi alle concentrazioni di inquinanti presenti negli ambienti e, anzi, infastidito dal rumore dell'impianto di ventilazione meccanica, tende a spegnere il sistema, provocando di conseguenza l'aumento di tali valori.

Ne consegue che l'utente avrebbe potuto facilmente attuare alcune regolazioni se solo avesse ricevuto una segnalazione a proposito, arrivando a concretizzare quella tanto auspicata interazione tra dati reali degli impianti, regolazione dei terminali per la riduzione dei consumi e buone pratiche dell'utente nella gestione responsabile e consapevole del proprio alloggio. Sarebbe pertanto possibile ridurre significativamente i consumi suggerendo agli utenti delle regolazioni opportune mediante messaggi di allerta o su dispositivo mobile o su display installato negli appartamenti, le cui caratteristiche sono tuttavia ancora in via di definizione.

Le attività finora svolte hanno evidenziato alcune criticità di cui tenere conto in vista della fase di replicazione su larga scala. In particolare, nonostante il questionario sia stato pensato per dare un immediato riscontro all'utente riguardo alle pratiche di gestione energetica dell'alloggio, sono emerse resistenze degli abitanti a partecipare, alimentate dal sospetto circa le intenzioni del gestore, nonché dalla difficoltà di trovare un nesso diretto tra le domande e le possibili azioni sul sistema, e dalla barriera linguistica per gli utenti stranieri. Quindi il testo della survey da preparare per la fase di replicazione dovrà essere più corto, multilingua (tenendo conto delle origini degli abitanti) e costruito sulla base dei concreti risparmi conseguibili attuando le azioni suggerite agli utenti.

**Sviluppi futuri e riflessioni finali** | L'articolo presenta i primi risultati di un programma di speri-

mentazione volto ad analizzare come gli strumenti di contabilizzazione intelligenti e di regolazione dei parametri ambientali possano aiutare la transizione energetica degli alloggi, consentendo sia agli utenti finali sia alle aziende di servizi pubblici di adeguare di conseguenza e in maniera corrispondente la loro domanda e le loro offerte. La ricerca punta a sensibilizzare la comunità scientifica rispetto al ruolo assegnato agli utenti finali nella stima dei potenziali risparmi energetici, nonché alla comprensione dei potenziali effetti riguardanti la povertà energetica a livello politico.

L'originalità dello studio risiede dunque nell'affrontare il tema cruciale della riduzione della domanda energetica degli edifici puntando l'attenzione non tanto sui dispositivi smart disponibili sul mercato, ormai tecnicamente consolidati e validati, quanto piuttosto sulla capacità di risposta comportamentale del singolo utente. Lo studio si fonda infatti sul presupposto che una profonda comprensione dei vantaggi dell'utilizzo di queste strumentazioni intelligenti da parte dei residenti sia requisito fondamentale per la loro diffusione e per la loro concreta efficacia, indagando come questi possano essere diffusi su scala ampia. Inoltre la ricerca si interroga su un altro fondamentale ed estremamente attuale tema, cioè come l'utente opportunamente informato possa contribuire a limitare la richiesta di energia dell'abitazione senza ridurre i livelli di comfort. Tali questioni risultano infatti sempre più rilevanti alla luce del caro bolletta atteso per i prossimi mesi, ma anche per una più generale attenzione al contrasto al cambiamento climatico e al benessere sociale. In aggiunta, la diffusione di strumenti di monitoraggio intelligente potrebbe aiutare anche i fornitori di energia per la messa a punto di innovativi programmi di domanda-offerta flessibili, personalizzati per edificio o distretto, da combinarsi efficacemente con la diffusione di sistemi locali di produzione di energia da fonti rinnovabili.

Pur essendo focalizzato sul particolare contesto dell'edilizia sociale, le ipotesi e i risultati attesi da questo studio possono facilmente essere trasferiti ad altri contesti residenziali e non solo, favorendo una generale riduzione dei consumi energetici attuata dall'utente, da combinarsi con il grande potenziale di riduzione degli interventi tecnici sugli edifici. Infatti la fase sperimentale condotta sull'housing sociale dimostra la necessità di creare maggiore collegamento tra dato e comportamento dell'utente, ma anche il grande potenziale che questa pratica potrebbe avere, non solo nel limitare la povertà energetica ma anche nel promuovere il tanto auspicato cambiamento di mentalità: il comportamento virtuoso così non è più conseguenza di una necessità economica (ridurre la bolletta), ma diventa il tratto distintivo di una nuova tipologia di utenti, più consapevoli. Un possibile sviluppo dello studio consiste quindi nella modifica del questionario in funzione della sua replicabilità su larga scala nel mercato ordinario, che in questo particolare momento storico è colpito dalla questione energetica indipendentemente dalla fascia sociale di appartenenza.

The actions included in the National Recovery and Resilience Plan<sup>1</sup> (PNRR) to support the energy transition – which is one of its primary goals – im-

pact on a wide range of topics, among which the 'improvement and update' of the digital infrastructure is of great relevance (Gaspari et alii, 2022). Over 20% of the 191,5 Billion euro of the Plan are devoted to the action 'M1 – Digitalization' with the manifest ambition to smooth the management process and the interface of digital systems (Fig. 1). In the field of energy supplies, this particularly impacts on data gathering and control by the subjects involved with a twofold objective: on the one hand to gain a more reliable picture – from the public administration perspective – about the energy demand and related supply sources, on the other to open new scenarios about the end-users' capacity to understand the effects of their own daily behaviour on energy demand.

This paper reports a study which aimed to investigate the potential of end-users' behaviour in reducing their house energy demand according to the following structure: the first two sections discuss the weight of the residential sector within the field of energy transition supporting policies; the set of tools and strategies currently available to stimulate energy savings in the housing sector is then introduced. The scope and the specific objectives of the study are then stated followed by the methodology and the operative stages. Lastly, the paper discusses the outcomes of the research activities undertaken.

#### **Energy transition and the role of end-users in the housing sector**

The residential sector represents a strategic asset of the transition process, being responsible for 27% of the final energy consumption both at global (IEA, 2022) and European Union level (European Commission, 2022; Fig. 2). In Italy, the 2021 Report on the National Energy Condition highlights that, despite the progress of the last six years, the energy improvement objectives and strategies have to be revised to meet the ambitious EU goal of achieving climate neutrality by 2050 (Ministero della Transizione Ecologica, 2020), as well as to deal with the current energy crisis due to the decrease in gas supplies from Russia.

The report also highlights that in 2021 the energy expenditure of a typical family amounted to 3,300 euro<sup>2</sup>, corresponding to about 10% of the average ISTAT family income. Approximately 53% of this share is used for gas and domestic electricity bills, which will certainly be revised upwards considering the fluctuations recorded in fuel prices (Fig. 3). Therefore, it is even more necessary and urgent to support the energy transition of the residential sector through policies, actions and tools able to foster a reduction of building consumption and related costs as well as to reduce the related environmental impacts while improving indoor comfort conditions. To this end, there are multiple trajectories of action.

On the one hand, there is the awareness that most of the potential for reducing demand depends on technical interventions on the existing building stock and particularly on those aimed at reducing energy needs during the operational phase (Levine et alii, 2017), which is addressed through a specific funding asset of the PNRR within the Green Revolution and Energy Transition mission: action M2-C3 – Energy Efficiency and Redevelopment of Buildings (Fig. 4). Great attention is consequently paid to supporting the exist-



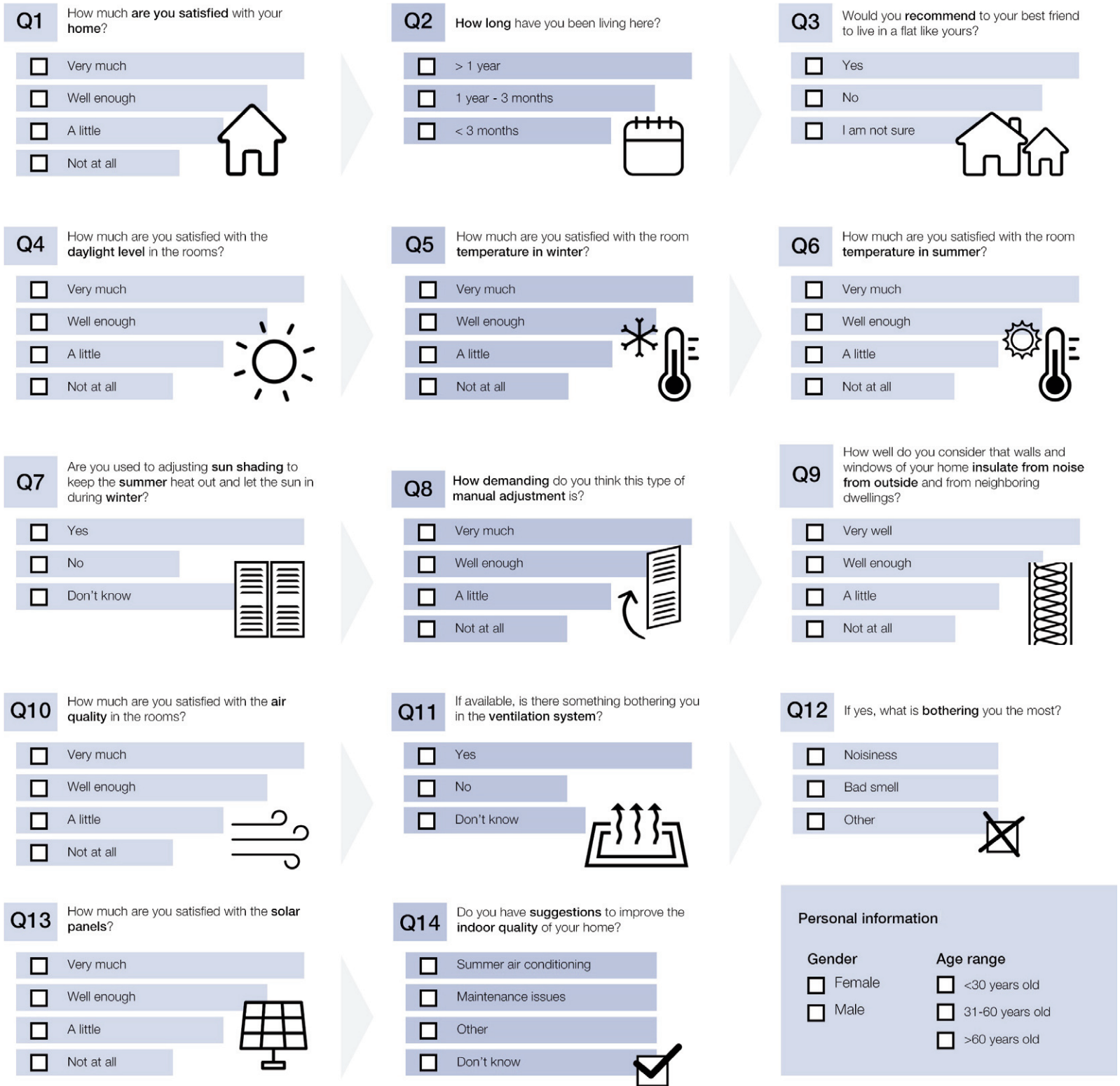


Fig. 6 | Outline of the survey for inhabitants (credit: C. Oberosler, 2022).

ing stock renovation by means of incentives and tax deductions. On the other hand, however, the scientific literature highlights the increasing importance of the user's role in adapting energy consumption profiles, in relation to the changing market, the growing level of environmental awareness and the capacity to interact with smart IT-based systems (Gaspari et alii, 2021; Sirombo et alii, 2021; Völker et alii, 2021). Within this context, the potential of smart digital systems and tools as enabling technologies to facilitate the energy transition clearly emerges (Romero, De Agustin and Tsitsanis, 2018).

Although behavioural changes may result in a modest share of consumption reduction – the relative weight of which, however, increases as the energy performance of the building increases – the expected effects on a large scale are significant. This leads to focus on how boundary conditions may impact on energy poverty which already affects the weakest segments of the population typically settled in social housing (BIPIE, 2014) and scarcely aware of or interested in the effects of their actions on domestic energy consumption, mainly due to a lack of information and direct feedback. Therefore, regardless of the technical re-

sponse and the efficiency of the building, an interesting research field opens up on the potential deriving from the diffusion of personalized information means and devices, such as direct enabling tools, with significant expected impacts on the population exposed to the risk of energy poverty: energy bill reduction achieved through behavioural change and not necessarily through an economic investment in renovation (Caballero and Della Valle, 2021; Hafner et alii, 2019).

**Monitoring tools and end-users' response |** User behavioural change with relation to domestic

Room	Name of the instrument	Parameter to measure
Living room – kitchen	probe 1	Temperature (C°) and relative humidity
Living room – kitchen	probe 2	CO <sub>2</sub> (ppm)
Living room – kitchen	probe 3	VOC (ppb)
Living room – kitchen	probe 4	Glazing inwards face temperature
Room 1	probe 5	Temperature and relative humidity
Room 2	probe 6	Temperature and relative humidity
Loggia	probe 7	Outdoor temperature and relative humidity

**Tab. 1** | Type and location of probes installed to monitor indoor environmental quality (credit: C. Oberosler, 2022).

energy consumption patterns is, therefore, a topic of growing interest in the scientific literature, with differences of over 40% detected in the consumptions generated by different users in buildings with identical characteristics and features (Delzende et alii, 2017; Levine et alii, 2017). To exploit this potential and progress towards the national energy transition goals, two complementary actions are needed: on the one hand, it is essential to introduce tools capable of promptly and effectively monitoring consumption levels and optimizing the offer accordingly, on the other hand, it is necessary to widen the diffusion of systems enabling the user to evaluate the effects of their behaviour on energy demand easily and reliably.

Several technologies suitable for this purpose are already available on the market, and many trials are underway to improve their effectiveness, especially with relation to user interaction (Darby, 2006; Ehrhardt-Martinez, Donnelly and Laitner, 2010; Joachain and Klopfer, 2014; Serrenho, Zangheri and Bertoldi, 2015). Among them, it is worth mentioning smart meters – which are progressively replacing traditional ones throughout the country – as well as modern thermostats and thermostatic valves and related online/smartphone applications managed by energy suppliers, but also more sophisticated tools able to interact automatically with home automation systems, for example In-Home Display – IHD (Balakrishnan and Geetha, 2021; Gomes et alii, 2022).

Some of these devices allow the user to view data concerning their consumption according to different timeframes (from monthly to immediate) and in some cases to manually or automatically adjust the parameters that affect the internal comfort conditions. Some of them also compare personal data with the average ones of other users with similar characteristics to provide concrete advice and suggestions for saving energy and reducing the environmental impact. Although the interaction with the systems and the type of feedback can strongly influence practices and behaviours, gaining information on their effect on energy consumption is always useful as users often have little awareness of this correlation (Huebner, Cooper and Jones, 2013).

The real challenge, therefore, does not deal so much with the development of new technical tools but rather concerns the large-scale diffusion of these devices, which depends above all on the

understanding of the advantages by the users and their ability to actively interact with them. Thus, to promptly react to the information made available. Today, the unprecedented public investments aimed at supporting the digital and energy transition of the housing stock strongly facilitate the launch of experimental actions and strategic reflections on these issues to possibly create synergies with renovation initiatives which are already underway.

Important contributions such as the Social Green<sup>3</sup> project, part of Interreg, or Replicate<sup>4</sup>, funded by H2020, both focused on the study and installation of smart monitoring tools to optimize the energy consumption of buildings and stimulate behavioural change, demonstrate the relevance of this topic. On a national level, ENEA, with DHOMUS<sup>5</sup>, has also developed a platform dedicated to residential users with the aim of making them aware of their energy consumption while guiding them to reduce both consumption and costs. However, the replicability and scalability of such solutions remains the critical issue of the process and needs further investigation.

**Scope and objectives** | In this context, the paper reports a study aimed at investigating the potential impact of user behaviour on the final residential energy consumption and at outlining possible tools and strategies to maximize the effects on a large scale. The research focuses in particular on the use of digital tools for monitoring and managing the energy demand within public-owned residential buildings, in combination with the periodic maintenance interventions and the recurrent renovation programs led by Azienda Casa.<sup>6</sup>

The study is a follow-up of the InSPIRE<sup>7</sup> project (Integrated technologies for Smart buildings and PREdictive maintenance), funded by the Emilia-Romagna Region under the umbrella of the European Regional Development Fund (POR FESR 2014-2020) and the Fund for Development and Cohesion (FSC), whose purpose was to integrate enabling technologies and building components for monitoring building energy and structural performances and the indoor quality and comfort of dwellings. The research is also part of a broader collaboration between the Emilia-Romagna Housing Company of Bologna (ACER BO) and the University of Bologna, with the aim of supporting public building managers in developing integrated plans of maintenance and renova-

tion, identifying strategies and technologies to alleviate the socio-economic fragility of tenants.

**Methodology** | Within the ACER BO building stock, consisting of over 18,000 dwellings distributed over an area of more than 3,700 sq. km, the study focused on the 'Bolognina' district, a neighbourhood of Bologna city with a significant concentration of social housing which makes the site particularly critical both from a socio-economic and energy-environmental point of view (Fig. 5). Firstly, the study led to the definition of a procedure to identify the best energy renovation strategies to be adopted on the vast and differentiated ACER stock, facilitating the Agency in the selection of the most effective interventions on a case-by-case basis, and therefore in the optimization of the scarce financial resources available. The result is a predictive tool able to quickly simulate and compare the effects of different retrofitting actions on the social housing stock, capable of integrating environmental and economic considerations and thus helping managers to select and prioritize interventions more effectively (Vodola et alii, 2022).

On this basis, the second phase of research was developed with the aim to investigate how user behaviour can influence residential energy demand and, additionally, what strategies and tools public building managers can adopt to effectively stimulate consumption reduction and at the same time alleviate the economic burdens on end users. The starting assumption was basically that, although the effects of the user's positive energy behaviour are proportionally more appreciable in high-performance buildings, the role of good energy consumption practices at home can take on more importance today than ever, especially in fragile socio-economic contexts such as those under investigation. The specific objectives of this phase were: a) investigate how users interact and understand the information obtained by the monitoring and regulation tools already available in their accommodation, then assess their effectiveness in stimulating and encouraging good energy consumption practices; b) define the requirements and characteristics of a digital tool to be integrated with such devices to improve its effectiveness.

Consequently, the adopted methodology was structured as follows:

– Phase 1: 1.a) mapping the consistency of the available building stock; 1.b) definition of possible energy renovation strategies; 1.c) application of the tool and prioritization of interventions on buildings owned by ACER BO;

– Phase 2: 2.a) identification of the case-study buildings within the ACER BO stock – to be adopted as pilots; 2.b) development of a questionnaire for the users; 2.c) installation of a set of monitoring tools regarding the environmental quality of the accommodation, whose effects and interaction effectiveness with users were investigated through data cross-analysis and compared with the results of the questionnaires; 2.d) data processing and elaboration; 2.e) definition of strategies to integrate new devices into the accommodation to support the user understanding of the system functioning and, in its more efficient regulation, the adoption of good energy consumption practices; 2.f) development of a tool to be installed in the pilot buildings; 2.g) assumptions and feasibility as-



assessment, refining and integrating the monitoring campaign with the outcomes of the questionnaire in order to launch it on a larger scale. The following section of the paper presents and discusses the results of phase 2 first activities.

**Operative stages** | The first phase 2 activity concerned the analysis of the functionalities and of the potential of the tools installed by ACER Bologna within its own testing program, which led to the installation in pilot dwellings of: manually programmable thermostats for temperature regulation in winter; manually activated blind systems; mechanical ventilation systems with on/off controls. To investigate how users interact with the devices, as well as the perceived effects on the environmental quality of the accommodation, an anonymous multiple-choice questionnaire was developed (activity 2.b Fig. 6). Questions were prepared considering the heterogeneous level of understanding and the background education of the specific user typology<sup>8</sup>, preferring a simple and direct language with a planned completion time of no more than ten minutes.

In order to frame the users' responses according to the actual environmental conditions, a monitoring campaign was, therefore, launched both at the level of buildings and individual dwellings. At the building scale, all the data relating to energy consumption were collected daily and thermographic surveys were carried out to assess any dispersions and thermal bridges that might affect the volume. In the individual dwellings, probes, distributed as in Table 1, were installed for detecting temperature, humidity, CO<sub>2</sub> and Volatile Organic Compounds – VOCs (activity 2.c). At the same time, the questionnaire was delivered to the residents.

Subsequently, data from the questionnaire and the monitoring of consumption and indoor air quality were collected and interpreted. On this basis, the research program proceeded with the definition of the adjustments and the methods of interaction between the user and the available devices, as well as with the integration of the functionalities expected to lead to an effective reduction in consumption and related bills (activity 2.d, still in progress). Meanwhile, the availability on the market of adequate devices for this purpose was assessed. Their characteristics and potential were investigated with a preference for low-cost solutions which were easy to integrate into the standard systems of the national social housing stock.

This enabled the definition of the characteristics of the best possible tool that ACER could integrate in its dwellings for its requirements, and to create a sort of 'blueprint' aimed at stimulating the exchange of information and data between the system and the user, to be refined after a second survey campaign among residents is launched. Before replicating the process, the outcome of the first round is assessed according to the following questions: are the basic requirements of the tools met? How can the tools facilitate an effective exchange of information between the system and the user? With what data, in what formats and with what communication methods can the information be made understandable to non-technical users with low levels of education? How can the user be encouraged to act with relation to the obtained

information (i.e., by adjusting the thermostat or changing a certain consumption practice)?

**Testing and results discussion** | This first phase of the research involved two properties owned by ACER Bologna, selected from those recently renovated, where the effects of behavioural change on the final energy demand of the housing could be more easily observed (Figg. 7, 8). The two buildings are part of the real estate complex located in via Albani in Bologna, in the Bolognina area, and include 64 apartments varying between 30 and 80 square meters, with garages and some social services for youngsters on the ground floor (Fig. 9). The spaces were equipped with a radiant floor heating system and thermostats to adjust the temperatures in each room. A chrono-thermostat was installed upstream of the manifold of each unit to let the end-users switch the system on/off according to their preferences. The system was completed with a mechanical ventilation unit with heat recovery, serving all the spaces. Furthermore, a solar thermal system was installed on the roof to integrate the production of domestic hot water. After the renovation, completed in 2020, the buildings achieved the CasaClima Class A certification corresponding to an energy requirement of approximately 26 kWh/m<sup>2</sup> per year.

When the dwellings were assigned to the tenants, ACER provided a brief instruction manual containing the essential information about the systems use. An in-person training session was also promoted to provide tenants with information about the technologies adopted in the construction process, the contents of the experimentation, the methods for running the accommodation and related systems. Between February 2019 and November 2020, the monitoring campaign on indoor conditions and energy consumption was carried out (Fig. 10). At the same time, a telephone survey was conducted among tenants, to detect the level of satisfaction with the perceived environmental quality and the ease of use and management of the systems. Based on the results of the investigation and instrumental monitoring, a summary report was completed.

Overall, the study highlighted a high user satisfaction, as shown in Figure 11. Regarding the temperature control in winter (Q5, Q13), users expressed a good level of satisfaction with reference to thermal comfort, confirmed by monitoring data and by the thermographic analyses performed on the building envelope. However, some reports indicate a difficulty in regulating the system, due to the discrepancies between the temperature set by the user (set point) and the one – generally higher – recorded and perceived in the room. Regarding thermal comfort in summer (Q6-Q8), users are on average more satisfied than in winter, confirming that they actually use the shielding devices, adjusting them with relation to the levels of incident solar radiation. However, half of the interviewees indicated that they would prefer a smarter and more automatic system for operating the blinds. Furthermore, unsatisfied users reported the need to install a cooling system. In addition, in relation to the quality of the indoor air (Q11, Q12), one-third of the users complained that the ventilation system was annoying, either because of the noise or because of its ineffectiveness in reducing unpleasant smells inside the rooms.

Despite the general level of satisfaction, the comparison between the responses and data monitoring showed quite significant room for improvement. A simulation has indeed highlighted that, lowering the temperature by 2 °C in winter, it would be possible to cut the gas consumption by a half if the system fully complies with this regulation and consequently cut the energy costs for heating by a half. Similar scenarios are also demonstrated with the other environmental parameters. With reference to air quality, the user is not currently able to view data relating to the concentrations of pollutants in the rooms and, indeed, an-



Figg. 7, 8 | Pictures of the buildings assumed as case study (credits: C. Oberosler, 2022).



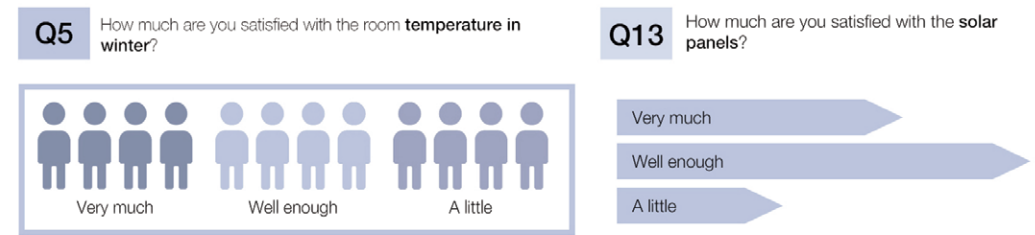


Fig. 9 | Aerial view of the area where the two buildings are located (credit: C. Oberosler, 2022).

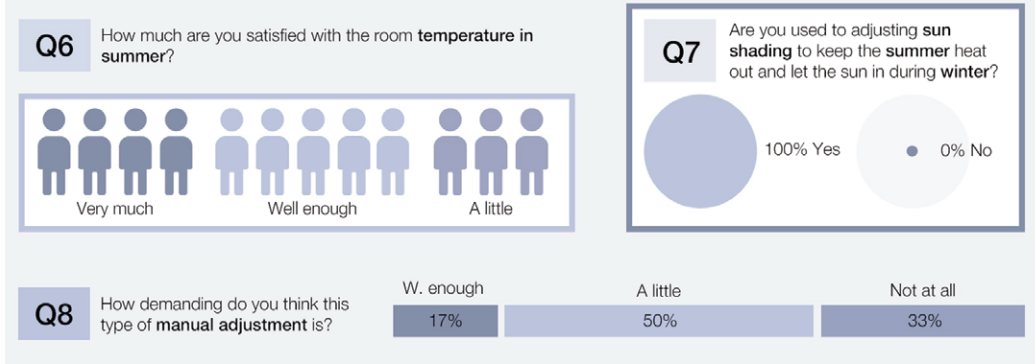
Fig. 10 | Plan of the typical flat and placement of monitoring tools (credit: C. Oberosler, 2022).



Winter conditions



Summer conditions



Indoor air quality

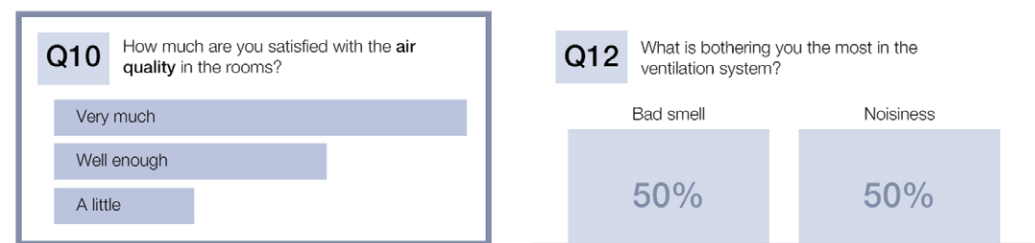


Fig. 11 | Visual synthesis of the survey results (credit: C. Oberosler, 2022).

noyed by the noise of the mechanical ventilation system, tends to switch off the system, consequently causing an increase in these values.

It can be deduced that the user could easily have implemented some adjustments if only she/he had received some advice, thus achieving

the desired interaction between real data, energy-saving system regulation and good, responsible, aware user management of the dwelling. It would therefore be possible to significantly reduce the energy demand by suggesting appropriate adjustments to users by means of alert messages

on mobile devices or on displays – whose characteristics are however still to be defined – installed in the apartments.

The activities carried out so far have highlighted some critical issues to consider in view of the large-scale replication phase. Even though the questionnaire was designed to give immediate feedback to the user regarding the energy management practices of the accommodation, some resistance from inhabitants emerged in participating, fuelled by suspicion about the intentions of the manager, as well as by the difficulty in finding a direct link between the questions and the possible actions on the system, and the language barrier for foreign users. Therefore, the text of the survey to be adjusted for the replication phase will have to be shorter, multilingual (considering the origins of the inhabitants) and based on the concrete savings achievable by implementing the actions on which users are consulted.

Further developments and final reflections |

This paper describes the first outcomes of a testing programme aimed at analysing how smart metering tools and the regulation of environmental parameters can help housing energy transition, allowing both end users and utility companies to accordingly adapt their demand and their offer. The research aims to raise awareness among the scientific community of the role assigned to end users in estimating potential energy savings, as well as to understand the potential effects regarding energy poverty at the political level.

The originality of the study lies therefore in addressing the crucial issue of reducing building energy demand by focusing not so much on the smart devices available on the market, technically consolidated and validated, but rather on the behavioural response capacity of the individual user. The study assumes that a deep understanding of the advantages of using these smart tools by the tenants is a fundamental requirement for their diffusion and concrete effectiveness, investigating how they can be spread on a large scale. Furthermore, the research questions another fundamental and extremely topical issue, namely how the appropriately informed user can contribute to lim-

iting the dwelling's energy demand without reducing the comfort level.

These issues are particularly relevant considering the increase of the energy bill expected for the next few months, but also for a more general attention to contrast climate change and to ensure people's well-being. In addition, the deployment of smart monitoring tools could also help energy suppliers to set up innovative flexible demand-response programs, tailored to each building or district, to be effectively combined with the deployment of local energy production systems from renewable sources.

### Acknowledgements

The paper is the result of a common reflection of the authors. Thanks to AIRIS S.r.l. – Environmental Engineering, Bologna, for instrumental monitoring that supported the interpretation of the data collected through user questionnaires.

### Notes

- 1) For further details, visit the webpage: [governo.it/sites/governo.it/files/PNRR.pdf](https://governo.it/sites/governo.it/files/PNRR.pdf) [Accessed 29 September 2022].
- 2) Data refer to the energy footprint of a 4-members family unit, hosted in a dwelling belonging to climatic zone E (which includes 47% of permanently occupied dwellings in Italy) that uses natural gas for heating, hot water and cooking, and has a private car with a total yearly mileage of about 15,000 km.
- 3) For further details on Social Green, visit the webpage: [interregeurope.eu/good-practices/improving-energy-efficiency-and-consumer-behavior-in-social-housing-in-alba-iulia-municipality](https://interregeurope.eu/good-practices/improving-energy-efficiency-and-consumer-behavior-in-social-housing-in-alba-iulia-municipality) [Accessed 09 October 2022].
- 4) For further details on REPLICATE, visit the webpage: [replicate-project.eu/](https://replicate-project.eu/) [Accessed 09 October 2022].
- 5) For further details on DHOMUS, visit the webpage: [dhomus.smartenergycommunity.enea.it/](https://dhomus.smartenergycommunity.enea.it/) [Accessed 09 October 2022].
- 6) Azienda Casa is the current name of the public-owned housing management bodies in Italy.
- 7) For further details on InSPIRE, visit the webpage: [inspire-project.it/](https://inspire-project.it/) [Accessed 29 September 2022].
- 8) These are subjects between 24 and 65 years old, with a primary education level; the gender balance is about 60% women and 40% men.

### References

BPIE (2014), *Alleviating fuel poverty in the EU – Investing in home renovation, a sustainable and inclusive solution*, BPIE, Brussels. [Online] Available at: [bpie.eu/wp-content/uploads/2015/10/Alleviating-fuel-poverty.pdf](https://bpie.eu/wp-content/uploads/2015/10/Alleviating-fuel-poverty.pdf) [Accessed 29 September 2022].

Balakrishnan, R. and Geetha, V. (2021), “Review on home energy management system”, in *Materials Today – Proceedings*, vol. 47, part 1, pp. 144-150. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.029](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.029) [Accessed 29 September 2022].

Caballero, N. and Della Valle, N. (2021), “Tackling Energy Poverty Through Behavioral Change – A Pilot Study on Social Comparison Interventions in Social Housing Districts”, in *Frontiers in Sustainable Cities*, vol. 2, 601095, pp. 1-20. [Online] Available at: [doi.org/10.3389/frsc.2020.601095](https://doi.org/10.3389/frsc.2020.601095) [Accessed 29 September 2022].

Darby, S. (2006), *The Effectiveness of Feedback on Energy Consumption – A Review for Defra of the Literature on Metering, Billing and Direct Displays*, Environmental Change Institute, University of Oxford, Oxford. [Online]

Although focused on the specific context of social housing, the assumptions and results from this study can be easily transferred to other residential contexts and beyond, favouring a general user-based reduction in energy consumption, to be combined with the great potential for reduction coming from technical interventions on buildings. The testing phase conducted on social housing demonstrates the need to create a greater link between gathered data and user behaviour, but also the great potential that this practice could have, not only in limiting energy poverty but also in promoting the much-desired mind shift, where

Available at: [eci.ox.ac.uk/research/energy/downloads/smart-metering-report.pdf](https://eci.ox.ac.uk/research/energy/downloads/smart-metering-report.pdf) [Accessed 29 September 2022].

Delzendeh, E., Wu, S., Lee, A. and Zhou, Y. (2017), “The impact of occupants' behaviours on building energy analysis – A research review”, in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 80, pp. 1061-1071. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.264](https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.264) [Accessed 29 September 2022].

Ehrhardt-Martinez, K., Donnelly, K. A. and Laitner, J. A. (2010), *Advanced metering initiatives and residential feedback programs – A meta-review for household electricity-saving opportunities*, report n. E105, American Council for an Energy-Efficient Economy. [Online] Available at: [aceee.org/sites/default/files/publications/researchreports/e105.pdf](https://aceee.org/sites/default/files/publications/researchreports/e105.pdf) [Accessed 29 September 2022].

European Commission (2022), *Energy consumption in households*. [Online] Available at: [ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy\\_consumption\\_in\\_households](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_consumption_in_households) [Accessed 29 September 2022].

Gaspari, J., Antonini, E., Gianfrate, V. and Mehmeti, L. (2022), “Mappare la capacità di risposta ambientale di comunità per affrontare la transizione climatica | Mapping community environmental capacity to support climate responsive transition”, in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 23, pp. 117-126. [Online] Available at: [oaj.fupress.net/index.php/techne/article/view/12135](https://oaj.fupress.net/index.php/techne/article/view/12135) [Accessed 29 September 2022].

Gaspari, J., Antonini, E., Marchi, L. and Vodola, V. (2021), “Energy transition at home – A survey on the data and practices that lead to a change in household energy behavior”, in *Sustainability*, vol. 13, issue 9, article 5268, pp. 1-24. [Online] Available at: [doi.org/10.3390/su13095268](https://doi.org/10.3390/su13095268) [Accessed 29 September 2022].

Gomes, I., Bot, K., Ruano, M. G. and Ruano, A. (2022), “Recent Techniques Used in Home Energy Management Systems – A Review”, in *Energies*, vol. 15, issue 8, 2866, pp. 1-41. [Online] Available at: [doi.org/10.3390/en15082866](https://doi.org/10.3390/en15082866) [Accessed 29 September 2022].

Hafner, R. J., Pahl, S., Jones, R. V. and Fuertes, A. (2020), “Energy use in social housing residents in the UK and recommendations for developing energy behaviour change interventions”, in *Journal of Cleaner Production*, vol. 251, 119643, pp. 1-12. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119643](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119643) [Accessed 29 September 2022].

Huebner, G. M., Cooper, J. and Jones, K. (2013), “Domestic energy consumption – What role do comfort, habit, and knowledge about the heating system play?”, in *Energy and Buildings*, vol. 66, pp. 626-636. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.043](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.043) [Accessed 29 September 2022].

IEA (2022), *Tracking Buildings 2022*. [Online] Available at: [iea.org/reports/buildings](https://iea.org/reports/buildings) [Accessed 29 September 2022].

Joachain, H. and Klopfer, F. (2014), “Smarter than metering? Coupling smart meters and complementary currencies to reinforce the motivation of households for energy

a virtuous behaviour is no longer the consequence of an economic need (reducing the bill), but becomes the distinctive feature of a new and more aware user typology. A possible development of the study consists therefore in modifying the questionnaire according to its replicability on a large scale in the ordinary market, which in the current circumstances is affected by the energy issue regardless of social class.

savings”, in *Ecological Economics*, vol. 105, pp. 89-96. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.05.017](https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.05.017) [Accessed 29 September 2022].

Levine, M., Urge-Vorsatz, D., Blok, K., Geng, L., Harvey, D., Lang, S., Levermore, G., Mongameli Mehlwana, A., Mirasgedis, S., Novikova, A., Rilling, J. and Yoshin, H. (2007), “Residential and commercial buildings”, in Metz, B., Davidson, O., Bosch, P., Dave, R. and Meyer, L. (eds), *Climate Change 2007 – Mitigation*, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, pp. 387-446. [Online] Available at: [doi.org/10.1017/CBO9780511546013](https://doi.org/10.1017/CBO9780511546013) [Accessed 29 September 2022].

Ministero della Transizione Ecologica (2022), *La Situazione Energetica Nazionale nel 2021*. [Online] Available at: [dgsaie.mise.gov.it/pub/sen/relazioni/relazione\\_annuale\\_situazione\\_energetica\\_nazionale\\_dati\\_2021.pdf](https://dgsaie.mise.gov.it/pub/sen/relazioni/relazione_annuale_situazione_energetica_nazionale_dati_2021.pdf) [Accessed 29 September 2022].

Romero, A., De Agustin, P. and Tsitsanis, T. (2018), “Integration of Real-Intelligence in Energy Management Systems to Enable Holistic Demand Response Optimization in Buildings and Districts”, in *Proceedings – 2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe*, 12-15 June 2018, Palermo, IEEEIC/I and CPS Europe, 768614, pp. 1-6. [Online] Available at: [doi.org/10.1109/IEEEIC.2018.8494522](https://doi.org/10.1109/IEEEIC.2018.8494522) [Accessed 29 September 2022].

Serrenho, T., Zangheri, P. and Bertoldi, P. (2015), *Energy Feedback Systems – Evaluation of meta-studies on energy savings through feedback – Energy Efficiency Directive Articles 9-11 on feedback, billing and consumer information*, Publications Office of the European Union, Luxembourg. [Online] Available at: [doi.org/10.2790/565532](https://doi.org/10.2790/565532) [Accessed 29 September 2022].

Siroombo, E., Filippi, M., Catalano, A. and Sica, A. (2017), “Building monitoring system in a large social housing intervention in Northern Italy”, in *Energy Procedia*, vol. 140, pp. 386-397. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.151](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.151) [Accessed 29 September 2022].

Vodola, V., Antonini, E., Gaspari, J. and 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, pp. 147-157. [Online] Available at: [doi.org/10.1007/978-981-16-6269-0\\_13](https://doi.org/10.1007/978-981-16-6269-0_13) [Accessed 29 September 2022].

Völker, B., Reinhardt, A., Faustine, A. and Pereira, L. (2021), “Watt's up at Home? Smart Meter Data Analytics from a Consumer-Centric Perspective”, in *Energies*, vol. 14, issue 3, article 719, pp. 1-21. [Online] Available at: [doi.org/10.3390/en14030719](https://doi.org/10.3390/en14030719) [Accessed 29 September 2022].