

IEQ e risparmio energetico nella ristrutturazione degli edifici esistenti: un esempio per il clima mediterraneo

IEQ and Energy saving in existing buildings renovation: an example for the Mediterranean climate

– AGAPITO DI TOMMASO

Presidente *APS PERSUD*

RIASSUNTO

La cultura italiana del costruire sta vivendo negli ultimi anni grandi mutamenti, legati soprattutto alla consapevolezza che la disponibilità di energia per la conduzione degli edifici va sempre più diminuendo. L'orientamento attuale, sancito da numerosi provvedimenti di legge, è quello di diffondere e promuovere edifici caratterizzati da consumi energetici ridotti e nello stesso tempo confortevoli per chi li occupa. Il target di NZEB è ancora lontano a raggiungersi nell'edilizia comune, soprattutto in quella esistente, anche per l'incremento di investimenti che questa tipologia di edificio comporta rispetto a quelle tradizionali.

In questa memoria viene presentato un caso di studio che costituisce un esempio virtuoso di riqualificazione energetica di un appartamento residenziale: tutti gli interventi progettati sono volti ad ottenere, nei limiti della loro fattibilità, una drastica riduzione dei consumi, un miglioramento della qualità ambientale interna ed un'ottimizzazione del rapporto costi/benefici.

SUMMARY

The Italian building culture is deeply changing in these last years, especially because the consciousness that the availability of energy for the conduction of buildings is decreasing, is growing more and more among designers and builders. The current trend, ratified by several laws and rules, is to spread and promote buildings having low energy consumptions and being comfortable for occupants. The target of NZEB is far to be

reached, especially in the common buildings end in existing ones, even because of the increased investment that this sort of buildings need with respect to a traditional ones.

In this paper a case study, which represents a virtuous example of energy restoration of a residential building, is presented: all the interventions have been designed aiming to obtain, in the limits of their applicability, a drastic reduction of energy consumptions and, at the same time, an increment of indoor environmental quality (IEQ), optimizing at the same time the costs benefits ratio.

1. INTRODUZIONE

La normativa Italiana sul risparmio energetico in edilizia ha subito un'evoluzione notevole negli ultimi anni a seguito dell'emanazione delle Direttive europee 2002/91/UE (Unione Europea, 2002) e 2010/31/UE (Unione Europea, 2010), approdando ad un sistema di requisiti ben preciso per il sistema edificio-impianti (Presidente della Repubblica, 2009) e ad un modello di certificazione energetica approvato a livello nazionale (Ministero dello Sviluppo Economico, 2009).

Il recepimento della Norma EN 15251 da parte dell'Italia (UNI, 2008), poi, costituisce un ulteriore passo avanti verso un nuovo modo di costruire proteso al risparmio energetico, ottenuto nel rispetto della qualità dell'ambiente interna (IEQ), intesa come l'insieme di comfort termico, acustico, visivo e di qualità dell'aria interna. L'impatto economico e sociale che il nuovo assetto normativo si propone di ottenere è evidente in termini sia di risparmio ottenibile che di realizzazione di edifici sempre più efficienti dal punto di vista energetico e nello stesso tempo confortevoli e salubri.

A livello internazionale si sta facendo strada la promozione di edifici quasi auto-sufficienti dal punto di vista energetico, con la realizzazione sempre più numerosa di nuovi edifici progettati e realizzati con i criteri delle *passive house* o degli *NZEB* (D. Crowley et al, 2011).

Tuttavia, occorre fare un'osservazione fondamentale sulla grande difficoltà che il progettista incontra spesso già solo nell'applicazione dei criteri di risparmio energetico agli edifici esistenti. Non sempre, infatti, la peculiarità della forma, dell'esposizione, della storia stessa dell'edificio permettono di ottenere soluzioni progettuali adeguate a rispettare i criteri dettati dalla normativa vigente. Se, poi, si pensa di adeguare edifici esistenti ai criteri della progettazione della casa passiva o degli NZEB, ovviamente concepiti secondo criteri di eccellenza delle prestazioni energetiche, si comprende quanto sia difficile intraprendere la strada del risparmio energetico "estremo".

In questa memoria viene presentato il progetto di riqualificazione energetica di un appartamento degli inizi del '900, ubicato nel cuore della città di Napoli. Gli interventi, si propongono di ottenere per l'edificio una drastica riduzione dei consumi energetici e, contemporaneamente, un miglioramento della qualità ambientale interna, il tutto ottimizzato dal punto di vista economico.

2. LA SITUAZIONE ATTUALE

L'appartamento, avente superficie utile di 105 m² (altezza immobile, 4 m, S/V=0,39 m⁻¹) è ubicato nel quartiere Chiaia (a circa 100 m s.l.m.) del Comune di Napoli, classificato in zona climatica C e caratterizzato da 1304 GG (periodo di riscaldamento dal 15 novembre al 31 marzo). L'immobile si trova al sesto di sette piani di un edificio costruito agli inizi del '900.

2.1. Stato di fatto dell'abitazione

In Figura 1 è riportata una pianta dell'immobile oggetto della ristrutturazione, con la relativa esposizione.

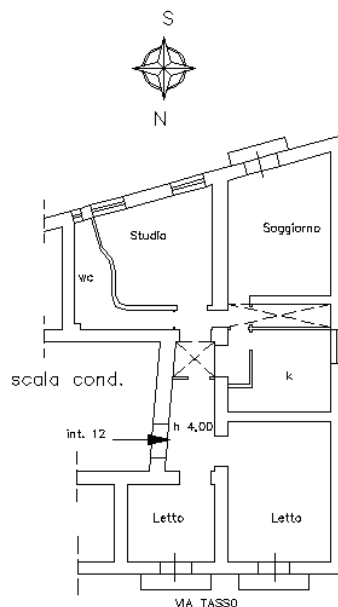


Figura1 – Pianta dell'immobile oggetto di riqualificazione energetica

La struttura portante dell'edificio è in muratura di tufo, materiale lapideo tipico delle costruzioni napoletane, ed i solai di calpestio e di copertura sono realizzati in legno, travi di acciaio e tufo.

Le murature perimetrali dell'appartamento hanno uno spessore complessivo (comprensivo di intonaci) di 45 cm, con una trasmittanza calcolata (UNI, 2008), U_p , pari a 1,14 W/m²K. Le finestre sono caratterizzate in parte da un telaio in legno con vetro semplice da 3 mm ed in parte da un telaio metallico senza taglio termico e vetro semplice da 4 mm, con una trasmittanza calcolata (UNI, 2007), U_w , pari a 5,0 W/m²K e 5,8 W/m²K rispettivamente per la tipologia con telaio in legno e in metallo. Il valore calcolato (UNI, 2008) per la trasmittanza termica del solaio di calpestio, realizzato in cemento armato su struttura di acciaio e tavolato di legno, è pari a 2,1 W/m²K; quello della trasmittanza

termica del solaio superiore, realizzato con analoga struttura di quello di calpestio, con l'aggiunta di una intercapedine d'aria non ventilata, è pari a $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Nell'appartamento è installato un boiler elettrico (1,5 kW) per la produzione di acqua calda sanitaria. Nella stagione invernale, il riscaldamento viene realizzato con stufe elettriche, in quella estiva, nei giorni più caldi, vengono saltuariamente utilizzati due condizionatori ad espansione diretta, tipo split.

Attualmente, l'appartamento è collocabile in classe energetica G (Presidente della Repubblica, 2009; Ministero dello Sviluppo Economico, 2009). La classe energetica è stata definita applicando il metodo "da rilievo sull'edificio" e considerando che l'immobile ricade nelle condizioni descritte all'allegato I comma 1, lettera a) delle Linee Guida Nazionali sulla certificazione energetica degli edifici. Pertanto, è stato considerato che nella stagione invernale le condizioni di comfort all'interno dell'immobile siano raggiunte con apparecchi alimentati dalla rete elettrica nazionale (Presidente della Repubblica, 2009; Ministero dello Sviluppo Economico, 2009).

3. IL PROGETTO DI RECUPERO

Gli obiettivi che si intende perseguire nella ristrutturazione energetica dell'abitazione sono i seguenti:

- riduzione dei consumi elettrici;
- riduzione dei consumi di gas metano;
- utilizzo di energia da fonti rinnovabili;
- miglioramento della qualità ambientale interna;
- ottimizzazione del rapporto costi/benefici;
- monitoraggio dei dati di consumo dell'edificio;

Una volta che l'intervento sarà terminato, si intende procedere alla verifica e alla successiva disseminazione dei risultati ottenuti.

Ovviamente, per ciascuna delle ipotesi di intervento di ristrutturazione sono state fatte valutazioni specifiche di fattibilità tecnico-economica, con particolare riferimento agli obiettivi da perseguire. In particolare, la valutazione economica è stata effettuata calcolando per ciascun intervento il relativo pay back period, valutato in riferimento agli extra costi che saranno sostenuti per gli interventi rispetto a quelli che si sosterebbero in caso di ristrutturazione tradizionale, sulla base del risparmio di energia ottenibile. Nel calcolo del pay back period si è tenuto conto, ove pertinente, delle eventuali detrazioni fiscali ai sensi della legge Finanziaria 2008. Il tasso di interesse annuo considerato è pari al 5% (Gottardi e Scarso, 2010).

3.1 Interventi sull'involucro

Per l'involucro edilizio sono previsti due interventi classici: il miglioramento dell'isolamento termico delle pareti perimetrali e la sostituzione degli infissi esistenti.

Per l'edificio in cui si trova l'immobile non è stato possibile progettare interventi di isolamento termico dall'esterno; inoltre, l'idea di realizzare contropareti dall'interno non era percorribile in quanto ciò avrebbe comportato perdite di volumi utili. Pertanto, compatibilmente con i vincoli posti dal condominio e limitando al massimo la perdita di volumetria interna, è stato previsto di sostituire gli intonaci interni esistenti con 3 cm di intonaco termoisolante ($\lambda = 0,05 \text{ W/mK}$). Tale intervento di manutenzione, essendo di carattere ordinario, non è soggetto a verifiche di rispondenza al DLgs 192/05 e s.m.i., tuttavia si segnala che, a valle dell'intervento, il valore della trasmittanza termica della parete è pari a $U_p=0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$, con una riduzione del 36% sulle dispersioni per trasmissione attraverso le pareti verticali opache.

Per quanto riguarda gli infissi, saranno messi in opera infissi certificati Passive Haus. con tripla vetrocamera, elementi schermanti integrati nella parte vetrata ($U_w = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$), e con un potere fono isolante pari a 43 dB. Dal punto di vista energetico, la presenza delle schermature solari automatizzate permetterà di contenere i carichi solari durante la stagione estiva; dal punto di vista della qualità ambientale la schermatura ridurrà il rischio di asimmetrie radianti e l'elevato valore del potere fonoisolante avrà un impatto positivo sul comfort acustico.

L'effetto della sostituzione dei vetri sarà una significativa riduzione delle dispersioni per trasmissione attraverso le superfici trasparenti (-80%). Questo risultato non deve sorprendere se si pensa allo stato attuale degli infissi e comunque, non costituisce l'aspetto determinante delle dispersioni totali, in quanto l'area della superficie vetrata rappresenta il 9% di quella lorda disperdente.

3.2 Interventi sull'impianto

Per l'impianto di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria è stato previsto:

- installazione di una caldaia a condensazione ad elevate prestazioni per la produzione di acqua calda sanitaria e per il riscaldamento;
- installazione di radiatori a bassa temperatura;
- regolazione dell'impianto sulla base della temperatura esterna e di quella dell'aria in ambiente (l'appartamento è stato suddiviso in due zone termiche, vista la differenza di esposizione e di destinazione d'uso tra la zona giorno e quella notte).

La ventilazione dell'immobile sarà di tipo meccanico a doppio flusso con recupero di calore, con un'efficienza del recuperatore a flussi incrociati dichiarata dal costruttore fino al 95%. La scelta di tale strategia di ventilazione è dettata, oltre che da ragioni energetiche, anche dal fatto che il lato nord dell'immobile affaccia su una strada ad elevata densità di traffico, per cui l'apertura delle finestre arreca problemi dal punto di vista non solo della qualità dell'aria, ma anche da quello del fastidio acustico, specialmente durante le ore notturne. Il sistema di ventilazione è stato progettato in modo da realizzare il free cooling durante le stagioni intermedie e durante la notte nella stagione estiva. Il controllo della ventilazione sarà effettuato sulla base della differenza di temperatura dell'aria

tra interno ed esterno ed in ogni caso sarà programmabile sulla base delle ore di effettiva occupazione.

Durante la stagione invernale, in prima ipotesi, era stata prevista la possibilità di convogliare al recuperatore di calore anche l'aria proveniente dalla cappa di aspirazione della cucina, al fine di ottenere un più efficace sfruttamento degli apporti gratuiti provenienti dalla cottura dei cibi. Tuttavia alcune considerazioni di ordine tecnico e di carattere economico hanno portato ad abbandonare questa ipotesi. Infatti, i vapori untati della cucina, se non opportunamente filtrati, sporcando lo scambiatore, potrebbero inficiarne l'efficienza. Sarebbe necessario, quindi, agire in maniera spinta sul sistema di filtri, generando così perdite di carico ulteriori che incidono sui consumi, rendendo non conveniente l'investimento, già caratterizzato da un pay back period molto elevato.

3.3 L'impianto fotovoltaico

Sulla facciata sud saranno installati due pannelli fotovoltaici, posizionati verticalmente sotto le finestre. La potenza di picco totale installata sarà di 0,6 kW_p. L'impianto sarà di tipo stand alone in back up caldo con la rete Enel e sarà accoppiato a batterie di accumulo. Il dimensionamento dei pannelli e delle batterie è stato effettuato sulla base della potenza media assorbita dalle utenze che si è scelto di alimentare, ma anche e soprattutto degli ingombri massimi ammissibili in facciata. Lo schema funzionale dell'impianto è riportato in Figura 2. Il contributo dell'energia prodotta dai pannelli fotovoltaici è stato considerato nel calcolo del fabbisogno totale di energia primaria, ma si sottolinea che questa ipotesi non incide sulla classe energetica dell'edificio, influenzata invece maggiormente dalle scelte impiantistiche e di regolazione dell'impianto di riscaldamento e ventilazione. Il pay back period di tale investimento è pari a 18,5 anni, come supponibile dalla bassa producibilità attesa.

Lo spirito della scelta dell'installazione dell'impianto FV, in questo caso non è stato di carattere puramente economico, ma ha tenuto della scelta di:

- non voler far gravare le utenze a servizio dei componenti di impianto che costituiscono il sistema di monitoraggio /ventilazione (addendum energetico rispetto allo stato di fatto) dell'immobile sui consumi dalla rete elettrica nazionale, come osservabile dallo schema funzionale in Figura 2;
- di avere un sistema di illuminazione che funzioni anche come sistema di illuminazione di emergenza, non risentendo di eventuali black out della rete Enel.
- di aumentare la potenza massima disponibile da 3 a 3,6 kW con il conseguente vantaggio di evitare i black out da sovrassorbimenti nei momenti di punta.

3.4 Altri interventi

Al fine di ridurre i consumi energetici dell'immobile sarà attuata una serie di altri interventi, tra cui:

- installazione di elettrodomestici ad elevata efficienza energetica (PBP = 9anni);
- installazione di lampade ad elevata efficienza energetica;
- installazione lavastoviglie e lavatrice predisposte con ingresso per acqua riscaldata (PBP = 11,9 anni)

- interruttori a monte delle prese FV (PBP = 13,7 anni)

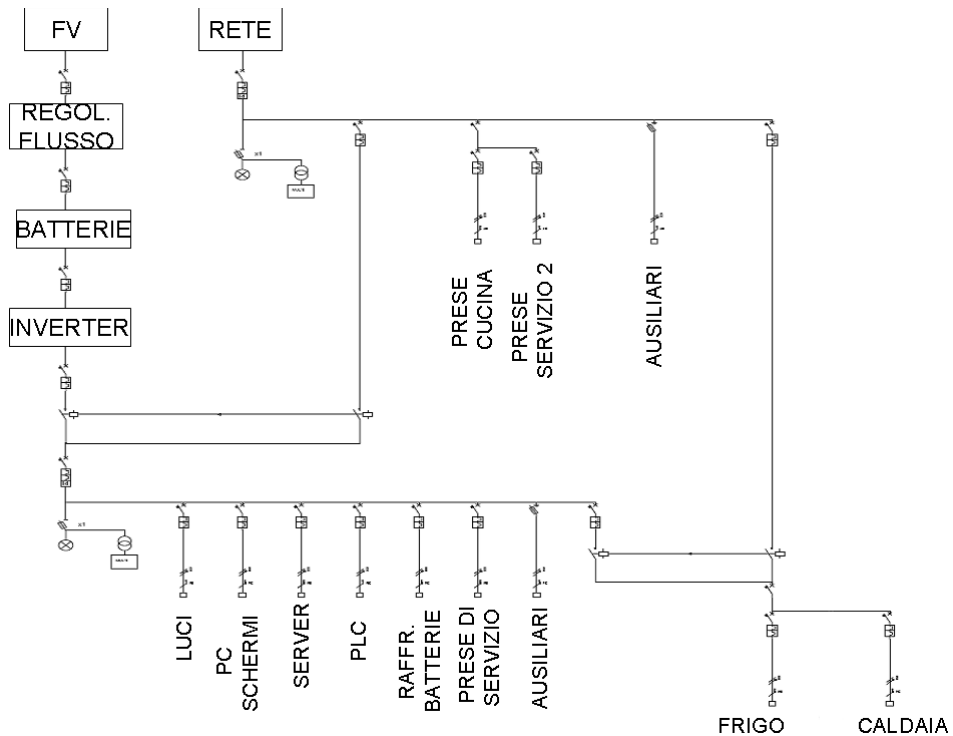


Figura 2 – Schema unifilare dell'impianto elettrico

3.5 Risultati attesi

La nuova configurazione dell'impianto e la riduzione delle dispersioni termiche attraverso l'involucro ipotizzate consentiranno di avere un valore del fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento pari a $EP_i=15 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$ (riduzione dell'85% rispetto allo stato di fatto, $EP_i=105 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$, che, come già evidenziato, risente dell'ipotesi di soddisfare il fabbisogno di energia per il riscaldamento utilizzando apparecchiature elettriche in maniera continua durante tutto il periodo di riscaldamento), e per la produzione di acqua calda sanitaria pari a $EP_{acs}=5 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$ (riduzione del 93% rispetto al fabbisogno allo stato di fatto, fortemente aggravato dalla produzione di acqua calda con il boiler elettrico).

Si osserva che l'apporto di energia dall'impianto solare fotovoltaico non incide in maniera determinante sul fabbisogno energetico globale dell'edificio.

Il tempo di ritorno dell'investimento per gli interventi sul sistema edificio-impianto è stato stimato in 6,5 anni.

In Tabella I sono riportati in sintesi i valori degli indicatori di prestazione energetica valutati allo stato di fatto dell'immobile e quelli attesi a valle degli interventi di recu-

però energetico del sistema edificio-impianto. L'analisi della Tabella I si faccia tenendo conto delle seguenti osservazioni:

- il miglioramento della prestazione estiva è ottenuto sostanzialmente grazie agli infissi nuovi che, rispetto a quelli installati, sono di notevole prestazione;
- la prestazione invernale allo stato di progetto è ottenuta principalmente a valle di una accorta progettazione dell'impianto e delle superfici dei terminali di erogazione del calore, nonché al parziale recupero di energia termica con la ventilazione meccanica.

Tabella I – Riepilogo delle prestazioni energetiche dell'immobile, allo stato di fatto ed allo stato di progetto

Indicatore	Stato di fatto	Stato di progetto
Indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva (solo involucro), $EP_{e, involucro}$ [kWh/m ² anno]	16,5	9,5
Indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale (solo involucro), $EP_{i, involucro}$ [kWh/m ² anno]	47,7	15,0
Indice di prestazione energetica per il riscaldamento, EP_r [kWh/m ² anno]	105	15,2
Indice di prestazione energetica per l'ACS, EP_{acs} [kWh/m ² anno]	76	5,2
Classe energetica dell'edificio	G	A

4. LE RICADUTE SULLA IEQ

Come si è detto, un intervento di recupero energetico nel settore residenziale deve sempre essere accompagnato da una grande attenzione per le condizioni di IEQ. In Tabella II, per ciascun tipo di intervento previsto, sono riportate le corrispondenti valutazioni qualitative dell'impatto sui consumi energetici e sulla IEQ.

Dall'analisi della Tabella II si può evincere lo sforzo di effettuare scelte in vista di ottenere un miglioramento delle condizioni attuali dell'immobile, ovviamente, limitatamente ai budget investiti ed agli interventi effettuati. Sicuramente il monitoraggio dei parametri ambientali e di consumo saranno determinanti nella valutazione dell'efficacia degli interventi e dell'impatto che realmente avranno dal punto di vista energetico e sulla qualità dell'ambiente interno.

5. IL MONITORAGGIO DEI CONSUMI E DI ALCUNI PARAMETRI DELLA IEQ

A valle della realizzazione degli interventi descritti, all'interno dell'appartamento sarà realizzata una stazione di controllo dei parametri di consumo di energia termica ed

elettrica. In particolare, per monitorare la producibilità effettiva dell'impianto fotovoltaico ed i consumi dalla rete elettrica nazionale, saranno installati contatori di energia elettrica differenziati.

Tabella II – Riepilogo degli interventi previsti ed impatto sui fabbisogni energetici e sulla Qualità Ambientale Interna (IEQ)

Intervento	Impatto sui consumi energetici	Impatto sulla IEQ
Sostituzione infissi	Riduzione delle dispersioni per trasmissione attraverso l'involucro	Miglioramento del comfort visivo (schermi regolabili), termico ed acustico
Isolamento termico pareti opache verticali	Riduzione delle dispersioni per trasmissione attraverso l'involucro	Miglioramento del comfort termico
Installazione sistema di ventilazione con recupero di calore	Riduzione dei consumi rispetto a sistemi senza recupero del calore;	Miglioramento della qualità dell'aria interna
Sostituzione boiler elettrico e stufe con caldaia a condensazione ed ottimizzazione della regolazione dell'impianto	Riduzione dei consumi per la produzione di ACS; consumi ridotti per la produzione di energia termica per il riscaldamento (elevata efficienza del generatore e del sistema di regolazione)	Miglioramento del comfort termico per effetto del controllo delle temperature ambiente per zone
Installazione radiatori a bassa temperatura	Ridotte temperature di adduzione del fluido caldo grazie alle grandi superfici di scambio, ottimizzazione delle prestazioni della caldaia a condensazione	Miglioramento del comfort termico per effetto delle grandi superfici radianti a bassa temperatura
Installazione pannelli FV	Riduzione dei consumi di energia dalla rete elettrica nazionale	-
Installazione elettrodomestici e lampade ad elevata efficienza	Riduzione dei consumi di energia elettrica	-
lavastoviglie e lavatrice predisposte ingresso acqua riscaldata	Riduzione dei consumi di energia elettrica	-
Interruttori a monte prese FV	Riduzione dei consumi di energia elettrica in condizioni di <i>stand by</i> delle apparecchiature.	

Inoltre, per il monitoraggio dei consumi relativi al riscaldamento ed all'acqua calda sanitaria, il PLC dedicato alla regolazione dell'impianto, riceverà segnali di: temperatura e portata acqua dell'impianto di riscaldamento, portata gas metano alla caldaia, temperatura e portata acqua calda sanitaria, temperatura di ingresso dell'acqua dalla rete idrica comunale.

Saranno monitorati anche alcuni parametri microclimatici e di qualità dell'aria. Per quanto riguarda i parametri ambientali, saranno installate sonde di temperatura dell'aria e di umidità relativa per ogni zona termica: ciò consentirà il controllo dei parametri di progetto dell'impianto di riscaldamento. Ovviamente, non è pensabile installare un sistema di monitoraggio dei parametri di comfort termoigrometrico in maniera stabile, essendo la strumentazione necessaria molto costosa e necessitando di spazi che potrebbero interferire con la vita di ogni giorno degli occupanti. Tuttavia non si esclude di effettuare misure spot dei parametri di comfort termoigrometrico con una centralina microclimatica, sia durante la stagione estiva che quella invernale, in condizioni di uso tipiche, al fine di verificare i valori ottenibili degli indici di comfort termico globale e di quelli di discomfort locale.

Trattandosi di un'abitazione, essendo la principale sorgente inquinante costituita dagli occupanti, il monitoraggio della qualità dell'aria interna sarà effettuato installando sonde per la misura delle concentrazioni di anidride carbonica (Alfano et al., 2002) in ognuna delle due zone termiche. Il PLC riceverà i segnali provenienti dalle sonde, inviandoli al server di monitoraggio.

Gli Autori ritengono che una diffusione della pratica di monitorare i risultati degli interventi di recupero, sia in termini di risparmio energetico conseguito che di qualità ambientale realizzata e, perché no, di investimenti, possa essere utile al fine di creare un data base che i progettisti potrebbero utilizzare come utile supporto alla scelta del tipo di intervento più adatto a seconda della tipologia edilizia, della situazione preesistente e, in generale, del contesto in cui si trovano ad operare.

6 CONCLUSIONI

È possibile progettare un intervento di recupero energetico di un immobile esistente riducendo drasticamente i consumi, tuttavia è importante tener conto degli aspetti di qualità ambientale.

Questo caso studio si propone come obiettivo, a valle dell'intervento di ristrutturazione descritto, il monitoraggio attento di alcuni parametri campione opportunamente scelti, in modo da valutare le differenze tra le prestazioni attese e quelle reali.

La creazione di una rete di progettisti e realizzatori di interventi di recupero energetico potrebbe portare alla realizzazione di un data base utile per migliorare i metodi di previsione delle prestazioni, grazie anche alla condivisione delle informazioni.

BIBLIOGRAFIA

- Alfano G., d'Ambrosio F. R., Riccio G. 2002. La misura della CO₂ per valutare l'IAQ. Atti Convegno AICARR "Sistemi e impianti per il controllo della qualità dell'aria e dell'umidità", 19-32, Bologna, 2002
- Crowley D., Pless S., Torcellini P. 2011. Verso gli edifici del lavoro a zero energia, in AICARR Journal n.4, anno 1, dicembre 2010-gennaio 2011, pp.12-14
- Gottardi G., Scarso E. 2010. Economia. In: Miniguia AICARR, terza edizione. Manuale di Ausilio alla progettazione termotecnica. Cap. L. Padova: Servizi Grafici Editoriali.
- Ministero dello Sviluppo Economico. 2009. *Linee guida nazionali per la certificazione energetica*. Decreto Ministeriale 26/6/2009. G.U. 10/7/2009 n. 158.
- Presidente della Repubblica. 2009. *Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia*. Decreto del Presidente della Repubblica 2 aprile 2009, n. 59. GU n. 132 del 10.6.2009.
- 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.
- UNI EN ISO 10077-1. 2007. Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti - Calcolo della trasmittanza termica - Parte 1: Generalità.
- UNI EN ISO 6946. 2008. Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo.
- Unione Europea. 2002. *Direttiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio sul rendimento energetico nell'edilizia*. Gazzetta Ufficiale delle Comunità europee n. L 1 del 4 gennaio 2003.
- Unione Europea. 2010. *Direttiva 2010/31/UE Del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia (recast)*. Gazzetta Ufficiale delle Comunità europee n. L 153 del 18/6/2010.