

# Strategie di riqualificazione energetica degli edifici

Cristina Carletti, Fabio Sciurpi

*Laboratorio di Fisica Ambientale per la Qualità Edilizia,  
Dipartimento TAeD, Università di Firenze  
Via San Niccolò 93, tel. 055 2491538, e-mail: lab.ambientale@taed.unifi.it  
[http://web.taed.unifi.it/fisica\\_tecnica/](http://web.taed.unifi.it/fisica_tecnica/)*

## **Introduzione**

Al fine di proporre una strategia di intervento globale per la riqualificazione energetica del parco scolastico della provincia di Firenze, nell'ambito di una Tesi di Laurea in collaborazione con il Laboratorio di Fisica Ambientale per la Qualità Edilizia, è stata elaborata una metodologia di schedatura degli edifici suddetti.

Tale schedatura, oggetto peraltro di una altra memoria di questa giornata convegnistica alla quale si rimanda per maggiori dettagli, si è articolata in differenti sezioni nelle quali sono stati individuati i seguenti parametri: localizzazione edificio sul territorio comprendente anche una analisi fotografica, geometria e tipologia costruttiva dell'edificio, dispersioni termiche, caratteristiche del sistema di controllo microclimatico, consumi energetici riferiti al triennio 1999/2002 ed indici energetici dell'edificio. Sebbene l'attenzione principale della ricerca sia stata quella di valutare il comportamento termico del manufatto, sono stati raccolti anche alcuni dati sull'impianto di illuminazione ed i relativi consumi.

Infine, sulla base di una attenta ricognizione e di colloqui ed incontri con il personale sono state anche raccolte alcune prime informazioni circa il giudizio dei fruitori in merito alla struttura, agli impianti ed al comfort globale.

Grazie infine ad alcune verifiche termotecniche è stato possibile elaborare gli indici Cd e FEN che hanno fornito preziose indicazioni sull'efficienza del sistema edificio-impianto nella sua globalità.

Difatti, tali indici, se integrati con l'analisi dei consumi e le caratteristiche delle strutture disperdenti e del sistema impiantistico, forniscono un utile strumento per elaborare una strategia di intervento sugli immobili scolastici provinciali.

Tale strategia dovrebbe necessariamente essere integrata all'interno di una programmazione degli interventi che tenga conto sia delle situazioni maggiormente critiche (dovute sia a inaccettabili livelli di inefficienza del sistema che a situazioni di discomfort per gli utenti) sia degli impegni economici cui l'Amministrazione dovrebbe far fronte per riqualificare gli immobili. A seguito di tale considerazione è stata elaborata una primissima valutazione economica a mezzo di un indice di valutazione, il tempo di ritorno, che in maniera semplice possa fornire una indicazione sulle priorità di intervento.

La metodologia elaborata è stata validata su alcuni casi studio per verificarne eventuali imprecisioni e adottare le necessarie procedure di feed back. Si tratta comunque di una metodologia semplificata che darebbe, se applicata a tutto il comparto scolastico edilizio della Provincia, a tecnici e responsabili della programmazione, uno strumento agile di individuazione delle priorità ed al contempo una indicazione di quelle situazioni che necessitano un maggior impegno di risorse per studi più approfonditi.

## **Le strategie di intervento**

Le strategie di intervento proposte per migliorare l'efficienza energetica degli immobili scolastici della Provincia di Firenze, che verranno descritte di seguito, si possono classificare in cinque gruppi di interventi:

1. volti a migliorare la resistenza termica dei componenti (opachi e trasparenti) dell'involucro;

2. volti a migliorare l'efficienza del sistema di produzione, distribuzione, regolazione e utilizzazione del calore, nonché la gestione globale del sistema edificio-impianto;
3. volti a migliorare l'efficienza del sistema di illuminazione artificiale;
4. volti a migliorare l'efficienza del sistema edificio-impianto con tecnologie che sfruttino fonti rinnovabili di energia (solare termico, fotovoltaico, centrali termiche a biomassa, etc.).

Per ognuna delle strategie devono essere elaborate linee guida di intervento comprendenti una valutazione di fattibilità in cui siano evidenziate problematiche di integrazione con l'edificio esistente, presenza di vincoli, facilità d'uso della tecnologia e livello di comprensione e condivisione da parte dell'utenza.

Gli interventi sull'edificio seppure estremamente diversificati nella tecnologia consistono essenzialmente nel miglioramento della resistenza termica (superfici opache e trasparenti, verticali e orizzontali).

Le tecnologie che intervengono sulla produzione, regolazione ed erogazione dell'energia termica sono fra i primi interventi presi in esame; in media infatti agendo sul rendimento medio stagionale dell'impianto o su un intervento di regolazione in caldaia si possono ottenere risparmi di combustibile che variano dall'1% fino al 5-10% circa, con conseguenti effetti sia sul bilancio economico che sulla salvaguardia dell'ambiente. Più complesso sembra poter agire in fase di ristrutturazione sulla distribuzione dell'energia in funzione delle effettive necessità dell'utenza che presenta esigenze estremamente differenti.

Infine, per quanto attiene l'illuminazione degli ambienti sembra opportuno installare dispositivi di illuminazione ad elevata efficienza, abbinando una regolare manutenzione e frequente pulizia dei corpi illuminanti, ed installare dispositivi automatici di controllo dell'illuminazione.

Gli interventi innovativi sono anch'essi contemplati sebbene per alcuni i tempi di ritorno eccessivamente lunghi sembrano costituire un ostacolo insormontabile anche per la Pubblica Amministrazione che li deve giustificare sulla base di un impegno politico e sociale piuttosto che meramente economico.

Ciò premesso, dall'analisi condotta sugli immobili scolastici della Provincia di Firenze è emerso come alcuni di essi si trovino, oltre che in condizioni di degrado, anche in una condizione di inaccettabile efficienza energetica.

Le verifiche eseguite secondo le indicazioni della legge 10/91 (e seguenti Decreti Attuativi) hanno difatti mostrato come spesso gli indici energetici individuati dalla legge,  $C_d$  e  $FEN$  ed  $\eta_G$  non sempre siano soddisfatti.

Incrociando tali risultati con le indicazioni emerse dall'analisi delle prestazioni energetiche dei componenti, si può avere una prima idea di quali siano le priorità di intervento. Sebbene tali indici potranno essere in un futuro non lontano probabilmente sostituiti e/o integrati con altri in grado di dare una indicazione globale sull'edificio, quale ad esempio l'indice energetico che esprime il fabbisogno energetico annuale dell'edificio per il riscaldamento riferendolo ai metri quadrati di superficie riscaldata ( $kWh/m^2a$ ), già adottato in molti paesi europei e, a titolo di esempio, nella provincia di Bolzano con il Certificato CasaClima e dal Comune di Carugate (MI), al momento forniscono indicazioni molto interessanti ed utili in merito ai "punti critici" del sistema edificio-impianto.

Difatti, l'analisi sulle dispersioni dell'edificio in regime invernale, bene si presta ad essere indicata attraverso il coefficiente di dispersione volumica globale  $C_d$ , che, se superiore al valore indicato dalla normativa, indica che l'involucro non offre una sufficiente resistenza termica al passaggio del calore e quindi disperde troppa energia in inverno (infatti deve essere  $C_d < C_{d,LIM}$ ). D'altra parte il Fabbisogno Energetico Normalizzato,  $FEN$ , indica l'energia primaria necessaria all'edificio sempre in regime invernale per garantire al suo interno una prefissata temperatura ( $FEN < FEN_{LIM}$ ). Infine, il rendimento medio stagionale dell'impianto,  $\eta_G$ , ci dice se nella sua globalità il sistema di controllo microclimatico presenta

una efficienza considerata sufficiente in tutte le sue parti, dalla produzione dell'energia termica, alla distribuzione, erogazione e regolazione ( $\eta_G > \eta_{G-LIM}$ ).

Una volta analizzati i tre indici energetici, sulla base dei risultati si possono individuare i punti critici del sistema su cui concentrare le risorse per la riqualificazione.

Risulta ovvio che questa prima indicazione fornita dagli indici non è sufficiente, deve pertanto essere integrata con la conoscenza dettagliata del sistema su cui si decide di intervenire: l'involucro o il sistema impiantistico.

Si ricorda peraltro come tutti gli interventi sopraccitati vengano scelti e dimensionati in base ai consumi invernali, poiché al momento non è in vigore una normativa che imponga limiti al consumo dell'edificio in estate; anche se con l'entrata in vigore della Direttiva 2002/91/CE sull'efficienza energetica degli edifici, che imporrà un certificato attestante le prestazioni dell'immobile, verrà trattato anche il tema del controllo energetico in regime estivo. Tuttavia appare evidente che, in generale, gli edifici oggi debbano tendere ad una qualità energetica globale, visto anche che i consumi estivi degli ultimi anni stanno addirittura raggiungendo, ed in alcuni casi superando, quelli invernali.

Appare quanto mai importante, vista la vicina entrata in vigore della sopraccitata Direttiva, per una Amministrazione non farsi trovare impreparata e programmare con un certo anticipo, in maniera quindi consapevole, gli interventi prioritari sui propri immobili.

### **Gli obiettivi energetici**

Come detto, conoscere il consumo di un edificio nell'arco dell'intero anno solare è di prioritaria importanza ai fini della certificazione energetica; di pari importanza è sapere, prima di intraprendere qualsiasi intervento, quale sia l'obiettivo energetico cui si tende. In Italia, un edificio costruito prima dell'entrata in vigore della Legge 10 poteva consumare anche 250 kWh/m<sup>2</sup> annui; in seguito all'emanazione dei Decreti Attuativi, i consumi si sono notevolmente ridotti, attestandosi intorno ai 110-150 kWh/m<sup>2</sup> annui.

Molti paesi europei hanno già da tempo adottato limiti molto più riduttivi: la Germania impone un indice di consumo massimo pari a 70 kWh/m<sup>2</sup>a, parimenti anche altre nazioni, fra cui Svezia, Danimarca, Austria, Svizzera adottano da anni limitazioni ai consumi molto più stringenti di quelle italiane. Nel nostro paese le Province Autonome di Trento e Bolzano, allineandosi al trend europeo, da tempo impongono agli edifici prestazioni altrettanto restrittive: difatti il Certificato CasaClima, prevede che nella classe C, attualmente obbligatoria nella provincia di Bolzano, i consumi non superino i 70 kWh/m<sup>2</sup>a.

Sempre in queste Province si stanno da anni ponendo in atto politiche di incentivazione finalizzate al raggiungimento di target energetici ancora migliori: oggi si costruisce con un target di 30 se non addirittura di 15 kWh/m<sup>2</sup>a.

Quest'ultimo, rappresenta quello che comunemente in Europa è definito come il target energetico *Passivhaus*, un edificio che non ha necessità, visti i consumi estremamente ridotti, di un impianto tradizionale per il riscaldamento, ed adotta sistemi impiantistici evoluti ed efficienti abbinati ad un forte isolamento dei componenti d'involucro.

L'obiettivo energetico diviene in molte realtà europee un imperativo per la Committenza come pure per l'Impresa: l'esempio del quartiere Vauban di Friburgo in Germania o di quello di Vikki in Svezia ne sono chiari esempi.

Alla luce di quanto esposto, risulta quindi molto importante che l'Amministrazione provinciale si ponga obiettivi energetici chiari prima ancora di iniziare a programmare qualsiasi risorsa finalizzata agli interventi. In questa fase della strategia operativa è peraltro essenziale l'adozione di strumenti di simulazione delle prestazioni dell'edificio abbinati a specifiche analisi economiche del tipo costo-beneficio e politiche gestionali energeticamente consapevoli che coinvolgano attivamente i fruitori dell'immobile.

### **Gli interventi sull'involucro (Componenti opachi e finestrati)**

Quando si dimostra che un edificio disperde troppa energia per trasmissione dal suo involucro gli interventi possibili si possono classificare come segue:

1. interventi sui componenti opachi dell'involucro: pareti perimetrali, solai controterra e solai di copertura;
2. interventi sui componenti finestrati dell'involucro: finestre, lucernai, serre, etc.

Al fine di implementare le prestazioni dei componenti opachi in regime stazionario si deve intervenire sia sul valore della trasmittanza del componente che sul controllo dei ponti termici. Tali obiettivi si raggiungono migliorando l'isolamento termico del componente e riducendo quanto più possibile i punti di discontinuità nel flusso termico uscente dall'edificio. La resistenza termica del componente si migliora grazie alla posa in opera di opportuni spessori di isolanti termici, adottando prodotti che presentino valori di conducibilità molto bassa, dell'ordine di 0,030 W/mK. Un buon isolante termico, sia esso di sintesi (polistirene, lana di vetro, etc.) o naturale (sughero, fibre di cellulosa e di canapa, etc.) presenta prestazioni termiche molto buone se confrontato con un materiale da costruzione seppure alleggerito in pasta. L'isolamento concentrato del componente può essere realizzato con differenti tecnologie che, a parità di trasmittanza, presentano differente comportamento termoigrometrico ed in regime dinamico.

Senza dubbio l'isolamento che da maggiori prestazioni a parità di costo e spessore del materiale è quello detto "a cappotto esterno" che consiste nel rivestire completamente l'involucro con un prodotto posto in opera senza soluzione di continuità (Figura 1)

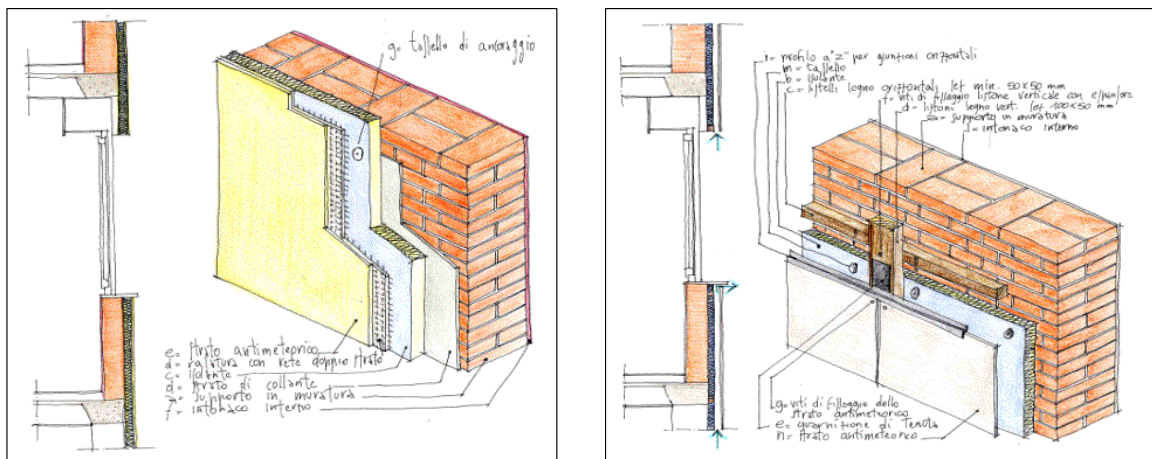


Figura 1 – Esempio di facciata con isolamento a cappotto esterno e facciata a schermo avanzato

Tale tecnica garantisce un buon comportamento anche in regime dinamico dal momento che la struttura mantiene pressoché inalterata l'originaria inerzia; per questo motivo tale scelta bene si adatta ad immobili che presentino una buona capacità di accumulo nelle murature esterne (pareti portanti in mattoni, pietra, e strutture miste) e garantisce un buon ammortamento dei costi qualora la struttura si presenti deteriorata e necessiti di interventi di manutenzione straordinaria quali il rifacimento di intonaco della facciata.

Questa tecnica prevede che l'isolante sia apposto direttamente sulla facciata mediante fissaggio con colle o tasselli, e sia intonacato previa interposizione di una struttura portaintonaco in fibra di vetro e di opportuna rasatura. La facciata viene poi tinteggiata ed assume l'aspetto originario. Una variante di tale tecnica consiste nell'adozione di uno schermo avanzato in cui una camera d'aria (dello spessore di alcuni centimetri) si interpone fra l'isolante ed il rivestimento garantendo un ottimo controllo microclimatico anche in estate; l'intercapedine d'aria può anche essere ventilata mediante l'inserimento di opportune griglie in facciata. Con l'isolamento a cappotto esterno, l'aumento di spessore conseguente all'isolamento termico, che richiede una inevitabile riprogettazione dei davanzali delle finestre, può tuttavia offrire una interessante opportunità per ottimizzare il montaggio degli infissi e praticamente annullare il ponte termico infisso-muratura che altrimenti difficilmente può essere controllato. Infine tale azione bene si presta ad essere integrata con la

progettazione di opportuni sistemi di schermatura all'irraggiamento solare, qualora l'edificio ne fosse originariamente sprovvisto.



*Fig. 2. Esempio di edificio cui potrebbe essere applicato l'isolamento a cappotto esterno con un buon rapporto costo-beneficio in virtù dell'estremo deterioramento della stessa*

L'isolamento a cappotto della muratura esterna non può ovviamente essere applicato a quegli immobili che presentino un pregio artistico della stessa (elementi decorativi in pietra o dipinti, massiccia presenza di marcapiani, timpani, etc.) sebbene da tempo siano presenti sul mercato prodotti che riproducono in maniera assolutamente fedele i sopracitati elementi decorativi; qualora pertanto questi ultimi si presentassero irrimediabilmente compromessi a causa del degrado dovuto all'inquinamento dell'aria delle città, che attacca in maniera irreversibile pietre e marmi, essi possono facilmente essere sostituiti da elementi artificiali che ne riproducono fedelmente la morfologia.

Qualora l'edificio presenti una tipologia edilizia dai volumi molto articolati, l'intervento a cappotto, seppure possibile, deve essere attentamente valutato, data la difficoltà di risolvere efficacemente complesse giunzioni di materiale se non con costi elevatissimi: una soluzione potrebbe essere quella di abbinare in tali strutture complesse differenti tecniche associando ciascuna a determinate porzioni dell'edificio.



*Figura 3. Esempio di edificio molto articolato in volume*

Sicuramente l'intervento a cappotto è uno dei più onerosi in quanto comporta il montaggio di un ponteggio lungo tutto l'edificio ed una durata del cantiere che deve essere attentamente valutata; peraltro tale condizione potrebbe essere utile qualora anche la copertura necessitasse di una operazione di manutenzione, se non addirittura di una coibentazione.

L'isolamento dall'esterno, o come si dice all'estradosso del solaio di copertura è molto efficace quando si debbano controllare efficacemente le dispersioni dal tetto. Qualora non sia l'ultimo solaio ma la copertura stessa l'ultima frontiera prima dell'ambiente esterno (copertura piana o sottotetto adibito ad attività scolastiche o complementari, etc.) essa deve essere necessariamente isolata per prevenire anche il surriscaldamento nei periodi caldi: in questo caso in una struttura di copertura inclinata si mette in atto un sistema ventilato che presenta ottime prestazioni anche in estate. Su una copertura inclinata, tuttavia può dare ottimi risultati, se l'altezza in gronda è sufficiente, anche un isolamento all'intradosso, che sicuramente presenta il vantaggio di una facile e rapida messa in opera e presenta pertanto un ottimo rapporto costo-beneficio.

Isolare dall'interno una muratura perimetrale è invece non sempre consigliabile, se non quando le caratteristiche di pregio od il vincolo architettonico sulla facciata lo impongano, perché a fronte di una rapida messa a regime dell'edificio, annulla quasi del tutto l'inerzia dello stesso. Tale strategia deve essere dunque attentamente valutata, come pure la precedente, incrociando i dati riferiti all'impianto ed ai pattern di occupazione dell'edificio. Infine si sottolinea come l'isolamento dall'interno sia da escludere quando le dimensioni del locale non permettano riduzioni della superficie utile dovuta ad un maggiorazione dello spessore murario dell'ordine di 5-6 cm. Infine, si ricorda come in caso di isolamento dall'interno sia indispensabile porre in atto dal alto caldo della struttura una barriera al vapore al fine di controllare l'eventuale rischio di formazione di condensa interstiziale che difficilmente si verifica nella tecnica a cappotto esterno qualora si operi una scelta del prodotto isolante anche sulla base della sua permeabilità al vapore. Ottenere strutture di tamponamento con elevata tenuta all'aria può garantire un efficace controllo delle perdite di energia per infiltrazioni d'aria ed al contempo permette di isolare la struttura dall'indesiderato effetto dei venti freddi.

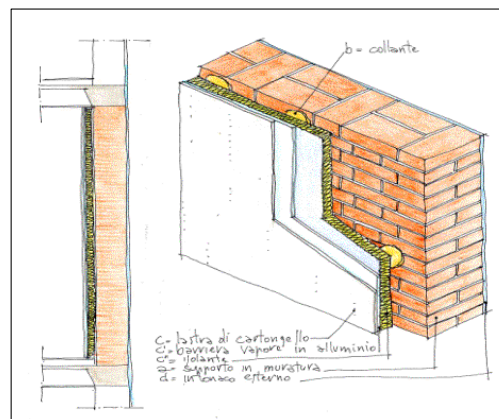


Figura 4. Isolamento termico dall'interno

Una terza tecnica di isolamento termico, che prevede il posizionamento dell'isolante termico in intercapedine può essere efficacemente adottata solo quando sia presente una camera d'aria continua all'interno del pacchetto murario: in questo caso, l'insufflaggio di prodotti isolanti garantisce una buona resistenza termica al componente che non raggiunge mai quella della tecnica a cappotto perché non è sempre possibile andare a riempire completamente tutti gli interstizi della muratura in fase di ristrutturazione.

Queste ultime due tecniche di isolamento (dall'interno ed in intercapedine) non garantiscono il completo controllo e l'eliminazione dei ponti termici della struttura e sono sconsigliabili dunque in edifici in cui, ad esempio, la struttura intelaiata produca considerevoli perdite energetiche proprio dovute a questo fenomeno.

Qualsiasi sia la tecnica di isolamento termico, indubbi sono i benefici sul comfort interno degli ambienti. All'aumento della temperatura superficiale di pareti e solai consegue un miglioramento del benessere termoigrometrico degli occupanti che si traduce anche, in funzione della tecnica e dei prodotti scelti, in un ritrovato benessere acustico, un requisito

fondamentale per un edificio a destinazione scolastica. Sul mercato, infatti, sono oggi presenti ottimi materiali termo-fono-isolanti che abbinano prestazioni di isolamento termico a quelle di isolamento acustico.

Dall'analisi eseguita su un consistente numero di edifici scolastici provinciali, si evince come le dispersioni energetiche che avvengono attraverso i serramenti siano fra le prime cause di inefficienza energetica degli immobili.

I problemi fondamentali individuati sono di due tipi: la mancanza di componenti dotati di vetrocamera e la vetustà di moltissimi dei telai presenti, soprattutto negli edifici storici, che presentano una resistenza termica pressoché trascurabile. Ancora più che per i componenti opachi, un buon isolamento da parte componenti finestrati garantisce un buon comfort acustico oltre che un migliorato comfort termico.

Le possibili strategie di intervento su questi componenti, per poterne migliorare le caratteristiche termoisolanti ed acustiche, sono di tre tipi:

- controllo della trasmissione del calore,
- controllo delle infiltrazioni d'aria;
- controllo del rumore.

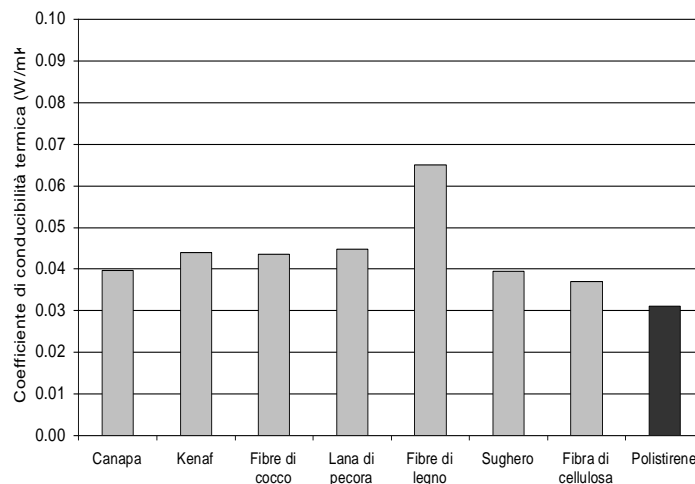


Figura 5. Confronto fra differenti prodotti isolanti

Per migliorare le prestazioni sopraelencate, si può operare sostituendo il vetro semplice esistente con un sistema a vetrocamera oppure, se è praticabile economicamente, sostituire completamente l'infisso. Un'alternativa è quella di aggiungere al componente esistente un secondo infisso, cosa che garantisce anche un ottimo valore di isolamento acustico.

Se il problema principale sono le infiltrazioni d'aria può essere sufficiente l'applicazione di guarnizioni nei giunti apribili, o nel caso di guarnizioni deteriorate, la loro sostituzione: tale intervento, agendo però sui ricambi per infiltrazione, se migliora l'efficienza energetica del serramento, può avere effetti indesiderati quali la formazione di condensa superficiale nell'area intorno all'infisso. Gli interventi sugli infissi possono essere abbinati all'adozione di schermature solari (persiane, avvolgibili, veneziane ecc), che sono particolarmente efficaci in regime estivo per il controllo del surriscaldamento per irraggiamento; le tecniche di schermature più efficaci sono quelle posizionate all'esterno che riescono oltre a schermare la luce solare, anche a proteggere termicamente l'infisso. Quando si interviene sul telaio del componente è possibile anche intervenire per garantire un sufficiente ricambio d'aria controllato con sistemi di immissione autoregolabili o igroregolabili. Tali prese d'aria tuttavia, possono rappresentare un problema di non facile risoluzione dal punto di vista dell'isolamento acustico di facciata, essendo il ricambio consigliato dalla Norma UNI

10339/95 piuttosto elevato ( $n = 7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s persona}$ ) e il potere fonoisolante delle suddette prese d'aria non è mai comparabile con quello di una muratura (Figura 6).



Figura 6. Immissione aria tramite bocchetta applicata a cassonetto

Negli interventi sui serramenti è opportuno anche inserire la coibentazione dei cassonetti degli avvolgibili eventualmente presenti, che si realizza tramite l'applicazione di uno strato di materiale isolante (pannelli in fibra di vetro opportunamente sagomati), con uno spessore di almeno 3cm: anche tale intervento, se eseguito a regola d'arte influisce in maniera determinante anche sul potere fonoisolante complessivo dell'involucro.

Il miglioramento delle prestazioni dei serramenti è un intervento tecnicamente possibile in tutti gli edifici scolastici presi in esame; sebbene pertanto non sussistano limiti tecnici, essi devono essere attentamente valutati sotto il profilo economico, soprattutto quando in edifici di tipo storico le superfici finestrate rappresentano una grande porzione dell'involucro.

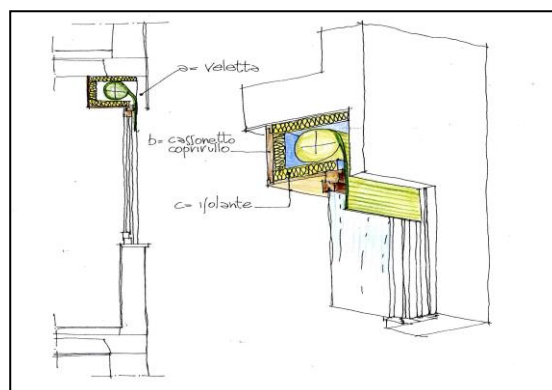


Figura 7. Particolare esecutivo di isolamento di un cassonetto di avvolgibile

### Gli interventi sugli impianti di controllo microclimatico

Le strategie di intervento devono essere finalizzate al miglioramento dell'efficienza del sistema impiantistico e al miglior sfruttamento degli impianti tecnologici presenti all'interno di un edificio scolastico. Come nel caso degli interventi sull'involucro, anche gli interventi sull'impianto di controllo microclimatico rivestono particolare importanza se affrontati in maniera integrata, nell'ottica della filosofia indicata dalla Legge 10/91 in cui si parla del sistema edificio-impianto come di un sistema fortemente interrelato. A tale proposito si ricorda come fra le verifiche richieste ai sensi della citata Legge 10 vi sia anche il rendimento



globale medio stagionale dell'impianto ed il fabbisogno energetico normalizzato che sono stati introdotti appunto per dare una visione globale ed integrata al sistema edificio-impianto.

I principali interventi sul sistema impiantistico sono classificabili come segue:

- interventi sul sistema di produzione del fluido termovettore (sostituzione generatore ad esempio con caldaie a condensazione o pompe di calore, uso di generatori che sfruttino energie rinnovabili abbinati ad esempio con terminali a bassa temperatura, etc.), uso di recuperatori di calore ad alta efficienza sull'aria esausta nel caso di impianti ad aria o misti;
- interventi sul sistema di distribuzione dell'energia: coibentazione tubazioni dell'acqua o canali dell'aria;
- interventi sul sistema di regolazione dell'impianto: valvole termostatiche, programmazione orari di attivazione impianto, sonde di temperatura interna ai locali, sonde per la rilevazione di persone, etc.;
- utilizzo di terminali di impianto conformi alle necessità degli ambienti da climatizzare;
- corretta gestione e manutenzione (ordinaria e straordinaria) programmata (ai sensi di legge) per mantenere l'impianto ai livelli di massima efficienza, adozione di un sistema di telecontrollo che permette di migliorare il rendimento globale medio stagionale consentendo una più puntuale termoregolazione ed ottimizzazione dei parametri di funzionamento dell'impianto.

Per quanto concerne invece l'impianto elettrico, si ricorda come anche l'efficienza di quest'ultimo rivesta una importanza fondamentale ai fini dell'efficienza globale dell'edificio, del comfort illuminotecnico degli utenti e della salvaguardia dell'ambiente.

Accanto ad interventi di natura strategica, quali l'ottimizzazione del contratto di fornitura di energia elettrica, se ne possono adottare altri che intervengono sulla progettazione, uso e gestione dell'impianto stesso, quali l'uso di lampade ad elevata efficienza, la manutenzione dei corpi illuminanti, l'uso di dispositivi per il controllo dell'illuminazione (ad esempio sensori di presenza) al fine di evitare sprechi.

Nella tabella 1 si riporta una valutazione complessiva dell'efficacia dei principali interventi sugli impianti tecnologici a servizio dell'edificio scolastico.

Per completezza, si deve ricordare che accanto a tecniche di intervento considerate oggi più tradizionali si fanno strada anche strategie che massimizzano lo sfruttamento delle energie rinnovabili: fra queste si ricordano l'installazione di pannelli solari termici per la produzione di acqua calda e di sistemi fotovoltaici per la produzione di energia elettrica.

Tali sistemi, che seppure in maniera differente sfruttano l'energia solare per produrre energia, possono essere anche integrati nell'involucro dell'edificio ottenendo risultati architettonici e morfologici di grande impatto.

### **Considerazioni conclusive**

L'analisi degli immobili scolastici Provinciali, effettuata attraverso l'elaborazione di dati e con i sopralluoghi effettuati in tutti gli edifici, ha permesso di comporre un quadro generale dello stato del parco scolastico provinciale.

Scopo della presente memoria è stato quello di individuare priorità strategiche di intervento dettate da valutazioni di fattibilità sia tecnica che economica al fine di ottimizzare gli investimenti.

Infatti, appare importante incrociare in maniera semplice ed efficace dati oggettivi relativi alla tipologia ed alla morfologia dell'edificio, ai materiali utilizzati, alla verifica delle dispersioni termiche, con dati ricavati dal giudizio degli utenti, che devono divenire elementi attivi e consapevoli nel processo di riqualificazione dell'edificio che fruiscono.

Infine, l'analisi economica effettuata sulla base di priorità individuate fornisce all'Amministrazione indicazioni utili nel processo decisionale che resta comunque oltre che di matrice tecnica anche politico, in particolare quando si giustificano scelte di interventi sostenibili (fotovoltaico, uso di materiali ecocompatibili, etc.) ed a basso impatto ambientale.

Alla luce dei dati ottenuti dall'analisi condotta, appare quanto mai rilevante intervenire in maniera strategica su tali edifici fundamentalmente per due ordini di fattori: da un lato per ridurre i consumi e le emissioni inquinanti in atmosfera, dall'altro per la finalità politica, sociale e didattica degli interventi stessi che dovrebbe essere compresa dagli utenti aumentandone la consapevolezza sull'uso dell'energia. All'interno di questa filosofia bene si colloca l'impegno della provincia di Firenze verso l'uso di energia rinnovabile, di materiali ecocompatibili e di strategie di programmazione e di progettazione sostenibili.

Tabella 1. abaco degli interventi sugli impianti tecnologici

			RISPARMIO OTTENIBILE
<b>INTERVENTI SUGLI IMPIANTI</b>	<b>Interventi sull'impianto di riscaldamento</b>	manutenzione ordinaria e straordinaria della caldaia	1-10%
		sostituzione caldaia con una a condensazione	10-20%
		installazione valvole termostatiche	5-10% per ogni grado
		isolamento termico delle tubazioni	1-5% sul consumo totale di combustibile
		conversioni degli impianti a metano	4-5%
		installazione recuperatori di calore	fino al 30% dell'energia persa per ventilazione
		installazione sistema di telecontrollo	2-3% sull'energia fornita all'impianto
	<b>Interventi sull'impianto elettrico</b>	ottimizzazione contratto	in dipendenza dal tipo di contratto
		installazione lampade alta efficienza	72-75% su lampade ad incandescenza
		dispositivi per controllo illuminazione	5-15%
		manutenzione, pulizia corpi luminosi	12-15%

Sebbene non prese in esame in maniera esplicita nella metodologia non sono da escludere strategie, già praticate nel nord Italia nel campo dell'edilizia pubblica, che conducano gli edifici scolastici verso target energetici estremamente contenuti (I.E.<sup>1</sup> ≤ 70 kWh/m<sup>2</sup>anno) o che siano finalizzate a rendere edifici energivori dei modelli di edifici passivi (I.E. ≤ 15 kWh/m<sup>2</sup>anno).

In conclusione, sebbene la situazione generale degli immobili scolastici esaminati, riguardo al contenimento dei consumi di energia non appaia soddisfacente, benchè rientri nella media

<sup>1</sup> Consumo di energia per il riscaldamento

dell'edilizia scolastica Italiana, questo non può che spronare l'Amministrazione, in collaborazione con l'Università, ad investigare strategie praticabili e sostenibili al fine di abbinare al risparmio economico ottenibile un miglioramento del comfort all'interno degli edifici, e soprattutto una diminuzione dell'impatto di tali edifici sull'ambiente.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Carletti C. Gallo P., “Principles and guidelines for a sustainable environmental development”, Atti “17th International Conference on Passive and Low Energy Architecture - Plea 2000 – Architecture, city, environment”, Cambridge, Luglio 2000, pp.805-806
- Carletti C., Cellai G., Raffellini G., “Analysis Strategies for efficient energy use in university historical buildings in Florence”, Atti Congresso Internazionale “Rebuild 99”, Barcellona 4-6 Ottobre 1999
- Carletti C., Cellai G., Raffellini G., Scurpi F., Secchi S., “ La progettazione degli edifici scolastici alla luce dei requisiti prestazionali per il benessere ed il contenimento dei consumi energetici”, 57° Congresso Nazionale ATI, Pisa,17-20 Settembre 2002
- Carletti C., Cellai G., Raffellini G., Scurpi F., Secchi S., “Materiali isolanti ecosostenibili e prestazioni termoacustiche”, 31° Congresso Nazionale AIA, Inezia 5-7 Maggio 2004
- Cellai G., Casadidio M., “Progettare con la legge 10/91”, Carocci Editore, Roma, 1998
- ENEA, “Guida per il contenimento della spesa energetica nelle scuole”, Centro Ricerche Casaccia, Roma, 1998
- Provincia di Firenze – Assessorato all'Edilizia, “Edilizia sostenibile”, Tipografia editrice Polistampa, Firenze, 2003
- Tesi di Laurea Panfighi S. e Pinzauti F., “L'uso dell'energia solare nell'edilizia residenziale. Analisi di fattibilità tecnico-economica”, Relatore prof. G. Cellai, Correlatore prof. F. Scurpi, discussa presso il Dipartimento TAeD dell'Università degli studi di Firenze, AA 2001/2002
- Tesi di Laurea D'alessandro N., “Riqualificazione energetico ambientale del parco scolastico delle Provincia di Firenze: analisi e linee guida”, Relatore prof. C. Carletti, Correlatore prof. F. Scurpi, discussa presso il Dipartimento TAeD dell'Università degli studi di Firenze, AA 2003/2004