Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO

Analisi dell'influenza del comportamento dell'utenza sui consumi energetici finali degli edifici: fattori influenzanti, modelli probabilistici per la simulazione degli occupanti e profili comportamentali tipo (IEA – EBC Annex 66)

SP. Corgnati, V. Fabi

POLITECNICO DI TORINO

Report RdS/2013/108

ANALISI DELL'INFLUENZA DEL COMPORTAMENTO DELL'UTENZA SUI CONSUMI ENERGETICI FINALI DEGLI EDIFICI: FATTORI INFLUENZANTI, MODELLI PROBABILISTICI PER LA SIMULAZIONE DEGLI OCCUPANTI E PROFILI COMPORTAMENTALI TIPO
(IEA – EBC ANNEX 66)

S. Corgnati, V. Fabi (Politecnico di Torino)

Settembre 2014

Report Ricerca di Sistema Elettrico
Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA
Piano Annuale di Realizzazione 2013
Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica
Progetto: Sviluppo di modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica sul patrimonio immobiliare pubblico
Obiettivo: Edifici pubblici tipo, Indici di benchmark di consumo per tipologie di edificio ad uso ufficio e scuole. Applicabilità di tecnologie innovative e modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica
Responsabile del Progetto: Gaetano Fasano, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Analisi dell'influenza del comportamento dell'utenza sui consumi energetici finali degli edifici: fattori influenzanti, modelli probabilistici per la simulazione degli occupanti e profili comportamentali tipo"
Responsabile scientifico ENEA: Gaetano Fasano
Responsabile scientifico Politecnico di Torino: Stefano Corgnati

Indice

SOMMARIO 4

1 DESCRIZIONE DEL PROGETTO ANNEX 66 "*DEFINITION AND SIMULATION OF OCCUPANT BEHAVIOR IN BUILDINGS*" 5

1.1 INTRODUZIONE 5
1.2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ 7
1.3 MODELLI DI COMPORTAMENTO DEGLI UTENTI ALL'INTERNO DI EDIFICI RESIDENZIALI 8
1.4 MODELLI DI COMPORTAMENTO DEGLI UTENTI ALL'INTERNO DI EDIFICI ADIBITI A TERZIARIO 10
1.5 CONCLUSIONI 11

2 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI 12

3 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI 13

Sommario

L'attività condotta dal gruppo di ricerca TEBE (www.polito.it/tebe) del Dipartimento Energia del Politecnico di Torino si è sviluppata all'interno delle linee di approfondimento dettate dai progetti EBC-Annex 59 "High Temperature Cooling & Low Temperature Heating In Buildings" [8], Annex 65 "Long Term Performance of Super-Insulation in Building Components & Systems" [9] e Annex 66 "Definition and Simulation of Occupant Behavior in Buildings" [1] della International Energy Agency.

Il gruppo ha anche intrapreso, a partire dalla prima riunione, la partecipazione all'Annex 31 "Energy storage with Net Zero Energy Buildings and Districts: Optimization and Automation" (IEA ECES).

Nel presente report viene presentata l'attività relative all'Annex 66.

L'Annex 66 "Definition and Simulation of Occupant Behavior in Buildings" [1] della International Energy Agency, iniziato con le riunioni preliminari nel 2014 avrà termine nel 2017. Il gruppo TEBE ha partecipato in modo propositivo fin da subito allo sviluppo del progetto stesso. Alla luce degli importanti risultati ottenuti nello sviluppo del precedente progetto, il gruppo TEBE a partecipato in prima linea allo sviluppo della proposta per il nuovo Annex, presentata nell'ExCo meeting di Roma in giugno 2013.

In generale, lo scopo del progetto IEA-EBC Annex 66 [1] è l'approfondimento dei metodi di modellazione e implementazione del comportamento dell'utenza per ottenere una previsione dei consumi totali e degli usi finali di energia negli edifici più accurata e realistica. A questo si affianca la raccolta e l'analisi critica di esperienze significative per una migliore comprensione del comportamento energetico reale degli edifici. L'analisi del comportamento dell'utenza sarà svolta quindi sia con modelli predittivi diretti che indiretti, al fine di identificare e valutare l'efficacia di misure, tecniche e politiche di risparmio energetico applicate a diverse scale di studio, dalla scala del singolo edificio fino a quella grande campione edilizio sia negli edifici residenziali sia negli edifici adibiti ad uffici.

La ricerca prenderà conseguentemente in considerazione l'individuazione delle relazioni tra comportamento dell'utente, altri fattori influenzanti e consumi energetici degli edifici con particolare riferimento agli aspetti agli aspetti di apertura e chiusura delle finestre, regolazione dei set-point di temperatura e accensioni e spegnimenti della luce artificiale, ma anche delle azioni combinate sul termostato per il controllo della temperatura ambiente e l'uso delle finestre. Lo studio sarà rivolto inoltre anche alla definizione di un modello analitico per la caratterizzazione degli usi finali dell'energia e la sua validazione.

Il lavoro è strutturato in due fasi, come segue:

A.1 -Modelli di comportamento degli utenti all'interno di edifici residenziali.

Finalità

Raccolta, esame e armonizzazione delle esperienze presenti nella letteratura internazionali riguardanti l'uso di metodi statistici e di modelli predittivi per la modellazione del comportamento dell'utente in ambito residenziale.

Azione condotta

Le azioni comportamentali degli utenti (come ad esempio apertura/chiusura finestre, uso dell'illuminazione artificiale, o uso dell'impianto di riscaldamento) negli edifici residenziali hanno un impatto significativo nella prestazione energetica degli edifici. Questa attività di ricerca ha l'obiettivo di definire, classificare, descrivere, misurare, modellare e validare procedure appropriate per la sperimentazione in campo su diversi casi di studio. Di primaria importanza risulta quindi lo sviluppo di tecnologie affidabili per la

modellazione delle azioni comportamentali e di procedure scientifiche rigorose di validazione dei modelli. L'applicazione a casi di studio reali risulta una attività chiave in questo lavoro di ricerca.

A. 2 – Modelli di comportamento degli utenti all'interno di edifici adibiti a terziario

Finalità

Studio e individuazione delle relazioni tra comportamento dell'utente, altri fattori influenzanti e consumi energetici degli edifici con particolare riferimento agli aspetti di apertura e chiusura delle finestre; proposta di un modello analitico.

Azione condotta

Le prestazioni energetiche degli edifici per uffici sono fortemente influenzate sia dalle azioni degli utenti che lavorano sia dal comportamento degli operatori dell'edificio stesso. Le azioni di questi operatori infatti includono l'accensione e lo spegnimento dei gruppi frigoriferi, dell'impianto di ventilazione, etc… e nello specificare i set-point dei vari apparati. Le interazioni tra gli occupanti inoltre sono un altro fattore fondamentale di indagine in quanto la maggior parte degli lavoratori condividono gli uffici. Gli output previsti per questa attività di ricerca sono relativi alla descrizione delle azioni comportamentali degli utenti degli edifici adibiti ad uffici per la simulazione energetica dinamica, considerando un approccio sistematico di misurazione modellazione e validazione valido per questa tipologia di edifici.

1 Descrizione del progetto Annex 66

1.1 Introduzione

Numerose ricerche [2; 3; 4; 5; 6; 7; 8] sono state condotte al fine di comprendere le implicazioni socio economiche dell'uso, solo in parte consapevole, che gli utenti fanno dell'energia in ambito residenziale e lavorativo. Grazie a tali studi è stato possibile costatare come il comportamento energetico dell'utente non sia veicolato esclusivamente da motivazioni di tipo economico, ma piuttosto da stimoli fisici, psicologici, ambientali e sociali nella ricerca di una condizione di comfort. In quest'ottica, negli ultimi anni, si è osservato un indirizzamento del tema di ricerca sul comportamento dell'utente verso ambiti non solo pertinenti alla sfera della fisica dell'edificio, ma anche, e soprattutto, verso il settore delle scienze sociali, oltre che ad ambiti concernenti la psicologia e le scienze umane. In questo contesto, il progetto internazionale IEA Annex 66 ECB "Definition and Simulation of Occupant Behavior in Buildings" [1] ha come principale obiettivo una migliore descrizione dei consumi energetici degli edifici attraverso una profonda analisi dell'influenza del comportamento dell'utente sulla qualità ambientale indoor e sulla prestazione energetica degli edifici.

Nell'intenzione di ricondursi a tale ambito di studio, la metodologia proposta dalla presente linea di ricerca si sviluppa, dapprima, attraverso un approfondimento dei principali fattori influenzanti, anche chiamati drivers, che letteralmente guidano, spingono, l'utente alla realizzazione di determinate azioni al fine di ristabilire la propria condizione di comfort all'interno degli ambienti in cui vivono e lavorano. Poiché le azioni dell'utente sono guidate dal complesso intreccio di "stimoli" interni ed esterni, queste sono difficilmente prevedibili secondo schemi e procedure di tipo standardizzato. L'approccio tradizionale ai programmi di simulazione dinamica, per contro, elabora previsioni dei consumi energetici in maniera del tutto deterministica. Da una parte, infatti, fa uso di parametri di input standard e valutati per via deterministica: le condizioni interne ed esterne dell'edificio simulate durante la fase di dimensionamento del fabbisogno energetico degli edifici sono considerate stabili e corrispondenti alle condizioni medie, senza tenere però in considerazione possibili fluttuazioni annuali. D'altra parte, il comportamento dell'utente all'interno dell'edificio è replicato per mezzo di schedule standard (periodo di occupazione, livello

d'illuminazione, numero di ricambi orari, set-point dei termostati, ecc). Nella realtà, tuttavia, l'interazione delle utenze con i sistemi di controllo e con l'involucro dell'edificio possono inficiare notevolmente la validità di tali assunzioni durante la vita utile dell'edificio. Pertanto, appare chiaro come la mancata sensibilità di tale metodologia "standard" alla naturale variabilità del comportamento dell'utente sia la fonte principale della discrepanza tra consumi energetici previsti e reali negli edifici.
Per questo motivo, nell'ambito del progetto internazionale IEA Annex 66 [1] i vuole concentrare sullo sviluppo e la proposta di un nuovo approccio metodologico in grado di comprendere il complesso sistema di relazioni tra stimoli comportamentali esterni e interni e quindi, in seguito, simulare il processo che conduce gli utenti all'interazione con il sistema edificio-impianto, al fine di ristabilire condizioni accettabili di qualità dell'ambiente interno.
Sulla base delle esperienze condotte e delle risultanze emerse nei precedenti studi, l'obiettivo dell'attività da sviluppare nell'ambito del presente contratto è pertanto la definizione di nuovi modelli matematici che rappresentano il comportamento dell'utente sviluppati sulla base dell'analisi statistica di dati ottenuti dal monitoraggio della reale interazione uomo-edificio.
Gli output previsti dovrebbero risultare in una combinazione di metodi per misurare e ottenere i dati sulle interazioni degli utenti, nuovi modelli comportamentali, moduli software che descrivono e simulano il comportamento degli utenti, l'integrazione dei moduli software all'interno dei programmi di simulazione dinamica delle prestazioni energetiche degli edifici, e l'utilizzo di casi di studio per dimostrare l'applicazione dei modelli per risolvere i problemi reali di migliorare il progetto dell'edificio, il suo funzionamento di esercizio e il retrofit per ridurre i consumi energetici degli edifici.
L'attività di ricerca si pone altresì l'obiettivo di ottenere un'indicazione dell'abilità dei modelli comportamentali di replicare l'interazione dell'occupante con i sistemi di controllo e con l'involucro edilizio e le eventuali differenze d'influenza di diversi profili di operatività. Tale scopo è raggiunto mediante la definizione e l'analisi di differenti profili tipo di utenza domestica (pattern comportamentali) e la valutazione della loro influenza sul comfort termico e i consumi energetici in edifici residenziali. Seguendo tale approccio, l'attività di ricerca tenta di evidenziare quale combinazione di profilo comportamentale di utente tipo sia il più "energy-waster" o "energy-saver" nell'ambito residenziale, come negli edifici per uffici.
I metodi di analisi, i modelli sviluppati e i risultati di questa linea di ricerca possono essere considerati, in una prospettiva a lungo miraggio, un punto di inizio per successivi sviluppi volti ad un perfezionamento nella previsione della performance energetica degli edifici. La messa in campo di una nuova metodologia e di nuovi strumenti predittivi, attraverso una più accurata descrizione dei profili comportamentali degli utenti, mira a rappresentare un passo importante verso la pre-standardizzazione della previsione dei consumi energetici degli edifici.

L'attività condotta dal gruppo di ricerca TEBE (www.polito.it/tebe) del Dipartimento Energia del Politecnico di Torino si è sviluppata all'interno delle linee di approfondimento dettate dal progetto ECBCS-Annex 66 "Definition and Simulation of Occupant Behavior in Buildings" della International Energy Agency, iniziato con le riunioni preliminari nell'aprile del 2014 e avrà termine nel 2017 [1]. Il gruppo TEBE ha partecipato in modo propositivo fin da subito allo sviluppo del progetto stesso, supportando attivamente le attività di preparazione del progetto.
In generale, lo scopo del progetto IEA-EBC Annex 66 è quello di creare una piattaforma di definizione del comportamento degli occupanti standard, stabilire una metodologia di simulazione quantitativa di modellazione del comportamento degli occupanti degli edifici, e capire l'influenza del comportamento degli occupanti sulla consumo energetico e l'ambiente interno degli edifici. A questo si affianca la raccolta e l'analisi critica di esperienze significative per una migliore comprensione del comportamento energetico reale degli edifici.
L'Annex 66 ha come principale obiettivo una migliore descrizione dei consumi energetici degli edifici attraverso una profonda analisi dell'influenza del comportamento dell'utente sulla qualità ambientale indoor e sulla prestazione energetica degli edifici.
Nell'intenzione di ricondursi a tale ambito di studio, la metodologia proposta dalla presente linea di ricerca si sviluppa, dapprima, attraverso un approfondimento dei principali fattori influenzanti, anche chiamati

drivers, che letteralmente guidano, spingono, l'utente alla realizzazione di determinate azioni al fine di ristabilire la propria condizione di comfort all'interno degli ambienti in cui vivono e lavorano. Poiché le azioni dell'utente sono guidate dal complesso intreccio di "stimoli" interni ed esterni, queste sono difficilmente prevedibili secondo schemi e procedure di tipo standardizzato. L'approccio tradizionale ai programmi di simulazione dinamica, per contro, elabora previsioni dei consumi energetici in maniera del tutto deterministica. Da una parte, infatti, fa uso di parametri di input standard e valutati per via deterministica: le condizioni interne ed esterne dell'edificio simulate durante la fase di dimensionamento del fabbisogno energetico degli edifici sono considerate stabili e corrispondenti alle condizioni medie, senza tenere però in considerazione possibili fluttuazioni annuali. D'altra parte, il comportamento dell'utente all'interno dell'edificio è replicato per mezzo di schedule standard (periodo di occupazione, livello d'illuminazione, numero di ricambi orari, set-point dei termostati, ecc). Nella realtà, tuttavia, l'interazione delle utenze con i sistemi di controllo e con l'involucro dell'edificio possono inficiare notevolmente la validità di tali assunzioni durante la vita utile dell'edificio. Pertanto, appare chiaro come la mancata sensibilità di tale metodologia "standard" alla naturale variabilità del comportamento dell'utente sia la fonte principale della discrepanza tra consumi energetici previsti e reali negli edifici.
Per questo motivo, nell'ambito del progetto internazionale IEA Annex 66 ci vuole concentrare sullo sviluppo e la proposta di un nuovo approccio metodologico in grado di comprendere il complesso sistema di relazioni tra stimoli comportamentali esterni e interni e quindi, in seguito, simulare il processo che conduce gli utenti all'interazione con il sistema edificio-impianto, al fine di ristabilire condizioni accettabili di qualità dell'ambiente interno.
Per raggiungere gli obiettivi sopra illustrati, l´Annex 66 si divide in 4 Subtask:

- Subtask A: Occupant movement and presence models in buildings
- Subtask B: Occupant action models in residential buildings
- Subtask C: Occupant action models in office buildings
- Subtask D: Integration of occupant action models with BEM Programs

1.2 Descrizione delle attività

Lo studio condotto con la seguente attività rappresenta uno studio teorico ed empirico sull'incertezza della valutazione del consumo energetico considerando il comportamento degli occupanti in edifici residenziali. Lo scopo principale di questa ricerca è quello di proporre una metodologia per modellare il comportamento dell'utente con riferimento ai consumi energetici reali e applicata ad un caso di studio. La metodologia si delinea con uno spostamento verso una modellazione probabilistica del comportamento degli occupanti relativo al controllo dell'ambiente interno: l'obiettivo è quello di determinare modelli di comportamento degli utenti capaci di descrivere l'interazione con l'edificio e i sistemi. La procedura proposta viene quindi applicata a dei casi di studio: in particolare vengono definiti sia dei modelli di uso delle finestre ("window opening behaviour") sia modelli di preferenze di set-point di riscaldamento in ambito residenziale.
Questa attività, dunque, si basa sul presupposto che attraverso solo il passaggio della simulazione energetica dinamica da un approccio deterministico ad una probabilistico sarà possibile ottenere una previsione dei consumi energetici più vicina alla realtà. Questo approccio probabilistico è legato alla variabilità e alla imprevedibilità del comportamento dell'occupante durante l'intero ciclo di vita dell'edificio: cruciale diviene quindi tenere conto della presenza degli occupanti e delle loro interazioni con l'edificio e sistemi. In realtà, allo stato attuale, gli strumenti di simulazione energetica degli edifici riproducono spesso le dinamiche degli edifici usando equazioni numeriche che modellano comportamenti solo deterministici (completamente prevedibili e ripetibili). In tal modo, con il termine "simulazione del comportamento degli occupanti" si fa riferimento a una simulazione numerica che prevede la generazione di "schedules" fisse relative sia all'occupazione che al comportamento degli utenti. Queste schedules dunque rappresentano un comportamento immaginario di un occupante dell'edificio nel corso di una giornata tipica. Effettivamente, questa è una limitazione importante degli strumenti di simulazione

energetica delle prestazioni energetiche degli edifici, mettendo in evidenza che i risultati ottenuti sono essenzialmente non realistici.
L'approccio alla modellazione statistica si baserà su quattro passaggi operazionali:

Presenza e movimento degli occupanti all'interno degli edifici.

La conoscenza della presenza e il movimento degli utenti all'interno degli edifici è fondamentale nella ricerca del comportamento degli utenti, è infatti prerequisito essenziale per la definizione delle interazioni manuali degli utenti con i sistemi energetici installati nello spazio. Attualmente, il movimento e la presenza degli utenti negli edifici è sottostimata dalla ricerca internazionale e semplificata tramite patterns definiti e schedulati. Il lavoro di ricerca si rivolge dunque alla definizione, classificazione, descrizione, misurazione e modellazione del movimento degli occupanti negli edifici. L'obiettivo primario di questa attività è rivolto dunque ad ottenere ina definizione standard e lo sviluppo di una metodologia per diversi modelli di movimento degli occupanti.

Modelli di comportamento degli utenti all'interno di edifici residenziali.

Le azioni comportamentali degli utenti (come ad esempio apertura/chiusura finestre, uso dell'illuminazione artificiale, o uso dell'impianto di riscaldamento) negli edifici residenziali hanno un impatto significativo nella prestazione energetica degli edifici. Questa attività di ricerca ha l'obiettivo di definire, classificare, descrivere, misurare, modellare e validare procedure appropriate per la sperimentazione in campo su diversi casi di studio. Di primaria importanza risulta quindi lo sviluppo di tecnologie affidabili per la modellazione delle azioni comportamentali e di procedure scientifiche rigorose di validazione dei modelli. L'applicazione a casi di studio reali risulta una attività chiave in questo lavoro di ricerca.

Modelli di comportamento degli utenti all'interno di edifici adibiti a terziario

Le prestazioni energetiche degli edifici per uffici sono fortemente influenzate sia dalle azioni degli utenti che lavorano sia dal comportamento degli operatori dell'edificio stesso. Le azioni di questi operatori infatti includono l'accensione e lo spegnimento dei gruppi frigoriferi, dell'impianto di ventilazione, etc… e nello specificare i set-point dei vari apparati. Le interazioni tra gli occupanti inoltre sono un altro fattore fondamentale di indagine in quanto la maggior parte degli lavoratori condividono gli uffici. Gli output previsti per questa attività di ricerca sono relativi alla descrizione delle azioni comportamentali degli utenti degli edifici adibiti ad uffici per la simulazione energetica dinamica, considerando un approccio sistematico di misurazione modellazione e validazione valido per questa tipologia di edifici.

Integrazione dei modelli comportamentali all'interno dei programmi di simulazione dinamica degli edifici

È essenziale integrare i modelli comportamentali degli occupanti nei programmi di simulazione energetica dinamica maggiormente utilizzati per pesare l'impatto dei diversi modelli comportamentali degli utenti nella prestazione energetica degli edifici. Questa attività di ricerca si pone l'obiettivo di sviluppare e integrare i software attualmente disponibili come Energy Plus, DeST, TRNSYS e IDA ICE. Moduli software di azioni comportamentali sono quindi i risultati attesi da questo studio, insieme a guide per gli sviluppatori di software. Il Gruppo di Ricerca Tebe del Dipartimento di Energia del Politecnico di Torino partecipa all'Annex 66 nelle attività dei Subtask B e Subtask C.
L'apporto nel Subtask B riguarda la definizione di profili di interazione tra l'occupante e i sistemi installati all'interno degli edifici residenziali.
L'apporto nel Subtask C riguarda la definizione di profili di interazione tra l'occupante e i sistemi installati all'interno degli edifici per uffici.

1.3 Modelli di comportamento degli utenti all'interno di edifici residenziali.

La finalità di questa azione è la raccolta, l'esame e l'armonizzazione delle esperienze presenti nella letteratura internazionali riguardanti l'uso di metodi statistici e di modelli predittivi per la modellazione del comportamento dell'utente in ambito residenziale.

Lo studio condotto dal gruppo di ricerca è stato quello di analizzare i dati provenienti da diverse indagini in campo in 15 abitazioni per dedurre dei modelli statistici, che possono essere utilizzati per le previsioni migliori e più realistiche di consumo di energia negli edifici. Parallelamente è stato condotto uno studio di implementazione dei modelli statistici esistenti dalla letteratura in un programma di simulazione energetica dinamica e confrontare i risultati delle simulazioni con i dati misurati da un edificio esistente con l'obiettivo di validare i modelli statistici.
L'azione condotta all'interno dell'Annex 66 contribuisce a determinare un cambiamento nella considerazione del comportamento dell'utente all'interno della previsione dei consumi energetici degli edifici da totalmente deterministico (schedules fisse e set-point predeterminati) a un approccio probabilistico sperimentale in scenari successivi della modellazione dinamica statistica. A ogni modello stocastico è stata aggiunta variabilità probabilistica degli input considerati, secondo un approccio incrementale: partendo da un approccio standardizzato e deterministico alla modellazione dinamica, la ricerca ha di seguito definito dei modelli cosiddetti "ibridi". Tali modelli considerano in maniera probabilistica tutte le variabili correlate al comportamento dell'utente, in particolare legato all'uso delle finestre (apertura/chiusura) e alla selezione della temperatura di set-point per il riscaldamento.
L'apertura e la chiusura delle finestre e la selezione della temperatura di set-point sono stati considerati input di tipo probabilistico. Per ognuna delle due variabili è stata costruita una funzione di regressione logistica, in seguito implementata nel programma di simulazione energetica dinamica dell'edificio IDA Ice.
Nell'ambito di questa attività sono stati sviluppati quattro modelli statistici predittivi del comportamento dell'utente all'interno degli edifici residenziali. A titolo di esempio delle analisi statistiche di probabilità effettuate per l'uso delle finestre e l'uso del termostato, in figura 1, viene raffigurato l'andamento della probabilità di apertura della finestra in funzione del momento della giornata e della concentrazione di CO2.

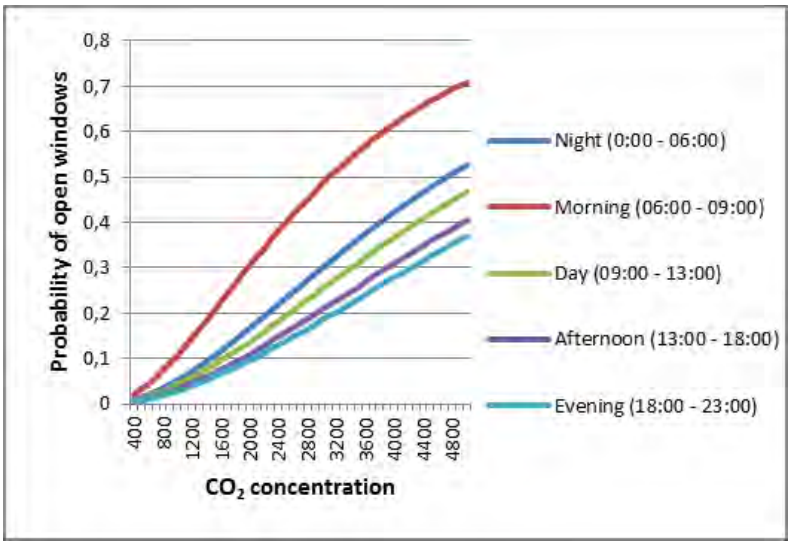

Figura 1. Raffigurazione della probabilità di aperture della finestra per diversi momenti della giornata e concentrazione del livello di CO_2

A ogni modello statistico è stata aggiunta, secondo un approccio incrementale, una variabilità probabilistica degli input considerati: partendo da un approccio standardizzato e deterministico alla modellazione dinamica, la ricerca ha di seguito definito modelli cosiddetti "ibridi". Tali modelli considerano in maniera probabilistica tutte le variabili correlate al comportamento dell'utente nell'ambito dell'apertura/chiusura finestre e la selezione della temperatura di set-point per il riscaldamento.

I risultati della ricerca hanno dimostrato che i settaggi di temperatura di set-point durante il periodo di riscaldamento e il numero di ricambi orari, in ambienti residenziali previsti da normativa, sono ben lontani dalle reali preferenze degli utenti negli edifici. Per tale ragione, non considerare l'interazione umana con i sistemi di controllo e l'involucro edilizio porterà necessariamente a una sottostima dei consumi energetici

in edifici residenziali. Nello specifico, lo studio ha evidenziato il massimo scostamento nella previsione dei consumi energetici ad Atene, nello specifico per la categoria di comfort III. Tale discrepanza è principalmente attribuibile al fatto che, soprattutto in climi mediterranei, gli edifici non climatizzati tendono a surriscaldarsi durante i mesi più caldi dell'anno e pertanto gli utenti tendono naturalmente ad aumentare le portate di ventilazione (+70% in Luglio, rispetto ai valori standard previsti dalla normativa standard).

1.4 Modelli di comportamento degli utenti all'interno di edifici adibiti a terziario.

La finalità di questa azione è lo studio e l'individuazione delle relazioni tra comportamento degli occupanti degli edifici per uffici, altri fattori influenzanti e i consumi energetici degli edifici con particolare riferimento agli aspetti di apertura e chiusura delle finestre, accensioni e spegnimenti della luce.

Da diversi studi hanno dimostrato che le azioni degli occupanti per l'illuminazione e la ventilazione naturale sono strettamente collegate al fatto che le persone stanno entrando o lasciando i luoghi di lavoro, il tempo di presenza (arrivo, permanenza e partenza dal luogo di lavoro) è un importante fattore comportamentale di influenza del comportamento da includere nelle analisi oltre le variabili ambientali indoor e outdoor.

Modelli comportamentali diversi legati alle preferenze degli occupanti di illuminazione artificiale e di ventilazione naturale sono ottenuti dai dati raccolti nel corso di campagne di monitoraggio in un edificio per uffici. E 'stata valutata la probabilità che un'azione (interruttore acceso o spento, finestra aperta/chiusa) può verificarsi per diversi modelli comportamentali (utenti attivi e passivi), definiti sulla base del numero di azioni sui periodi di lavoro. Dai modelli ottenuti con le analisi statistiche è emerso che il comportamento degli utenti è influenzato da molti parametri, ottenendo un risultato che rappresenta un passo in avanti rispetto agli studi precedenti (figura 2). Infatti, anche tenendo conto del modello di accensione della luce artificiale più semplificato, due nuovi parametri ambientali vengono usati per ottenere la probabilità di accadimento di un'azione: temperatura interna ed altezza solare. Si è capito che gli utenti sono più propensi ad accendere le luci che a spegnerle. Questa situazione sottolinea quanto sia importante per informare ed educare le persone in relazione a questo argomento.

I risultati ottenuti dagli studi effettuati dimostrano che la presenza di utenti attivi all'interno degli uffici non implica un minore consumo energetico: la loro possibilità di spegnere la luce è superiore, ma anche la possibilità di accenderla. I prossimi passi saranno l'implementazione del modello in un software energetico dinamico per verificare quantitativamente l'impatto del comportamento sui consumi di energia.

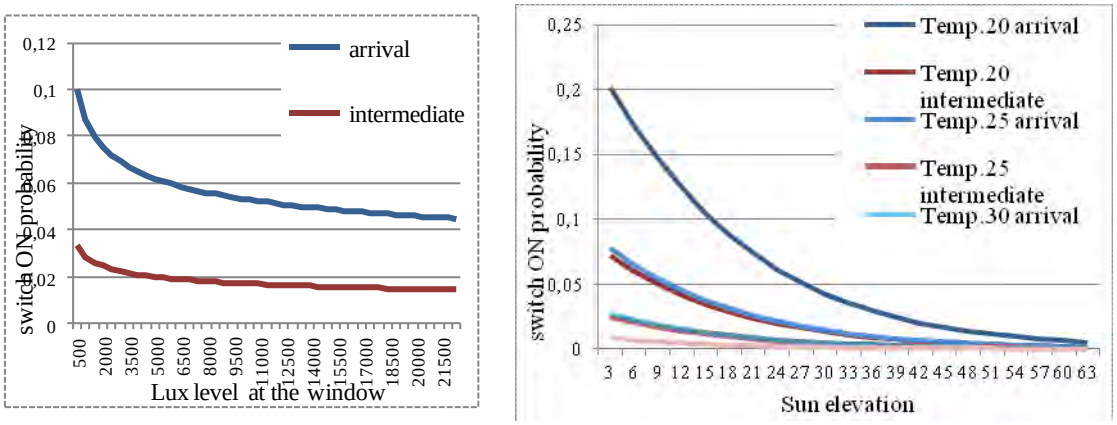

Figura 2. Curve di probabilità di accensione della luce artificiale legate a diversi fattori influenzanti

Un altro campo di applicazione dello studio è stato quello di indagare sulle implicazioni delle diverse ipotesi riguardo il funzionamento della finestra in un edifici per uffici (figura 3), ventilato sia meccanicamente che

naturalmente, posto in diverse località, nello specifico Torino e Atene, con l'obiettivo di valutare l'influenza del clima sui consumi energetici previsti. A questo fine è stata sviluppata una simulazione numerica dinamica, che prende in considerazione la possibilità che l'azione di apertura/chiusura della finestra si svolga attraverso parametri di input statistici, al fine di simulare le prestazioni energetiche dell'edificio.

Figura 3. Pianta del piano tipo dell'edificio preso come riferimento per lo studio condotto

L'implementazione dei modelli nel programma di simulazione ha portato ad evidenziare uno scostamento tra i valori ottenuti con l'approccio "deterministico" e " probabilistico" (figura 4).

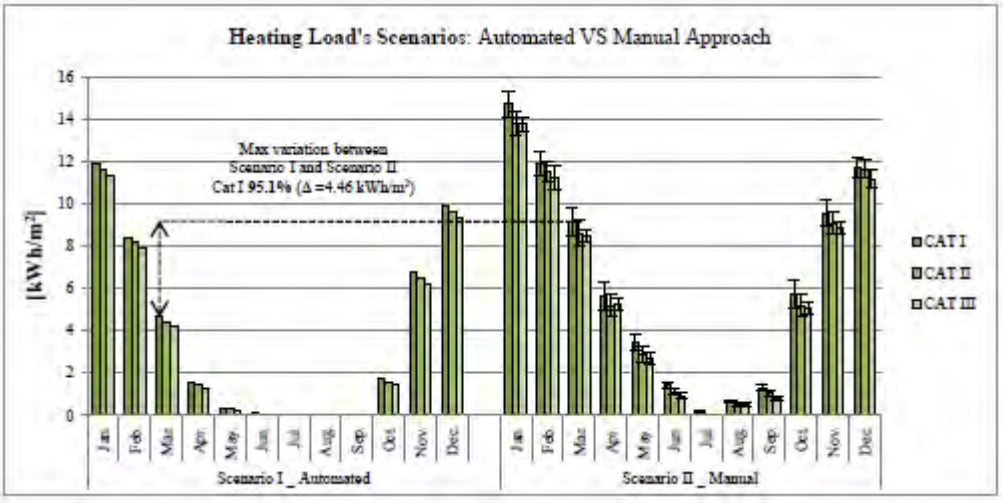

Figura 4. Fabbisogni energetici per riscaldamento dell'edificio simulato con le schedule deterministiche e probabilistiche.

1.5 Conclusioni

L'attività condotta dal gruppo di ricerca sul tema definizione della valutazione sui consumi energetici dei comportamenti dell'utenza, si è delineata mediante uno studio teorico ed empirico sull'incertezza della valutazione del consumo energetico dovuta al comportamento degli occupanti in edifici residenziali. Lo scopo principale di questa ricerca è quello di proporre una metodologia per modellare e simulare il comportamento dell'utente nel contesto dei consumi energetici reali, connessa alla sua applicazione dei casi di studio. La metodologia si delinea con uno spostamento verso una modellazione probabilistica del comportamento degli occupanti relativo al controllo dell'ambiente interno: l'obiettivo è quello di

determinare modelli di comportamento degli utenti capaci di descrivere l'interazione con l'edificio e i sistemi.

La procedura proposta viene quindi applicata a dei casi di studio: vengono definiti dei modelli di comportamento degli occupanti relativi all'uso delle finestre e all'uso del termostato in ambito residenziale e in edifici adibiti a terziario. In parallelo si è quindi indagata l'influenza di differenti livelli d'interazione con i principali sistemi di controllo delle condizioni climatiche e ambientali a disposizione degli utenti, sul livello di comfort termico e dunque sui consumi energetici per il riscaldamento. Profili comportamentali per utenti Attivi, Medi, Passivi sono stati implementati secondo passaggi logici incrementali al fine di ottenere la più accurata riproduzione possibile dell'interazione dell'utente con i sistemi di controllo e l'involucro edilizio. Seguendo tale approccio, la ricerca qui presentata ha evidenziato quale combinazione di profilo comportamentale di utente sia il più "energy-waster" o "energy-saver" nell'ambito degli edifici residenziali.

Nel complesso, lo studio condotto sottolinea l'importanza di indagare e descrivere il comportamento dell'individuo legato all'interazione con edifici e sistemi, al fine di comprendere le differenze nei consumi di energia reali degli edifici. In sintesi, il valore aggiunto dell'attività svolta rispetto allo stato dell'arte, si delinea attraverso l'identificazione della complessità e multidisciplinarità del tema con una profonda conoscenza della natura, logica, tipologia del comportamento dell'utente legato all'uso di energia negli edifici e la proposta di un inquadramento comune di lavoro tra scienze tecniche e scienze sociali. Inoltre, il vero punto di innovazione della ricerca sul comportamento dell'utente legato all'uso dell'energia, è stato lo sviluppo di una metodologia per modellare e simulare il comportamento "energetico" dell'utente al fine di ottenere una previsione più accurata delle prestazioni energetiche e ambientali degli edifici.

Infine, è da sottolineare come nonostante l'applicazione descritta in questa attività sia limitata per la maggior parte all'analisi delle azioni dell'utente nell'ambito residenziale, il metodo presentato può essere applicato anche ad altri tipi di azioni comportamentali in edifici per uffici.

2 Riferimenti bibliografici

1. IEA – EBC Annex 66. "Definition and simulation". 2014-2017.
2. Haldi F., Robinson D., Interactions with window openings by office occupants, Building and Environment 44 (2009) 2378-2395.
3. Rijal H. B., Tuohy P., Humphreys M. A., Nicol J. F., Using results from field surveys to predict the effect of open windows on thermal comfort and energy use in buildings, Energy and Buildings 39 (2007) 823-836.
4. Andersen R.V., Olesen B.W., Toftum J. Modelling window opening behavior in Danish dwellings. Proceedings of Indoor Air 2011: the 12th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Austin, Texas.
5. Nicol J.F., Humphreys M., A Stochastic Approach to Thermal Comfort-Occupant Behavior and Energy Use in Buildings, ASHRAE Transactions 110(2):554-568 (2004).
6. Yun G.Y., Steemers K, Baker N. Natural ventilation in practice: linking facade design, thermal performance, occupant percepion and control. Building Research and Information 2008; 36 (6): 608-624.
7. Herkel S., Knapp U., Pfafferott J., Towards a model of user behavior regarding the manual control of windows in office buildings, Building and environment 43 (2008) 588-600
8. Schweiker M., Shukuya M., Comparison of theoretical and statistical models of air-conditioning-usage behavior in a residential setting under Japanese climatic conditions, Building and Environment 44 (2009) 2137-2149.
9. IEA – EBC Annex 59 "High Temperature Cooling & Low Temperature Heating In Buildings". 2012-2015
10. IEA – EBC Annex 65 "Long Term Performance of Super-Insulation in Building Components & Systems". 2013- 2017

11. Reference Buildings at the Department of Energy (DOE) website http://www1.eere.energy.gov/buildings/commercial/ref_buildings.html
12. Weather File Database from EnergyPlus website http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm
13. European standard EN15232 : 2007 on "Energy Efficiency in buildings – Influence of Building Automation and Control and Building Management
14. Youssef, Z., Delahaye, A., Huang, L., Trinquet, F., Fournaison, L., Pollerberg, C., Doetsch, C. (2013). State of the art on phase change material slurries. Energy Conversion and Management, 65, 120-132.
15. Delgado, M., Lázaro, A., Mazo, J., Zalba, B. (2012). Review on phase change material emulsions and microencapsulated phase change material slurries: materials, heat transfer studies and applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(1), 253-273.
16. Bugaje, I. M. (1997). Enhancing the thermal response of latent heat storage systems. International journal of energy research, 21(9), 759-766.
17. Sharma, A., Tyagi, V. V., Chen, C. R., Buddhi, D. (2009). Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. Renewable and Sustainable energy reviews, 13(2), 318-345.
18. Serale, G., Baronetto, S., Goia, F., Perino, M., Characterization and Energy Performance of a Slurry PCM-based Solar Thermal Collector: A Numerical Analysis, in Proceedings of SHC, Freiburg, Germany, 23-25 September 2013.
19. Baronetto S., Serale G., Goia F., Perino M., Numerical model of a Slurry PCM based solar Thermal collector, in: Lecture Notes in Electrical Engineering, volume 263, 8th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning, XI'an (China) University of Architecture and Technology, 19-21 October 2013. pp. 13-20.
20. Delgado, M., Lázaro, A., Peñalosa, C., Mazo, J., Zalba, B. (2013). Analysis of the physical stability of PCM slurries. International Journal of Refrigeration, 36(6), 1648-1656.
21. Serale, G., Cascone Y., Capozzoli A., Fabrizio E., Perino M., Potentialities of a low temperature solar heating system based on slurry phase change materials (PCS) in Proceedings of SEB2014 and Energy Procedia.
22. Delgado, M., Lázaro, A., Mazo, J., Marín, J. M., Zalba, B. (2012). Experimental analysis of a microencapsulated PCM slurry as thermal storage system and as heat transfer fluid in laminar flow. Applied Thermal Engineering, 36, 370-377.
23. Kousksou, T., Bruel, P., Cherreau, G., Leoussoff, V., & El Rhafiki, T. (2011). PCM storage for solar DHW: From an unfulfilled promise to a real benefit. Solar Energy, 85(9), 2033–2040. doi:10.1016/j.solener.2011.05.012
24. Haillot, D., Franquet, E., Gibout, S., & Bédécarrats, J.-P. (2013). Optimization of solar DHW system including PCM media. Applied Energy, 109, 470–475. doi:10.1016/j.apenergy.2012.09.062
25. Rabin, Y., Bar-Niv, I., Korin, E., & Mikic, B. (1995). Integrated solar collector storage system based on a salt-hydrate phase-change material. Solar Energy, 55(6), 435-444.

3 Abbreviazioni ed acronimi

IEA - International Energy Agency
EBC – Energy in Buildings and Community Programme
IDA – Indoor Climate and Energy