

LA MAPPATURA DEI DATI SU CONSUMI ENERGETICI E CONDIZIONI DI COMFORT DI UN EDIFICIO ESISTENTE ATTRAVERSO LA MODELLAZIONE INFORMATIVA

DATAMAPPING OF EXISTING BUILDINGS' ENERGY CONSUMPTIONS AND INDOOR COMFORT CONDITIONS THROUGH INFORMATION MODELLING

Antonello Sanna*, Angelo Luigi Camillo Ciribini,
Giuseppe Martino Di Giuda***, Gianluca Gatto*,
Valentina Villa****, Emanuela Quaquero*,
Lavinia Chiara Tagliabue**, Giuseppe Desogus*.**

* Università di Cagliari - Cagliari, Italia.
asanna@unica.it, gatto@diec.unica.it,
equaquero@unica.it, gdesogus@unica.it

** Università di Brescia – Brescia, Italia.
angelo.ciribini@unibs.it, lavinia.tagliabue@unibs.it

***Politecnico di Milano– Milano, Italia.
giuseppe.digiuda@polimi.it

****Politecnico di Torino– Torino, Italia.
valentina.villa@polito.it

Abstract

L'innovazione legata all'introduzione negli edifici dei sistemi e dispositivi BEMS (Building Energy Management System) e BACS (Building Automation and Control System), consente un miglioramento della loro gestione individuando puntualmente le inefficienze esistenti. Essi sono, inoltre, in grado di rendere disponibile una grandissima quantità di dati sui consumi, le condizioni ambientali interne ed esterne ed i profili di utilizzo che possono supportare la pianificazione di interventi di riqualificazione energetica. In altri termini, i BEMS e i BACS, supportano la fase conoscitiva preliminare agli interventi di riqualificazione, definita "diagnosi energetica" e il monitoraggio ex-ante ed ex-post dell'edificio consente di definire dove l'intervento è maggiormente opportuno e di verificarne l'efficacia. D'altro canto, gli attuali sviluppi in tema di digitalizzazione delle informazioni del processo edilizio, che stanno portando ad una diffusione di metodologie e strumenti di Building Information Management, introducono il concetto per cui questi possano fornire un ambiente di immagazzinamento, elaborazione e rappresentazione dei dati acquisiti dai sistemi sopra richiamati. La possibilità di interfaccia con un sistema BIM consente una maggiore correlazione con altre informazioni sull'edificio, come le tipologie costruttive, le modalità di gestione e manutenzione o la presenza di degrado, facilitando una pianificazione degli interventi più efficiente e completa.

Il contributo riassume i risultati raggiunti finora nello studio di una metodologia di correlazione tra il modello informativo del Padiglione Mandolesi della Facoltà di Ingegneria ed Architettura dell'Università di Cagliari e i dati acquisiti da un sistema di monitoraggio dei consumi energetici e delle condizioni ambientali in esso installato. I principali sensori di cui il sistema è dotato sono inseriti nel "digital twin" dell'edificio come oggetti parametrici. Attraverso il modello informativo, è possibile eseguire elaborazioni sui dati acquisiti e confrontarli con i limiti di comfort termico e luminoso. Lo stesso modello è stato inoltre utilizzato per rappresentare i risultati di tali elaborazioni.

Abstract

The innovation of introducing in buildings BEMS (Building Energy Management System) and BACS (Building Automation and Control System) permits their better management, punctually identifying existing inefficiencies. Moreover, these systems make available a high quantity of data on consumptions, indoor and outdoor conditions and users' profiles that can drive the choice of energy retrofit interventions. In other words, BEMS and BACS support the cognitive phase, known as "energy audit", preliminary to the retrofit. The data survey before and after the interventions on buildings, allows to find out where they would be more suitable and to check their effectiveness. On the other side, the current developments in the digitalization of the building process, are leading the diffusion of Building Information Management methods and tools. They introduce the concept by which it is possible to provide an environment where data gathered from the systems above mentioned can be stored, processed and represented. The possible interface with a BIM environment supports a better correlation with further information about the building, such as constructive typologies, maintenance and management profiles, or performance decay, making easier the planning of more complete and effective retrofit strategies and interventions. The paper summarizes the results achieved in the definition of a correlation methodology between the informative model of the "Mandolesi Pavilion" in the Faculty of Engineering and Architecture of the University of Cagliari and the data collected by a monitoring systems about energy consumptions and indoor environmental conditions installed inside the building. The main sensors of the system are included in the "digital twin" of the building as parametric objects. Through the informative model, it is possible to carry out processing on the data and compare them with the thermal and visual comfort thresholds. The same model has also been used to represent the result of such data processing.

Keywords: construction and building performance, cognitive building, building information modeling, building's energy consumption measurement, building's indoor comfort monitoring.

1. Introduzione

Il processo di digitalizzazione che sta interessando il settore delle costruzioni è basato su metodologie [1] e tecnologie [2] che consentono di muovere verso un ambiente costruito che possa avvantaggiarsi durante tutto il ciclo di vita di sistemi di controllo, ottimizzazione e razionalizzazione delle fasi costruttive e gestionali [3]. Gli approfondimenti sull'edificio cognitivo in Italia sono stati iniziati all'Università degli Studi di Brescia dal 2015 con il dimostratore all'interno dello Smart Campus UNIBS [4][5] e poi esportati verso altri contesti applicativi e di ricerca tramite collaborazioni a livello scientifico nazionale [6] e internazionale [7]. Il concetto di IoT applicato alla costruzione e abilitato della metodologia BIM è stato dimostrato nell'eLUX laboratory di UNIBS [8] andando a monitorare le condizioni di comfort e l'occupazione da parte degli utenti dell'edificio universitario usato come dimostratore [9]. La realizzazione di un collegamento dinamico tra i dati dei sensori utilizzati per la verifica e il controllo dei parametri interni di un edificio consente una regolazione in real time e la possibilità di implementare delle logiche di attuazione legate appunto ai processi cognitivi dell'edificio che propone un comportamento adattivo rispetto alle condizioni interne e alle necessità delle utenze [10]. All'edificio del Padiglione Mandolesi dell'Università degli Studi di Cagliari è stata applicata la metodologia sviluppata per il dimostratore di Brescia andando dunque a verificare gli spazi uffici e promuovendo la possibilità di controllare le condizioni interne tramite il modello informativo.

2. Metodologia

La metodologia utilizzata prevede di utilizzare e collegare:

- I sensori installati all'interno degli uffici del Padiglione Mandolesi che rappresentano le test cells della sperimentazione;
- Il database in excel in cui vengono riportati e trascritti i valori rilevati dai sensori per le diverse grandezze monitorate;
- Il modello informativo dell'edificio.

In Figura 1 è riportato il flusso di lavoro che include la raccolta dei dati di input e individua la strutturazione dell'informazione in uscita come output strutturato di piante tematiche che consentono di comprendere quando i valori rilevati dai sensori stanno mostrando delle criticità a livello di comfort. Il flusso di lavoro collega dunque i dati provenienti dai sensori che vengono scritti nel file excel che rappresenta il database del sistema di acquisizione. Tramite uno script in VPL (Visual Programming Language) in Dynamo, è possibile avere la restituzione dei dati rispetto alla data ed ora prescelta. Vengono attribuite le informazioni al sensore che è stato modellato all'interno del modello BIM realizzato con il software Autodesk Revit e anche al locale all'interno del quale il sensore è situato. Tale riconoscimento avviene tramite il suo codice (Cod piano, cod locale, cod oggetto). L'utilizzo di un codice di localizzazione

permette di attribuire univocamente un oggetto ad un locale. Essendo queste informazioni trascritte automaticamente, si può valutare attraverso piante tematiche come siano le condizioni dello spazio in un determinato istante in funzione dell'ID della riga che si fa leggere al file. Per la realizzazione delle piante tematiche di output, sono stati predisposti schemi colore che sulla base dei parametri del locale attribuiscono una colorazione al locale stesso. Tali schemi sono impostati rispetto a soglie di comfort come individuato dalla normativa [11][12] permettono di rilevare se il locale si trovi in una condizione inferiore, pari o superiore al range di comfort prestabilito.

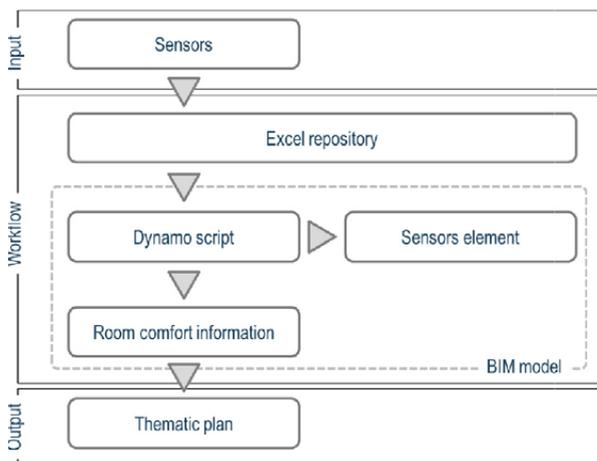


Fig. 1. Flusso di lavoro per la realizzazione un data mapping nel modello BIM dei dati provenienti dai sensori.

Sono state predisposte delle piante tematiche per ogni parametro dei sensori installati e da installare in futuro in modo da avere un modello informativo predisposto alle evoluzioni del sistema di acquisizione dati e di controllo e per promuovere un modello che abbia la capacità di includere informazioni aggiuntive nel tempo durante il ciclo di vita della costruzione e delle fasi di sensorizzazione, controllo e attuazione verso il concetto dell'edificio cognitivo.

3. Caso studio: il Padiglione Mandolesi, Università degli Studi di Cagliari

Il caso studio utilizzato per l'analisi è situato nella Facoltà di Ingegneria e Architettura dell'Università degli Studi di Cagliari ed è denominato Padiglione Mandolesi. L'edificio è una costruzione storica di particolare pregio architettonico progettata nel 1964 e concluso nel 1970 dall'Ing. Enrico Mandolesi. L'edificio ospita

aule, uffici e un auditorium. È stato realizzato un modello informativo utilizzato sia per la verifica dei possibili interventi di retrofit energetico sia per quanto riguarda le condizioni di comfort interno (Figura 2). All'interno dell'edificio sono stati scelti due uffici che sono stati interessati [6] da una sensorizzazione atta a rilevare parametri utili per la definizione delle prestazioni e del comfort all'interno degli spazi dell'edificio al fine di porre le basi per la realizzazione di un edificio cognitivo.



Fig. 2. Edificio del Padiglione Mandolesi del campus della Facoltà di Ingegneria e Architettura dell'Università degli Studi di Cagliari e modello informativo BIM della costruzione.

In Figura 3 sono mostrati gli uffici che sono stati sensorizzati e monitorati e che prevedono una implementazione del sistema nel tempo. La test cell 1 è esposta a sud est con due lati verso l'esterno e due uffici collegati da una porta mentre la test cell 2 è esposta a nord ovest ed è costituita da un solo ufficio con un solo affaccio. I sensori installati rilevano dunque i seguenti parametri relativi al comfort igrotermico e luminoso, al profilo di occupazione e di uso degli spazi, ai consumi relativi alla climatizzazione.

Di seguito sono elencate le grandezze previste nel piano di monitoraggio con il simbolo associato e l'unità di misura relativa:

- Temperatura dell'aria interna T_i [$^{\circ}\text{C}$];
- Umidità relativa interna RH_i [%];
- Illuminamento sul piano orizzontale L [lux];
- Profilo di apertura delle finestre W [-];
- Profilo di presenza degli utenti Occ [-];
- Anidride carbonica CO_2 [ppm];
- Consumi elettrici della pompa di calore e relativi all'illuminazione Q_c [W].

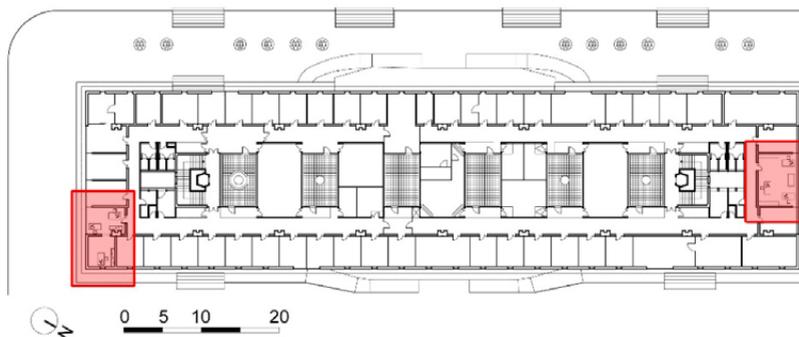


Fig. 3. Localizzazione degli uffici sensorizzati (test cell 1 a sinistra e test cell 2 a destra) del Padiglione Mandolesi del campus della Facoltà di Ingegneria e Architettura dell'Università degli Studi di Cagliari.

I sensori sono dunque stati in parte installati e in parte sono in via di installazione e sono riportati con la seguente numerazione all'interno delle piante dei due uffici test cells.

I sensori che sono già installati e di cui sono dunque disponibili i dati per la valutazione del comfort negli spazi interni sono relativi ai parametri di comfort igrotermico e luminoso e ai consumi energetici: 1) Pompa di calore; 2) Sensori di consumo elettrico; 3) Sensori di consumo elettrico; 4) Sensore di temperatura/umidità relativa/illuminamento. I sensori che sono stati inseriti nel piano di monitoraggio ma di cui per il momento non sono disponibili i dati sono relativi ai profili di occupazione e uso degli spazi oltre che alla qualità dell'aria interna: 5) Sensore di apertura delle finestre; 6) Sensore di presenza; 7) Sensore di misura della concentrazione di anidride carbonica nella stanza.

Ad ogni sensore è stato associato un oggetto parametrico nel modello digitale dell'edificio (Figura 4).

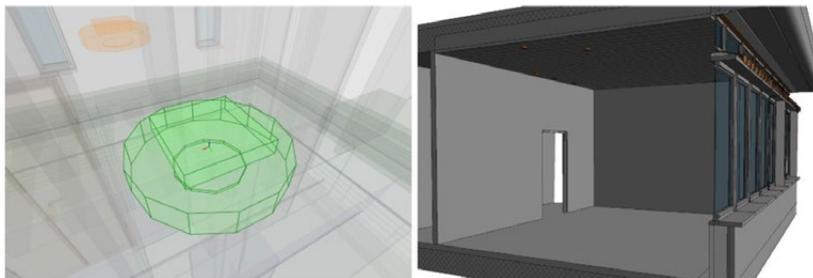


Fig. 4. Sensori modellati all'interno del modello informativo del Padiglione Mandolesi del campus della Facoltà di Ingegneria e Architettura dell'Università degli Studi di Cagliari.

4. Risultati

Rispetto ai dati provenienti dalla campagna di misurazione in atto dal 2017 sono stati evidenziati alcuni momenti al fine di verificare le condizioni all'interno degli ambienti per uffici utilizzati come test cells. Nella seguente tabella 1 sono riportate per i due locali le giornate che sono state utilizzate per il data mapping di temperatura, umidità relativa, illuminamento, consumo energetico e potenza.

Test cell	Day and hour	Ti	RH	L	Energy	Energy	Power
1	13/07/2017 11:00	27,3	39	81	39,006	190,240	1390
1	24/11/2017 11:40	20,2	47	18	112,895	679,828	2,82
2	13/07/2017 11:00	29,2	42	92	299,317	219,205	506,24
2	06/12/2017 11:40	18,6	40	69	0	0	0

Tabella 1. Giorni esemplificativi per la verifica delle condizioni di comfort all'interno degli ambienti sensorizzati del Padiglione Mandolesi.

All'interno del modello sono dunque stati riportati i dati dei sensori visualizzando sia il valore effettivo del parametro al momento della verifica di misura sia la corrispondenza rispetto alla soglia di comfort normativa tramite il colore (verde "compliance") (Figura 5).

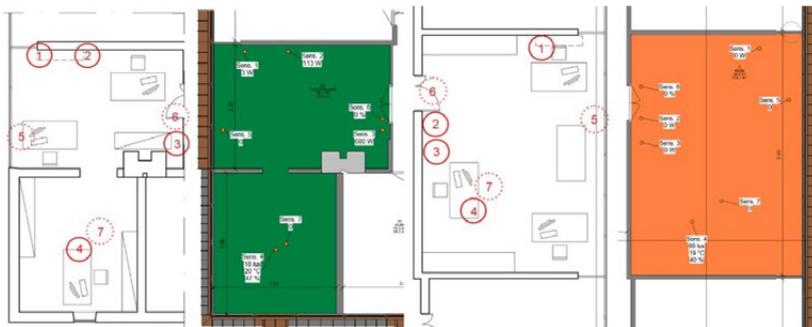


Fig. 5. Sensori nello spazio della test cell 1 e test cell 2 e visualizzazione dei valori e della "compliance" (in inverno).

Il modello informativo riporta dunque al suo interno i dati del monitoraggio andando a realizzare un sistema di verifica integrato con la misurazione delle grandezze che confermano o meno le condizioni e le prestazioni degli spazi interni (arancio sotto alla soglia, caso invernale) (Figura 6).

LA MAPPATURA DEI DATI SU CONSUMI ENERGETICI E CONDIZIONI DI COMFORT DI UN EDIFICIO ESISTENTE ATTRAVERSO LA MODELLAZIONE INFORMATIVA

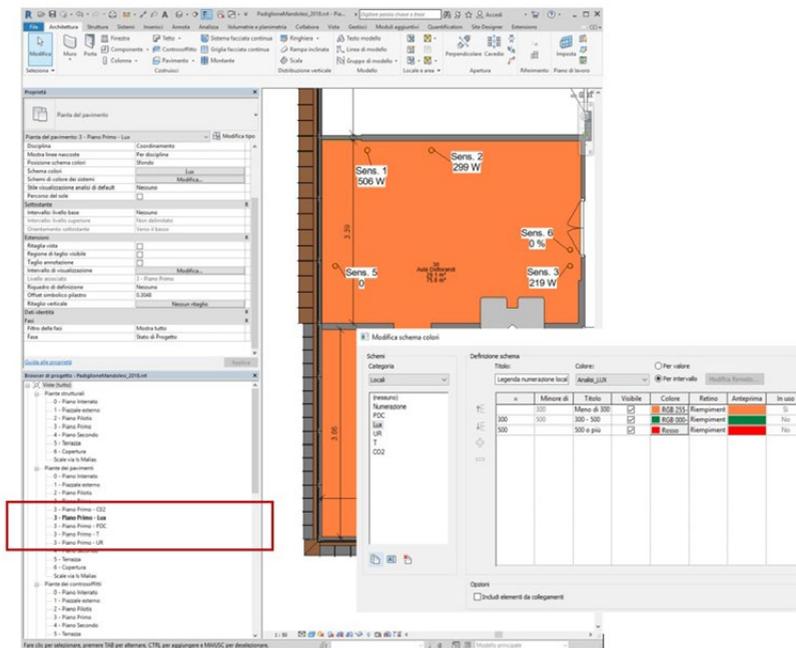


Fig. 6. Schema colore impostato per i parametri rilevati rispetto alle normative vigenti e piante tematiche preimpostate per ogni parametro.

5. Conclusioni

Il lavoro fin qui sviluppato dimostra come sia possibile interfacciare i dati rilevati da sistemi BEMs e BACs con il modello informativo in maniera semplice e facilmente automatizzabile. Tale interfaccia è di estremo interesse in quanto i modelli digitali degli edifici diventeranno sempre più lo strumento principale per il “facility management”.

La possibilità di utilizzare schemi colori su planimetrie o altri elaborati grafici tematici, consente di veicolare informazioni complesse come quelle relative al comfort igrotermico, anche a utenti non necessariamente addetti ai lavori.

Uno sviluppo futuro del processo consiste nell’inserimento di una lettura istantanea dello stream di dati provenienti dai sensori al fine di visualizzare le attuali condizioni del locale. In questo modo sarà possibile sapere globalmente come si stanno comportando i diversi locali rispetto alle grandezze misurate e agli standard imposti.

La ricerca potrà inoltre svilupparsi affinando sempre di più le elaborazioni sui limiti di comfort igrotermico con i quali confrontare i dati acquisiti in real-time. È infatti ormai evidente che riferirsi a valori statici di accettabilità non è più sufficiente, ma è necessario implementare modelli di comfort basati sull'adattabilità degli utenti. In questo senso, la correlazione con il modello informativo si prefigura ancora di più come una carta vincente. La possibilità di introdurre in modelli complessi di comfort le caratteristiche costruttive e di utilizzo dell'edificio desunte dai modelli informativi, aiuterà senz'altro ad avvicinare sempre più i risultati dei monitoraggi alle reali necessità degli occupanti.

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare l'Ing. Paolo Ettore Giana per il prezioso supporto alle elaborazioni dei dati di monitoraggio presentate nell'articolo.

Bibliografia

1. Di Giuda G.M., Villa V., De Angelis E., Piantanida P., Tagliabue L.C., Ciribini A.L.C. (2016) Progressive Energy Retrofit for the educational building stock in a Smart City, IEEE Second International Smart Cities Conference (ISC2 2016), Improving the citizens quality of life, 12-15 September 2016, Trento, Italy.
2. Tagliabue L.C., Di Giuda G.M., Villa V., De Angelis E., Ciribini A.L.C. (2018) Multi-criteria Performance Analysis based on a Parametric Computational Evaluation for decision process on envelope technologies and configurations, Energy and Buildings, Volume 158, Pages 736-749.
3. Tagliabue L.C., Pasquinelli A., Di Giuda G.M., Villa V., Ciribini A.L.C., De Angelis E. (2016) Cognitive Adaptive Urban Systems for the Living Built Environment, 2nd Annual International Conference on Urban Planning and Property Development (UPPD 2016), 10-11 Ottobre 2016, Singapore. DOI: 10.5176/0000-0000_UPPD.43
4. De Angelis E., Ciribini A.L.C., Tagliabue L.C., Paneroni M. (2015) The Brescia Smart Campus Demonstrator. Renovation towards a zero Energy Classroom Building. Procedia Engineering, 2015:28 Pages 735-743.
5. Bittenbinder F., Liu C., Rinaldi S., Bellagente P., Ciribini A.L.C., Tagliabue L.C. (2016) Bi-Directional Interactions between Users and Cognitive Buildings by means of Smartphone App, IEEE Second International Smart Cities Conference (ISC2 2016), Improving the citizens quality of life, 12-15 September 2016, Trento, Italy

6. Di Giuda G.M., Quaquero E., Villa V., Tagliabue L.C., Desogus G., Sanna A., Ciribini A.L.C. (2017), Preliminary definition of an energy monitoring for the implementation of a cognitive building The “Mandolesi Pavillon” at the University of Cagliari, COLLOQUIATE 2017, Ancona, 28-29 Settembre 2017.
7. Bittenbinder F., Liu C., Moretti N., Re Cecconi F., Tagliabue L.C., Ciribini A.L.C., Kovacic I. (2018) A Vision for a Cognitive Campus Network of Universities: The Learnscapes of Poveglia Island, 3rd SDEWES Conference, 30 June- 3 July, Novi Sad, Serbia.
8. Rinaldi S., Flammini A., Tagliabue L.C., Ciribini A.L.C. (2018) On the use of IoT Sensors for Indoor Conditions Assesment and Tuning of Occupancy Rates Models, IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT, 16-18 April, Brescia, Italy
9. Ciribini A.L.C., Pasini D., Tagliabue L.C., Manfren M., Daniotti B., Rinaldi S., De Angelis E. (2016) Tracking users' behaviors through real-time information in BIMs: workflow for interconnection in the Brescia Smart Campus Demonstrator, International High- Performance Built Environment Conference – A Sustainable Built Environment Conference 2016 Series (SBE16), iHBE 2016, Procedia Engineering 180 (2017) 1484 – 1494.
10. Scheffer M., Konig M., Engelmann T., Tagliabue L.C., Angelo Luigi Camillo Ciribini, Stefano Rinaldi, Marco Pasetti (2018) Evaluation of Open Data Models for the Exchange of Sensor Data in Cognitive Building - Dynamic linkage sensors-BIM model for the eLUX Lab, IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT, 16-18 April, Brescia, Italy.
11. UNI EN 15251:2008, Criteri per la progettazione dell'ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica.
12. ASHRAE 62/89 Ventilation For Acceptable Indoor Air Quality.