

La gestione dei carichi termici estivi mediante sistemi di Building Automation

The management of summer thermal loads through Building Automation systems

G.R. Dell’Osso, F. Iannone, A. Pierucci , A. Rinaldi, S. Vacca

DICATECh, Politecnico di Bari

guidoraffaele.delloso@poliba.it , francesco.iannone@poliba.it,

alessandra.pierucci@poliba.it, alessandro.rinaldi@poliba.it,

simonevacca@alice.it

Topic: l'automation in construction.

Abstract

The main goal of the research is the development of innovative strategies based on bioclimatic principles for the management of the building organism and the reduction of its energy requirements during the summer. Within the framework of strategies for the improvement of the energy efficiency and the comfort levels in residential existing buildings, it results interesting the analysis of the contribution offered by building solution for the reduction of summer thermal loads due to solar radiation exposure. This issue is hooked, also, to the need to guarantee an optimization of the relationship existing between the flow of incoming solar radiation and the indoor natural lighting levels, in order to contain the undesirable heat contributions and the use of cooling and lighting systems. The research shows the results of investigations carried out within the project “Res Novae” on the use of Building Automation Systems for comfort and energy savings in existing residential buildings, through the adoption of passive cooling strategies and techniques. In particular, it was tested, on an Italian dwelling with technological/typological features of sixties buildings, the contribution of different partialization strategies of existing sun protection systems in relation to the orientation, to the external climatic conditions, to the occupation and to the minimum illuminance levels required for the destination of the internal rooms. For this purpose the study combined the use of two different dynamic energy modeling tools, Design Builder and TRNSYS, for the quantification of energy savings achievable through the automated management of existing shading systems in summer conditions.

A further contribution comes from the combination of these strategies with the automated management of the existing window opening for the enhancement of natural ventilation strategies for passive cooling, research that is also part of the project Res Novae.

1. Introduzione

Uno dei settori di ricerca sulla Building Automation, in corso di rapido sviluppo, è quello riguardante l'armonizzazione tra il concetto di *intelligent building* e quello di bioclimatica. Questa si esplicita nell'efficace integrazione tra *active features*, automazioni in grado di rendere l'edificio capace di adattarsi ai cambiamenti interni ed esterni, e *passive design*: queste ultime rappresentano essenzialmente le strategie progettuali atte a conferire all'organismo edilizio la capacità di accumulare il calore e contenere le dispersioni termiche, in regime invernale, e di proteggersi dal surriscaldamento estivo, limitando il ricorso agli impianti di climatizzazione (Kroner, 1997). Il concetto di edificio adattivo diviene rappresentativo, così, di sistemi complessi che cambiano il loro comportamento, e le relative prestazioni, in risposta alle condizioni ambientali o alle esigenze dell'utenza contribuendo al contenimento del consumo di combustibili e di emissioni, per effetto del risparmio energetico conseguibile mediante soluzioni passive. Da questo punto di vista alcuni studi (Ghiaus, 2001) hanno dimostrato, ad esempio, che è possibile ottenere una sensibile riduzione dei consumi energetici attraverso la sola adozione di strategie di ventilazione naturale in alternativa ai sistemi di climatizzazione. In approfondimenti più recenti è stato esplorato il contributo derivante dalla combinazione tra gestione attiva e passiva dei sistemi e sottosistemi edilizi. In uno studio (Ochoa, 2008) condotto su un edificio situato a Haifa, Israele, si è valutato in chiave comparativa il risparmio energetico connesso all'implementazione di tre differenti scenari basati su:

- *active features*, ovvero utilizzo di schermature riflettenti a controllo della

1. Introduction

One of the research areas on building automation, in rapid development, concerns the harmonization between the concept of intelligent building and of bioclimatic one. This comes from the integration of active features, automation systems that make the building able to adapt to internal and external changes, and passive design: these represent, essentially, building strategies that promote the ability to accumulate heat and reduce heat loss, in winter conditions, and to protect from overheating in summer, limiting the use of air conditioning systems (Kroner, 1997).

The concept of adaptive building becomes representative, therefore, of complex systems that change their behavior, and the relative performance, in response to environmental conditions or to the needs of users, contributing to the reduction of fuel consumption and emissions, thanks to the energy savings achievable through passive solutions.

From this point of view, some studies (Ghiaus, 2001) have shown, for example, that it is possible to achieve a significant reduction of energy consumption through the adoption of natural ventilation strategies as an alternative to air conditioning systems. Further researches have explored the contribution resulting from the combination of active and passive management strategies applied to building systems and subsystems. In a study (Ochoa, 2008) developed on a building located in Haifa, Israel, the energy savings related to the implementation of three different scenarios were compared, these are:

- active features: use of reflective shielding for radiation and glare control, low-emissivity glasses and night ventilation managed according to the temperature setpoint;
- intelligent Passive design strategies, with overhangs shielding, lighting control, low-emissivity glasses and natural ventilation;
- the combination of the two previous scenarios, modulating the operation of the passive

radiazione e dell'abbagliamento, vetri basso emissivi e ventilazione notturna gestita secondo specifici setpoint di temperatura;

- strategie di *Intelligent Passive design*, con aggetti schermanti, illuminazione controllata, vetri basso emissivi e ventilazione naturale;
- la combinazione dei due precedenti scenari, modulando il funzionamento delle strategie passive in relazione all'orientamento e alla profondità degli aggetti.

Le simulazioni condotte per tale edificio, mediante il software Energy Plus, hanno dimostrato che nel primo caso il risparmio energetico (rispetto al caso di partenza) varia tra l'8% e il 40%, nel secondo tra il 20% e il 60% e nel terzo si stabilizza tra il 50% e il 55%. Nell'ambito dell'edilizia esistente, in particolare, l'implementazione di architetture di B.A. per il risparmio energetico può rappresentare una strategia particolarmente efficace per conseguire una riduzione dei consumi energetici, minimizzando il ricorso a onerosi interventi edilizi (Pierucci, 2013) e potenziando i benefici connessi a una gestione bioclimatica dell'involucro. Ad esempio, recenti studi (Osello, 2013) relativi all'applicazione di un sistema di building automation in un edificio storico (il Castello del Valentino, di Torino) hanno mostrato che mediante la gestione automatizzata dei sistemi di schermatura e degli apparecchi illuminanti interni, ideata per garantire ottimali livelli di illuminamento in presenza di utenti, è possibile ottenere un abbattimento del 30% dei consumi elettrici, rispetto alla gestione manuale. In simulazioni condotte su altro tipo di destinazione e più recente edificazione hanno mostrato che la gestione automatizzata di tali elementi nell'ambito degli uffici può portare a risparmi energetici comparabili, variabili

strategie in relazione to the orientation and the depth of the projection.

The simulations run for this building, by means of the software Energy Plus, have shown that in the first case the energy savings (compared to the non-automated case) varied between 8% and 40%, in the second between 20% and 60 % and in the third between 50% and 55%.

In existing construction, in particular, the implementation of the Building Automation systems for energy saving can be a particularly effective strategy for the achievement of a reduction of energy consumption, in order to minimize the need to implement onerous building work (Pierucci, 2013) and strengthen the benefits associated with a bioclimatic management of the envelope.

For example, recent studies (Osello, 2013) regarding the application of a building automation system in a historic building (the Valentino Castle, Turin) have shown that through the automated management of screening systems and interior lighting fixtures, conceived to ensure optimum lighting levels in the presence of users, it's possible to get a reduction of 30% in electricity consumption, with respect to manual handling.

In researches applied to other building type, latest built, it has been shown that the automated management of these elements in the office context can lead to comparable energy savings, varying between 17% and 32%, than in the non-automatic control (Aghemo, 2014).

This research, focusing on the strategies for the summer thermal loads management in buildings, highlights how the building automation systems can ensure high levels of comfort and energy efficiency, through the dynamic control of some components based on external and internal environmental parameters and on the occupancy conditions.

With reference to the features related to the shielding elements, they include the possibility to correlate the movements of these systems to minimize possible external solar gains and ensure, at the same time, comfortable lighting

tra il 17% e il 32%, rispetto al controllo non automatico (Aghemo, 2014).

La presente ricerca, focalizzando l'attenzione sulle strategie di gestione dei carichi termici estivi degli edifici, evidenzia come i sistemi di Building Automation possano garantire elevati livelli di efficienza energetica e comfort, mediante il controllo dinamico di alcuni componenti di involucro basato su parametri ambientali esterni e interni e sulle modalità di occupazione.

Con riferimento alle funzionalità relative alle schermature, esse ricomprendono la possibilità di correlare la movimentazione di tali sistemi per minimizzare i possibili apporti solari esterni e garantire, al contempo, i livelli di illuminamento interni idonei allo svolgimento delle attività previste. In presenza di utenti, quindi, la schermatura viene movimentata secondo posizioni tali da impedire l'ingresso della radiazione solare incidente alle varie ore del giorno e garantire, allo stesso tempo, valori di illuminamento di comfort per la destinazione d'uso dell'ambiente interno (regolamentati, ad esempio, in ambito non residenziale dalla UNI EN 12464-1:2011). In assenza di utenti, il sistema di automazione può prevedere la chiusura delle schermature di giorno secondo posizioni che, pur limitando l'ingresso di apporti solari indesiderati, consentano l'attuazione di strategie di ventilazione per il raffrescamento naturale degli ambienti, qualora esse si rendano necessarie in relazione all'andamento di altri parametri ambientali (temperatura, umidità, ecc.). Tale strategia può rivelarsi particolarmente efficace di notte quando la radiazione solare è assente e il contributo della ventilazione naturale può essere potenziato grazie a specifici algoritmi di controllo. Per quanto concerne, nel dettaglio, la gestione intelligente della ventilazione naturale degli ambienti, essa viene attuata

interior levels that perform the foreseen activities. In the presence of users, the shield is moved according to positions that prevent the entry of incident solar radiation at various hours of the day and ensure the comfort illuminance values for the internal use of the environment (regulated, for example, in non-residential buildings, by UNI EN 12464-1: 2011).

In the absence of users, the automation system can move the shielding systems in positions that, limiting the entry of unwanted solar gains, enable the implementation of ventilation strategies for natural cooling, in the case it would be necessary in relation to other environmental parameters (temperature, humidity, etc.). This strategy can be particularly effective at night when the solar radiation is absent and the contribution of the natural ventilation can be enhanced thanks to specific control algorithms.

As regards, in detail, the intelligent management of the natural ventilation of the environments, it is implemented by means of the opening / closing of the apertures with suitable electromechanical devices and electronic regulators in relation to the internal and external thermo-hygrometric conditions, detected by the sensor network.

In the case in which these conditions are favorable to implement a natural cooling of the internal air, the automation system provides for activating the appropriate functions, as a first priority with respect to the activation of the cooling system. If, instead, the ventilation is not sufficiently effective and adequate to reduce thermal loads, the system can provide to activate the air conditioning system (until the desired temperature set point), closing the windows to eliminate possible thermal leakage, in the case of comfortable IAQ values, also allowing the simultaneous activation of the plant and of the natural ventilation.

In a broader sense, the capacity of building to manage, in an autonomous and adaptive way, its systems and sub-systems attracts potentialities associated not only with an efficient

mediante l'apertura/chiusura delle aperture con opportuni dispositivi elettromeccanici e regolatori elettronici in relazione alle condizioni termo-igrometriche interne ed esterne rilevate dalla rete di sensori. Nel caso in cui tali condizioni risultino favorevoli ad attuare un raffrescamento naturale dell'aria interna, il sistema di automazione provvede ad attivare opportune funzioni in maniera prioritaria rispetto all'attivazione dell'impianto. Qualora, invece, la ventilazione non risulti sufficientemente efficace e adeguata ad abbattere i carichi termici presenti, il sistema può provvedere ad attivare l'impianto di climatizzazione (fino al raggiungimento della temperatura di setpoint desiderata o impostata), chiudendo gli infissi per eliminare possibili dispersioni termiche, nel caso di valori di IAQ di comfort, anche consentendo la contestuale attivazione dell'impianto e della ventilazione naturale. In un'ottica più ampia, la capacità dell'organismo edilizio di gestire in maniera adattiva e autonoma il comportamento dei suoi sistemi e sottosistemi richiama potenzialità connesse non solo con un'efficiente gestione dell'ambiente indoor ma anche con il contesto urbano circostante. Le teorie e le applicazioni volte all'ottimizzazione delle future smart grid mirano proprio all'attuazione di nuove logiche per la produzione, gestione, distribuzione e uso dell'energia, tali da mutuare le forniture energetiche in relazione al dinamico soddisfacimento del fabbisogno urbano e innescare processi virtuosi di abbattimento di questo ultimo. Il ruolo della Building Automation diviene, pertanto, preminente per la trasformazione degli edifici in partner attivi di tale processo. Nell'ambito del progetto di ricerca RES NOVAE, finanziato dal MIUR (Programma Operativo Nazionale Ricerca e

management of the indoor environment but also with the surrounding urban context. The theories and applications focused on optimizing the future smart grids aim at contribute to the affirmation of the new scenarios for the production, management, distribution and use of energy that could borrow energy supplies in relation to the satisfaction of the dynamic urban demand and trigger virtuous energy reduction processes.

The role of the building automation systems becomes, therefore, leader for the conversion of buildings into active partners in this process. As part of the research project RES NOVAE, financed by the Ministry of Education, MIUR (National Operational Program Research and Competitiveness 2007-2013 for the development of Smart City) the involved partners (Enel Distribution, IBM, General Electric Transportation Systems, Elettronika Group, Asperience, Polytechnic Bari, University of Calabria, CNR, ENEA) aim to research, model and test, on a demonstration scale, an advanced management system of energy flows at the municipal level, based on the integration of technologies for monitoring, control and optimized management of energy flows toward the buildings and the implementation of "active demand" strategies.

In this context, the main goal of the present research is to deepen the potential related to the use of building automation systems for the management of bioclimatic strategies, the minimization of the summer thermal loads and the efficient management of energy flows.

Competitività 2007-2013 per lo sviluppo delle Smart City) i partner coinvolti (Enel distribuzione, IBM, General Electric Transportation System, Elettronika Group, Asperience, Politecnico di Bari, Università della Calabria, CNR, ENEA) mirano a ricercare, modellizzare e sperimentare su scala dimostrativa un sistema di gestione avanzata dei flussi energetici a livello municipale, basandosi sull'integrazione di tecnologie per il monitoraggio, il controllo e la gestione ottimizzata dei flussi energetici verso gli edifici e l'implementazione di strategie di "active demand". In tale contesto nasce il presente lavoro avente come obiettivo l'approfondimento delle potenzialità connesse all'uso di sistemi di Building Automation per la gestione di strategie bioclimatiche orientate alla minimizzazione dei carichi termici estivi e alla gestione efficiente dei relativi flussi energetici.

2. Il caso di studio

Il caso di studio ha riguardato un'unità abitativa tipica degli anni '60 ubicata nel centro urbano di Bari. L'appartamento analizzato situato ad un piano intermedio di una stecca di edifici in linea, ha una superficie lorda di circa 120 m² ed è caratterizzato da (fig.1):

- fronti finestrati esposti a sud-est e nord-ovest;
- indice di compattezza (rapporto tra superficie disperdente e volume disperdente) pari a 0.65.

Per l'involucro esterno sono state ipotizzate le seguenti tecnologie edilizie tipiche di un edificio residenziale degli anni '60:

- chiusure verticali opache: doppia fodera in laterizio (8-12 cm) con interposta intercapedine d'aria da 6 cm non isolata ($U = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$);

2. Case study

The case study has concerned a multi-family residential building, built in the 60's, located in the urban center of Bari.

The dwelling analyzed, situated at the intermediate floor of a block of buildings, has a 120 m² gross floor area of and is characterized by (fig.1):

- windowed sides faced to north-west and south-east;
- compact index (ratio between enveloping surface and heated volume) equal to 0.65.

As regarding the building envelope, the following building technologies have been hypothesized, typical of a residential building of 60's :

- wall: double-brick masonry (8-12 cm) with interposed uninsulated air cavity of 6 cm ($U_{\text{value}} = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$);
- windows: wood frame (7 cm) and single glass of 6 mm ($U_{\text{value}} 5,7 \text{ W/ m}^2\text{K}$) of tilt-turn

- chiusure esterne trasparenti: infisso con telaio in legno (7 cm) e vetro singolo chiaro da 6 mm ($U= 5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$) del tipo ad anta-ribalta.
- Sui prospetti finestrati sono presenti due aggetti orizzontali come rappresentato nelle seguenti figure.

type.

The windowed sides have two overhangs as shown in the following figures.

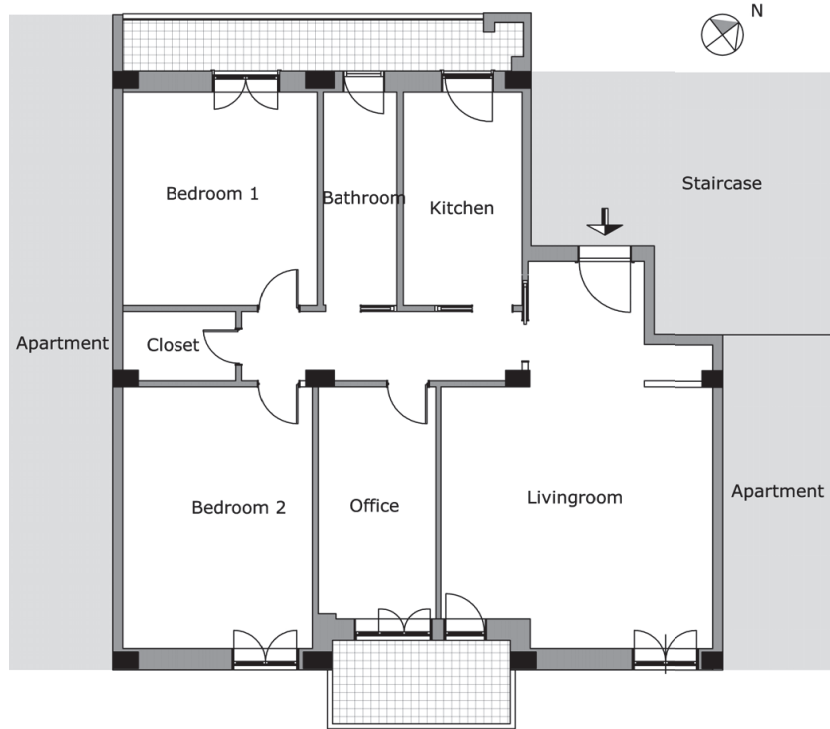


Fig. 1 Intermediate floor plant



Fig. 2 North-West view

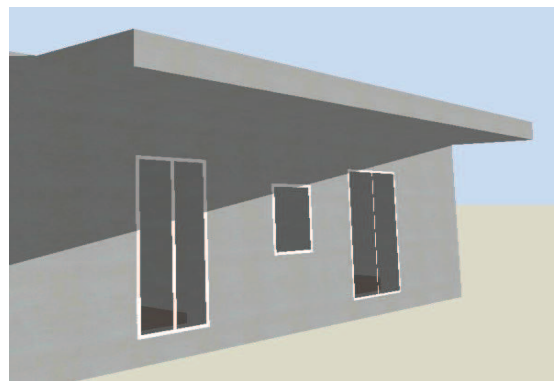


Fig.3 South-East view

Per le modellazioni energetiche di seguito esaminate, sono state ipotizzate variazioni orarie degli apporti energetici per occupazione, illuminazione e

For energy modeling discussed below, hourly variations of the thermal loads were assumed for occupation, lighting and domestic appliances typical of residential

apparecchiature elettrodomestiche tipicamente presenti in un edificio residenziale.

3. Le strategie di intervento

3.1 La gestione delle schermature solari

Un primo ambito di approfondimento orientato alla gestione dei carichi termici estivi, ha riguardato l'impiego dei sistemi di Building Automation per l'ottimizzazione del funzionamento dei sistemi di schermatura presenti nell'alloggio, del tipo a tapparella avvolgibile. Si è assunta la possibilità che il sistema possa movimentare tali componenti secondo differenti posizioni ovvero 0%, corrispondente all'assenza di oscuramento sull'infisso, 25%, 50%, 75% e 100% (relativo al totale oscuramento).

È stato quindi studiato l'andamento dei valori di illuminamento degli ambienti interni in relazione alle varie situazioni ipotizzate, durante un giorno scelto come riferimento, ovvero il 21 giugno, dalle ore 5:00 alle ore 20:00. La valutazione del contributo del sistema di B.A., in termini di riduzione dell'apporto termico estivo attivato attraverso la gestione delle schermature solari, è stata effettuata implementando nei software di calcolo *Design Builder* e *Energy Plus* le scelte effettuate in relazione alla definizione delle diverse percentuali di oscuramento. La quantificazione dei livelli di illuminamento ha riguardato il calcolo della media dei valori elaborati dai software all'interno di ogni ambiente, secondo una griglia geometrica 10x10, a un'altezza di 0,80 m dal piano di calpestio. È stato, altresì, connesso lo studio dei valori di illuminamento naturale alle specifiche di comfort illuminotecnico necessarie allo svolgimento delle attività previste nei

buildings.

3. The intervention strategies

3.1 The management of solar shielding

A first area of study, oriented toward the management of summer thermal loads, involved the use of Building Automation systems for the optimization of the operation of shading systems, roller shutters ones, in the dwelling. It has assumed the possibility that the system can handle such components according to different positions that are: 0%, corresponding to the absence of obscuration on the frame, 25%, 50%, 75% and 100% (relative to the total obscuration).

It was, therefore, deepened the indoor lighting values trend in relation to the various situations hypothesized, during a day chosen as a reference, June 21, from 5:00 to 20:00. The evaluation of the B.A. system's contribution, in terms of reduction of the rate of summer heat, activated through the management of sunscreens, was carried out by implementing - in Design Builder and Energy Plus software - the choices made in relation to the definition of the different shading percentages.

The quantification of the lighting levels concerned the calculation of the average values processed by the software within each environment, according to a geometric grid 10x10, at a height of 0.80 m from the floor. It was also developed the study of the values of natural lighting as related to the lighting comfort specifications needed to carry out activities in the different rooms of the dwelling.

In this sense, have been determined for each room, the threshold values of average

differenti vani dell'unità abitativa.

In tal senso, sono stati fissati, per ogni ambiente, dei valori-soglia di illuminamento medio da garantire in presenza di utenti, così sintetizzabili: 300 lux per ambienti che richiedono attività specifiche (studio e cucina); 200 lux per soggiorno, camera da letto con postazione di lavoro e bagno; 100 lux per ambienti unicamente dedicati al riposo degli utenti (camera da letto matrimoniale). Tali valori sono stati ponderati anche al fine di garantire condizioni di illuminamento tali da disincentivare il ricorso agli impianti di illuminazione artificiale, contenendone quindi i relativi consumi e carichi termici.

Pertanto, al fine di garantire un valore medio di illuminamento del singolo ambiente superiore al valore di soglia stabilito, in relazione alla reale esposizione del vano e a condizioni di cielo sereno (del tipo *Sunny Clear Day*, rif. standard CIE – classe 1), sono stati determinati i livelli massimi di oscuramento permesso tramite l'abbassamento delle tapparelle avvolgibili, tra i diversi scenari di movimentazione ipotizzati. Definita, quindi, per ogni ora la posizione ottimale del sistema di oscuramento (ovvero tale da garantire i livelli minimi di illuminamento succitati) è stato elaborato l'andamento orario della radiazione solare incidente sulla finestra esterna, al fine di individuare i valori limite corrispettivi. L'approccio, in particolare, intende strutturare l'algoritmo di funzionamento del sistema di automazione che, a partire dalla correlazione esistente tra livelli di radiazione solare e di illuminamento interno, possa attuare strategie orientate a massimizzare il comfort e l'efficienza energetica dell'alloggio stesso. È stato, così, possibile valutare, secondo opportuni profili di utilizzo dell'unità immobiliare, la logica di funzionamento per la gestione delle schermature solari mediante sistemi di Building Automation, necessaria

illuminance that have to be ensured in the presence of users, summarized as follows: 300 lux for environments where specific activities are provided (office and kitchen); 200 lux for living room, bedroom 2 with workplace and bathroom; 100 lux for master bedroom (bedroom1). These values were also weighted in order to guarantee comfortable illuminance conditions that could discourage the recourse to the artificial lighting installations, containing the related consumption and thermal loads.

Therefore, in order to ensure an average value of illuminance of the individual room higher than the established threshold one, in relation to the actual orientation of the room and clear sky conditions (type *Sunny Clear Day*, ref. The CIE standard - class 1), are determined the maximum dimming enabled by lowering the roller shutters, between the different scenarios hypothesized.

Having defined, then, for every hour the optimum position of the shading system (in order to ensure that minimum levels of illumination above mentioned) has been processed the hourly trend of the incident solar radiation on the exterior window, locating the corresponding limit values.

The approach, in particular, intends to assess the operation algorithm of the automation system that, starting from the correlation existing between solar radiation and internal illuminance levels, can implement strategies geared to maximize comfort and energy efficiency of the dwelling itself. It was thus possible to evaluate, according to appropriate usage profiles, the operating logic for the management of solar shading by Building Automation systems, required for the investigation of its integration with other passive strategies, such as the natural ventilation ones.

per gli approfondimenti relativi alla sua integrazione con altre strategie di tipo passivo, quali quelle di ventilazione naturale.

	0%	25%	50%	75%	Solar radiation [kW]
5:00	25,83	21,72	12,73	1	0,07
6:00	122,93	103,31	60,84	8	0,30
7:00	206,32	172,28	102,49	14	0,60
8:00	283,37	235,04	141,29	23	0,96
9:00	364,14	300,9	181,28	31	1,28
10:00	409,73	337,52	204,08	38	1,61
11:00	469,89	387,36	234,57	45	1,84
12:00	519,1	429,34	259,9	49	1,98
13:00	570,24	475,04	286,94	51	2,04
14:00	637,81	537,22	323,15	52	2,40
15:00	1601,18	1496,13	1225,93	101	3,49
16:00	2958,5	2805,78	1434,29	132	4,74
17:00	3074,62	2495,1	1247,01	117	4,73
18:00	1825,7	1543,8	822,38	75	3,61
19:00	487,2	423,19	265,71	27	1,82
20:00	15,7	13,24	7,73	1	0,17

Table 1: Average illuminance, in lux, in the bedroom 1 (minimum value to ensure equal to 100 lux) according to different positions of the screening system (0%, 25%, 50%, 75%). On the right, hourly values of incident solar radiation, in kW

3.2 L'ottimizzazione della ventilazione naturale

Una prima fase del lavoro ha riguardato le potenzialità dei sistemi di Building Automation (B.A.) per il controllo della ventilazione naturale.

Tale studio è stato oggetto del paper *“Control Strategies of the Natural Ventilation for Passive Cooling for an Existing Residential Building in Mediterranean Climate”* in corso di pubblicazione per il 36° convegno AIVC su *“Effective ventilation in high performance buildings”*.

Diverse strategie di controllo della ventilazione naturale sono state simulate per ridurre i consumi energetici per

3.2 Natural ventilation optimization

A first phase of the work has concerned the capability of building automation systems (B.A.) to control natural ventilation.

This study has been the subject of the paper *“Control Strategies of the Natural Ventilation for Passive Cooling for an Existing Residential Building in Mediterranean Climate”*, under publication for the 36th AIVC conference on *“Effective ventilation in high performance buildings”*.

Several control strategies of natural ventilation have been simulated in order to reduce energy needs for cooling and to ensure adequate thermal comfort levels.

The simulations have been conducted during

raffrescamento e assicurare adeguati livelli di comfort termico.

Le simulazioni sono state condotte durante il periodo estivo e sono state confrontate in termini di comfort termico adattivo (secondo quanto stabilito dalla norma UNI EN 15251). In particolare, relativamente alle sole ore di occupazione, è stato valutato il discomfort dovuto al surriscaldamento ed al sotto-raffreddamento. Le analisi sono state condotte in regime dinamico mediante il software TRNSYS ed il modulo TRNFLOW che integra il “multizone air flow model” COMIS all’interno di TRNSYS. Il “*multi-zone air flow model*” idealizza l’edificio come una rete di *nodi* e *collegamenti* di flussi d’aria. I nodi rappresentano le camere e l’ambiente esterno circostante; i collegamenti, invece, sono costituiti dalle aperture, dalle porte, dalle fessure, dai giunti delle finestre, dalle prese d’aria, dai condotti e dai ventilatori.

La tabella 2 riassume le caratteristiche di permeabilità all’aria dell’involucro dell’edificio adoperate nelle varie simulazioni.

summer season and have been compared through adaptive thermal comfort analysis (according UNI EN 15251).

In particular, the overheating and undercooling discomfort have been evaluated, with reference to the occupation hours.

Dynamic energetic analysis have been conducted through TRNSYS software and TRNFLOW module that integrates the multizone air flow model COMIS inside TRNSYS.

The “multi-zone air flow model” idealizes the building as a network of nodes and air flow links. The nodes represent the room and the outside surrounding environment; the links are the openings, the doors, the cracks, window joints, air inlets, outlets, ducts and fans.

The Table 2 summarizes the air permeability characteristic of building envelope used in the various simulations.

Item	Air Mass Flow Coefficient (Cs) (Kg/sPa)	Air Flow Exponent (n)	Discharge Coefficient (Cd)
Crack External Wall	0,00002	0,85	-

Item	Air Mass Flow Coefficient (Cs) (Kg/s m Pa)	Air Flow Exponent (n)	Discharge Coefficient (Cd)
Large Opening Window	0,0003	0,6	0,6
Large Opening Door	0,0015	0,6	0,6

Table 2: Air permeability characteristic of building envelope

Per i vari casi esaminati, si è ipotizzata l’adozione di infissi ad anta-ribalta, con apertura a vasistas automatizzata (corrispondente agli effetti dell’apertura del 50% dell’area finestrata per infissi a due

For the several cases examined, tilt- turn windows have been hypothesized, with automated bottom-hinged opening (corresponding to the 50% of the opening for windows with two shutters) through

ante) mediante attuatori comandati da sensori di temperatura ed umidità.

In particolare, in relazione alle temperature e umidità (relativa e assoluta) interna ed esterna, quattro soluzioni progettuali sono state simulate per valutare il controllo ottimale della ventilazione.

Le logiche di attivazione della ventilazione naturale che attuano l'apertura degli infissi sono riportate nella tabella 3.

actuators managed by temperature and humidity sensors.

In particular, four design solutions have been simulated in order to assess the optimal control of natural ventilation, according to the indoor and outdoor temperatures and humidity (relative and absolute).

The natural ventilation automation logics, that allow the window opening, are shown in the Table 3.

Case	Temperature		Humidity	Cooling system
Case I	- $T_{ind} > T_{opt}$; and - $T_{ind} - 3^{\circ}\text{C} < T_{out} < T_{ind}$		-	-
Case II	- $T_{ind} > T_{opt}$ and - $T_{ind} - 3^{\circ}\text{C} < T_{out} < T_{ind}$	or	- R.H. ind $> 70\%$; and - $X_{ind} > X_{out}$	-
Case III	- $T_{ind} > T_{opt}$ and - $T_{ind} - 3^{\circ}\text{C} < T_{out} < T_{ind}$	or	- R.H. ind $> 70\%$; and - $X_{ind} > X_{out}$ and - $T_{ind} > T_{opt}$	-
Case IV	- $T_{ind} > 26^{\circ}\text{C}$ and - $T_{ind} - 3^{\circ}\text{C} < T_{out} < 26^{\circ}\text{C}$	or	-	- $T_{ind} > 26^{\circ}\text{C}$ and - $T_{out} > 26^{\circ}\text{C}$

Table 3: Activation logics for natural ventilation strategies (T_{ind} = Indoor temperature; T_{out} = outdoor temperature; T_{opt} = optimal temperature valuated according UNI EN 15251; R.H.ind = indoor relative humidity; X_{ind} = indoor absolute humidity; X_{out} = outdoor absolute humidity)

Nel Caso IV è stata simulata la combinazione di un sistema di ventilazione naturale con una pompa di calore aria-aria per valutare la riduzione dei fabbisogni energetici per raffrescamento indotti dalla ventilazione naturale.

I risultati delle simulazioni hanno mostrato l'efficacia delle strategie di raffrescamento passivo proposte nella riduzione delle ore di discomfort per surriscaldamento.

Per ridurre gli elevati livelli di umidità relativa interna ($>70\%$) è risultato necessario un sistema di ventilazione naturale

In the Case IV, the combination of natural ventilation system with an air to air heat pump has been simulated to value the reduction of energy needs for cooling due to natural ventilation.

The simulations results have shown the effectiveness of passive cooling strategies proposed for the overheating discomfort reduction.

In order to reduce the high indoor relative humidity levels ($>70\%$), it was necessary to manage the natural ventilation system by humidity sensors and with the above

controllato da sensori di umidità ed operante secondo le logiche su citate. reported logics.

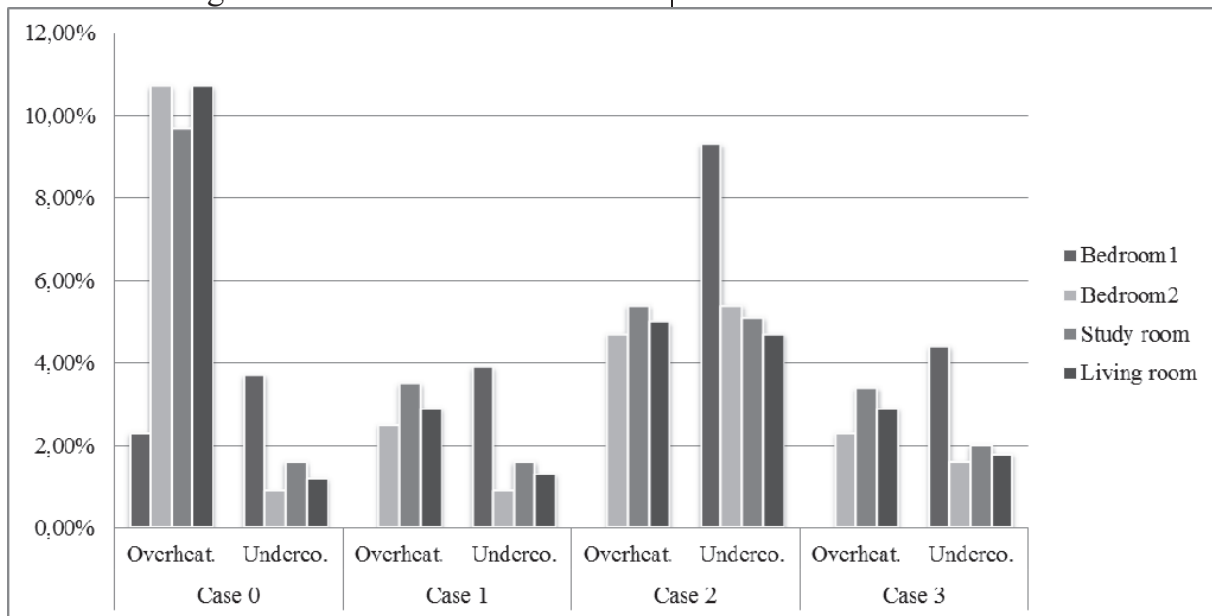


Fig.4 Thermal discomfort percentages of the various cases

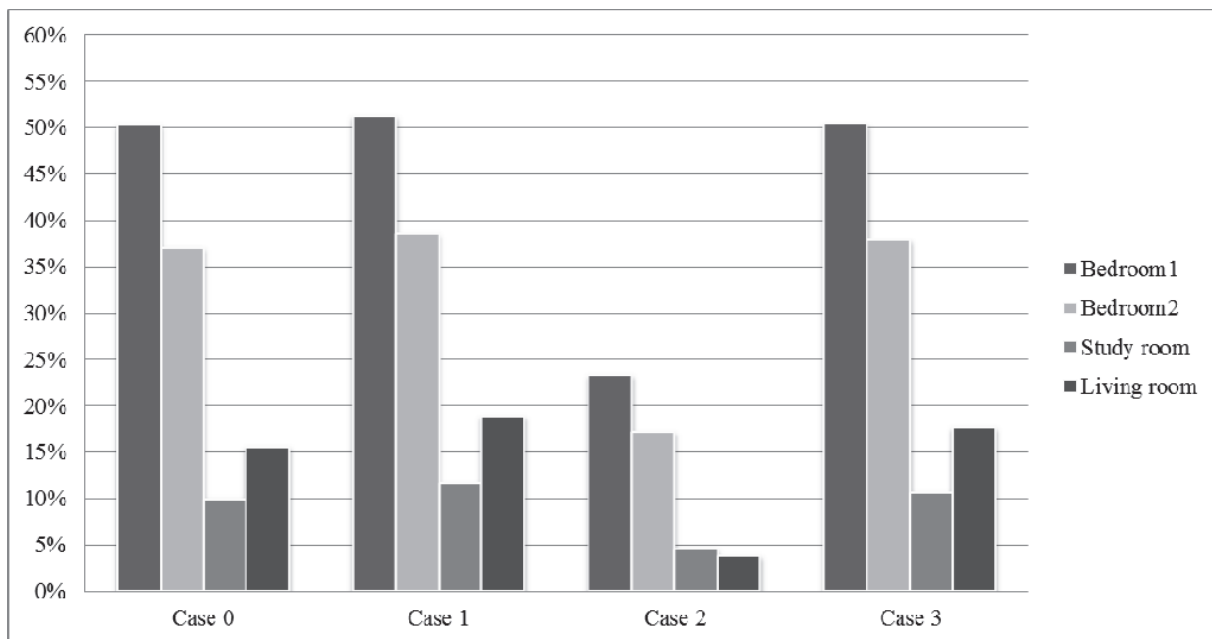


Fig.5 Relative Humidity discomfort percentages (R.H. > 70%)

Nell'ipotesi di assenza di impianto di raffrescamento, logiche di attivazione della ventilazione naturale calibrate sulla temperatura ottimale, e sui livelli di umidità relativa ed assoluta (Caso III) consentono significative riduzioni delle condizioni di discomfort. In presenza di impianto di raffrescamento, in cui la deumidificazione è

Without cooling system, natural ventilation automation logics allow significant discomfort levels reduction based on optimal temperature and on relative and absolute humidity (Case III).

With a cooling system, that operate also the dehumidification, natural ventilation logics are regulated only by temperature according

attuata dallo stesso impianto, le logiche di attivazione della ventilazione sono regolate dalla sola temperatura secondo quanto descritto nel Caso IV.

Nel successivo paragrafo si focalizzerà l'attenzione sulle strategie di controllo della radiazione solare entrante e sulla gestione integrata delle logiche di attivazione delle schermature solari con quelle di ventilazione naturale.

3.3 La gestione integrata delle diverse soluzioni d'intervento

Una seconda fase del lavoro ha riguardato i sistemi di Building Automation (B.A.) per il controllo della radiazione solare entrante e della ventilazione per il raffrescamento passivo degli edifici.

Diverse logiche di controllo e automazione delle schermature solari esistenti sono state sviluppate per ridurre i consumi energetici per raffrescamento nel periodo estivo.

Mediante il software TRNSYS, sono state definite e simulate le logiche di attivazione e modulazione delle schermature solari in funzione dei valori di radiazione solare totale incidente definiti nel paragrafo 3.1. Una centralina gestisce il funzionamento di tale sistema di B.A. mediante attuatori per l'apertura modulata della schermatura e dell'infixo stesso, in base ai dati monitorati dai sensori.

In particolare, per l'unità abitativa descritta, è stata valutata la riduzione dei consumi energetici indotta dalle diverse soluzioni di raffrescamento passivo, riguardanti:

- attivazione e controllo delle schermature solari mobili, mediante sensori di radiazione solare incidente e di presenza, che, in funzione di setpoint di radiazione solare variabili (per ambiente e percentuale di schermatura), modulino l'apertura della schermatura e dell'infixo stesso;
- combinazione delle logiche di attivazione e controllo delle schermature solari mobili

descritti in Case IV.

The following paragraph will focus on the control of the solar radiation and on the integrated management of activation logics of solar shielding and natural ventilation.

3.3 Integrated management of several design solutions

A second phase of the study involved the B.A. systems to control the solar radiation and the natural ventilation for passive cooling of buildings.

Several control and automation logics of existing solar shielding have been analyzed to reduce energy needs for cooling.

Through the TRNSYS software, activation and modulation logics of solar shielding have been simulated according the solar incident radiation, shown in the paragraph 3.1.

A control unit manages the operation of that B.A. system through actuators in order to modulate opening of the shielding and of the window itself, according to the data monitored by the sensors.

In particular, for the case study described above, the reduction of energy needs due to the several passive cooling solutions has been evaluated, that concerns:

- activation and control of solar shielding, through sensors solar radiation and occupation, that modulate window and shielding opening, according to variable setpoints of solar radiation (for rooms and shielding percentage);
- combination of activation logics and control for solar shielding and natural ventilation, through temperature sensors (indoor and outdoor) to allow windows opening in favorable conditions.

con quelle della ventilazione naturale, mediante sensori di temperatura (esterna ed interna) in modo da garantire l'apertura degli infissi in condizioni favorevoli.

3.3.1. Casi simulati

Le modellazioni hanno riguardato la casistica esposta nel seguito, strutturata in modo da evidenziare le potenzialità dei sistemi di B.A. per il controllo della radiazione solare finalizzato alla riduzione dei consumi energetici per raffrescamento.

Quattro casi sono stati simulati, variando le ipotesi e le logiche di attivazione delle schermature solari e della ventilazione naturale. In particolare, nei primi tre casi è stata considerata la sola ventilazione per IAQ, in cui la superficie finestrata apribile è stata modulata in funzione delle schermature solari attive. Il caso 2.0 ha invece riguardato la combinazione delle logiche di schermatura solare con quelle di ventilazione naturale per raffrescamento. Nessuna modifica è stata attuata nei vari casi esaminati sulle logiche di attivazione dell'impianto di raffrescamento, per il quale è stata impostata una temperatura di setpoint di 26°C solo qualora gli ambienti risultino occupati.

In particolare le ipotesi e logiche dei vari casi esaminati sono state le seguenti:

Caso 0.0

È stata ipotizzata la totale assenza di dispositivi di schermatura solari mobili e una ventilazione solo per IAQ.

Caso 0.1

Si è ipotizzato che l'utente attivi manualmente le schermature mobili. In particolare il coefficiente di ombreggiamento (*shading factor*) è stato settato per ogni camera pari a:

- s.f. = 0.25 (25% della superficie finestrata) in presenza di utenti;
- s.f. = 0.75 (75% della superficie finestrata) in assenza di utenti.

3.3.1. Simulated cases

Simulations have concerned several cases, illustrated below, in order to value the potentialities of B.A. systems to control of solar radiation for reduction of energy needs for cooling.

Four cases have been developed, varying activation logics of solar shielding and natural ventilation. In particular, in the first three cases, only the ventilation for IAQ has been considered and the openable window has been modulated according the active solar shielding. The Case 2.0. has concerned the combination of solar shielding and natural ventilation logics. No changes has been carried out on the cooling system operation logics, where a temperature setpoint of 26°C has been set up during occupation hours.

In particular, for the several cases examined hypothesis and logics have been :

Case 0.0

Total absence of solar shielding systems and only ventilation for IAQ has been considered.

Case 0.1

The user actives manually the mobile solar shielding. In particular the shading factor has been set up for every room equal to:

s.f. = 0.25 (25 % of window area) in presence of users;

s.f. =0.75 (75 % of window area) in absence of users.

Case 1.0

Automation and modulation of mobile solar shielding according the solar incident radiation on the vertical areas and the occupation.

Caso 1.0

È stata considerata l'automazione e la modulazione delle schermature solari mobili in funzione della radiazione solare incidente sulle superfici verticali e dell'occupazione. I valori limite di radiazione solare incidente, calcolati con la metodologia descritta nel paragrafo 3.1, assicurano i livelli minimi di illuminamento medio nelle varie camere.

La logica di attivazione delle schermature è:

- nelle ore diurne in presenza di utenti la schermatura è modulata per step in percentuali di 0, 25, 50 e 75; per ciascun ambiente è stato definito il valore della radiazione solare di soglia (r.l.25, r.l.50, r.l.75) corrispondente al raggiungimento dell'illuminamento naturale di progetto per il prefissato livello di schermatura;
- nelle ore diurne in assenza di utenti la schermatura si attiva al 100% per valori di radiazione solare superiori ad un prefissato valore di soglia. Tale valore è stato scelto pari alla radiazione solare che determina la schermatura del 25% in presenza di utenti. Per valori di radiazione solare inferiori al predetto limite la schermatura non si attiva per garantire le condizioni di ventilazione naturale trasversale anche in assenza di utenti;
- nelle ore notturne le schermature risultano sempre aperte per favorire la ventilazione naturale e la dispersione termica per trasmissione attraverso le superfici finestrate.

In sintesi, mediante sensori di presenza e di radiazione solare incidente, per ogni camera le logiche di attivazione delle schermature solari sono state le seguenti:

in presenza di utenti

- se radiazione solare incidente (r.s.i.) \geq valore limite radiazione solare incidente con schermatura pari al 75% (r.l.75) della superficie finestrata \Rightarrow s.f. = 0.75
- Se r.l.50 < r.s.i. \leq r.l.75 \Rightarrow s.f. = 0.50

The solar incident radiation limit values, valuated in the paragraph 3.1, allow the illuminance average minimum levels in the various rooms.

The solar shielding operation logic is the following:

- during daytime, in presence of users, the solar shielding is modulated for steps in percentage 0.25, 50 and 75; for each room, the solar radiation limit value has been defined (r.l.25, r.l.50, r.l.75) in order to allow the natural luminance for the prefixed solar shielding level;
- during daytime, in absence of users, the solar shielding is active to 100 % for solar radiation values higher than a fixed limit value. This value is equal to the solar radiation that allows the solar shielding of 25% in presence of users. For solar radiation values lower than this limit value, the shielding is not active in order to ensure a cross natural ventilation also in absence of users;
- at nighttime, the shielding are open to ensure natural ventilation and the heat loss for transmission through the window surfaces.

In summary, through occupation and solar incident radiation sensors, the operation logics of solar shielding for every room are the following:

in presence of users

- if solar incident radiation (s.i.r.) \geq solar radiation limit value with shielding equal to 75% (r.l.75) of window area \Rightarrow s.f. = 0.75.
- if r.l.50 < s.i.r. \leq r.l.75 \Rightarrow s.f. = 0.50
- if r.l.25 < s.i.r. \leq r.l.50 \Rightarrow s.f. = 0.25
- if s.i.r. < r.l.25 \Rightarrow s.f. = 0

in absence of users

- if s.i.r. \geq r.l.25 \Rightarrow s.f. = 1
- if s.i.r. < r.l.25 \Rightarrow s.f. = 0

Case 2.0

- se $r.l.25 < r.s.i. \leq r.l.50 \Rightarrow s.f. = 0.25$
 - Se $r.s.i. < r.l.25 \Rightarrow s.f. = 0$
- in assenza di utenti*
- Se $r.s.i. \geq r.l.25 \Rightarrow s.f. = 1$
 - Se $r.s.i. < r.l.25 \Rightarrow s.f. = 0$

Caso 2.0

Le logiche di attivazione delle schermature solari mobili del Caso 1.0 sono state integrate con quelle di ventilazione naturale per raffrescamento nelle fasce orarie non ricomprese in quelle per IAQ. In particolare, l'attivazione della ventilazione naturale è funzione della temperatura dell'ambiente pilota (bedroom n.1) qualora si verifichi:

- $T_{int}(b1) > 25\text{ °C}$; and
- $T_{int}(b1) - 3 < T_{ext} < T_{int}(b1)$

Tale logica di controllo consente l'attivazione della ventilazione prima che sia raggiunta la temperatura di setpoint (26 °C) dell'impianto di raffrescamento. La ventilazione, qualora siano verificate le logiche su descritte, permette dunque un pre-raffrescamento dell'aria interna tale da ridurre la temperatura interna degli ambienti ed i picchi di potenza frigorifera dell'impianto di raffrescamento.

La logica così definita consente la contestuale attivazione dell'impianto e della ventilazione naturale in condizioni di temperatura esterna favorevoli.

4. Risultati

In termini complessivi, il controllo automatico delle schermature solari determina il 77% di riduzione degli apporti solari nella situazione limite di totale inutilizzo delle stesse. Tale percentuale scende a circa il 51% nella più plausibile ipotesi di controllo manuale delle tapparelle da parte dell'utente.

Il confronto tra i diversi casi evidenzia che le riduzioni di apporti solari non corrispondono ad analoghe riduzioni dei fabbisogni per raffrescamento. Sia in termini percentuali

The mobile solar shielding operation logics of the Case 1.0 have been integrated with natural ventilation logics during the hours not included in those for IAQ. In particular, the activation of natural ventilation is dependent on the temperature of the room (bedroom1) if:

- $T_{indoor}(b1) > 25\text{ °C}$ and
- $T_{indoor}(b1) - 3\text{ °C} < T_{ext} < T_{indoor}(b1)$.

This control logic allows the natural ventilation activation before the setpoint temperature (26 °C) of cooling-system is reached. The ventilation allows a pre-cooling of indoor air, able to reduce indoor temperature of the rooms and the cooling power peaks of cooling system.

This logic above described, allows the simultaneous activation of cooling-system and natural ventilation, in conditions of favorable outdoor temperature.

4. Results

In summary, automatic control of solar shielding systems allows a 77 % reduction of solar gains, with respect to the limit case in which are not used. This percentage drops to 51% in the most plausible hypothesis of manual control of shutters by the user.

The comparison between different cases shows that the solar gains reductions do not correspond to similar reductions in energy needs for cooling. Both in percentage and absolute terms, there is not direct proportionality between solar gains reduction

che assoluti, non c'è diretta proporzionalità tra la riduzione degli apporti solari e dei fabbisogni energetici. Confrontando per esempio il CASO 0.0 con il CASO 1.0, in termini percentuali ad una riduzione del 77% degli apporti solari corrisponde una riduzione del 64% dei fabbisogni per raffrescamento. In termini assoluti, nel CASO 1.0 gli apporti solari si riducono di 2259 kWh, mentre i fabbisogni energetici si riducono di 752 kWh. Questo è giustificabile per i diversi periodi di riferimento di calcolo: gli apporti solari sono relativi all'intero periodo di simulazione e all'intero alloggio, mentre i fabbisogni energetici sono relativi alle ore di occupazione e alle parti di alloggio occupate.

La combinazione delle logiche di controllo delle schermature solari con quelle di ventilazione naturale, determina una ulteriore riduzione dei fabbisogni energetici, nell'ordine del 10%, come si evince dal confronto tra il CASO 1.0 e il CASO 2.0. Tale risultato è giustificabile dall'aver imposto priorità alle logiche di attivazione delle schermature solari rispetto a quelle di ventilazione (in alcune ore ridotta per effetto della parzializzazione della superficie apribile), ma soprattutto dal significativo contributo del controllo della radiazione solare alla riduzione dei carichi per raffrescamento.

and energy needs one. For example, comparing the CASE 0.0 with CASE 1.0, in percentage terms, there is a 77% reduction of solar gains and a 64% reduction of energy needs for cooling. In absolute terms, in the CASE 1.0 solar gains decreased by 2,259 kWh, while energy needs by 752 kWh. This is due, for the different reference periods of calculation, as follow: solar gains are relative to the entire simulation period and to the entire dwelling, while the energy needs are related to the occupation hours and to the occupied room.

The combination of solar shielding control logics with those of natural ventilation, causes a further reduction of energy needs, about 10%, as seen by comparing the CASE1.0 and CASE 2.0.

This result is justified by having privileged the activation logics of solar shielding respect to the ventilation ones (in some hours reduced by the effect of modulation of the openable surfaces), but, above all, by the significant contribution of solar radiation control for the reduction of loads for cooling

	CASE 0.0	CASE 0.1.	CASE 1.0	CASE 2.0
Solar thermal loads (kWh)	2930	1381	671	671
Energy needs for cooling (kWh)	1182	620	430	374

Table 4: Solar thermal loads and energy needs for cooling

L'analisi energetica per i vari mesi estivi evidenzia come la riduzione dei fabbisogni energetici dovuta alle logiche di attivazione delle schermature solari sia significativa nei mesi più soleggiati, ovvero giugno-luglio-agosto. Nei mesi intermedi, maggio e

During the summer period, energy analysis shows that the reduction of energy needs due to the solar shielding activation logic is significant in the sunniest months, i.e. June, July and August. In the intermediate months, May and September, the controlled natural

settembre, il contributo della ventilazione naturale controllata per raffrescamento (CASO 2.0), in virtù delle non favorevoli condizioni climatiche di temperatura dell'aria esterna, non determina alcun miglioramento rispetto al CASO 1.0.

ventilation for cooling (Case 2.0) does not determine any improvement regarding to the CASE 1.0., due to the unfavorable weather conditions of the outside air temperature.

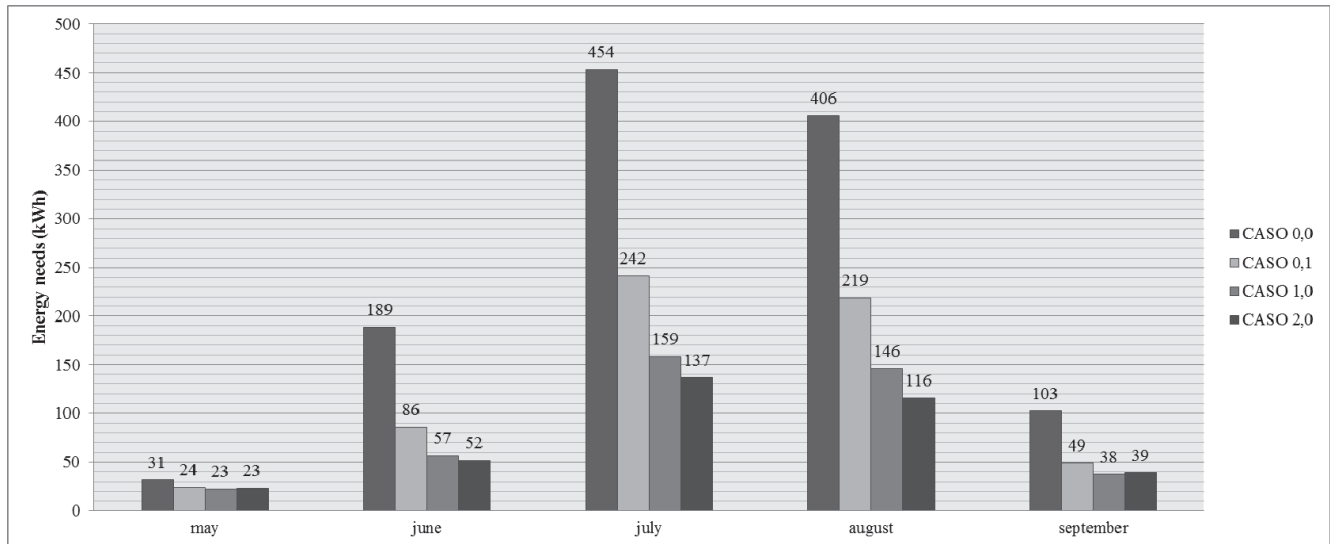


Figure 6: Energy needs for cooling of the various cases

5. Conclusioni

Il lavoro di ricerca ha approfondito le potenzialità connesse all'uso di sistemi di Building Automation per la gestione di strategie bioclimatiche per il contenimento dei carichi termici estivi. Le analisi svolte su un edificio esistente hanno mostrato che le logiche di attivazione e controllo delle schermature solari mobili per il raffrescamento passivo degli ambienti consentono significative riduzioni dei fabbisogni energetici per raffrescamento. La modulazione delle schermature solari basata sul mantenimento di livelli di illuminamento naturale interno di comfort, e regolata secondo opportuni profili di occupazione, consente la riduzione degli apporti solari e il contenimento dei fabbisogni energetici per l'illuminamento artificiale. A questo si aggiunga che l'implementazione di logiche di gestione integrata tra il funzionamento dei

5. Conclusions

The research work has investigated the potentialities linked to the use of Building Automation systems for the management of bioclimatic strategies for the reduction of summer thermal loads. The analysis carried out on an existing building showed that the logics of activation and control of movable solar shading for passive cooling of the rooms allow significant reductions in energy requirements for cooling.

The modulation of the solar shading based on the maintenance of interior comfortable natural lighting levels, and controlled according to suitable occupation profiles, allows the reduction of solar gains and of energy requirements for artificial lighting.

This brings together that the implementation of integrated management of logical operation of shading systems and of the opening of windows allows also to optimize

sistemi di schermatura e l'apertura degli infissi permette anche di ottimizzare il contributo della ventilazione naturale controllata e genera ulteriori riduzioni dei fabbisogni energetici per raffrescamento qualora le condizioni climatiche esterne siano favorevoli. Tali logiche consentono pertanto di espandere le potenzialità dei sistemi di automazione alla gestione non solo degli impianti ma anche delle componenti tecnologiche dell'organismo edilizio, favorendo un comportamento più efficiente dei numerosi sistemi e sub-sistemi coinvolti e puntando alla minimizzazione dei fabbisogni, all'adattività al contesto nonché all'uso razionale dell'energia.

the contribution of controlled natural ventilation and generates further reductions in energy requirements for cooling when the outdoor conditions are favorable.

These logics enable to expand the potentialities of automation systems to the management not only of plants but also of technological components of the buildings, promoting a more efficient behavior of several involved systems and sub-systems and aiming at minimizing energy needs, improving adaptability levels to the context and the energy use.

6. References

1. Kroner W.M., "An intelligent and responsive architecture", *Automation in Construction* 6, 381-393, (1997)
2. Ghiaus C., Inard C., (2001), *Energy and environmental issues of smart buildings, SCATS: Final Report, Chapter 2*, Public, Oxford Brookes University, UK
3. Ochoa C.E., Capeluto I.G., "Strategic decision-making for intelligent buildings: Comparative impact of passive design strategies and active features in a hot climate", *Building and Environment* 43, 1829–1839, (2008)
4. Osello A., Acquaviva A., Aghemo C., Blaso L., Dalmasso D., Erba D., Fracastoro G., Gondre D., Jahn M., Macii E., Patti E., Pellegrino A., Piumatti P., Pramudianto F., Savoyat J., Spirito M., Tomasi R., Virgone J., "Energy saving in existing buildings by an intelligent use of interoperable ICTs", *Energy Efficiency* 6:707–723, (2013)
5. Pierucci A., Dell'Osso G.R., Iannone F., (2013), *Sistemi di building automation nelle valutazioni LCA sulle strategie di riqualificazione energetica*, Atti del convegno ISTeA 2013, ICT per la Produzione Edilizia, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna
6. Aghemo C., Blaso L., Pellegrino A., "Building automation and control systems: A case study to evaluate the energy and environmental performances of a lighting control system in offices", *Automation in Construction* 43, 10–22, (2014)
7. UNI EN 12464-1:2011, *Luce e illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro - Parte 1: Posti di lavoro in interni*