

Monitoraggio ambientale per la diagnosi energetica

COME TRATTARE E ANALIZZARE I DATI RACCOLTI ATTRAVERSO IL MONITORAGGIO AMBIENTALE INDOOR PER AUMENTARE LE PRESTAZIONI ENERGETICHE DI EDIFICI ESISTENTI

di Stefano Paolo Corgnati,
Lorenzo Balsamelli,
Federica Ariaud *

Un sistema di monitoraggio ambientale indoor può rappresentare uno strumento utile all'individuazione di criticità nei consumi energetici legati al sistema edificio – impianto e, in seconda battuta, può essere utile al controllo dell'efficacia delle soluzioni messe in atto per la risoluzione di tali criticità. In particolare, può essere considerato uno strumento a supporto della diagnosi energetica, della gestione efficiente degli impianti tecnologici, dell'individuazione di comportamenti anomali e dell'informazione e sensibilizzazione dell'utente.

In questo articolo ci occuperemo sull'elaborazione, trattamento e analisi dei dati finalizzati all'individuazione di criticità e su una prima definizione di massima delle azioni che ne permettano il superamento. In particolare, illustreremo alcuni metodi utilizzati per l'analisi dei dati raccolti tramite sistema di monitoraggio ambientale come strumento a supporto della gestione efficiente degli impianti di climatizzazione invernale e, di conseguenza, della verifica della rispondenza ai

requisiti contrattuali delle condizioni termiche in ambiente.

Performance Index

Un primo indice utile alla valutazione della rispondenza ai requisiti ambientali indoor stabiliti è il "Performance Index", ovvero il tempo, espresso in termini percentuali rispetto al totale, durante il quale risultano verificate le condizioni richieste per il parametro oggetto di monitoraggio, come ad esempio la temperatura. Per una verifica più accurata delle criticità presenti nell'ambiente possono essere utilizzati i "Failure Index": si tratta di due indici che esprimono, sempre in termini percentuali, il tempo, rispetto al totale, durante il quale il valore rilevato del parametro monitorato è risultato inferiore alla soglia minima ("Failure IndexLow") o superiore alla soglia massima ("Failure IndexHigh").

Ad esempio, considerando la temperatura dell'aria interna, è consigliabile prevedere

anche una soglia massima di temperatura oltre che una soglia minima, come previsto per esempio dai contratti di servizio energia, poiché sovratemperature rispetto alla temperatura richiesta portano consumi energetici maggiori di quelli previsti dai vincoli contrattuali e, a

QUESTIONE DI METODO

Molte delle criticità relative ad una gestione energetica degli edifici poco efficiente possono essere individuate attraverso l'analisi dei dati raccolti attraverso un sistema di monitoraggio ambientale. Tale attività si articola nelle seguenti fasi:

- redazione di un piano di monitoraggio e contestuale scelta delle grandezze da monitorare;
- scelta della strumentazione da utilizzare per la raccolta dei dati (caratteristiche del sistema e della tecnologia dei singoli sensori);
- definizione dei tempi e dei punti di misura;
- raccolta dei dati;
- elaborazione/trattamento dei dati;
- analisi dei dati.





MONITORAGGIO. Sensori di temperatura e Data Storage Gateway utilizzati per il monitoraggio ambientale nel caso di studio esaminato (sistema Weolo).

localizzare, nell'arco temporale della giornata, il verificarsi delle criticità individuate in precedenza in termini quantitativi.

volte, anche a situazioni di discomfort per gli utenti finali.

Distribuzione di frequenza

Un altro strumento utile all'individuazione di criticità relative alle condizioni termiche degli ambienti monitorati è l'analisi della distribuzione di frequenza della temperatura dell'aria rilevata (o in generale dei parametri monitorati) rispetto agli intervalli di temperatura richiesti, in base agli obiettivi dell'analisi. Ciò permette, per esempio, di individuare la frequenza con cui sono state rilevate le sovratemperature, responsabili di un innalzamento dei consumi energetici rispetto a quanto necessario per il rispetto dei vincoli contrattuali.

Infine, l'analisi del profilo temporale delle temperature (medie orarie, mensili e/o stagionali) permette di

Un caso concreto

Esaminiamo, a titolo esemplificativo, un caso di reale applicazione degli strumenti di analisi descritti in un edificio con destinazione d'uso ad uffici. Si tratta di un edificio costituito da 4 piani fuori terra riscaldati, la cui fornitura di calore è regolata da un contratto di gestione calore che prevede il mantenimento, durante l'orario di occupazione nei giorni feriali (06:00 – 18:00), di una temperatura dell'aria minima pari a 20°C. La stagione di riscaldamento ha inizio il 15 ottobre e si conclude il 15 aprile. La regolazione dell'impianto avviene mediante una sonda per il rilevamento della temperatura esterna a comando della temperatura di mandata del fluido termovettore. Nel caso in oggetto è stata monitorata la temperatura dell'aria interna in alcuni locali campione rappresentativi delle zone termiche omogenee presenti nell'edificio. Più precisamente è stato monitorato un



ufficio, considerato rappresentativo, per ogni piano fuori terra. È stata inoltre misurata la temperatura dell'aria esterna.

Per il monitoraggio è stato scelto un sistema con sensori wireless che consente una

ANDAMENTO DELLA TEMPERATURA ACCETTABILE

Il grafico rappresenta la frequenza con cui il valore della temperatura rilevata nell'ufficio analizzato (in questo caso al 4° piano) ricade all'interno dell'intervallo di accettabilità richiesto, riportato sull'asse delle ascisse. Il periodo di analisi va dal 20 febbraio 2010 al 15 aprile 2010. L'analisi è stata condotta sui valori rilevati esclusivamente durante l'orario di occupazione in corrispondenza del quale devono essere mantenute adeguate condizioni di comfort. La temperatura richiesta nelle ore di occupazione, come da contratto, è pari a 20°C: tale valore deve quindi essere considerato come limite minimo della prestazione da garantire per il rispetto dei termini contrattuali.

Dalla lettura di questo grafico emerge, in primo luogo, come una percentuale non trascurabile di rilevazioni ricada in intervalli di temperatura inferiori a quello richiesto. Nel caso in esame, il Performance Index è pari a 67%. Per il restante 33% del tempo la temperatura rilevata ha presentato valori superiori ed inferiori rispetto all'intervallo di accettabilità (temperatura compresa fra 20°C e 22°C). Più precisamente, per il 18% del tempo di monitoraggio la temperatura dell'aria ha assunto valori inferiori a 20°C ("Failure IndexLow") e per il 15% ha assunto valori superiori a 22°C ("Failure IndexHigh"), come riportato nella tabella seguente.

Lo stesso grafico evidenzia un'ulteriore specificità: il valore di temperatura che si presenta con maggiore frequenza nel periodo di monitoraggio, è compreso nell'intervallo tra 21°C e 22°C. Ciò significa che potrebbe essere opportuno intervenire a livello gestionale affinché l'intervallo in cui si presenta la maggiore frequenza sia quello "contrattuale" tra 20°C e 21°C. È infine importante intervenire, sempre a livello gestionale, affinché l'intervallo di temperature comprese fra 22°C e 23°C presenti una frequenza possibilmente prossima a zero.

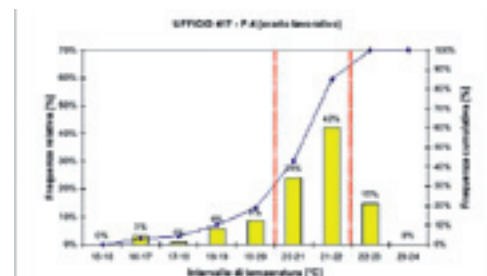


FIGURA 2 – Frequenza e frequenza cumulativa dei valori di temperatura dell'aria del locale A (periodo di analisi dal 20 febbraio 2010 al 15 aprile 2010)

Indice	Valore
P.I. (Performance Index)	67%
F.I.L. (Failure IndexLow)	18%
F.I.H. (Failure IndexHigh)	15%

TABELLA 1 – Performance Index e Failure Index del locale A

riduzione dei tempi di programmazione della strumentazione e di gestione dei dati rispetto ad un sistema di tipo tradizionale con data-logger indipendenti. Inoltre, i dati raccolti con sensori wireless sono consultabili mediante accesso remoto e in tempo reale. Vantaggi di questi sistemi sono quindi la riduzione al minimo delle spese legate al trasferimento dei dati e la possibilità di verificare, costantemente ed in tempo reale, il corretto funzionamento del sistema di monitoraggio.

I risultati dello studio

L'impiego dei sistemi di monitoraggio ambientale indoor si rivela uno strumento di grande utilità a supporto della diagnostica energetica perché permette l'individuazione delle criticità legate alla gestione ed alla regolazione degli impianti in relazione alle quali possono essere adottate misure correttive "a costo zero", poiché concernenti aspetti di solo carattere gestionale. Riportiamo e commentiamo quindi alcuni grafici che permettono di evidenziare le funzionalità delle analisi sopraccitate con riferimento al caso di studio precedentemente illustrato.

Analisi post-intervento

L'efficacia delle soluzioni proposte, di tipo gestionale (la messa in atto non necessita di alcun investimento economico), può essere verificata utilizzando lo stesso sistema di monitoraggio ambientale impiegato per l'analisi. Tale sistema, infatti, permette un confronto immediato dei profili di temperatura dell'aria in ambiente prima e dopo l'intervento. Tale confronto può essere di tipo qualitativo o quantitativo. Un confronto di tipo qualitativo permette di verificare se l'azione correttiva ha provocato una modifica nell'andamento della curva relativa alle temperature dell'aria. Un confronto di tipo quantitativo può essere utilizzato per stimare l'entità del risparmio energetico ottenuto grazie

RISULTATI DELLO STUDIO EFFICACIA DELL'IMPIANTO SU BASE PERIODICA

Questo grafico riporta l'andamento delle temperature medie orarie nei giorni feriali all'interno del medesimo ufficio, dal quale è possibile verificare puntualmente l'efficacia della gestione dell'impianto a livello stagionale. Lo stesso grafico può essere costruito anche su base mensile.

Il grafico fa riferimento ad un ufficio in cui, mediamente, la temperatura dell'aria durante gli orari di occupazione è maggiore di 20°C. La zona evidenziata nel grafico è delimitata verticalmente dall'orario di inizio e fine dell'occupazione, mentre in orizzontale è delimitata inferiormente dal valore della temperatura richiesta (20°C) e superiormente dal valore di temperatura massimo considerato accettabile (22°C).

Analizzando la zona evidenziata del grafico si può quindi affermare che, in media, durante l'orario di occupazione nell'ufficio analizzato vengono rispettate le condizioni di temperatura dell'aria previste contrattualmente e la gestione durante lo stesso orario risulta essere piuttosto efficiente. Se si analizzano le aree del grafico non evidenziato, emerge la gestione dell'impianto nelle ore antecedenti l'arrivo degli occupanti (la temperatura dell'aria è mediamente al di sotto del limite inferiore di temperatura pari a 20°C) e nelle ore successive a quelle di occupazione. A partire dalle 18 fino alle 23 in media la temperatura dell'aria nell'ufficio analizzato è sempre superiore a 20°C quando, contrattualmente, per questi orari non sono presenti vincoli: questo significa che ci può essere un consumo energetico legato al mantenimento di tali condizioni in ambiente anche se non richiesto.

Dal grafico si può vedere che a partire dalle ore 17 – 18 la curva della temperatura media oraria presenta un andamento decrescente; si può supporre che a partire da questo momento l'impianto venga spento e di conseguenza il calore scambiato all'interno degli ambienti tra i terminali e l'aria tenda a diminuire.

Per migliorare l'efficienza della gestione dell'impianto potrebbe quindi essere anticipato lo spegnimento in modo da sfruttare la cosiddetta "coda termica" per garantire la temperatura minima durante le ultime ore di occupazione della giornata. L'applicabilità di questa soluzione deve essere valutata attentamente osservando l'andamento delle temperature medie dell'aria anche nelle altre zone termiche dell'edificio. Potrebbe infatti accadere che a causa di forzanti esterne, quale ad esempio la radiazione solare diretta trasmessa attraverso gli elementi di involucro trasparente, la necessità di spegnere anticipatamente l'impianto si manifesti soltanto in alcune zone termiche e non in tutto l'edificio. In tale caso è da valutare in alternativa la possibilità di gestire in modo distinto la climatizzazione invernale di porzioni di edificio con esigenze leggermente differenti, non per utilizzo ma per condizioni al contorno.

L'ambiente analizzato attraverso questo grafico è lo stesso che, come si è detto in precedenza, presenta un Performance Index pari al 67%: dall'analisi dei due grafici congiunti si può quindi ipotizzare che l'ottimizzazione della gestione vada fatta durante le prime ore di occupazione per migliorare il Performance Index (in quest'orario infatti la temperatura media è prossima al limite inferiore; ciò significa che puntualmente tale valore potrà spesso essere inferiore alla temperatura richiesta) e alla fine dell'orario di occupazione per limitare il consumo energetico per la climatizzazione invernale.

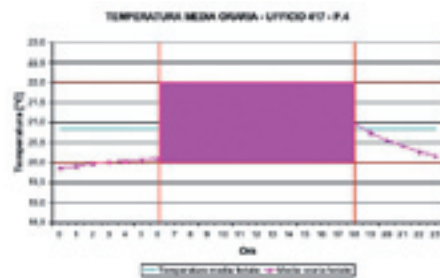


FIGURA 3 – Profilo della temperatura dell'aria media oraria del locale A (periodo di analisi dal 20 febbraio 2010 al 15 aprile 2010)

alla soluzione correttiva, o alla combinazione di soluzioni correttive, se depurato delle forzanti esterne che possono variare da una stagione all'altra influenzando il consumo

energetico indipendentemente dalle azioni correttive messe in atto (ad esempio: variazione delle condizioni climatiche). La verifica dell'efficacia

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia la Capetti Elettronica di Castiglione Torinese (TO), azienda produttrice del sistema di monitoraggio ambientale Weolo basato su tecnologia wireless, per aver fornito la strumentazione impiegata nel caso di studio trattato che ha permesso di testare le procedure per la definizione dei piani di monitoraggio. L'attività presentata è inoltre inserita all'interno del Progetto Lagrange, finanziato dalla Fondazione CRT.

delle azioni correttive e la stima del risparmio energetico ottenuto possono assumere maggiore validità se al sistema di monitoraggio ambientale viene affiancato un sistema di monitoraggio dei consumi energetici reali.

* a cura di:

- Stefano Paolo Corgnati – *Politecnico di Torino, Gruppo TEBE, Dipartimento di Energetica.*
- Lorenzo Balsamelli, Federica Ariaudo – *Oneco S.r.l – Torino*

RISULTATI DELLO STUDIO COMPORAMENTO DEGLI UTENTI

Il grafico mette in evidenza come anche il comportamento dell'utenza possa influire in modo sostanziale sulle condizioni termiche presenti in ambiente e, di conseguenza, sui consumi energetici per la climatizzazione. Intorno alle ore 8, l'andamento della temperatura media oraria presenta infatti un marcato picco verso il basso: passa da un valore di circa 21,5°C relativo alle 7 fino ad un valore pari a circa 20,4°C. Tale abbassamento repentino di temperatura si presenta con una frequenza talmente elevata da influenzare il valore medio: è ragionevole pensare che ciò sia dovuto all'apertura delle finestre effettuata da parte dell'utente al momento del suo ingresso in ufficio.

Il grafico mette inoltre in evidenza come in questo locale la temperatura sia mediamente superiore rispetto a quanto richiesto contrattualmente durante tutte le 24 ore della giornata lavorativa. Addirittura, si noti come verso la fine dell'orario di occupazione il valore medio orario di temperatura superi la soglia superiore di 22°C. Trattandosi di un andamento medio della temperatura, ciò significa che saranno presenti valori puntuali anche superiori a quelli riportati come risultato del calcolo della media.

Si può infatti osservare che in questo locale la cosiddetta "coda termica" non viene minimamente sfruttata: il periodo di occupazione si conclude praticamente in corrispondenza del picco massimo di temperatura media oraria dell'aria. Inoltre, il valore della temperatura media oraria durante il periodo non occupato resta mediamente superiore di oltre 1°C rispetto al limite minimo imposto contrattualmente per gli orari di occupazione.

Questo ufficio è lo stesso che, dalla lettura dei grafici relativi alla distribuzione di frequenza del valore campionato, presenta un Performance Index pari al 28%. Dalla lettura congiunta dei grafici si può quindi ipotizzare che quel 15% di Failure IndexLow che emerge dalla distribuzione di frequenza della temperatura campionata possa essere relazionata agli episodi di ventilazione naturale effettuati da parte dell'utente. Si potrebbe quindi prevedere un'attività di sensibilizzazione dell'utente sui temi del consumo energetico e delle emissioni inquinanti conseguenti a questo suo comportamento. Per quanto riguarda gli aspetti gestionali, risulta invece necessario, come già evidenziato in precedenza, un intervento finalizzato all'abbassamento della temperatura dell'aria in media di 1-2°C durante l'orario di occupazione e ad un migliore sfruttamento della "coda termica".

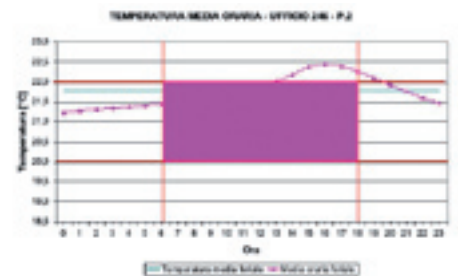


FIGURA 4 – Profilo della temperatura dell'aria media oraria del locale B (periodo di analisi dal 20 febbraio 2010 al 15 aprile 2010)