

# **Evoluzione delle attività di monitoraggio energetico – ambientale di lungo periodo: uno strumento per la consulenza energetica**

FEDERICA ARIAUDO<sup>1,2</sup> – LORENZO BALSAMELLI<sup>1</sup> – STEFANO PAOLO CORGNATI<sup>2</sup>

*1 – Onleco S.r.l., Torino*

*2 – Politecnico di Torino, Dipartimento di Energetica, Gruppo di ricerca TEBE*

## **RIASSUNTO**

Il monitoraggio energetico-ambientale riveste sempre più un ruolo centrale nell'ottimizzazione della gestione e dell'utilizzo del sistema edificio-impianto. Il monitoraggio dei parametri ambientali e di quelli legati ai consumi energetici è uno strumento utile sia per i gestori sia per i diretti fruitori del sistema edificio-impianto. E' inoltre uno strumento versatile e utilizzabile per differenti destinazioni d'uso. La diffusione di tali sistemi è in continua crescita, anche grazie allo sviluppo e alla bassa intrusività dei sistemi wireless. Il presente lavoro riporta i risultati dell'analisi delle esperienze condotte più significative, dalle quali emergono le tendenze relative alla diffusione ed evoluzione di tali sistemi nel panorama del controllo di parametri ambientali e consumi energetici. Nel paper vengono in particolare analizzate casistiche relative a tali sistemi installati in edifici a destinazione d'uso museale, residenziale e per uffici. In tutti i casi l'attività di monitoraggio è finalizzata all'ottimizzazione della gestione in termini di capacità di mantenimento delle desiderate condizioni climatiche attraverso il confronto diretto e talvolta in tempo reale dei set-point dei parametri microclimatici con l'effettiva risposta in ambiente. In specifici recenti casi il monitoraggio ambientale è accompagnato da quello dei consumi energetici.

## **1. INTRODUZIONE**

L'interesse per il dato reale di consumo e/o caratterizzante la reale prestazione ottenuta in termini di qualità ambientale indoor è in continua crescita in tutti gli ambiti: da quello della ricerca fino a quello che coinvolge l'utente finale. Questo interesse sta portando ad una grande diffusione dei sistemi di monitoraggio energetico-ambientale, considerati sistemi affidabili per ottenere dati reali certi e soprattutto strumento fondamentale per poter controllare e gestire il dato in termini di qualità, frequenza di rilevamento, tipologia, ecc. La crescente diffusione è ulteriormente incentivata dalla presenza di riferimenti legislativi diretti all'utilizzo di sistemi di monitoraggio della prestazione reale dell'edificio all'interno di strumenti normativi (UE 2010).

Il grande interesse per i dati reali relativi alla prestazione dell'edificio, è confermato anche dalla massiccia presenza di pubblicazioni a riguardo in ambito scientifico internazionale. I dati reali relativi a consumi energetici e/o prestazioni ambientali sono spesso utilizzati per calibrare i modelli di simulazione (Beascochea *et*

al. 2008), predire i consumi futuri (Andersson e Olofsson 2001, Cho *et al.* 2004, Rivard *et al.* 2005), utilizzare il risultato di tali predizioni per ottimizzare il funzionamento di sistemi di building management (Doukas *et al.* 2007, Marik *et al.* 2008) o per implementare un sistema di controllo intelligente con logiche di tipo fuzzy (Argiriou *et al.* 2010, Geros *et al.* 2005). In altri casi i dati derivanti da monitoraggi su larga scala vengono utilizzati per caratterizzare da un punto di vista energetico grandi patrimoni edilizi e per creare dei benchmark (Lee e Sun 2006, Hogberg *et al.* 1999). Inoltre, grazie alla presenza di sistemi di monitoraggio, è possibile valutare l'influenza sul comfort e/o sui consumi energetici di interventi di riqualificazione quali, ad esempio, l'isolamento delle chiusure perimetrali di edifici esistenti poco performanti (Gilbertson *et al.* 2009).

In questo articolo viene presentata una lettura di 10 anni di esperienza nel settore del monitoraggio energetico-ambientale da parte della società di consulenza Onleco che opera nel settore dell'energetica edilizia. Vengono presentate le esperienze condotte nei settori museale, residenziale e terziario attraverso l'approfondimento di alcuni dei casi affrontati, selezionati come maggiormente rappresentativi. L'approfondimento di tali casi ha l'obiettivo di presentare come variano finalità e utilizzo dei dati provenienti da sistemi di monitoraggio energetico-ambientale a seconda della destinazione d'uso, fermo restando la loro utilità come strumento di supporto per la consulenza energetica.

## **2. IL MONITORAGGIO A SUPPORTO DELLA DIAGNOSI ENERGETICA**

La diagnosi energetica, attività finalizzata all'individuazione di criticità nella prestazione energetica di edifici esistenti e alla proposta di interventi migliorativi per la risoluzione delle problematiche individuate, analizza il comportamento dell'edificio in esercizio, quindi in condizioni di reale funzionamento: è per questo motivo che per la diagnosi energetica è necessario l'utilizzo di dati reali (Ariaudo *et al.* 2010). L'attività diagnostica, come detto, è finalizzata all'individuazione di criticità e viene messa in atto in edifici in cui si suppone siano presenti problematiche energetiche. Per individuare edifici critici all'interno del patrimonio edilizio esistente, in modo da concentrare le attività diagnostiche dove effettivamente sono necessarie, è di fondamentale importanza l'utilizzo di informazioni raccolte in catasti energetici. Un catasto energetico è un archivio di indicatori atti a caratterizzare la performance energetica di edifici e/o gruppi di edifici con caratteristiche omogenee, capace di aggiornarsi nel tempo (Ariaudo 2010b). Questi indicatori, costruiti sulla base di dati reali di performance energetica, permettono di confrontare le prestazioni dei singoli edifici con quelle di un campione significativo di edifici simili e permettono quindi l'individuazione degli edifici che presentano maggiori criticità all'interno di un patrimonio edilizio esaminato. Individuati così gli edifici che necessitano prioritariamente di interventi è possibile avviare le attività di diagnosi energetica per individuare le cause delle criticità presenti e valutare le possibili soluzioni. Da quanto detto emerge l'importanza della conoscenza di dati reali di performance energetica per la riqualificazione di edifici esistenti, prima per l'individuazione degli edifici critici e poi per l'individuazione delle cause di tali criticità. In tale ambito risulta quindi di grande utilità il monitoraggio energetico-ambientale. In particolare per l'individuazione degli edifici critici sarà sufficiente un monitoraggio della prestazione energetica reale a livello di intero edificio, con dati aggregati sia a livello temporale (ad esempio dato annuo di consumo di combustibile per il riscaldamento) che a livello di usi finali (consumo totale di energia elettrica, non disaggregato secondo i

singoli usi finali). Il dettaglio temporale e di disaggregazione per usi finali dovrà essere poi maggiore per quegli edifici individuati come critici, per cui si sceglie di avviare un'attività di monitoraggio. Queste differenze di dettaglio permettono quindi di avere da una parte un grande patrimonio edilizio censito e dall'altra di utilizzare risorse per indagini diagnostiche approfondite solo dove necessario. Quanto detto è riassunto schematicamente in Figura 1.

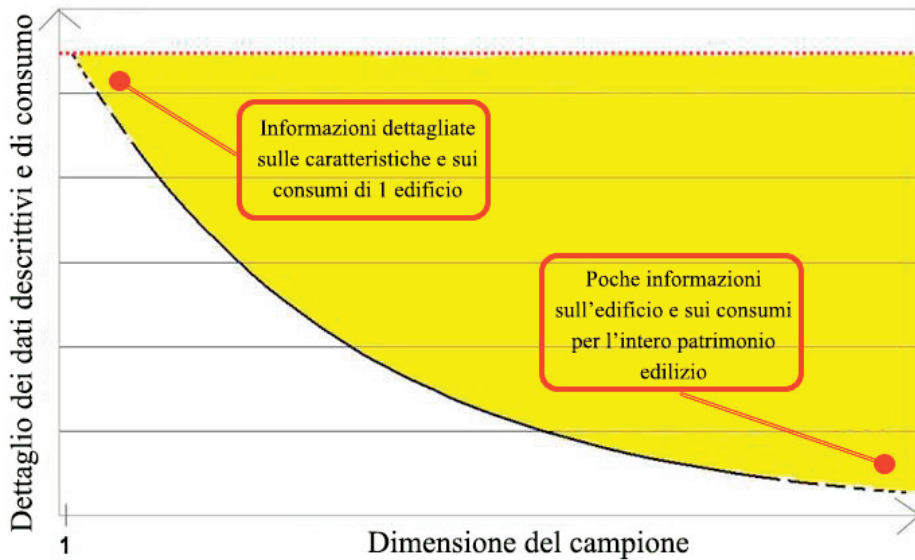


Figura 1 - Schema relativo all'individuazione grafica delle proprietà e delle potenzialità del patrimonio edilizio in analisi (fonte: Ariaudo 2010a).

Il monitoraggio energetico–ambientale in un'attività diagnostica può essere di supporto in particolare nei seguenti ambiti:

- verifica che siano garantite in ambiente le prestazioni richieste (Gilbertson *et al.* 2009);
- ottimizzazione della gestione dell'impianto di climatizzazione (Doukas *et al.* 2007, Marik *et al.* 2008, Argiriou *et al.* 2010, Geros *et al.* 2005, Bohm e Danig 2004);
- previsione dei consumi futuri (Andersson e Olofsson 2001, Cho *et al.* 2004, Rivard *et al.* 2005, Doukas *et al.* 2007);
- verifica ex post dell'efficacia delle azioni di miglioramento dell'efficienza energetica messe in atto (Gilbertson *et al.* 2009);
- previsione degli effetti di interventi e/o combinazione di interventi futuri per il miglioramento dell'efficienza energetica (Beascochea *et al.* 2008).

Nel primo caso il monitoraggio energetico–ambientale può essere utile per la verifica, da parte del committente o di chi eroga il servizio, delle reali prestazioni ambientali fornite. E' il caso ad esempio dell'utilizzo degli output di un monitoraggio energetico–ambientale per la verifica del rispetto delle temperature dell'aria interna durante il periodo di occupazione in un edificio il cui riscaldamento è regolato da un

contratto di servizio energia. In questo caso il gestore può essere interessato a dimostrare alla committenza che il suo servizio garantisce le condizioni microclimatiche previste a contratto o il committente può essere interessato a verificare tramite terzi la presenza delle condizioni contrattuali in ambiente durante gli orari stabiliti. L'utilizzo di questa tipologia di monitoraggio a servizio della diagnostica può essere utile sia in ambienti in cui le condizioni microclimatiche contrattuali sono state scelte per garantire il comfort degli occupanti, sia in ambienti in cui le condizioni climatiche da garantire sono state stabilite in base alle esigenze di conservazione di beni culturali, come accade nel caso degli ambienti museali.

Nel secondo caso l'utilizzo del sistema di monitoraggio può essere uno strumento di supporto per l'ottimizzazione della gestione impiantistica in quanto permette di individuare in tempo reale le criticità in termini di offerta, ad esempio di calore, e in termini di conseguente prestazione in ambiente. Un'ottimizzazione della gestione consente di ridurre i consumi energetici a costo quasi nullo.

Mentre nei primi due casi illustrati è di fondamentale importanza la parte di monitoraggio relativa ai parametri microclimatici, nel terzo, quarto e quinto caso l'importanza della parte di monitoraggio energetico prevale su quella inerente il monitoraggio microclimatico. Gli output del monitoraggio energetico risultano infatti di fondamentale importanza per l'alimentazione di strumenti predittivi finalizzati alla previsione del consumo futuro o alla verifica dell'effetto delle soluzioni per il miglioramento della prestazione energetica messe in atto, tramite confronto con dati di monitoraggio relativi a periodi antecedenti gli interventi. I dati relativi al monitoraggio microclimatico sono invece utili per verificare che le soluzioni migliorative messe in atto non diano luogo ad un peggioramento delle condizioni del microclima interno e per valutare l'influenza delle variazioni dei parametri in grado di caratterizzare il microclima interno sui consumi o l'influenza della combinazione di soluzioni migliorative e conseguente variazione dei parametri microclimatici interni sul consumo energetico.

La tecnologia degli strumenti di misura utilizzati nei monitoraggi energetico–ambientali si è evoluta e si sta evolvendo con grande rapidità. Nel corso degli ultimi 10 anni si è passati da monitoraggi ambientali con misurazioni di breve o medio periodo effettuati con datalogger stand-alone a monitoraggi energetico–ambientali di lungo periodo effettuati con sonde a tecnologia wireless con accesso diretto ai dati anche in remoto. L'utilizzo di sistemi di monitoraggio con tecnologia wireless permette di verificare in tempo reale le condizioni microclimatiche e i consumi energetici oltre che le eventuali anomalie nella misura condotta. E' quindi possibile mettere in atto correzioni di tipo gestionale e verificarne in tempo reale l'efficacia e intervenire immediatamente in caso di guasto o anomalia del sistema, cosa che con il monitoraggio effettuato tramite datalogger può invece portare ad una parziale perdita di dati da elaborare con conseguente necessario prolungamento dell'attività di monitoraggio.

### **3. CASI STUDIO**

Nel presente paragrafo vengono analizzati, a titolo esemplificativo, 5 casi studio in cui sono stati utilizzati i dati di output di monitoraggi ambientali o energetico–ambientali con finalità differenti l'una dall'altro, come illustrato nel paragrafo 2. I casi studio in alcune occasioni differiscono anche per la tecnologia e gli strumenti di misura utilizzati per raggiungere le finalità del servizio di consulenza.

Il primo caso studio trattato è il monitoraggio ambientale di sale espositive museali in occasione di una mostra temporanea. La tabella I riporta in modo sintetico le principali caratteristiche del sistema di monitoraggio installato.

**Tabella I – Caso studio 1 – Caratteristiche e finalità dell'attività di monitoraggio**

<b>Finalità monitoraggio</b>	Certificazione delle condizioni termoigrometriche e ottimizzazione della regolazione impiantistica in occasione di una mostra temporanea
<b>Destinazione d'uso</b>	Museo
<b>Tipologia sistema di monitoraggio</b>	Permanente (medio periodo)
<b>Tecnologia</b>	Wireless
<b>Grandezze monitorate</b>	Temperatura dell'aria interna ed esterna, Umidità Relativa interna ed esterna
<b>Indicazione geometrico/distributiva</b>	1.500 m <sup>2</sup> (13 ambienti)
<b>N° sonde</b>	16
<b>Anno installazione</b>	2010
<b>Intervalli temporali di acquisizione</b>	2 minuti

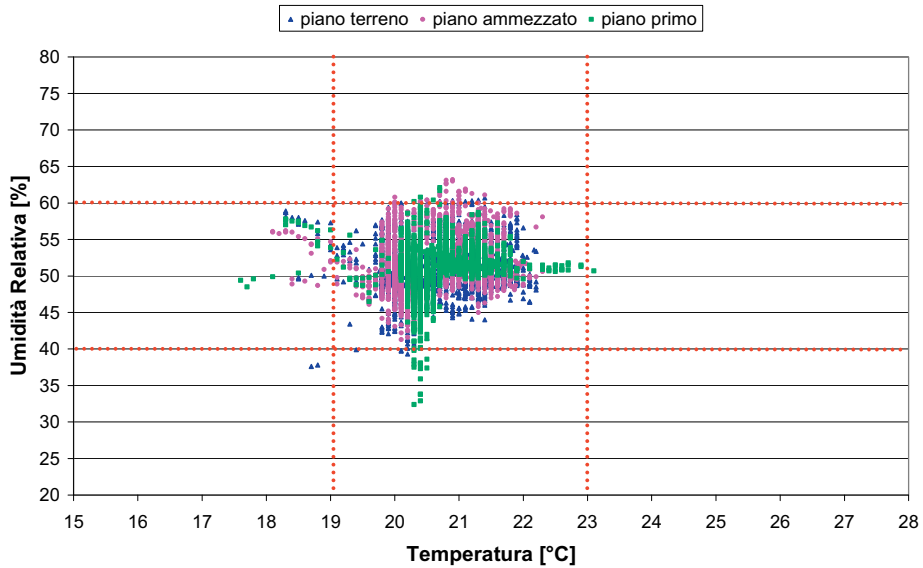
L'attività di monitoraggio relativa al caso studio 1 ha come finalità la verifica della rispondenza delle condizioni microclimatiche degli ambienti espositivi alle esigenze derivanti dalla corretta conservazione delle opere esposte nella mostra temporanea. A questo scopo è stato installato un sistema di monitoraggio permanente in funzionamento continuo durante il periodo di durata della mostra temporanea, e sono state monitorate le seguenti grandezze:

- temperatura dell'aria interna ed esterna;
- umidità relativa dell'aria interna ed esterna.

In questo caso i dati relativi alle condizioni microclimatiche interne presentano maggiore importanza rispetto ai parametri che caratterizzano l'ambiente esterno (dati utilizzati per la regolazione impiantistica e per verificare la corrispondenza diretta di eventuali anomalie dei parametri interni con gli andamenti dei parametri esterni). Il monitoraggio di temperatura e umidità relativa dell'aria interna con rilevazioni a distanza di due minuti una dall'altra, permette di monitorare il microclima interno e di regolare in tempo reale il funzionamento dell'impianto in modo da garantire le prestazioni richieste per il prestito delle opere. In alcuni casi la non rispondenza a quanto richiesto può portare al ritiro delle opere esposte da parte del prestatore. Nell'ambito museale il monitoraggio delle condizioni microclimatiche interne risulta quindi di fondamentale importanza.

La logica di posizionamento della strumentazione è legata all'esigenza di monitorare l'intero edificio secondo zone sufficientemente rappresentative da consentire l'utilizzo dei dati rilevati per una regolazione ottimale dell'impianto di climatizzazione.

E' stato scelto l'utilizzo della tecnologia wireless per consentire l'acquisizione di dati a distanza per la redazione di report settimanali e per consentire la consultazione dei dati in tempo reale da parte del gestore degli impianti, in quest'ultimo caso attraverso l'interfaccia del sistema di regolazione impiantistica. I report, opportunamente validati, vengono consultati dai responsabili del museo. In questo caso è sconsigliabile lo spostamento delle sonde nonostante non siano di tipo cablato poiché il sistema è utilizzato anche per la regolazione dell'impianto di climatizzazione.



*Figura 2 - Esempio di rappresentazione grafica dell'analisi di rispondenza alle esigenze di conservazione con riferimento a temperatura e umidità relativa dell'aria.*

Il secondo caso studio trattato è il monitoraggio ambientale delle sale espositive di un museo che ospita una collezione in modo permanente. La tabella II riporta in modo sintetico le principali caratteristiche del sistema di monitoraggio installato.

**Tabella II – Caso studio 2 – Caratteristiche e finalità dell'attività di monitoraggio**

<b>Finalità monitoraggio</b>	Certificazione delle condizioni ambientali di conservazione
<b>Destinazione d'uso</b>	Museo
<b>Tipologia sistema di monitoraggio</b>	Permanente (lungo periodo)
<b>Tecnologia</b>	Wireless
<b>Grandezze monitorate</b>	Temperatura dell'aria interna ed esterna, Umidità Relativa interna ed esterna
<b>Indicazione geometrico/distributiva</b>	4.300 m <sup>2</sup> (12 zone omogenee)
<b>N° sonde</b>	21
<b>Anno installazione</b>	2010
<b>Intervalli temporali di acquisizione</b>	15 minuti

L'attività di monitoraggio relativa al caso studio 2 ha come finalità la verifica e certificazione della rispondenza delle condizioni microclimatiche degli ambienti espositivi alle esigenze derivanti dalla corretta conservazione delle opere esposte nella mostra permanente. A questo scopo è stato installato un sistema di monitoraggio permanente e sono state monitorate le seguenti grandezze:

- temperatura dell'aria interna ed esterna;
- umidità relativa dell'aria interna ed esterna.

Anche in questo caso i dati relativi alle condizioni microclimatiche interne presentano maggiore importanza rispetto ai parametri che caratterizzano l'ambiente esterno (utilizzati in questo caso esclusivamente per verificare la presenza di corrispondenze dirette tra eventuali anomalie dei parametri interni e gli andamenti dei parametri esterni). In questo caso l'intervallo temporale di acquisizione è di 15 minuti poiché il sistema di monitoraggio non è direttamente collegato al sistema di regolazione dell'impianto come nel caso 1, ma ha la sola funzione di verifica della qualità del microclima interno. Il monitoraggio in questo caso viene effettuato al fine di consentire mensilmente la certificazione della qualità ambientale e la rispondenza alle esigenze di conservazione delle opere esposte. Come detto in precedenza, nell'ambito museale il monitoraggio delle condizioni microclimatiche interne risulta di fondamentale importanza poiché può influire sulla durata e sulla conservazione delle opere esposte.

La logica di posizionamento della strumentazione è legata all'esigenza di monitorare tutte le aree espositive del museo, in corrispondenza di opere di elevato pregio o con esigenze per la conservazione maggiormente restrittive rispetto al resto delle opere esposte nella stessa area espositiva.

E' stato scelto l'utilizzo della tecnologia wireless per consentire la consultazione dei dati in tempo reale da parte dei responsabili museali, del gestore degli impianti e per consentire l'acquisizione in remoto dei dati monitorati ogni mese, da utilizzarsi per la redazione di report sulla prestazione ambientale fornita con cadenza mensile. Grazie a questo sistema i responsabili del museo possono agire in prima persona sulle dotazioni

impiantistiche da loro gestite e/o contattare il gestore non appena rilevano condizioni diverse da quelle attese. Inoltre l'utilizzo di sonde wireless permette l'eventuale spostamento temporaneo di alcune di queste sonde, definite "jolly", in ambienti in cui si ritiene utile un'analisi maggiormente approfondita.

Il terzo caso studio trattato è il monitoraggio ambientale di ambienti rappresentativi di un condominio a destinazione d'uso prevalentemente residenziale. La tabella III riporta in modo sintetico le principali caratteristiche del sistema di monitoraggio installato.

**Tabella III – Caso studio 3 – Caratteristiche e finalità dell'attività di monitoraggio**

<b>Finalità monitoraggio</b>	Valutazione delle condizioni di comfort degli occupanti
<b>Destinazione d'uso</b>	Residenziale
<b>Tipologia sistema di monitoraggio</b>	Permanente (breve periodo)
<b>Tecnologia</b>	Non wireless (datalogger tradizionali)
<b>Grandezze monitorate</b>	Temperatura dell'aria interna
<b>Indicazione geometrico/distributiva</b>	2.345 m <sup>2</sup> (27 unità immobiliari)
<b>N° sonde</b>	10
<b>Anno installazione</b>	2010
<b>Intervalli temporali di acquisizione</b>	15 minuti

L'attività di monitoraggio relativa al caso studio 3 ha come finalità la valutazione delle condizioni di comfort degli occupanti (in questo caso intese come temperatura dell'aria garantita come previsto a contratto) e la valutazione di possibili criticità legate all'involucro o all'impianto in un edificio residenziale multifamiliare. A questo scopo è stata avviata un'attività di monitoraggio di breve periodo (tre settimane) a supporto delle attività di diagnosi energetica. L'analisi dei dati derivanti dall'attività di monitoraggio ha permesso di confermare alcune ipotesi sulle criticità presenti. Le temperature dell'aria in alcuni ambienti non erano in grado di garantire le condizioni di comfort degli occupanti a causa di sovradimensionamento dei terminali di erogazione del calore in alcuni casi, sottodimensionamento degli stessi in altri e involucro non sufficientemente isolato in altri casi ancora, con conseguente presenza di condizioni di discomfort legate a disuniformità delle temperature radianti.

La logica di posizionamento della strumentazione è legata all'esigenza di monitorare gli ambienti delle unità immobiliari rappresentative delle diverse situazioni presenti nell'edificio (unità immobiliare sottotetto, d'angolo, ...).

E' stato scelto l'utilizzo di datalogger tradizionali perché non si è ritenuta necessaria la consultazione dei dati in tempo reale per mezzo di connessione remota. Inoltre l'attività di acquisizione ed elaborazione dei dati, trattandosi di un servizio di supporto all'attività diagnostica, in questo caso è di tipo una tantum, e non necessita quindi di un collegamento che ne permetta l'acquisizione ad intervalli temporali regolari. In aggiunta



l'utilizzo di sistemi di monitoraggio wireless necessita di un tempo di installazione superiore a un sistema di monitoraggio tradizionale a causa della necessaria creazione del ponte radio: per un monitoraggio di breve periodo ciò potrebbe risultare troppo oneroso. L'unico rischio legato alla scelta di questa tecnologia è la possibilità di malfunzionamenti non monitorati in tempo reale che possono causare la perdita dei dati e la conseguente necessità di ripetere l'attività di monitoraggio.

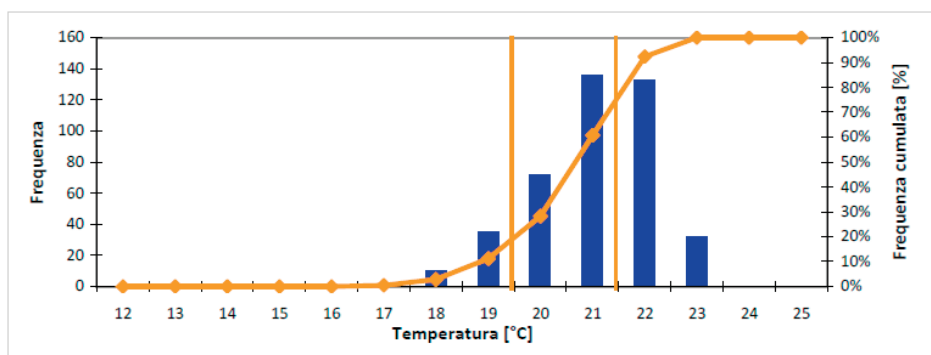


Figura 3 - Esempio di elaborazione per la valutazione delle condizioni di comfort degli occupanti: frequenza relativa, cumulata e intervallo di accettabilità.

Il quarto caso studio trattato è il monitoraggio della prestazione energetico-ambientale di un palazzo sede di un'Amministrazione Pubblica. La tabella IV riporta in modo sintetico le principali caratteristiche del sistema di monitoraggio installato.

**Tabella IV – Caso studio 4 – Caratteristiche e finalità dell'attività di monitoraggio**

<b>Finalità monitoraggio</b>	Valutazione delle condizioni di comfort degli occupanti / ottimizzazione della gestione impiantistica
<b>Destinazione d'uso</b>	Uffici
<b>Tipologia sistema di monitoraggio</b>	Permanente (lungo periodo)
<b>Tecnologia</b>	Wireless
<b>Grandezze monitorate</b>	Temperatura dell'aria interna ed esterna, Temperatura di mandata e ritorno del fluido termovettore (circuiti secondario)
<b>Indicazione geometrico/distributiva</b>	5.000 m <sup>2</sup> (10 zone termiche)
<b>N° sonde</b>	11
<b>Anno installazione</b>	2010
<b>Intervali temporali di acquisizione</b>	15 minuti

L'attività di monitoraggio relativa al caso studio 4 ha come finalità la valutazione delle condizioni di comfort degli occupanti (in questo caso intese come temperatura dell'aria garantita come previsto a contratto) e la valutazione di possibili interventi di tipo gestionale per l'ottimizzazione del funzionamento dell'impianto di riscaldamento in un edificio adibito ad uffici (allacciato alla rete di teleriscaldamento). A questo scopo è stato installato un sistema di monitoraggio permanente e sono state monitorate le seguenti grandezze:

- temperatura dell'aria interna ed esterna;
- temperatura di mandata e ritorno del fluido termovettore sul circuito secondario.

Il monitoraggio della temperatura dell'aria permette la verifica, da parte del gestore calore, della "prestazione ambientale" legata all'impianto di riscaldamento durante le ore di occupazione. Permette quindi la verifica del rispetto delle condizioni contrattuali del servizio energia. Il monitoraggio della temperatura dell'aria esterna, combinato con il monitoraggio delle temperature di mandata e di ritorno del fluido, permette di valutare la gestione ed il funzionamento dell'impianto, fissate le condizioni interne, in funzione delle variazioni del clima esterno (Bohm e Danig 2004). Anche il monitoraggio delle temperature dell'aria interna può essere utile per ottimizzare la gestione dell'impianto di riscaldamento: dalla lettura dei grafici giornalieri di temperatura nei diversi ambienti è possibile individuare se sono presenti eccessive code termiche o eccessivi anticipi nel raggiungimento dei valori contrattuali di temperatura dell'aria interna.

La logica di posizionamento della strumentazione è legata all'esigenza di monitorare l'intero edificio secondo zone sufficientemente rappresentative da consentire l'utilizzo dei dati rilevati per una gestione ottimale dell'impianto di riscaldamento.

E' stato scelto l'utilizzo della tecnologia wireless per consentire la consultazione dei dati in tempo reale da parte del gestore di calore e per consentire l'acquisizione in remoto dei dati monitorati ogni due mesi, da utilizzarsi per la redazione di report sulla prestazione ambientale fornita con cadenza bimestrale. Inoltre l'utilizzo di sonde wireless permette l'eventuale spostamento temporaneo di alcune di queste sonde, definite "jolly", in ambienti in cui gli occupanti lamentano situazioni di discomfort, per la verifica delle cause di tale sensazione.

INTERVALLO DI ACCETTABILITÀ			
VALORE	21 [°C]	TOLLERANZA	1 [°C]
INDICI DI SCOSTAMENTO			
IS	50%	IP	50%
IS <sub>1</sub>	11%	IS <sub>5</sub>	39%

Figura 4 - Esempio di elaborazione dei dati per la valutazione del comfort degli occupanti: individuazione degli Indici di Performance e Scostamento rispetto all'intervallo di accettabilità.

Il quinto caso studio trattato è il monitoraggio energetico-ambientale di una unità immobiliare adibita ad ufficio (<http://dawning.tebe-energy.eu/>). La tabella V riporta in modo sintetico le principali caratteristiche del sistema di monitoraggio installato.

**Tabella V – Caso studio 5 – Caratteristiche e finalità dell'attività di monitoraggio**

<b>Finalità monitoraggio</b>	Controllo delle condizioni termoigrometriche correlate ai consumi energetici
<b>Destinazione d'uso</b>	Uffici
<b>Tipologia sistema di monitoraggio</b>	Permanente (lungo periodo)
<b>Tecnologia</b>	Wireless
<b>Grandezze monitorate</b>	Temperatura dell'aria interna ed esterna, Umidità Relativa interna ed esterne, Temperatura di mandata e ritorno del fluido termovettore nei singoli radiatori
<b>Indicazione geometrico/distributiva</b>	125 m <sup>2</sup> (5 ambienti occupati)
<b>N° sonde</b>	20
<b>Anno installazione</b>	2009
<b>Intervalli temporali di acquisizione</b>	15 minuti

L'attività di monitoraggio relativa al caso studio 5 ha come finalità la valutazione delle condizioni di comfort degli occupanti (in questo caso intese come temperatura dell'aria garantita come previsto a contratto) e la valutazione dell'influenza di tali condizioni sul consumo energetico per riscaldamento in un edificio adibito ad uffici. A questo scopo è stato installato un sistema di monitoraggio permanente e sono state monitorate le seguenti grandezze:

- temperatura dell'aria interna ed esterna;
- umidità relativa dell'aria interna ed esterna;
- temperatura di mandata e ritorno del fluido termovettore in ogni radiatore.

Il monitoraggio della temperatura dell'aria permette la verifica della prestazione ambientale legata all'impianto di riscaldamento durante le ore di occupazione e permette l'immediata azione degli occupanti sui sistemi di regolazione puntuale presenti sui radiatori in tutti gli ambienti. Il monitoraggio delle temperature di mandata e ritorno sui radiatori permette di monitorare l'efficienza del sistema di regolazione e le modalità di utilizzo da parte dell'utente di tale sistema, comportamento in grado di influenzare fortemente il consumo energetico da una parte e il comfort termoigrometrico degli occupanti dall'altra.

La logica di posizionamento della strumentazione è legata all'esigenza di monitorare ogni singolo ambiente dell'unità immobiliare, caratterizzato da occupazione frequente.

E' stato scelto l'utilizzo della tecnologia wireless per consentire la consultazione dei dati in tempo reale da parte degli occupanti e dell'incaricato alla gestione delle condizioni microclimatiche interne.

## **CONCLUSIONI**

Nel presente articolo sono state illustrate alcune delle attività di consulenza energetica che utilizzano come elementi basilari di riflessione le informazioni ottenute dal monitoraggio energetico–ambientale degli edifici. I sistemi di monitoraggio stanno assumendo sempre maggiore importanza nell’ambito della consulenza energetica poiché forniscono dati in grado di caratterizzare la prestazione energetica reale degli edifici esistenti. E’ infatti in forte crescita l’interesse verso delle valutazioni di tipo operational, basate quindi sulla prestazione reale dell’edificio, piuttosto che di tipo asset, basate cioè sulla prestazione energetica dell’edificio in condizioni standard. Tale tendenza ci si augura che sfoci in contratti/investimenti a prestazione garantita, per cui il dato reale, con elevato grado di affidabilità e riferibilità (<http://www.energycbox.eu/>), sarà uno strumento indispensabile per la valutazione dell’effettiva prestazione dell’edificio e/o dell’efficacia delle misure di riqualificazione energetica messe in atto.

Negli ultimi anni i sistemi di monitoraggio si sono fortemente evoluti proprio a seguito del rapido sviluppo del mercato e delle richieste dei professionisti del settore. In particolare si è visto il passaggio da una tecnologia tradizionale basata sull’utilizzo di datalogger per misurazioni spesso di breve/medio periodo, ad una tecnologia wireless per monitoraggi permanenti di lungo periodo, con elevata flessibilità d’installazione e possibilità di consultazione ed elaborazione dei dati in tempo reale tramite una connessione remota.

## **RICONOSCIMENTI**

Le attività in atto in questo ambito sono inserite all’interno del Progetto Lagrange finanziato dalla Fondazione CRT.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Andersson S., Olofsson T., 2001. “Long-term Energy demand predictions based on short-term measured data”, in *Energy and Buildings*, n.33/2001, pag. 85-91.
- Ansaldo R., Corgnati S.P., Filippi, M. 2006. Metodologie per la valutazione della qualità dell’ambiente interno: applicazione a edifici con differente destinazione d’uso, in atti del convegno Aicarr “HVAC&R-Technology, Standards and Market-Liabilities, Risks and Opportunities”, Milano 1-2 marzo 2006.
- Argiriou A., Diamantis A., Dounis A.I., Tiropanis P., 2010. “Intelligent control system for reconciliation of the energy savings with comfort in buildings using soft computing techniques”, in *Energy and Buildings* (in press).
- Ariaudo F., 2010a. “L’uso dell’energia in edifici esistenti a destinazione d’uso residenziale, scolastica e per uffici”, Tesi di Dottorato di ricerca in Innovazione tecnologica per l’ambiente costruito – curriculum Fisica Tecnica Ambientale, Dipartimento di Energetica, SCUola di Dottorato, Politecnico di Torino, tutor: prof. Filippi, M., prof. Corgnati, S.P.
- Ariaudo F., 2010b. “Il catasto energetico”, in Corgnati S.P., Nuvoli G. (a cura di) 2010. “La procedura di certificazione energetica degli edifici in Piemonte. Guida pratica”, CELID.
- Ariaudo F., Balsamelli, L., Corgnati S.P., 2010. “Monitoraggio ambientale per la diagnosi energetica”, in *Casa&Clima*, n.27/2010, pag. 62-65.

- Beascochea A., Filippin C., Larsen S.F., Lesino, G., 2008. “An experience on integrating monitoring and simulation tools in the design of energy – saving buildings”, in *Energy and Buildings*, n.40/2008, pag. 987-997.
- Bohm B., Danig, P.O., 2004. “Monitoring the Energy consumption in a district heated apartment building in Copenhagen, with specific interest in the thermodynamic performance”, in *Energy and Buildings*, n.36/2004, pag. 229-236.
- Cho S.-H., Kim W.-T., Tae, C.-S., Zaheeruddin M., 2004. “Effect of length of measurement period on accuracy of predicted annual heating energy consumption of buildings”, in *Energy conservation and management*, n.45/2004, pag. 2867-2878.
- Doukas, H. (et Alii), 2007. “Intelligent building energy management system using rule sets”, in *Building and Environment*, n.42/2007, pag. 3562-3569.
- Geros V., Kalaitzakis K., Kolokotsa D., Niachou K., Santamouris M., Stavrakakis G.S., 2005. “Implementation of an integrated indoor environment and energy management system”, in *Energy and Buildings*, n.37/2005, pag. 93-99.
- Gilbertson J., Green G., Hong S.H., Oreszczyn T., Ridley I., 2009. “A field study of thermal comfort in low-income dwellings in England before and after energy efficient refurbishment”, in *Building and Environment*, n.44/2009, pag. 1228-1236.
- Hogberg H., Norlen U., Westergren K.-E., 1999. “Monitoring energy consumption in single-family houses”, in *Energy and Buildings*, n.29(3)/1999, pag. 247-257.
- Lee S.E., Sun H.S., 2006. “Case study of data centers’ energy performance”, in *Energy and Buildings*, n.38/2006, pag. 522-533.
- Marik K., Schindler Z., Stluka P., 2008. “Decision support tools for advanced energy management”, in *Energy*, n.33/2008, pag. 858-873.
- Rivard H., Yang J., Zmeureanu R., 2005. “On-line building energy prediction using adaptive artificial neural networks”, in *Energy and Buildings*, n.37(12)/2005, pag. 1250-1259.
- UE, 2010. Direttiva Europea 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, *Gazzetta Ufficiale dell’Unione Europea* L 153/13 del 18 giugno 2010.