

# NZEBnet. La piattaforma collaborativa per lo sviluppo e l'implementazione degli edifici a energia quasi zero

## Interventi di retrofit, IEQ e risparmio energetico

*Alle campagne di misura in opera dei parametri energetici di interesse prima e dopo l'intervento di riqualificazione vanno oggi affiancate quelle relative ai settori della IEQ. Un caso di studio*

**Marco Dell'Isola, Luca Stabile, Paolo Vigo e Giorgio Ficco**, Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale  
**Andrea Frattolillo e Roberto Ricciu**, Università degli Studi di Cagliari  
**Francesca R. d'Ambrosio**, Università degli Studi di Salerno  
**Laura Bellia, Boris I. Palella e Giuseppe Riccio**, Università degli Studi di Napoli Federico II

UNITÀ OPERATIVE 2 E 4

<http://www.nzebplatform.it/>

**C**OME NOTO, IL PATRIMONIO EDILIZIO ITALIANO è costituito in gran parte da edifici risalenti agli anni precedenti al 1980, che andrebbero riqualificati dal punto di vista energetico per ottenere prestazioni che li avvicinino, per quanto possibile, agli NZEB. Questo obiettivo, che non è facilmente raggiungibile se non altro perché gran parte di questi edifici è soggetta a vincoli di tipo storico e architettonico [1,2], si riferisce in realtà non solo agli aspetti strettamente energetici, in quanto la Direttiva (UE) 2018/844 [3], revisione della Direttiva sull'Efficienza Energetica degli Edifici 2010/31, già sostituita dalla EPBD recast 2012/27/UE, prevede che gli interventi di retrofit energetico debbano tener conto anche della qualità dell'ambiente interno, nota come IEQ.

La questione fondamentale è che negli interventi di retrofit energetico tradizionalmente ci si concentra sulla riduzione del fabbisogno e dei costi energetici, che può essere conseguita agendo sull'involucro o sugli impianti, senza però tener conto che vanno mantenute le condizioni di qualità dell'aria e di comfort termico, visivo e acustico previste dalla normativa vigente, per cui i consumi potrebbero in realtà diminuire o aumentare, a seconda delle stagioni e delle destinazioni d'uso. Quindi, alle campagne di misura in opera dei parametri energetici di interesse prima e dopo l'intervento di riqualificazione, i cui principi sono riportati nei Box 1, fondamentali per valutare dal punto di vista sia tecnico che economico l'efficacia dei diversi interventi di

retrofit possibili e per scegliere quello più conveniente, vanno oggi affiancate quelle relative ai settori della IEQ. I risultati delle diverse misure in campo vanno quindi analizzati sinergicamente, utilizzando un approccio rigoroso (che vuol dire misurare l'energia consumata [4] pre- e post-intervento considerando, in ambedue i casi, nelle medesime condizioni ambientali interne, ovvero quelle di comfort), o semplificato, valutando la sensibilità dei costi energetici ai singoli interventi di retrofit, sempre a parità di condizioni.

Questo tema è affrontato a tutto campo dalle Unità Operative 2 e 4. Qui di seguito viene presentato solo un esempio dell’approccio semplificato riferito al comfort termico e alla qualità dell’aria, per dare un’idea del problema.

Un caso esemplificativo

L’esempio proposto considera un ambiente destinato ad aula scolastica in condizioni invernali con affollamento pari a 0,5 persone per unità di superficie, con un’area della superficie del pavimento pari a 42 m², un volume di 126 m³ e una superficie esterna di 25 m², di cui 10 occupati da

una superficie vetrata.

Nel caso di semplice sostituzione degli infissi a vetro singolo con infissi a doppio vetro basso emissivi con taglio termico e nelle ipotesi che:

- le pareti interne confinino con ambienti alla stessa temperatura;
- nella condizione pre-retrofit sia stato misurato un rinnovo d’aria per aerazione pari a 0,12 h<sup>-1</sup>, misurato per esempio con il metodo del decadimento;
- nella situazione pre-retrofit siano realizzate le condizioni di comfort termico che si vogliono mantenere anche nella situazione post-retrofit, è ovvio che è da prevedersi una riduzione del fabbisogno energetico e del discomfort termico locale da asimmetria radiante, soprattutto per gli allievi posizionati nella fila adiacente la finestra, oltre che una riduzione della portata di aria esterna immessa, ma va valutata attentamente la variazione di risparmio energetico conseguente alla combinazione sostituzione dell’infisso — soddisfacimento delle condizioni di qualità dell’aria e di comfort termico in termini di temperatura operativa, posta pari a 20,0 °C — che è il valore corrispondente alla classe B nelle aule scolastiche [5,6].

Per quanto riguarda il comfort termico, riferito all’alunno posto in prossimità della finestra, la corrispondenza del centro della vetrata, in Tabella 1 è riportato il confronto tra i valori di alcune grandezze pre- e post-intervento nel caso esaminato. In riferimento alla sola superficie vetrata, per tener conto del contributo della temperatura media radiante alla sensazione termica, il valore della dispersione di energia è stato corretto in un fattore di aggiustamento, che risulta costante e indipendente dalla temperatura esterna, definito come:

$$f = \frac{T_{int} - T_{est}}{T_o - T_{est}} \tag{1}$$

Dalla Tabella risulta evidente che al centro dell’aula, a parità di temperatura operativa, la temperatura dell’aria post-retrofit è inferiore rispetto alla situazione precedente di 1,8 °C, con un incremento di risparmio energetico pari a 2,3% rispetto a quello calcolabile considerando unicamente il miglioramento della trasmittanza termica della superficie vetrata. Si noti che, vista la definizione del fattore di aggiustamento, questo valore del risparmio è indipendente dalla temperatura esterna.

Per quanto riguarda la qualità dell’aria, la portata di aria esterna nominale da immettere in ambiente può essere calcolata con la ben nota relazione [5]:

$$Q_{v,o,n} = n \cdot q_{v,o,p} + A \cdot q_{v,o,s} \tag{2}$$

dove:

Q<sub>v,o,n</sub> = portata volumica di aria esterna nominale, m³ s<sup>-1</sup>;

n = affollamento di riferimento;

q<sub>v,o,p</sub> = portata volumica di aria esterna minima per persona, m³ s<sup>-1</sup> persona<sup>-1</sup>;

A = area della superficie del locale in pianta, m²;

Tabella 1 – Confronto tra i valori di alcuni parametri relativi al comfort termico pre- e post-intervento

Parametri	Pre-intervento	Post-intervento	Risparmio energetico
temperatura dell’aria esterna, °C	0,0		
temperatura operativa interna, °C	20,0		
resistenza conduttiva interna, m²KW <sup>-1</sup>	0,13		
resistenza conduttiva esterna, m²KW <sup>-1</sup>	0,04		
resistenza conduttiva dell’infisso, m²KW <sup>-1</sup>	0,03	0,54	
trasmittanza dell’infisso, Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>	5,0	1,4	72,0%
temperatura esterna della superficie vetrata, °C	4,5	1,1	
temperatura interna della superficie vetrata, °C	7,8	16,9	
temperatura media radiante, °C	17,6	19,3	
temperatura dell’aria interna, °C	22,4	20,6	
fattore di aggiustamento	1,12	1,03	
flusso termico disperso attraverso la superficie vetrata, Wm <sup>-2</sup>	112	28,8	74,3%

MISURA IN OPERA DEL COMFORT TERMICO E DELLA QUALITÀ DELL’ARIA

Le misure di comfort termico vanno effettuate in conformità con la norma ISO 7726 [10,11], che definisce le caratteristiche metrologiche degli strumenti da utilizzare e le modalità di misurazione.

Per quanto riguarda la qualità dell’aria, oltre alla misura degli inquinanti gassosi, che può essere realizzata con misuratori portatili, purché opportunamente tarati, va misurata la concentrazione delle polveri aerodisperse super-micrometriche, il PM; sarebbe opportuno non limitarsi a misure spot, ma occorrerebbe prevedere il monitoraggio della concentrazione degli inquinanti di interesse.

Le misure andrebbero condotte parallelamente sia all’interno che all’esterno dell’edificio al fine di comprendere l’influenza dei parametri esterni in generale e, per quanto riguarda la IAQ, anche dell’aerazione o di eventuali metodi di ventilazione, l’efficienza dei sistemi di filtrazione, l’effetto della conduzione dell’edificio.



RETROFIT, IEQ AND ENERGY SAVING IN BUILDINGS

Traditional energy retrofit interventions focus on reducing energy requirements and costs, which can be achieved by acting on the envelope or on the plants, without taking into account that the conditions of indoor air quality and thermal, visual and acoustic comfort, provided for by current legislation, must be maintained. To the in place measurement campaigns of the energy parameters before and after the retrofit intervention, should be added those relating to the IEQ sectors. The results of the various measures in the field must be analyzed in synergy, using a rigorous or simplified approach, evaluating the sensitivity of energy costs to individual retrofit interventions, always on equal terms. This theme is addressed in all fields by the Operative Units 2 and 4. This paper presents an example case study that simply gives an idea of the problem.

Keywords: retrofit, IEQ, energy savings

$q_{v,o,s}$  = portata volumica di aria esterna minima per unità di superficie,  $m^3 s^{-1} m^{-2}$ .

Dalla quale si ricava che nell'esempio sono necessari una portata di aria esterna nominale di  $92 l s^{-1}$  e quindi un numero di ricambi ora pari a  $2,58 h^{-1}$ , circa 20 volte maggiore di quello esistente. Ovviamente, per garantire una buona qualità dell'aria all'interno dell'aula in esame, è necessario prevedere un sistema di ventilazione meccanica che determina un aumento del fabbisogno di energia. In analogia a quanto fatto per il comfort termico, in Tabella 2 sono riportati i valori del coefficiente globale di scambio termico per sola ventilazione calcolati nella situazione pre-retrofit e in quella post-retrofit, a parità di condizioni di qualità dell'aria, con la ben nota relazione [6]:

$$H_{ve,adj} = V \cdot c_p \cdot \rho \quad (3)$$

dove:  
 $V$  = volume dell'aula,  $m^3$ ;  
 $c_p$  = calore specifico a pressione costante dell'aria,  $kJ kg^{-1} K^{-1}$ ;  
 $\rho$  = densità dell'aria,  $kg m^{-3}$ .

In particolare, per quanto riguarda la situazione ante-retrofit, caratterizzata dall'assenza di qualsivoglia impianto, è stato ipotizzato che il calore di ricambi ora minimo calcolato con la (1) sia ottenuto mediante aerazione. Nella valutazione della situazione post-retrofit è stato considerato un sistema di ventilazione meccanica controllata con recupero termico ed efficienza di circa il 90%; per una stima più accurata, andrebbe preso in considerazione anche il fabbisogno per i ventilatori dell'unità di ventilazione, che tipicamente è di un ordine di grandezza inferiore rispetto alle perdite per ventilazione.

Volendo considerare anche il particolato, sia quello proveniente dall'esterno che quello prodotto all'interno, bisognerebbe ricorrere alla filtrazione tenendo ben presente che l'immissione in ambiente di area non filtrata, per aerazione, ma anche per ventilazione meccanica in assenza di sistema di filtrazione, non può che aumentare la concentrazione di particelle all'interno.

Conclusioni

Nel caso esaminato, seppure con tutte le ipotesi semplificative fatte, a seguito di un retrofit energetico-ambientale si ha un ulteriore risparmio energetico del 2,3% riferito alle necessarie condizioni di comfort termico e un recupero termico del 90% del fabbisogno di energia per ventilazione per soddisfare le condizioni di qualità dell'aria interna. Nella stagione estiva la situazione non può che ulteriormente avvalorare tutto ciò, a conferma dell'assoluta necessità di cambiare l'approccio attuale alla valutazione del retrofit negli edifici, per tener conto anche di soddisfare le condizioni di qualità dell'ambiente interno.

Tabella 2 – Confronto tra i valori di alcuni parametri relativi alla qualità dell'aria pre- e post-intervento

	Pre-intervento	Pre-intervento corretto	Post-intervento
Parametri	Aerazione con ricambio d'aria non imposto	Aerazione per garantire il ricambio minimo	ventilazione meccanica controllata + recuperatore di calore per garantire il ricambio minimo
n ( $h^{-1}$ )	0,12	2,58	2,58
$H_{ve,adj}$ ( $W K^{-1}$ )	5	111	11

BOX 2

MISURA IN OPERA DELLA TRASMITTANZA TERMICA E DELLA PERMEABILITÀ ALL'ARIA DELLE PARETI

Le misure in opera della trasmittanza vanno effettuate secondo la norma UNI ISO 9869-1 [9]. La tecnica proposta dalla norma è di semplice applicazione in termini di esecuzione della misura ed elaborazione dei risultati, ma presenta numerose criticità e vincoli che possono influire significativamente in termini di accuratezza e incertezza della misura [10]. Infatti, i risultati delle misurazioni sono davvero affidabili solo quando ricavati in condizioni di prova stabili e sotto differenze di temperatura interno-esterno sufficientemente elevate, condizione difficile da realizzare soprattutto in climi mediterranei, dove normalmente si registrano temperature esterne moderate anche nella stagione invernale ed elevate escursioni termiche giorno/notte. A questo si aggiungono spesso alcuni fattori di influenza, quali la presenza di acqua liquida nella parete e l'effetto della radiazione solare termica incidente, che rendono ancor più complessa la misura e la valutazione dei risultati.

La misura degli indici di permeabilità di un edificio può essere condotta con il metodo del decadimento della concentrazione di un gas tracciante e con la tecnica di pressurizzazione dell'edificio o di una sua parte. Nel primo caso occorre immettere in ambiente una quantità nota di gas tracciante e misurarne il decadimento della concentrazione, che è ovviamente proporzionale alla permeabilità all'aria dell'involucro edilizio e quindi al numero di ricambi ora.

La tecnica di pressurizzazione-depressurizzazione prevede, invece, la misura della portata d'aria che passa attraverso l'involucro edilizio messo in sovrappressione o in depressione a 50 Pa, a partire dalla quale è possibile determinare il ricambio d'aria nelle condizioni di prova e ricavare il ricambio naturale [11-14].

BIBLIOGRAFIA

[1] Celenza L., Dell'Isola M., Ficco G., Palella B.I., Riccio G. 2015. Heat accounting in historical buildings. *Energy Build.*, 95, 47–56.

[2] Canale L., Dell'Isola M., Ficco G., Di Pietra B., Frattillo A., 2018. Estimating the impact of heat accounting on Italian residential energy consumption in different scenarios. *Energy and Buildings*, 168, 385–398.

[3] Parlamento Europeo. 2018. Direttiva (UE) 2018/844 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30 maggio 2018 che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica. *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea* L 156/75 del 19.6.2018.

[4] Dell'Isola M., Ficco G., Arpino F., Cortellessa G., Canale L., 2017. A novel model for the evaluation of heat accounting systems reliability in residential buildings. *Energy and Buildings*, 150, 281–293.

[5] UNI. 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. Norma UNI EN 15251. Milano: Ente Italiano di Normazione.

[6] UNI. 2014. Prestazioni energetiche degli edifici Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale. Norma UNI/TS 11300-1. Milano: Ente Italiano di Normazione.

[7] UNI. 2008. Ergonomia degli ambienti termici - Strumenti per la misurazione delle grandezze fisiche. Norma UNI EN ISO 7726. Milano: Ente Italiano di Normazione.

[8] d'Ambrosio Alfano F.R., Olesen B.W., Palella B.I., Riccio G. (2014). Thermal Comfort: Design and Assessment for Energy Saving. *Energy and Buildings*, vol. 81, pp. 326-336.

[9] UNI. 2015. Isolamento termico - Elementi per l'edilizia - Misurazione in situ della resistenza termica e della trasmittanza termica - Parte 1: Metodo del termoflussimetro. Norma UNI ISO 9869.

[10] Ficco G., Iannetta F., Ianniello E., d'Ambrosio Alfano F.R., Dell'Isola M. 2015. U-Value in-situ measurement for energy diagnosis of existing buildings. *Energy and Buildings*, 104, 108-121

[11] d'Ambrosio Alfano F.R., Dell'Isola M., Ficco G., Tassini F. 2012. Experimental analysis of air tightness in Mediterranean buildings using the fan pressurization method. *Building and Environment*, 53, 16-25

[12] Stabile L., Dell'Isola M., Russi A., Massimo A., Buonanno G. 2017. The effect of natural ventilation strategy on indoor air quality in schools. *Science of the Total Environment*, 595, 894–902.

[13] Stabile L., Dell'Isola M., Frattillo A., Massimo A., Russi A., 2016. Effect of natural ventilation and manual airing on indoor air quality in naturally ventilated Italian classrooms. *Building and Environment*, 98, 180-189.

[14] d'Ambrosio Alfano F.R., Dell'Isola M., Ficco G., Palella B.I., Riccio G. (2016). Experimental Air-Tightness Analysis in Mediterranean Buildings after Windows Retrofit. *Sustainability*, vol. 8 (10), 1-9