



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie,  
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



*Ministero dello Sviluppo Economico*

## RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

# Riqualificazione di edifici scolastici: risultati di una campagna di monitoraggio energetico

*P. Romagnoni, E. Antonini, M. Boscolo, F. Cappelletti*

RIQUALIFICAZIONE DI EDIFICI SCOLASTICI: RISULTATI DI UNA CAMPAGNA DI  
MONITORAGGIO ENERGETICO

prof. ing. Piercarlo Romagnoni (Univ. IUAV Venezia), Prof. Arch. Ernesto Antonini, prof. ing.  
Marco Boscolo (1), dott. arch. Francesca Cappelletti (Univ. Bologna)

Settembre 2010

Report Ricerca Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Usi Finali

Tema: "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

Responsabile Tema: Gaetano Fasano, ENEA.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-**impianto**, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

**ESTRATTO**

Le problematiche relative alla diagnosi energetica degli edifici esistenti risultano essere di maggiore importanza nel caso di edifici pubblici ed in particolare nel caso degli edifici scolastici là dove un uso più efficace dei vettori energetici comporta sicuri vantaggi ai bilanci delle amministrazioni pubbliche.

L'indagine oggetto di questa comunicazione si propone non solo di valutare le condizioni degli edifici analizzati e di delineare le strategie di riqualificazione energetica più efficaci, ma soprattutto di sperimentare una metodologia di rilievo semplificato per poterla riproporre in situazioni simili. La campagna “Accendi il risparmio” condotta da Legambiente Veneto, finanziata dalla Regione Veneto e sostenuta da ANCE Veneto, ha messo sotto osservazione oltre 50 complessi edilizi pubblici ad uso scolastico, con lo scopo di valutare più in dettaglio lo stato di conservazione e in particolare il comportamento energetico. Un campione rispetto all'enorme patrimonio di edifici scolastici italiani, sufficiente per cominciare a capire quali sono i problemi e le possibili soluzioni. Selezionati in collaborazione con le Amministrazioni Comunali e Provinciali, gli edifici scolastici del Veneto oggetto dell'indagine sono stati sottoposti ad una serie di rilievi e misure ad opera di squadre di operatori appositamente addestrati. Il presente lavoro presenta le metodologie adottate ed i risultati di questa campagna di indagine.

**1. INTRODUZIONE**

L'esperienza degli ultimi venti anni ci ha insegnato che spesso i cambiamenti vengono letti da alcuni attori come chiari indicatori di crisi, mentre per altri sono importanti opportunità da cogliere. Quest'ultimo punto di vista ci fa considerare come decisivo, per il prossimo futuro, il primo grande fenomeno di trasformazione che caratterizza il settore delle costruzioni già negli anni '90: oltre il 60% del valore della produzione nelle costruzioni proveniva dall'attività manutentiva e di riqualificazione del patrimonio esistente. Tendenza potenziata dalle scelte legislative degli ultimi anni che hanno premiato fiscalmente le riqualificazioni, anche energetiche, degli edifici privati.

Il peso che i consumi del settore civile hanno nei consumi complessivi del Paese ha guidato Legambiente Veneto a promuovere uno screening energetico degli edifici

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-**impianto**, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

pubblici del Veneto. A completare ed approfondire le informazioni disponibili sulla situazione delle scuole italiane fornite dal Rapporto "Ecosistema scuola" di Legambiente [1], che è giunto quest'anno alla sua ottava edizione analizzando oltre 7000 edifici scolastici, pari al 15% dei circa 42.000 che costituiscono il parco attualmente in esercizio. Nel caso, 50 edifici appartenenti a 37 Comuni e 3 Amministrazioni Provinciali, sono stati presi a campione per segnalare gli sprechi attualmente in atto, per guidare le modalità di interventi migliorativi, le potenzialità di lavoro sia per grandi e piccole imprese di costruzioni, sia di artigiani impiantisti e riparatori. Il tutto nel segno di una metodologia scientifica di indagine sullo stato degli edifici dalla quale far dipendere gli interventi e l'integrazione fra essi. La conoscenza puntuale del patrimonio edilizio è il punto di partenza per una oculata programmazione energetica, particolarmente importante per la Pubblica Amministrazione (si pensi ai contratti di fornitura di energia e di global services). Disponendo di informazioni affidabili, si riescono pianificare con anticipo gli interventi e a stabilirne l'entità, il grado di priorità e il livello di qualità, imponendo le idonee specifiche tecniche alle opere da realizzare. Avere evidenziato i problemi costituisce solo il primo passo verso un uso oculato dell'energia: la seconda fase, altrettanto capillare ed attenta, dovrà investire l'utenza (comportamenti "educati" alle problematiche energetiche), le imprese (costruttori, impiantisti) ed i progettisti del settore. Spesso in edilizia si adottano materiali, sistemi tecnici e standard solo perché più noti o più semplici da installare, ma senza disporre di reali riscontri della loro efficacia basati su dati storici e correlati con i comportamenti dell'utenza o con il clima del luogo. L'analisi dei consumi può evidenziare comportamenti più o meno virtuosi, sprechi o risparmi che l'utenza leggerà direttamente sulla stessa targa energetica che, per legge, dovrà essere apposta in evidenza sulle pareti della scuola. Anche per questo è necessario che le informazioni siano realistiche e verosimili.

## 2. L'indagine

### 2.1 I DATI DI PARTENZA

Utilizzando le normali documentazioni cartacee in possesso degli enti proprietari ed integrandole con un set limitato di informazioni raccolte sul campo, una coppia di tecnici -formati, ma non esperti- ha quindi svolto autonomamente il rilievo della situazione energetica di ciascun edificio. Tramite un attento sopralluogo sono stati completati i dati dimensionali, registrate la consistenza e la qualità degli infissi, annotate la presenza di infiltrazioni e lesioni sulle pareti e stimate le caratteristiche degli elementi di involucro opaco. Ciò ha permesso di implementare un foglio di calcolo Ecodomus [2] con cui modellare il comportamento energetico dell'edificio, considerando anche le dispersioni per ventilazione. Oltre all'ispezione visiva, che permetteva di esaminare l'efficienza di ogni singolo componente come richiesto dalla scheda di valutazione, per ogni complesso edilizio si è proceduto anche realizzare:

- due serie di termografie –prima in regime estivo e poi in regime invernale - per valutare il comportamento dell'involucro,
- un test di tenuta all'aria dell'involucro (Blower door test) eseguito in un locale-campione,
- alcune indagini endoscopiche, per controllare la corrispondenza fra le stratigrafie effettive delle chiusure opache e quelle di progetto,
- misure a campione con termoflussimetri in camera climatizzata, per realizzare una differenza di temperatura costante e mettere in equilibrio le misure effettuate sulle due superfici

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-**impianto**, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

- misure a campione con rilevazione in continuo di temperatura e umidità per la durata di 30 gg consecutivi, per valutare il grado di comfort interno e il comportamento del sistema di immissione del calore (terminale di impianto) e del sistema di regolazione,
- misure di qualità dell'aria interna (concentrazione di CO<sub>2</sub>) in alcuni edifici.

La Figura 1 riporta il confronto tra l'immagine fotografica e la termografia realizzata nell'aula magna della scuola. Le Figure 2 e 3 presentano i risultati delle misure dei valori delle temperature e dell'umidità relativa dell'aria interna ed esterna misurate nella Scuola A. Frank di Treviso nel periodo Gennaio 2009 – 11 Febbraio 2009. La Figura 4 l'esito del calcolo energetico eseguito secondo gli standard UNI EN e proposto dal foglio di calcolo Ecodomus.

### 3. Risultati

Il campione di edifici analizzato è realmente significativo della situazione del patrimonio scolastico regionale sia per la numerosità del campione che per la collocazione geografica delle scuole. Ma c'è di più: nella maggior parte dei casi si sono evidenziati non solo problemi comuni (scarsità di isolamento, vetri da sostituire, impianti da riadattare,...), ma si sono pure rese evidenti le differenze tra i singoli casi. Vi sono cioè edifici nei quali è evidente l'azione sull'involucro (vetri con trasmittanze più basse rispetto alla media, nei quali è stato possibile effettuare un'opera di riqualificazione edilizia) o sull'impianto (sostituzione dei generatori o migliorie impiantistiche che in più di qualche caso hanno consentito di ottenere rendimenti medi stagionali superiori al valore limite di legge). In questo secondo caso è bene ricordare comunque che l'intervento sulla struttura è ben più efficace oltre che durevole eliminando la causa della dispersione termica "alla fonte". Dallo screening energetico è emerso che le scuole disperdono annualmente tra i 250 kWh/m<sup>2</sup> e i 350 kWh/m<sup>2</sup> (media 290 kWh/m<sup>2</sup>), equivalenti ad un consumo annuo di energia di circa 40 €/m<sup>2</sup>. Ciò significa che in Veneto il 95% degli edifici scolastici se fosse certificato risulterebbe in classe energetica G (classificazione proposta da Ecodomus), la peggiore, e il restante 5% arriverebbe non oltre la classe F. Tali indici sono comprensivi anche del fabbisogno di acqua calda sanitaria che è calcolato sulla base delle persone che frequentano la scuola. Tuttavia altrettanto interessante è il valore medio del Fabbisogno dell'edificio calcolato sulla base delle necessità di solo riscaldamento dell'involucro che è di circa 84 kWh/(m<sup>2</sup> anno) riferito al clima reale. La conferma della difficoltà di realizzare buoni valori relativamente alle dispersioni, viene esaminando la struttura edilizia: la trasmittanza media della struttura edilizia è superiore a 1 W/(m<sup>2</sup> K), precisamente 1,25 W/(m<sup>2</sup> K). E' evidente la necessità di intervenire sulle strutture, coperture e finestre, in particolare tali risultano essere gli interventi da realizzare nella maggior parte delle scuole (circa il 75%). Più definita la situazione relativa agli impianti: come sopra ricordato in questi casi intervenire può essere più semplice e comunque può riportare il rendimento entro i valori di legge, come succede nel 15 % dei casi analizzati. La sostituzione del generatore consente per esempio l'adozione di generatori ad elevato rendimento di produzione, il miglioramento della distribuzione di energia termica e, in qualche caso, anche dell'emissione interna ai locali. A questo proposito è necessario ribadire l'utilità delle misure in situ che hanno, limitatamente ad alcune scuole, evidenziato quali problemi possano sopraggiungere da un errato posizionamento dei corpi scaldanti (radiatori, mobiletti,...) o da un'insufficiente informazione fornita all'utente (riscaldamento acceso durante i periodi di chiusura della scuola). In molti casi sono stati evidenziati fenomeni di surriscaldamento dovuto all'errata posizione delle sonde termostatiche interne o

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-**impianto**, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

alla disinformazione dell'utente su come impostare i termostati di zona. Quali sono quindi i punti su cui agire:

*interventi sulle strutture:* coperture e superfici vetrate;

*interventi sugli impianti:* manutenzione ordinaria ed eventuale sostituzione di generatori sovradimensionati. Questi interventi possono comportare risparmi sui consumi stimabili attorno al 20%.

Altre considerazioni andrebbero fatte sulla ventilazione. Il problema è strettamente correlato alla qualità dell'aria interna. Una recente indagine ha evidenziato come ogni bambino dovrebbe poter disporre di un ricambio d'aria di almeno 7,5 litri al secondo (livello minimo di comfort suggerito da ASHRAE [3]), mentre per circa il 70% degli scolari dello studio il ricambio d'aria è risultato inferiore a questo valore. Dalla stessa indagine, la qualità dell'aria risulta scarsa nel 97% delle aule prive di sistema di ventilazione meccanico e solo nel 13% di quelle con sistema di ventilazione installato. Nelle nostre scuole tale problema non è minimamente affrontato. La quantità di energia dedicata alla ventilazione non sarà per nulla trascurabile e le soluzioni dovranno essere compatibili con le caratteristiche degli edifici (spesso vincolati). Di fondo resta un'amara constatazione sullo stato del patrimonio scolastico: la maggior parte degli edifici sono vecchi e non hanno molto margine per migliorie significative del loro comportamento energetico senza stravolgerne l'architettura o la funzionalità. Può sembrare paradossale fornire indicazioni per la buona progettazione quando si ha a che fare con un patrimonio edilizio scolastico consolidato e consistente, ma è necessario precisare quali sono le scelte che il progettista deve porre come prioritarie. Per i vetri, ad esempio, l'uso di sistemi 4-12-6 (con Argon nell'intercapedine) garantisce il raggiungimento di prestazioni termiche di eccellenza [ $U_g = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ ; fattore solare  $g = 0,62$ ; trasmissione luminosa  $t_v = 0,69$ ] oltre a favorire l'attenuazione del rumore esterno e permettere il raggiungimento dei valori di richiesti dal D.P.C.M. 5/12/1997 "Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici" (categoria E) relativamente a indice dell'isolamento acustico standardizzato di facciata ( $D_{2m,nT,W}$ ) pari a 48 dB. Anche buoni telai metallici sono garantiti per trasmittanza pari a  $U_f = 1,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$  e quindi la trasmittanza complessiva del sistema vetro-telaio è di assoluto rilievo. Inoltre con tale scelta ci si propone di ridurre in modo adeguato l'apporto solare a circa il 60% riducendo, dove possibile, gli apporti solari estivi. Si prevede comunque di utilizzare anche un sistema di schermatura necessario per ridurre gli apporti solari, così come espressamente richiesto dalla legislazione nazionale (comma 10, all. I del D.Lgs. 311/2006 e DPR 59/2009). Un'ulteriore notazione riguarda l'attenzione ai ponti termici, in particolare alla correzione dei ponti termici dovuti all'attacco a terra, ai solai interpiano, all'introduzione delle finestre nel perimetro esterno e alla giunzione parete verticale - copertura. L'attenuazione dei ponti termici può consentire di ridurre l'entità delle dispersioni la percentuale delle quali può arrivare al 15% del totale. La centrale tecnica dovrebbe essere dedicata alla produzione di calore oltre a quella del freddo. La scelta del generatore può cadere su moduli termici a condensazione il cui rendimento di produzione è elevato e, soprattutto, rispetta i vincoli imposti dal D.P.R. 15 novembre 1996, n. 660 in attuazione della direttiva 92/42 CEE oppure si può optare per pompe di calore geotermiche. La regolazione impiantistica dovrebbe avvenire con sonda esterna e clima di ogni singola aula al fine di ottimizzare la prestazione del sistema di regolazione evitando sprechi energetici. Il sistema di emissione a bassa temperatura: mobiletti ventilconvettori ogni singola aula consentirebbe al singolo utente una migliore regolazione delle condizioni di comfort interno. L'apporto di aria di rinnovo consentirebbe di ridurre i rischi di produzione di condensa in estate. L'aria di ripresa dovrebbe essere inviata ad un recuperatore termico per permettere un opportuno risparmio energetico: si stima di poter

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-**impianto**, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

recuperare almeno il 60% dell'entalpia dell'aria in uscita. La prestazione delle singole macchine termiche dovrebbe essere conforme ai requisiti prestazionale di legge (rendimento minimo medio stagionale per il sistema di riscaldamento); è opportuno valutare comunque la prestazione stagionale delle macchine frigorifere che deve essere in linea con i valori prescritti dalla *Decisione della Commissione Europea del 9 novembre 2007* che stabilisce i **criteri ecologici** per l'assegnazione del marchio comunitario di qualità ecologica alle pompe di calore elettriche, a gas o ad assorbimento funzionanti a gas.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-**impianto**, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---



Figura 1 Aula Magna immagine termografica e fotografica

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-**impianto**, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

**4. PROSPETTIVE**

Le elaborazioni dei dati rilevati permettono di valutare gli interventi più appropriati: per ogni edificio sono state elaborate e fornite all'Amministrazione proprietaria quattro strategie di intervento, che prevedevano, oltre alla sostituzione dei serramenti dove necessaria, l'introduzione di sistemi di ventilazione meccanica con recuperatore, l'isolamento con cappotto termico, la risoluzione dei ponti termici (più facile se accoppiata alla sostituzione del serramento), l'isolamento della sola copertura. Ogni strategia è stata associata ad un indice di costo (in Euro per m<sup>2</sup> di superficie utile dei locali) e ad una valutazione dei tempi di ritorno degli investimenti, commisurati ai risparmi di combustibile ottenibili. Ad esempio, affrontando la riqualificazione energetica di un edificio scolastico secondo la “*strategia verde*”, la migliore fra quelle considerate, si può ottenere fino al 60% di risparmio: con l'isolamento degli involucri opachi, (applicazione di 8 cm di isolamento in parete e 10 cm in copertura in posizione adatta a risolvere i ponti termici) si riducono i consumi di circa il 30%; la sostituzione dei vecchi serramenti con componenti aventi prestazioni conformi alla normativa vigente contribuisce per un ulteriore 10% e l'adozione di sistemi di ventilazione meccanica controllata dotati di recuperatori efficienti migliora le prestazioni di un ulteriore 20%, permettendo di raggiungere un indice medio di circa 110 kWh/m<sup>2</sup> anno contro gli attuali 290. I costi stimati sono dell'ordine di 300-350 € per m<sup>2</sup> di superficie calpestabile (isolamento 50 €/mq; serramenti 150 €/m<sup>2</sup> ventilazione 120 €/m<sup>2</sup>), con un tempo di ritorno dell'investimento di 12-14 anni.

**5. Bibliografia**

- [1] Legambiente, *Rapporto di Legambiente sulla qualità dell'edilizia scolastica, delle strutture e dei servizi*, Ed. Legambiente 2008, [www.legambiente.fvg.it](http://www.legambiente.fvg.it)
- [2] P. Baggio, F. Cappelletti, A. Gasparella, P. Romagnoni, *Il calcolo della prestazione energetica degli edifici. Gli esiti di un confronto*, Atti del Convegno

AiCARR “Riduzione dei fabbisogni, recupero di efficienza e fonti rinnovabili per il risparmio energetico nel settore residenziale”, Padova 5 giugno 2008, pp. 173 – 194

- [3] ASHRAE 62.1, *Ventilation for acceptable Indoor Air Quality*, ASHRAE (USA), 2007

**Ringraziamenti**

Gli autori desiderano ringraziare lo staff tecnico del CMR di Schio per la preziosa collaborazione nell'esecuzione di misure in situ.