

INFLUENCE OF OCCUPANTS' BEHAVIOUR ON ENERGY USE IN BUILDINGS

Field survey case study

Abstract

In order to achieve the energy saving and reduction of CO₂ emissions objectives set by EU policies, it is essential to decrease the amount of energy absorbed by buildings to ensure occupants' thermo-hygrometric well-being. To this aim, the two most popular ways are the energy requalification of the existing built heritage and the search for the best performing building technological systems solutions. A further research line, which is becoming increasingly important, involves the modification of users' behaviour as they become aware of the consequences of their energy choices. Detecting, analysing and understanding occupants' behaviour is a key element in profiling users' incorrect habits, evaluating the building energy performance and simulating and optimizing the building energy consumption during operation phase.

Keywords: *occupants' behaviour, energy performance, energy use, data collection, questionnaire survey.*

Introduction

Energy consumption in residential and non-residential buildings to ensure occupants' thermo-hygrometric well-being has experienced an exponential growth trend in the last decades, which is unsustainable for Earth's survival. In fact, buildings, and more generally the Architecture Engineering and Construction (AEC) sector, are responsible for about 40% of total energy-related CO₂ emissions and 35% of total energy consumption on the Planet [1]-[2]. For the construction of new buildings, as well as for the requalification of existing ones, the two most popular ways for pursuing the energy reduction target are the improvement of the energy performance of the envelope and the design of ever more efficient technological systems [3]-[4]. There is also a third, less explored way, which investigates the influence of users' behaviour on building energy consumption. Studies carried out over the past 65 years [5]-[6] reveal that users' unpredictable behaviour generates a significant difference between expected and real energy consumptions. To mitigate this discrepancy, research has been lately focusing on the modification of occupants' behaviours by promoting the virtuous role of users [7]-[9]. According to the 2017 General Energy Efficiency Report [10], behavioural changes related to the optimal use of technologies could allow energy savings ranging between 5% to 20%. The importance of human factor has been

recently recognized also by the legislator who, with Directive 2018/884/EU, suggested to make users aware of the effects of their energetic behaviour in order to promote a rational use of the technological systems (e.g. HVAC). To this aim, this work analyses the users' thermo-energy behaviour in order to identify possible incorrect habits with respect to the current legislation and good practices and assess the users' awareness of their energy use.

Materials and methods

The "user behaviours" are acquired by means of a questionnaire especially prepared and administered via the web, using the Forms application on Google platform. This allows to create a guided test, with a simple and intuitive interface for the interviewees, also guaranteeing a rapid and large-scale dissemination (e.g. by sending the survey link together with an invitation to fill it in via email, social networks and message services) and an immediate acquisition of the answers.

Survey structure

The survey is organized into three sections: 1) general data of the building and occupants, 2) information regarding the daily use of energy and ventilation during the winter season, 3) same information in summer [9]. Section 1 contains questions relating to the building (Municipality, type, year of construction, floor area, number of occupants) useful for contextualizing habits from an environmental and social point of view, but also for defining the climate zone in accordance with DPR 412/93. The latter regulates, for each climatic zone, the period of the year and the maximum number of hours per day in which it is allowed to switch on the heating system on. For this reason, for some analyses, only data relating to buildings belonging to "C" climate zone, which is the most represented in the survey, are used. Moreover, it should be kept in mind that the energy behaviour is affected not only by climatic factors, but also by the m²/person ratio and the thermal performance of the envelope. Finally, by comparing the answers it is also possible to assess if houses are overcrowded, which could lead to improper heating, cooling and ventilation of the rooms [11]. Overcrowding rate is calculated with reference to the DM Sanità (Health Ministerial Decree) 5 July 1975, which establishes the minimum living area to be guaranteed for each inhabitant. Section 2, concerning the winter

mode, is composed by two sub-sections: one about ventilation and the other about heating; same principle for Section 3, concerning the summer mode, with two sub-sections, namely "ventilation" and "cooling". The "ventilation" sub-section, for both macro sections 2 and 3, includes questions aimed to profile possible incorrect habits, such as prolonged ventilation time. It is known that when indoor and outdoor environments are put in communication, the indoor temperature tends to balance with the outdoor one; achieving equilibrium at each ventilation session is an incorrect practice from an energetic, economic and environmental point of view, as it generates extra consumption to restore the indoor thermal comfort [12]-[13]. The "heating" (Section "winter mode") and "cooling" (Section "summer mode") sections contain questions concerning the months per year, hours per day and the type and number of devices used.

Results

The reached users' sample size is 449 units, 372 of which in Campania region and 376 in C climate zone. The survey shows that most of the interviewees live in a multi-family building, including multi-storey buildings with two or more residential units. An interesting dataset is the one concerning the year of construction of the building: almost half of the interviewees declare that the dwelling they are living in was built between 1991 and 2005. This percentage is in contrast with the national average [14], according to which almost 70% of Italian buildings were built before 1976, the year in which the first law on buildings thermal consumption reduction was promulgated (Law 373 30/04/1976), and less than 1% of them are demolished and rebuilt every year. However, the percentages found in this study are consistent with those reported in the study by Rinaldi et al. [7], which identifies the decade 1990-2000 as the most frequent answer to the question "year of construction". It is worth noting that 22% of the buildings belonging to the sample were built after the entry into force of DL 311/2006 that, implementing Directive 2002/91/EC and modifying DL 192/2005, dictates criteria, conditions and methods for the improvement of buildings energy performance. Data concerning interviewees' spatial distribution, building type and year of construction are depicted in Fig. 1. Fig. 2 shows data relating to the floor areas and number of occupants of the apartments. The majority of households (63%) are made up of 3 or 4 people and 60% of accommodations range between 80

and 120 square meters. By cross-checking data and referring to the DM 5/7/75, it is found that houses are overcrowded in only two cases, namely a 35 m² apartment occupied by 3 people (as against the minimum of 42 m²) and a 50 m² house occupied by 4 people (as against the minimum of 56 m²). Fig. 3 shows the

statistics regarding ventilation in winter mode. Rooms ventilation is essential to ensure good indoor air quality and prevent condensation damages, such as the formation of mould in rooms with great water vapour production. The importance of this practice seems to be clear to the interviewed users' sample, who claim

performing ventilation in more than 90% of cases. UNI TS 11300-1 suggests, for a correct air exchange in residential buildings in non-mechanical ventilation mode, the value of 0.3 vol/h, where "vol" indicates the volume of the room to be ventilated. Taking into account factors such as the window opening type, season and presence of wind and air flows in the room, the CasaClima Agency and the Institut für Baubiologie + Ökologie Neubeuern suggest times and ways for proper ventilation. In winter season, ventilating three to five times a day, opening the windows completely for 2 to 6 minutes (depending on the possible presence of airflows) guarantees a rapid and complete recirculation of the room air [12]. The survey shows that almost all users air out the rooms less than 5 times a day, which is the threshold value. However, only 17% remain within 10 minutes, a duration that guarantees the right mix between incoming cold air and internal warm air; the remaining 80% instead have energetically incorrect and uneconomical behaviours since prolonged ventilation times make necessary to re-heat all the incoming air at each ventilation, thus generating a consumption increase. For the evaluation of ventilation during summertime, users are asked how often it happens that windows are opened while air conditioning is on. Although more

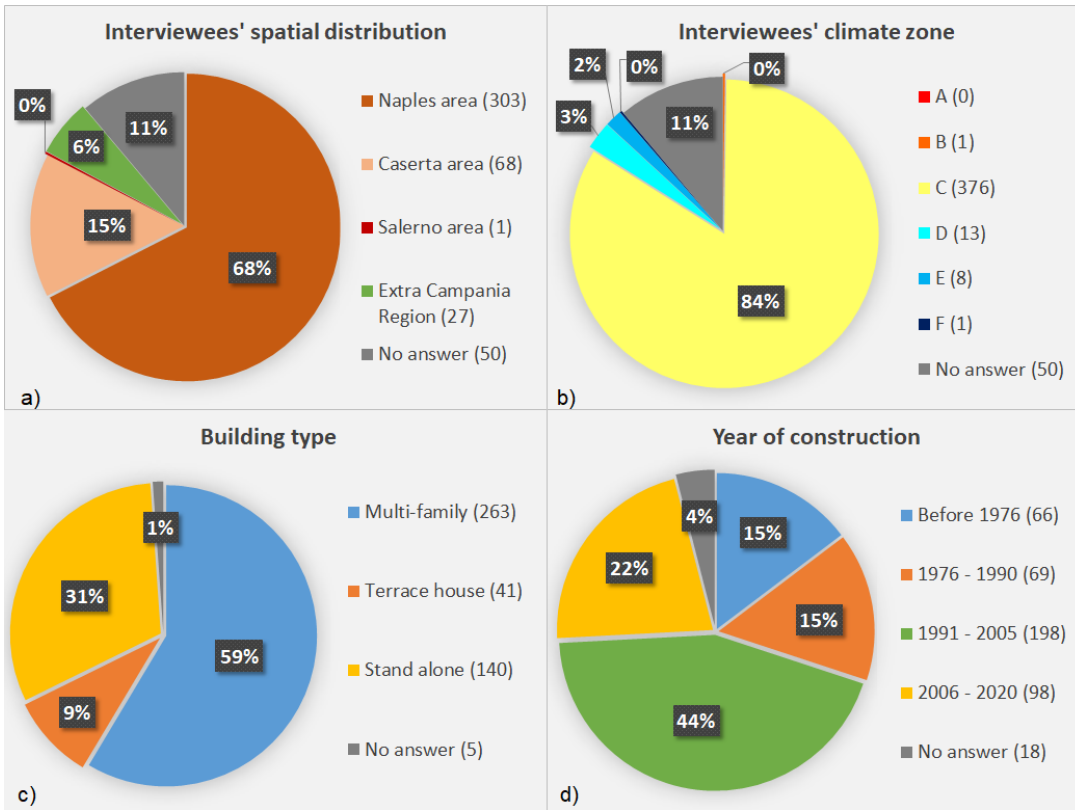


Fig. 1 - Interviewees' geographical distribution (a) and climate zone (b), building typology (c) and year of construction (d).

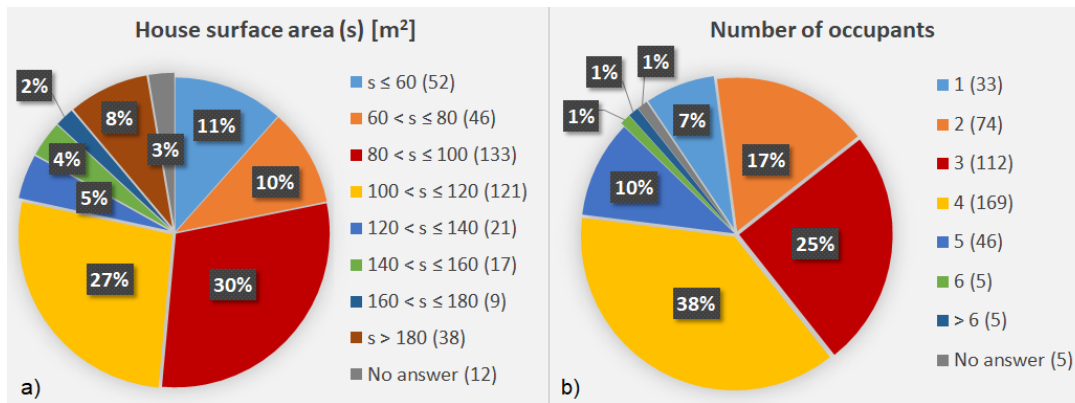


Fig. 2 - Number of occupants (a) and house floor area (b).

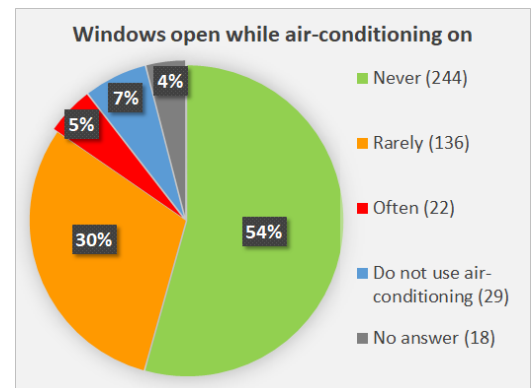


Fig. 4 - Ventilation in summer mode.

than half of respondents have an energetically correct behaviour, more than one third say they are not completely alien to this practice (Fig. 4). Fig. 5 shows data regarding the heating system switch-on in winter season. Since the number of months per year and hours per day allowed according to DP 412/93 varies depending on the climate zone, only buildings belonging to C

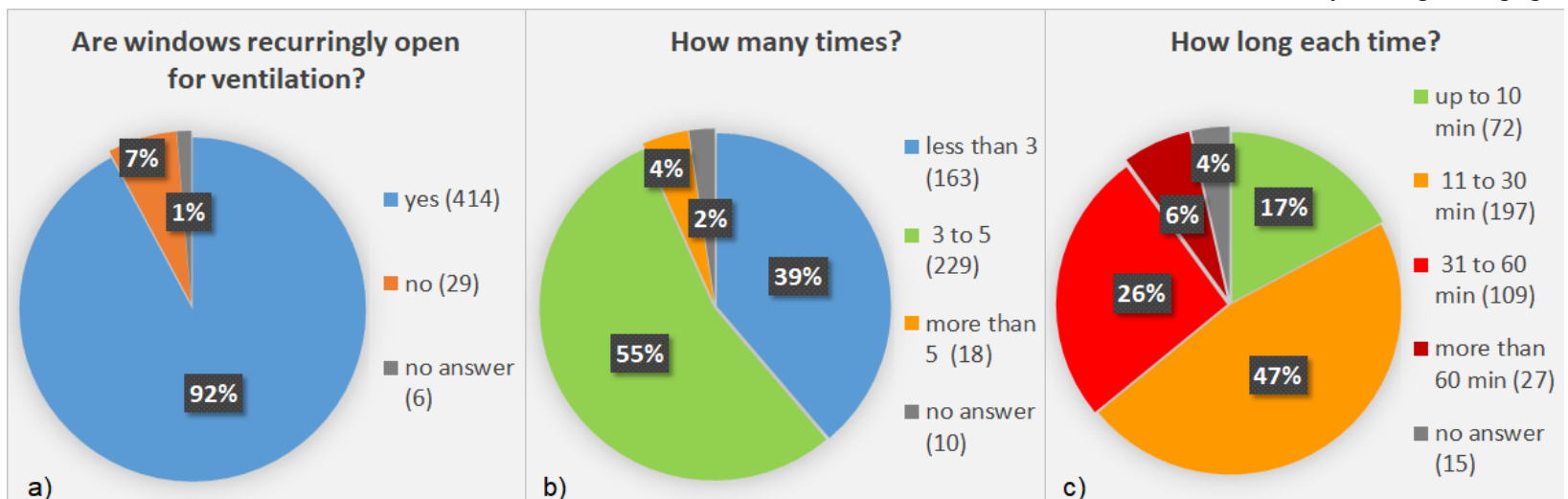


Fig. 3 - Ventilation in winter mode. Data do not include windows opening for cleanings, as clearly stated in the survey question.

climate zone are considered for this processing. In C zone it is allowed to have the heating system on from November 15 to March 31 (4.5 months per year) for a maximum of 10 hours a day, free time slot. Results of the survey show that over 90% of the sample turns on the heaters for less than 5 months a year and about 40% between 1 and 3 months (Fig. 5a).

Limitations are also respected with regard to the hours per day: also in this case over 90% of the interviewees does not exceed the threshold of 10 hours a day, and three quarters of them declare having the heating system on for less than half of the allowed time (Fig. 5b). This is probably also due to the fact that in daytime the occupants are likely to be in their places of work and study, thus leaving the dwellings empty or almost empty, particularly in the morning hours. Panel c) of Fig. 5 shows the heating switch-on time, depicting that only 5% of the interviewees switch on the heaters in the morning, while 88% of users are equally divided between afternoon and evening switch-on times. More than three quarters of the sample turn off the heaters after 8pm, indicating that people are generally at home in the evening hours (Fig. 5d). Only one user claims to keep the heaters on 24 hours a day. It is worth noting that many times the declared heaters-on number of hours is up to 4 hours smaller than the heaters-on number of hours calculated as the difference between the switch-off and switch-on times. This is significant for the assessment of users' awareness level, as it demonstrates that the occupants are not always conscious of their consumption habits and that the actually consumed energy is often underestimated. Graphs in Fig. 5 show the number of calculated hours and not the declared ones, since it has been considered that the switch-on and off hours, recalling a habitual practice, are more reliable than a quick mental estimate, which could also be affected by an

incorrect perception of the heaters-on time. Graphs in Figs. 6 and 7 take into account the whole dataset, as the climate zone is not important for the questions purposes. Fig. 6 shows information about the type of radiators used. 60% of the sample has natural gas radiators, which means connected to the city

network, while 15% of the interviewees prefer different heating devices to radiators. Two users give this question a multiple answer, indicating both the fireplace system and natural gas radiators. Thermostatic radiator valves (TRV) for temperature regulation are used by less than 50% of the interviewees, also because

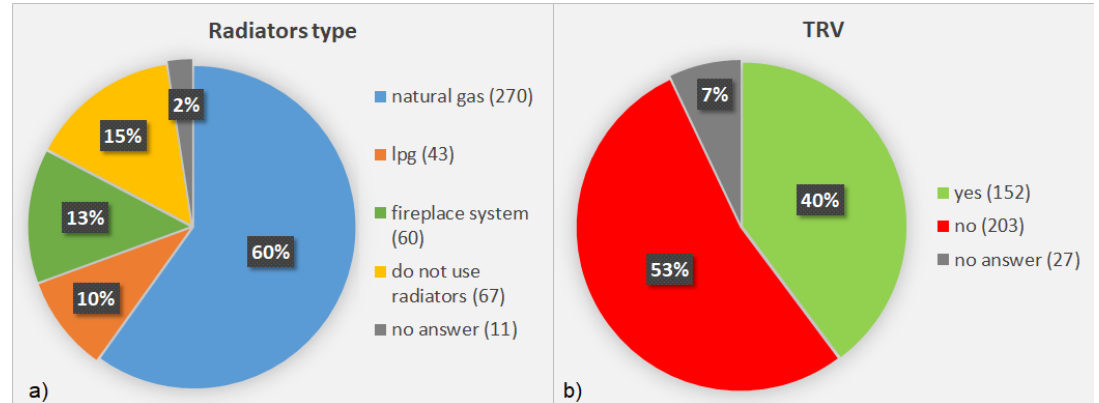


Fig. 6 - Heating in winter mode. Heating system type (a) and use of TRV (b).

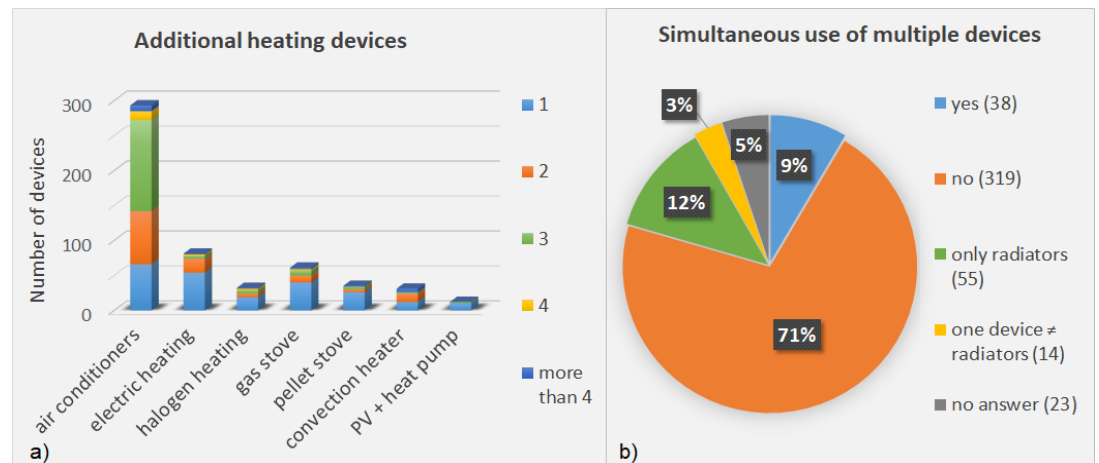


Fig. 7 - Heating in winter mode. Used heating devices (a) and simultaneous use of multiple devices (b).

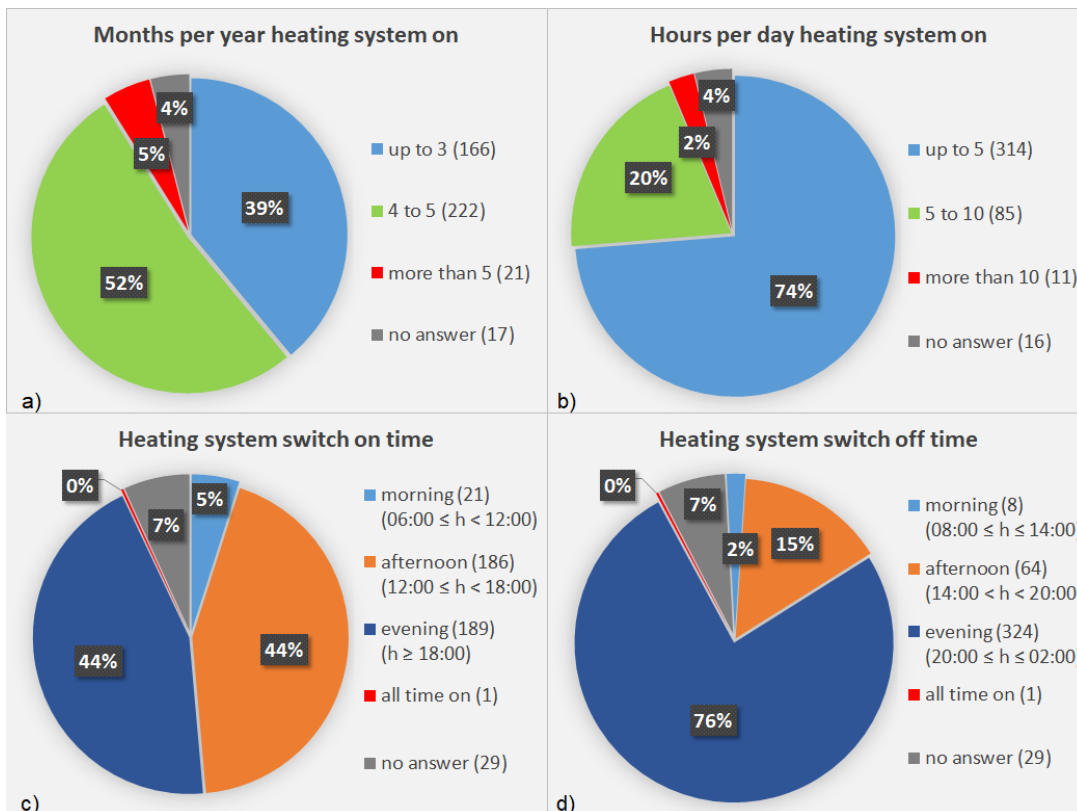


Fig. 5 - Heating in winter mode, C climate zone. Months per year (a), hours per day (b), switch-on (c) and switch-off times (d) of the heating system.

this device is mainly promoted in the constructions of building systems from scratch or in refurbishment operations. It should be noted that three users answer "yes" to the question about the TRV but do not answer on the type of fuel supply for the heating system, once again indicating that users do not own complete information about their consumption (the TRV is clearly visible on the radiator, the type of power supply is not). Fig. 7 reports data relating to the use of other heating devices than radiators. Only 12% of the sample declares to use only radiators and 3% a single device other than radiators. The most common additional devices are air conditioners, with an average of 2.4 air conditioners per user (calculated only on the number of respondents who state owning them). Only 12 users claim to use heat pumps powered by energy from photovoltaic systems. Despite the high number of used devices, more than two thirds of respondents say they use them separately and less than 10% at the same time. Figs. 8 and 9 analyse the summer mode. It should be noted that, contrary to winter heating, there is no summer cooling period established by regulation, with a maximum allowed number of months per year and hours per day. However, taking into account the climate zone in which the dwelling is located is deemed to be useful also in the evaluation of cooling behaviours. Therefore, also in this case, only data referring to C zone buildings are used,

hypothesizing threshold values for the number of months per year and hours per day comparable with those established by law for heating. Hence, assuming 4 as a threshold for the number of months per year (e.g. June 1 - September 30), it results that 90% of the interviewees stay below the threshold value (Fig. 8a). Similarly, assuming 10 as a threshold for the number of hours per day, almost 70% of users have air-conditioning on for a maximum 5 hours, which is half of the threshold value (Fig. 8b). Analysing the hourly distribution and comparing it with heating time slots, the system switch-on in the morning time registers again low percentages, while the conditioning switch-on peak is recorded in the afternoon (Fig. 8c), which corresponds to the summer time slot usually indicated as the hottest. The shutdown times collecting the highest number of responses are those included in the afternoon (50%) and evening (28%) slots (Fig. 8d). About 10% of users say they use air conditioners during the night rest, which does not occur with heating, and the number of respondents who

say they never turn off the devices goes from 1 (heating) to 5 (cooling). As in Fig. 5, also in this case the calculated hours sometimes differ from the declared ones, however for cooling this occurs with a lower frequency and deviation (from 30 min to 3 hours). For the above-listed reasons, also in this case the calculated values were used instead of the declared ones. Fig. 9 shows data relating to all cooling devices (i.e. air conditioners and fans). Only 29 users out of 449 declare not to use air conditioners, with an average of 1.9 fans and 2.5 air conditioners per user (averages calculated only on the number of respondents stating they own each of the devices). The average of the air conditioners is 0.1 points higher than the same average calculated in winter mode, which means that some users declare to use air conditioners only in summertime. Although more than half of the users declare to use both air conditioners and fans and over 70% owns more than one air conditioner, almost two thirds of the respondents claim to use cooling devices separately.

Conclusions

Understanding the occupants' behaviour is a crucial issue in both the design phase, for the optimization of building systems choices (e.g. for HVAC system), and the operation phase, for the evaluation of the building energy performance and consumption. The development and implementation of more complex behavioural models than the simplified ones currently in use, taking into account the users' actions and their consequences, would improve the understanding of the interconnection between the building, users and energy performance, allowing to generate diversified, dynamic and adaptive project scenarios. This study highlights that some occupants' behaviours, such as using heating and cooling systems for too long and/or while keeping the windows open, have a significant impact on the building energy performance and consumption. Results of the study show that around 90% of interviewees use heating and cooling systems within the monthly and hourly limits dictated by law or good practices. Less satisfactory are the ventilation behaviours, in summer and especially in winter. Users in fact tend to ventilate the rooms more than actually needed, causing energy wasting. Furthermore, the discrepancy between the answers provided by the interviewees highlights that the latter have low awareness of their actual energy habits. Making occupants aware of their energy behaviours and the effects of their interaction with the building systems, as well as letting them know about the best practices related to energy use in a building, is a promising strategy to improve the building performance.

REFERENCES

- [1] G. Carrosio "Politiche e campi organizzativi della riqualificazione energetica degli edifici". *Sociologia urbana e rurale*, 2015.
- [2] C. Spandagos, T.L. Ng "Equivalent full-load hours for assessing climate change impact on building cooling and heating energy consumption in large Asian cities", *Appl. Energy*, 189, 352-368, 2017.
- [3] N. Aste, M. Manfren, G. Marenzi "Building automation and control systems and performance optimization: a framework for analysis", *Renew. Sustain. Energy Reviews*, 2016.
- [4] P.H. Shaikh, N.B.M. Nor, P. Nallagownden, i. Elamvazuthi, T. Ibrahim "A review on optimized control systems for building energy and comfort management of smart sustainable buildings", *Renew. Sustain. Energy Rev.* 34, 409-429, 2014.
- [5] V. Tam, L. Almeida, K. Le, "Energy-Related Occupant Behavior and Its Implications in Energy Use: A Chronological Review", *Sustainability*, 10(8), 2635, 2018.

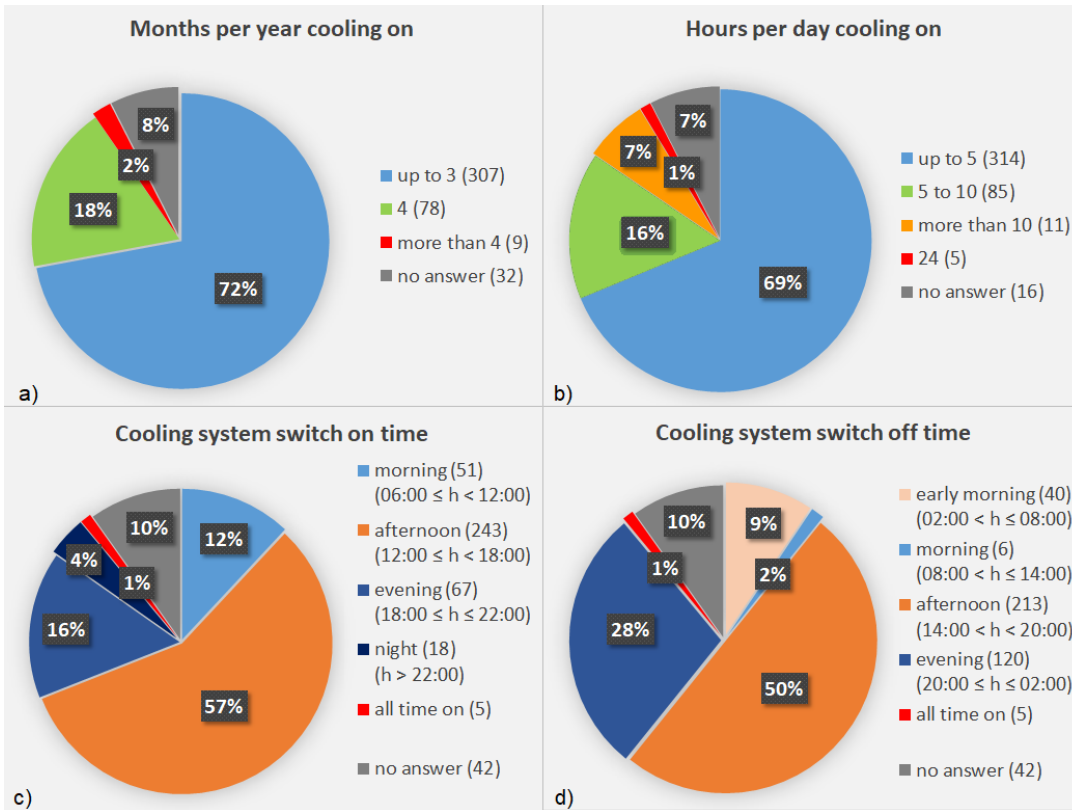


Fig. 8 - Cooling in summer mode, C climate zone. Months per year (a), hours per day (b), switch-on (c) and switch-off times (d) of the cooling system.

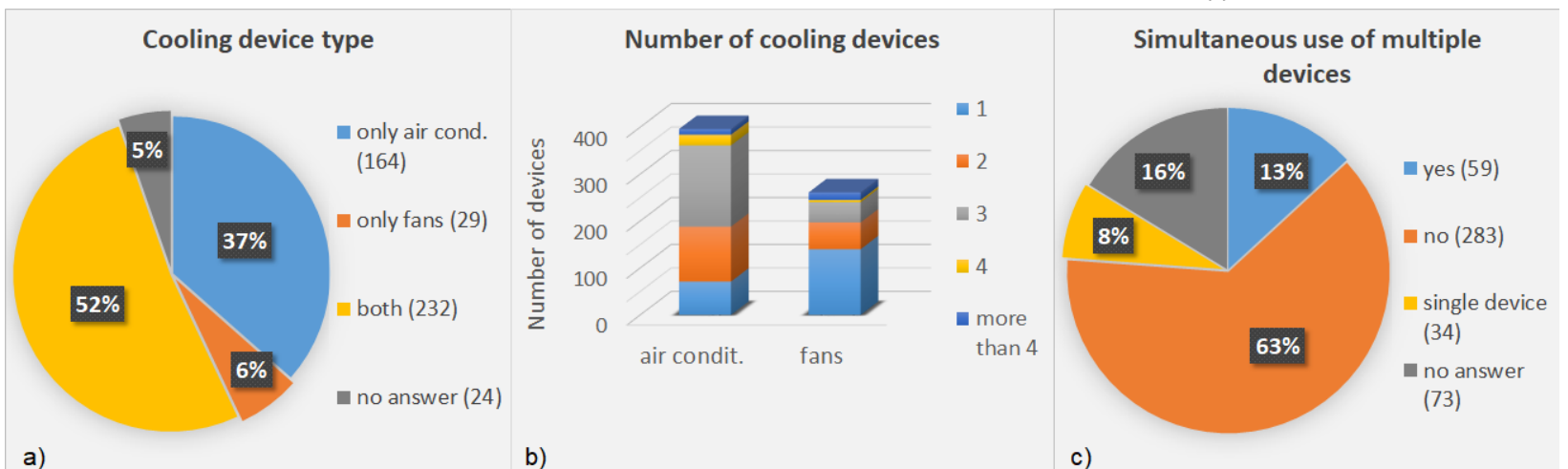


Fig. 9 - Conditioning in summer mode. Type (a) and number (b) of cooling devices, and simultaneous use of multiple devices (c).

- [6] Y. Zhang, X. Bai, F.P. Mills, J.C. Pezzey "Rethinking the role of occupant behavior in building energy performance: A review", *Energy and Buildings*, 172, 279-294, 2018.
- [7] A. Rinaldi, M. Schweiker, F. Iannone, "On uses of energy in buildings: Extracting influencing factors of occupant behaviour by means of a questionnaire survey", *Energy and Buildings*, 168, 298-308, 2018.
- [8] C.M. Clevenger, J.R. Haymaker, M. Jalili "Demonstrating the impact of the occupant on building performance", *J. of computing in civil eng.*, 28(1), 99-102, 2014.
- [9] R. Agliata, R. Macchiarioli, L. Mollo, "BIM per la gestione razionale degli impianti negli edifici", *Colloqui.A.T.e 2019*, atti del congresso, 2019.
- [10] ENEA, "Cambiamento comportamentale ed efficienza energetica". Report Stati Generali Efficienza Energetica 2017.
- [11] UNI 10339:1995.
- [12] Respirare in case che respirano, *Tecnogramma*, 22. Bolzano, 2011.
- [13] UNI/TS 11300-1:2014. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1.
- [14] Rapporto Associazione Nazionale Costruttori Edili, 2013.

INFLUENZA DEL COMPORTAMENTO DEGLI OCCUPANTI SULL'USO DELL'ENERGIA NEGLI EDIFICI Caso studio con indagini di campo

Abstract

Ridurre l'energia assorbita dagli organismi edilizi per garantire il benessere termo-igrometrico degli occupanti è essenziale per il raggiungimento degli obiettivi di risparmio energetico e riduzione delle emissioni di CO₂ in atmosfera fissati dalle politiche comunitarie. Per perseguire tale obiettivo, le due strade più battute sono la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente e la ricerca delle più performanti soluzioni impiantistiche. Un'ulteriore possibilità di intervento, che sta acquisendo sempre maggiore rilievo, prevede la modifica dei comportamenti degli utenti come risultato della consapevolezza degli stessi circa le conseguenze delle proprie scelte energetiche. Rilevare, analizzare e comprendere il comportamento degli occupanti rappresenta un elemento chiave nella profilazione delle abitudini scorrette, nella valutazione delle prestazioni energetiche e nella simulazione ed ottimizzazione dei consumi energetici di un edificio in fase di esercizio.

Keywords: comportamento degli occupanti, prestazione energetica, utilizzo dell'energia, acquisizione dati, inchiesta via questionario.

Introduzione

Il consumo di energia utilizzata negli edifici, residenziali e non, per garantire il benessere termo-igrometrico degli occupanti ha registrato negli ultimi decenni trend di crescita esponenziali, che risultano insostenibili per la sopravvivenza del pianeta che ci ospita. Gli edifici infatti, e più in generale il settore Architecture Engineering and Construction (AEC), sono responsabili di circa il 40% delle emissioni totali di CO₂ legate all'energia e del 35% del consumo totale di energia sul Pianeta [1]-[2]. Nel settore delle nuove edificazioni, come in quello della riqualificazione, le due strade più battute per il perseguimento degli obiettivi di abbattimento dei consumi energetici sono riconducibili al miglioramento delle prestazioni energetiche dell'involucro e alla progettazione di soluzioni impiantistiche sempre più efficienti [3]-[4]. Vi è in realtà anche una terza strada, meno esplorata, che indaga l'influenza del comportamento degli utenti sul consumo energetico dei fabbricati. Gli studi condotti negli ultimi 65 anni [5]-[6] rivelano che i comportamenti imponderabili degli utenti generano una significativa differenza fra consumo di energia reale e consumo di energia previsto. Una possibilità di intervento, sulla quale la ricerca si sta focalizzando ultimamente [7]-[9], è quella di modificare i comportamenti degli occupanti promuovendo una maggior attenzione verso il ruolo virtuoso dell'utenza.

Secondo il Report Stati Generali Efficienza Energetica 2017 [10], i cambiamenti comportamentali collegati all'uso ottimale delle tecnologie potrebbero consentire un risparmio energetico dal 5 al 20%. L'importanza del fattore umano è stata recentemente riconosciuta anche dal legislatore che, con la Direttiva 2018/884/UE ha suggerito di consapevolizzare l'utenza sugli effetti del proprio comportamento al fine di indirizzarla verso un utilizzo razionale del subsistema impiantistico. In quest'ottica, il presente lavoro analizza il comportamento termoenergetico dell'utenza, per individuare eventuali abitudini scorrette rispetto alla normativa di riferimento e alle buone pratiche, e valutare il grado di consapevolezza degli utenti circa i propri consumi energetici.

Materiali e metodi

L'acquisizione dei "comportamenti utente" è avvenuta tramite un questionario appositamente predisposto e somministrato via web, utilizzando l'applicazione Moduli della piattaforma Google. Ciò ha consentito di creare un test guidato, con un'interfaccia grafica semplice e intuitiva per gli intervistati, ed ha garantito, oltre ad una divulgazione rapida e su ampia scala (inviando ad esempio il link al questionario e l'invito a compilarlo tramite email, social networks e servizi di messaggistica) anche una immediata acquisizione delle risposte.

Struttura del questionario

Il questionario utilizzato è articolato in 3 sezioni: dati generali dell'edificio e degli occupanti; informazioni riguardanti l'uso quotidiano dell'energia e le abitudini circa il ricambio d'aria degli ambienti durante la stagione invernale; medesime informazioni in regime estivo [9]. La Sezione 1 contiene domande relative all'abitazione (Comune, tipologia, anno di costruzione, superficie, numero di occupanti) utili a contestualizzare dal punto di vista ambientale e sociale le abitudini, ma anche a definire la zona climatica ai sensi del DPR 412/93. Quest'ultimo definisce, per ciascuna zona climatica, il periodo dell'anno e il numero massimo di ore giornaliere in cui è consentita l'accensione degli impianti di riscaldamento. Per tale motivo, per alcune analisi si è tenuto conto soltanto dei dati relativi agli edifici appartenenti alla zona climatica C, che è la più rappresentata. In secondo luogo, bisogna tener conto che il comportamento energetico è determinato non solo da fattori strettamente climatici, ma anche dal rapporto m²/uomo e dalle prestazioni dell'involucro. Infine confrontando le risposte è anche possibile stabilire il grado di sovraffollamento dell'abitazione, che potrebbe indurre a riscaldare, raffrescare o ventilare gli ambienti in maniera impropria [11]. Il sovraffollamento è calcolato in riferimento al DM Sanità del 5 luglio 1975, che stabilisce la superficie abitabile minima da garantire per ciascun abitante di un alloggio.

La Sezione 2 riguarda il regime invernale ed è articolata in due sub-sezioni: una riguardante la ventilazione e una il riscaldamento; stesso principio per la Sezione 3, che concerne invece il regime estivo, con le due sub-sezioni "ventilazione" e "raffrescamento".

La sub-sezione "ventilazione", per entrambe le due macrosezioni 2 e 3, comprende domande volte alla profilazione di eventuali abitudini scorrette, quali, ad esempio, prolungati tempi di aerazione. È noto che quando interno ed esterno vengono messi in comunicazione, la temperatura interna tende ad andare in equilibrio con quella esterna; il raggiungimento della condizione di equilibrio ad ogni sessione di ventilazione rappresenta una pratica scorretta dal punto di energetico, economico ed ambientale, in quanto genera consumi extra per ristabilire i livelli di comfort termico ottimale degli ambienti indoor [12]-[13].

Le sub-sezioni "riscaldamento" (Sezione "regime invernale") e "raffrescamento" (Sezione "regime estivo") contengono domande che riguardano i mesi/anno, le ore/giorno e il tipo e numero di dispositivi utilizzati.

Risultati

La dimensione del campione di utenza raggiunto è stata di 449 unità, di cui 372 in Campania e 376 in zona climatica C. Dal sondaggio emerge che la maggior parte degli intervistati risiede in un edificio multifamiliare, comprendendo in questa categoria edifici multipiano da due unità abitative a salire. Dato interessante è quello riguardante l'anno di costruzione del fabbricato: quasi la metà degli intervistati dichiara infatti di abitare in un edificio costruito tra il 1991 e il 2005. Questo dato è in contrasto con la media nazionale [14], secondo la quale quasi il 70% degli edifici italiani sono stati costruiti prima del 1976, anno in cui è stata emanata la prima legge in materia di riduzione dei consumi termici degli edifici (Legge 373 del 30/04/1976), e meno dell'1% di essi viene demolito e ricostruito ogni anno. Tuttavia, le percentuali del presente studio sono coerenti con quelle riportate dallo studio di Rinaldi et al. [7], che individua il decennio 1990-2000 come risposta più frequente degli intervistati alla domanda "anno di costruzione". Vale la pena notare che il 22% dei fabbricati del campione è stato costruito dopo l'entrata in vigore del D.Lgs. 311/2006 che, recependo la Direttiva 2002/91/CE e modificando il D.Lgs. 192/2005, impone criteri, condizioni e modalità per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici. I dati riguardanti la distribuzione territoriale degli intervistati, la tipologia di edificio e l'anno di costruzione sono riassunti in Fig. 1.

In Fig. 2 sono riportati i dati relativi alle superfici e al numero di occupanti degli alloggi. La stragrande maggioranza dei nuclei familiari (63%) è composta da 3 o 4 persone e il 60% delle abitazioni è compreso tra 80 e 120 mq. Incrociando i dati e facendo riferimento al DM Sanità 5/7/75, si è riscontrato che l'alloggio è sovraffollato soltanto in due casi, nello specifico un alloggio da 35 mq occupato da 3 persone (contro i 42 mq minimi) ed un alloggio da 50 mq occupato da 4 persone (contro i 56 mq minimi). La Fig. 3 mostra le statistiche riguardanti la ventilazione in regime invernale. L'aerazione delle stanze in un'abitazione è fondamentale per garantire una buona qualità dell'aria indoor e prevenire danni da umidità da condensa, quali la formazione di muffe negli ambienti in cui la produzione di vapore acqueo è più copiosa. L'importanza di tale pratica sembra essere chiara al campione di utenza intervistato che, in più del 90% dei casi, risponde di provvedere a ventilare i locali. La UNI TS 11300-1 suggerisce, per un corretto ricambio dell'aria in regime di ventilazione naturale negli edifici ad uso residenziale, il valore di 0,3 vol/h, dove con "vol" è da intendersi il volume dell'ambiente da arieggiare. Tenendo conto di fattori quali la modalità di apertura della finestra, la stagione e la presenza di vento e di correnti d'aria nella stanza, l'Agenzia CasaClima e l'Institut für Baubiologie+Ökologie Neubeuern suggeriscono tempi e modi per una corretta ventilazione degli ambienti: nella stagione invernale arieggiare da tre a cinque volte al giorno spalancando le finestre da 2 a 6 minuti, a seconda della presenza di corrente d'aria o meno, garantisce un ricircolo rapido e completo dell'aria della stanza. Dal sondaggio emerge che la quasi totalità degli utenti aera le stanze un numero di volte inferiore al valore soglia di 5 volte al giorno. Tuttavia solo il 17% resta entro i 10 minuti, durata che garantisce un giusto mix tra aria fredda in ingresso e aria calda interna; il restante 80% tiene invece un comportamento energeticamente scorretto ed antieconomico poiché, con tempi di ventilazione dilatati, si rende necessario riscaldare nuovamente la totalità dell'aria in ingresso per ogni ciclo di ventilazione, generando quindi un incremento di consumi [12]. Per la valutazione della ventilazione in regime estivo, è stato chiesto agli utenti con che frequenza accade che i condizionatori siano in funzione e gli infissi esterni siano aperti. Sebbene più della metà degli intervistati tenga un comportamento energeticamente corretto, oltre un terzo dichiara di non essere del tutto estraneo a tale pratica (Fig. 4). La Fig. 5 riporta i dati riguardanti l'accensione dei dispositivi di riscaldamento durante la stagione invernale. Poiché il numero di mesi/anno e di ore/giorno consentite ai sensi del DPR 412/93 varia in

base alla zona climatica, per questa valutazione sono stati considerati i soli edifici ricadenti nella zona climatica C, per la quale è consentita l'accensione degli impianti di riscaldamento dal 15 novembre al 31 marzo (quindi 4.5 mesi l'anno) per un massimo di 10 ore giornaliere, con fascia oraria a discrezione dell'utente. I risultati del sondaggio evidenziano che oltre il 90% del campione accende i riscaldamenti per meno di 5 mesi l'anno e circa il 40% del campione si attesta addirittura tra gli 1 e 3 mesi (Fig. 5a). Le limitazioni vengono rispettate anche per quanto riguarda le ore/giorno: anche in questo caso infatti, oltre il 90% del campione non eccede la soglia delle 10 ore giornaliere, e addirittura i tre quarti degli intervistati dichiarano di accenderli per meno del tempo consentito (Fig. 5b). Ciò è probabilmente dovuto anche al fatto che verosimilmente durante il giorno gli occupanti si rechino presso i loro luoghi di lavoro e studio, lasciando quindi gli alloggi vuoti o quasi, soprattutto nelle ore mattutine. Nel pannello c) di Fig. 5 è riportato l'orario di accensione dei riscaldamenti, dal quale si nota infatti che solo il 5% degli intervistati accende i riscaldamenti la mattina, mentre l'88% degli utenti si divide equamente tra l'accensione pomeridiana e quella serale. Oltre i tre quarti del campione spengono i riscaldamenti dopo le 20, ad indicare una maggiore presenza domestica nelle fasce serali (Fig. 5d). Un solo utente dichiara di tenere i riscaldamenti accesi 24 ore su 24. Vale la pena notare che in molti casi il numero di ore di accensione dichiarate non sono risultate corrispondenti con il numero di ore calcolate come differenza tra l'orario di spegnimento e quello di accensione, con uno scarto a vantaggio delle ore calcolate da 1 a 4 ore. Questo dato risulta significativo ai fini della valutazione del grado di consapevolezza dell'utenza, poiché testimonia che quest'ultima non sempre è conscia delle sue reali abitudini di consumo e che l'energia effettivamente consumata viene invece spesso sottostimata. Per i grafici in Fig. 5 si è scelto di fare riferimento al numero di ore calcolate e non a quelle dichiarate, poiché si è ritenuto che gli orari, richiamando una pratica abituale dell'utente, rappresentino un dato più attendibile rispetto ad una stima veloce, che potrebbe anche essere influenzata da un'errata percezione di quante ore i riscaldamenti restano realmente accesi. Per i grafici delle Figg. 6 e 7 si è fatto riferimento alla totalità del campione e non soltanto alla zona C, in quanto la zona climatica non è influente ai fini delle risposte. In Fig. 6 sono riportati i dati circa la tipologia di termosifoni adottata dagli utenti. Il 60% dispone di termosifoni a metano, e quindi allacciati alla rete cittadina, mentre il 15% degli intervistati preferisce ai termosifoni un diverso dispositivo di riscaldamento. Due utenti hanno dato a questa domanda una risposta multipla indicando sia termocamino che termosifoni a metano. Le termovalvole per la regolazione della temperatura sono utilizzate da meno del 50% degli intervistati, anche perché si tratta di un dispositivo promosso soprattutto nella realizzazione di impianti ex novo o durante operazioni di ristrutturazione. Da notare che tre utenti hanno risposto "sì" alla domanda riguardante le termovalvole ma non hanno dato risposta sulla tipologia di alimentazione dei termosifoni, ancora una volta a testimoniare che non sempre l'utente è al corrente dei dati sui propri consumi (la termovalvola è immediatamente visibile sul termosifone, il tipo di alimentazione no). La Fig. 7 riporta i dati relativi all'utilizzo di eventuali altri dispositivi di riscaldamento oltre ai termosifoni. Solo il 12% del campione dichiara di utilizzare soltanto i termosifoni e un ulteriore 3% di utilizzare un unico dispositivo diverso dai termosifoni. I dispositivi ulteriori più diffusi sono i condizionatori, con una media di 2.4 condizionatori per utente (calcolata solo sul numero di intervistati che ha risposto di possederne). Solo 12 utenti dichiarano di utilizzare pompe di calore alimentate da energia proveniente da impianti fotovoltaici. Malgrado il numero di dispositivi alternativi installati, più dei due terzi degli intervistati dichiara di utilizzare questi dispositivi di riscaldamento separatamente e meno del 10% contemporaneamente. Le Figg. 8 e 9 analizzano il regime estivo. La prima considerazione da fare è che,

contrariamente a quanto accade per il riscaldamento invernale, per l'accensione dei dispositivi di condizionamento durante la stagione estiva non esiste una normativa che regolamenti il numero massimo di mesi/anno e di ore/giorno consentiti. Tuttavia, si è ritenuto utile, anche per valutare i comportamenti riguardanti il raffrescamento, tenere conto della zona climatica in cui è ubicato l'immobile. Si è pertanto fatto riferimento anche in questo caso ai soli edifici ricadenti in zona C, ipotizzando dei valori soglia per il numero di mesi/anno e ore/giorno confrontabili con quelli stabiliti per il riscaldamento. Assumendo quindi per i mesi/anno una soglia di 4 (ad esempio 1 giugno - 30 settembre), risulta che il 90% degli intervistati si mantiene sotto il valore soglia (Fig. 8a). Allo stesso modo, assumendo per le ore/giorno una soglia di 10, quasi il 70% dell'utenza accende i condizionatori per un numero di ore minore o uguale alla metà del valore soglia (Fig. 8b). Analizzando la distribuzione oraria e confrontandola con quella del riscaldamento, vediamo confermate basse percentuali per l'accensione nella fascia mattutina, mentre il picco per numero di accensioni si registra per il condizionamento nella fascia pomeridiana (Fig. 8c) che corrisponde alla fascia oraria estiva generalmente indicata come la più calda. Gli orari di spegnimento che raccolgono il maggior numero di risposte sono quelli compresi nella fascia pomeridiana (50%) e nella fascia serale (28%) (Fig. 8d). Circa il 10% dell'utenza dichiara di utilizzare i condizionatori durante le ore del riposo notturno, cosa che non si verificava con il riscaldamento, mentre gli intervistati che dichiarano di non spegnere mai i dispositivi passano da 1 (riscaldamento) a 5 (raffrescamento). Come per la Fig. 5, anche in questo caso il numero di ore calcolate differisce talvolta dal numero di ore dichiarate, tuttavia per il raffrescamento ciò si verifica con una frequenza e uno scarto più bassi (da 30 min a 3 ore). Per i motivi già elencati, anche in questo caso sono stati utilizzati i valori calcolati e non quelli dichiarati. La Fig. 9 riporta infine i dati relativi alla totalità dei dispositivi di raffrescamento (condizionatori e ventilatori). Solo 29 utenti su 449 dichiarano di non utilizzare condizionatori, con una media di 1.9 ventilatori e 2.5 condizionatori per utente (medie calcolate solo sul numero di intervistati che ha risposto di possedere ciascuno dei dispositivi). La media dei condizionatori risulta di 0.1 punti più elevata rispetto alla stessa media calcolata in regime invernale, il che vuol dire che qualche utente ha dichiarato di utilizzare il condizionatore soltanto in regime estivo. Malgrado più della metà degli utenti dichiara di utilizzare sia condizionatori che ventilatori e oltre il 70% di possedere più di un condizionatore, quasi i due terzi degli intervistati rispondono di utilizzare i dispositivi di raffrescamento separatamente.

Conclusioni

Comprendere il comportamento degli occupanti rappresenta una questione di vitale importanza sia in fase di progetto, per l'ottimizzazione delle scelte impiantistiche, sia in quella di esercizio, per la valutazione delle prestazioni e dei consumi energetici di un edificio. L'elaborazione e adozione di modelli comportamentali più complessi rispetto a quelli semplificati attualmente in uso, che tengano conto delle reali azioni degli utenti e delle conseguenze discendenti, migliorerebbe la comprensione dell'interconnessione esistente tra l'edificio, gli utenti e la performance energetica, consentendo di generare scenari di progetto diversificati, dinamici e adattivi. Questo studio mette in luce che determinati comportamenti degli occupanti, come l'utilizzo dei sistemi riscaldamento e raffrescamento per un numero di ore molto elevato e/o in maniera scorretta, hanno un notevole impatto sulle prestazioni e sui consumi energetici dell'edificio. Dai risultati dello studio emerge che circa il 90% dell'utenza impiega i dispositivi di riscaldamento e raffrescamento entro i limiti mensili ed orari previsti per legge o dettati dal buonsenso. Meno soddisfacenti sono invece i comportamenti riguardanti la ventilazione in regime estivo e soprattutto in regime invernale. L'utenza infatti, tende ventilare gli ambienti molto di più del reale fabbisogno,

causando dispendi energetici. Lo studio evidenzia inoltre, dalla discrepanza tra le risposte fornite dagli intervistati, una scarsa consapevolezza degli stessi circa le proprie reali abitudini energetiche. Consapevolizzare gli utenti circa i propri comportamenti energetici e le implicazioni della loro interazione con il sistema impiantistico, nonché metterli a conoscenza delle migliori pratiche legate all'uso dell'energia nel sistema edificio, rappresenta una promettente strategia per migliorare le prestazioni dell'edificio.

Ringraziamenti

Il presente lavoro è stato sviluppato nell'ambito del Progetto "Progettazione Automatizzata" a valere sui fondi del POR FSE Campania 2014 - 2020 - ASSE IV, per lo svolgimento di attività di ricerca presso l'Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli".