

RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DEL PARCO SCOLASTICO DELLA PROVINCIA DI FIRENZE: ANALISI E LINEE GUIDA

Carletti Cristina, Raffellini Giorgio, Scieurpi Fabio

Laboratorio di Fisica Ambientale per la Qualità Edilizia
Dipartimento TAeD "P. Spadolini" – Università di Firenze

SOMMARIO

Un primo passo verso il miglioramento dell'efficienza energetica delle costruzioni deve essere intrapreso conoscendo l'attuale condizione degli stessi, sia per quanto attiene l'involucro che il sistema impiantistico. Per ottimizzare le prestazioni energetiche degli edifici scolastici di sua pertinenza, la Provincia di Firenze ha intrapreso una collaborazione con il Laboratorio FAQE del Dipartimento TAeD "P. Spadolini" per operare una valutazione degli edifici al fine di elaborare linee guida operative per la programmazione dei futuri interventi manutentivi e di riqualificazione energetica operata su basi tecniche ed economiche. La memoria presenta i risultati preliminari della ricerca e riporta l'applicazione della stessa a due casi studio.

1. INTRODUZIONE

L'uso dell'energia nel settore civile, in particolare per il controllo del microclima interno sia in estate che in inverno, rappresenta una frazione considerevole dei consumi energetici globali. In particolare il settore scolastico rappresenta un consumo dell'ordine di un milione di Tep all'anno; inoltre, si stima che gli edifici scolastici presentino in media un consumo energetico superiore di due/tre volte rispetto agli edifici a destinazione residenziale e che l'adeguamento energetico, anche parziale, di tali edifici e degli impianti potrebbe portare ad un risparmio variabile fra il 10 ed il 20% [ENEA, 1998].

In particolare, per quanto attiene il consumo energetico delle scuole, oltre il 70% è finalizzato al controllo microclimatico ed il restante 30% è riferito ai consumi elettrici.

Le scuole in Italia ammontano, tra quelle statali e quelle private, ad oltre 62.000 unità; le scuole statali sono oltre 45.000 unità così suddivise: Materne (31,9%), Elementari (38,8%), Medie (18,1%), Secondarie Superiori (11,2%) [ENEA, 1998]. Il consumo maggiore d'energia si ha nelle scuole elementari, che sono in numero maggiore e con il maggior numero di popolazione scolastica, seguite dalle scuole superiori di secondo grado (27% dei consumi).

L'adeguamento del parco scolastico italiano rappresenta dunque una sfida non trascurabile anche in vista dell'entrata in vigore delle procedure legate alla Certificazione Energetica degli edifici, introdotta dalla Direttiva Europea 2002/91. In questo stato di cose, le istituzioni pubbliche dovrebbero per prime assumersi l'impegno di adottare politiche e strategie finalizzate all'uso consapevole dell'energia rappresentando figure istituzionali che per loro natura hanno il compito di guidare ed educare i futuri cittadini.

La Provincia di Firenze, che negli ultimi anni ha intrapreso una politica volta al risparmio energetico ed alla salvaguardia dell'ambiente e della salute dei cittadini, sta programmando da tempo una riqualificazione energetica, sia normativa che funzionale, degli immobili scolastici di propria competenza, che rappresentano il 74% di tutti gli immobili da essa gestiti. L'obiettivo che si vuole raggiungere non è solo il risparmio economico direttamente conseguibile, ma anche una maggiore soddisfazione dell'utente scolastico, in merito a comfort e benessere psicofisico, e, non meno importante, una conseguente diminuzione dell'inquinamento ambientale.

Si segnalano ad esempio interventi mirati alla installazione di impianti ad energia rinnovabile: solare termico e fotovoltaico, la campagna di rilevamento del radon ed il censimento delle strutture contenenti amianto. Nel campo dei nuovi interventi si segnala il progetto per il villaggio scolastico di Empoli in cui un volume complessivo di 26.000m³, che accoglierà aule, laboratori, una palestra ed un auditorium, sarà realizzato secondo i principi della sostenibilità ambientale, dell'attenzione alla salute nonché della gestione attenta delle risorse e dell'uso di tecnologie quanto più possibile ecocompatibili.

La popolazione scolastica totale delle 42 scuole provinciali, suddivise fra licei, istituti tecnici e istituti professionali, è composta da circa 30.000 unità, con un andamento crescente negli ultimi anni. Gli edifici in oggetto sono dislocati su tutto il territorio provinciale, con una naturale preponderanza sul territorio del comune di Firenze. I 42 istituti scolastici sono distribuiti su un totale di 79 immobili, di cui fanno parte oltre agli edifici per le attività didattiche tradizionali, anche le palestre annesse alle scuole e gli edifici accessori come uffici, rimesse, magazzini, ecc.

Degli immobili scolastici provinciali il 35,4% (28 edifici) sono soggetti a tutela storico artistica (ex Legge 1089/39) e sono tutti all'interno del comune di Firenze.

L'edilizia scolastica provinciale è alquanto vetusta, infatti il 55% degli immobili risulta costruito prima del 1945, il 30% negli anni dal 1945 al 1980, e solo il 9% è stato costruito dagli anni '80 ai giorni nostri, mentre una piccola parte è attualmente in via di realizzazione.

La spesa provinciale complessiva al netto d'IVA per il fabbisogno energetico è di oltre tre milioni di euro, dei quali oltre il 70% per energia termica ed il restante 30% per energia elettrica. Se si ipotizza che una corretta gestione energetica delle scuole possa comportare un risparmio medio ad esempio del 15%, considerando l'intero parco scolastico sarebbe possibile ottenere un risparmio di circa 500.000 euro l'anno¹. Considerando poi che l'immissione di CO₂ nell'atmosfera per il consumo di combustibili nelle scuole provinciali è di circa 7000 tonnellate all'anno, si può subito valutare il notevole beneficio che anche l'ambiente potrebbe trarre da una corretta gestione energetica.

In vista di un intervento sul parco scolastico finalizzato alla riqualificazione energetica dello stesso, la Provincia di Firenze ha intrapreso nel 2003 una collaborazione con il Dipartimento TAeD finalizzata allo studio di una metodologia per la determinazione delle più opportune strategie di intervento sugli istituti superiori di sua competenza e inquadrata all'interno una più ampia collaborazione con l'Università di Firenze in vigore dal 1997.

Scopo della presente memoria è di presentare il primo stato di avanzamento dei lavori, tutt'ora in corso, di una ricerca del Laboratorio FAQE avente per oggetto gli edifici scolastici della Provincia di Firenze per i quali viene definita una metodologia di valutazione della qualità energetica, ed una strategia di intervento in forma di linee guida.

¹ Dati forniti dalla Provincia di Firenze

2. METODOLOGIA ADOTTATA

L'approccio metodologico elaborato, finalizzato all'adeguamento energetico degli edifici scolastici superiori, si suddivide nelle seguenti fasi principali:

- I. reperimento delle informazioni sui plessi scolastici, relativamente al sistema edificio impianto, mediante sopralluoghi e questionari, sistematizzazione del materiale disponibile con redazione di schede informative (dati geometrici e costruttivi dell'edificio, schede di rilevazione dell'impianto, stato di conservazione, ecc.);
- II. individuazione del pacchetto di requisiti prestazionali che le scuole superiori dovrebbero possedere (comfort termoigrometrico; acustico, visivo e respiratorio olfattivo);
- III. valutazione dell'efficienza energetica degli edifici facendo uso di differenti indici disponibili ed analisi dei dati emersi dalla fase I per la definizione delle priorità di intervento;
- IV. definizione di interventi per adeguare il sistema edificio impianto del plesso scolastico;
- V. valutazione costi-benefici delle strategie di intervento indicate facendo ricorso ad indicatori economici;
- VI. validazione della procedura mediante lo studio in dettaglio di alcuni edifici rappresentativi;
- VII. elaborazione di un database informatizzato in cui inserire i principali dati elaborati nel corso della ricerca.

In generale, ognuna delle fasi sopra riportate si compone di sottosezioni che la definiscono nel dettaglio, sia per quanto attiene i dati di ingresso che i dati in uscita. Particolare importanza è stata data alla elaborazione del prodotto finale come strumento semplice e modificabile con informazioni chiare e sintetiche senza tuttavia essere troppo approssimative e generiche. Fondamentale è stata quindi la fase di incrocio dei dati riferiti alle tecnologie di intervento con i costi e benefici del sistema proposto al fine di operare scelte lungimiranti e consapevoli anche dal punto di vista economico. I materiali ed i costi applicati ai casi studio sono di tipo comune; resta la possibilità ovviamente di adottare strategie e materiali bioedili per le quali la Provincia ha da tempo elaborato un proprio Prezziario per appalti di opere pubbliche finalizzato alla introduzione nel processo progettuale di una maggiore attenzione verso la ecocompatibilità, la riciclabilità e l'impatto sull'ambiente dei prodotti da costruzione.

3. LA SCHEDATURA DEGLI EDIFICI

Per ognuno degli Istituti, sono stati reperiti tutti i dati disponibili circa la descrizione geometrica e tipologica dell'edificio, la localizzazione sul territorio e la sua esposizione agli elementi microclimatici della zona, lo stato di conservazione del manufatto edilizio (con foto), le caratteristiche del sistema di controllo microclimatico (dalla produzione alla utilizzazione), le caratteristiche dell'impianto di illuminazione artificiale, i consumi di energia primaria (di progetto e reali) riferiti al triennio 1999/2002, nonché i consumi elettrici riferiti agli stessi anni. In particolare, nella sezione di rilevazione dell'impianto termico sono inseriti, oltre i dati generali (combustibile, generatori, potenza termica totale) quelli relativi alla centrale termica, ai canali da fumo, ai circuiti principali, ai vasi di espansione, alle pompe di circolazione, le regolazioni, le tipologie di terminali, ecc.

Nel caso in cui risultino particolari condizioni di discomfort, è previsto l'inserimento nella scheda di una sezione dedicata al monitoraggio ambientale da effettuarsi successivamente.

Il questionario somministrato agli utenti si compone di sezioni dedicate al comfort globale, al giudizio sullo stato di conservazione e sul livello di manutenzione del manufatto edilizio e del sistema impiantistico. Questi dati principali hanno costituito la base di una prima schedatura

degli edifici che riporta i tratti salienti del manufatto e delle sue dotazioni impiantistiche abbinate ai consumi energetici. Per garantire consapevolezza e partecipazione da parte dell'utenza, che può influire sensibilmente sulle strategie gestionali del manufatto, la documentazione in forma sintetica viene anche consegnata alla Presidenza del plesso scolastico.

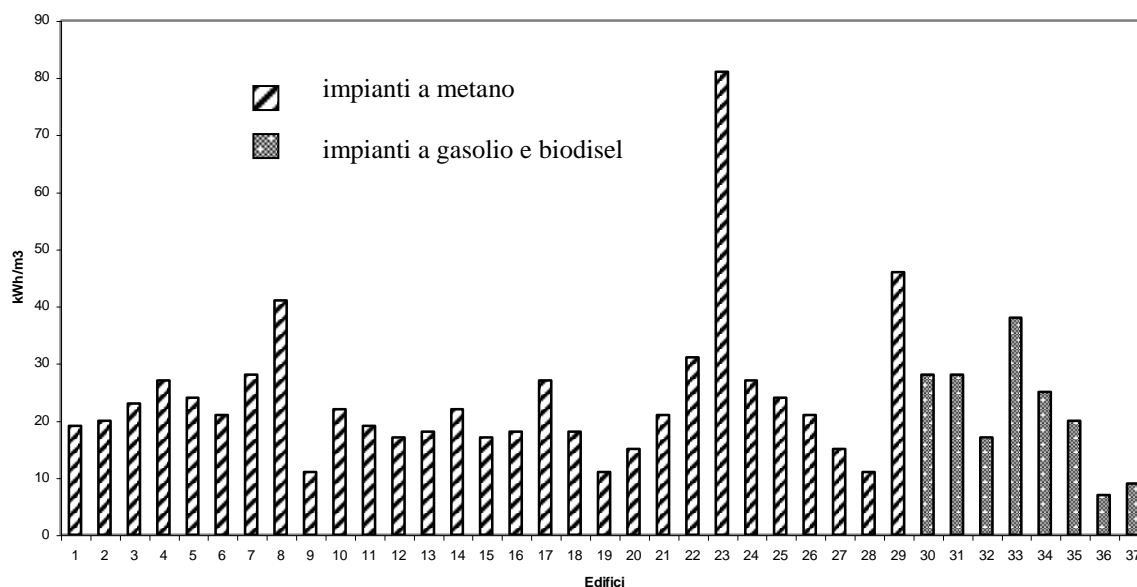
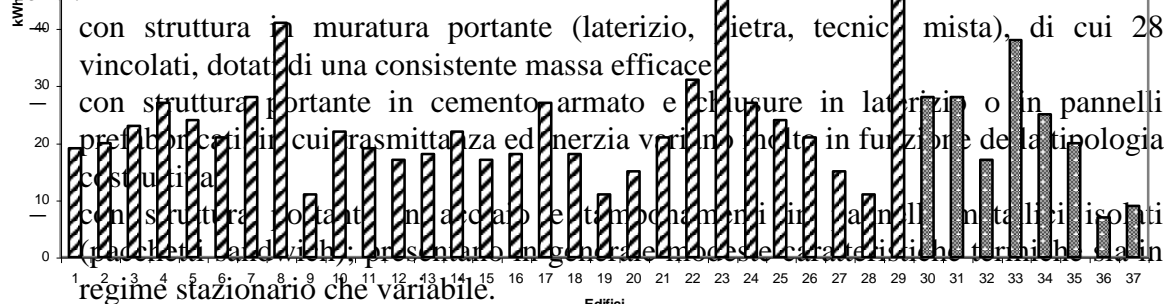


Fig. 1 – Confronto fra i consumi medi annuali per unità di volume lordo riscaldato

3.1. Caratteristiche e prestazioni degli edifici

L'analisi degli immobili, effettuata attraverso l'elaborazione e sistematizzazione dei dati riportati nella schedatura, ha permesso di comporre un quadro generale dello stato del parco scolastico provinciale.

Tali edifici analizzati possono essere suddivisi sulla base di tre diverse tipologie costruttive ricorrenti:



Le tipologie di infissi rilevate sono essenzialmente costituite da telai in legno ed in alluminio; i telai in legno, presenti quasi esclusivamente negli edifici anteriori al 1945, sono quasi totalmente abbinati a vetri singoli e sono caratterizzati da elevate trasmittanze e bassi valori di tenuta all'aria; negli edifici più recenti gli infissi, che hanno telai in alluminio abbinanti con vetrocamera, presentano in alcuni casi anche scarso controllo dell'irraggiamento solare con conseguente surriscaldamento degli ambienti.

Nei 79 immobili, per una volumetria complessiva del parco scolastico di circa 1.600.000 m³, sono presenti 76 impianti, per un totale di 142 generatori di calore, con una potenza termica installata pari a circa 60 MW. Di questi, 58 sono alimentati a metano (76.3%) e 18 a gasolio (23.7%), di questi ultimi 14 utilizzano il biodiesel come combustibile. Inoltre sono presenti due impianti che utilizzano l'energia solare per la produzione di acqua calda sanitaria, ed è in via di allestimento un impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica.

Il modello tipo d'impianto di riscaldamento presente nella maggioranza delle scuole è di tipo centralizzato, con rete di distribuzione non parzializzata, e terminali di diversa tipologia (anche nello stesso edificio), costituiti prevalentemente da radiatori in ghisa o alluminio, ma anche da aerotermi (per palestre, laboratori, officine), pannelli radianti e ventilconvettori.

L'illuminazione degli ambienti è affidata quasi esclusivamente a lampade fluorescenti tubolari, sia nelle scuole di recente costruzione che negli edifici storici senza distinzione; le lampade ad incandescenza sono invece utilizzate solo in rarissimi casi.

4. LA VALUTAZIONE DELL'EFFICIENZA ENERGETICA

Al fine di ottenere un primo indice di efficienza energetica degli edifici scolastici, ottenibile partendo da pochi dati facilmente rilevabili, è stato adottato un indicatore energetico normalizzato per riscaldamento, IEN_R, [ENEA, 1998] per stabilire le priorità di intervento, necessariamente da incrociare e confrontare con il coefficiente di dispersione volumica globale (Cd) e con la distribuzione delle dispersioni termiche.

La diagnosi energetica dell'edificio attraverso l'IEN_R si compone di cinque fasi in cui vengono rilevati o calcolati i parametri necessari. L'analisi parte dalla media dei consumi di combustibile (Q_m) su tre anni (1999-2002), riferiti al volume lordo riscaldato, ai gradi giorno della località, ad un fattore di normalizzazione riferito al rapporto fra superficie disperdente e volume lordo riscaldato (Fe), che rende i dati dei consumi rilevati omogenei data la notevole differenziazione tipologica e formale degli edifici, e ad un fattore di normalizzazione che tiene conto dell'orario di funzionamento dell'istituto (Fh).

Il calcolo dell'IEN_R viene desunto dalla relazione 1):

$$IEN_R = (Q_m \times Fe \times Fh \times 1.000) / (V \times GG) \quad (Wh/m^3 \text{ GG anno}) \quad 1)$$

Dall'analisi effettuata su un campione rappresentativo di edifici scolastici nazionali l'ENEA ha determinato classi di merito riferite a differenti tipologie di edifici analizzati; per quanto concerne il solo riscaldamento le classi sono organizzate come segue: per IEN_R minore di 11,5 l'edificio è inserito nella classe di merito "buono", per IEN_R compreso fra 11,5 e 15,5 l'edificio è inserito nella classe di merito "sufficiente", mentre per IEN_R maggiore di 15,5 l'edificio è inserito nella classe di merito "insufficiente". Per gli edifici rientrati nelle classi "sufficiente" e "buono" non si dovrebbero avere sprechi considerevoli, mentre per la classe "insufficiente" urgono misure di contenimento degli sprechi.

In questa prima fase della ricerca sono stati analizzati 37 edifici per i quali i consumi di combustibile ipotizzati in fase di progetto sono risultati in grande maggioranza (66% circa) inferiori ai consumi effettivi rilevati nel triennio 1999-2002. A tali edifici è stata applicata la metodologia elaborata. Per quanto riguarda il sistema impiantistico, sulla base dell'analisi dei dati contenuti nella schedatura, si è proceduto ad una prima verifica dello stato di efficienza dell'impianto e si è valutata quindi l'opportunità di intervenire o meno sullo stesso.

Dal quadro così ottenuto sono scaturite informazioni che, incrociate con i risultati dei questionari distribuiti nei plessi scolastici, permetteranno di operare una prima individuazione di priorità di intervento sulla base di una analisi di fattibilità tecnica associata a scelte

strategiche di natura politica, quali ad esempio l'uso di tecnologie e prodotti ecocompatibili che a parità di prestazioni possono comportare oneri economici maggiori e quindi aumentare il tempo di ritorno dell'intervento.

Effettuata la scelta sul sottosistema su cui appare più conveniente intervenire (edificio o impianto o ambedue) si esplicitano, anche in funzione delle caratteristiche tipologiche e morfologiche dell'edificio e della presenza di vincoli, le possibili soluzioni tecniche da adottare per le quali sono confrontati indicatori energetici contenuti nella Legge 10/91 ed economici che indicano quella maggiormente conveniente.

5. LA DEFINIZIONE DELLE STRATEGIE DI INTERVENTO

Le strategie analizzate per migliorare l'efficienza energetica, sulle quali successivamente vengono eseguite valutazioni di tipo tecnico ed economico riferite al singolo edificio, sono classificate in cinque gruppi di interventi:

- sul sistema di produzione, distribuzione, regolazione e utilizzazione del calore;
- volti a migliorare la resistenza termica dei componenti dell'involucro;
- volti a migliorare l'efficienza del sistema di illuminazione artificiale;
- volti a migliorare la gestione globale del sistema edificio-impianto;
- 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 sono elaborate linee guida di intervento comprendenti una valutazione di fattibilità in cui sono 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.

In generale, si rileva come le tecnologie che intervengono sulla produzione, regolazione ed erogazione dell'energia termica siano 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.

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

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.

6. LA VALUTAZIONE ECONOMICA DEGLI INTERVENTI

La fattibilità degli interventi viene valutata per ogni edificio sotto il profilo economico determinando i risparmi conseguibili con le tecnologie scelte in termini assoluti e di confronto. Per ogni edificio e per ogni tipologia di intervento ipotizzato, avvalendosi delle formule della matematica finanziaria, sono analizzati i più comuni indicatori economici che

sintetizzano le caratteristiche dell'investimento e che permettono una maggiore rapidità del processo decisionale: il tempo di ritorno (TR), il valore attuale netto (VAN) e l'indice di profitto (IP) dell'investimento.

Il tempo di ritorno (payback period) è l'indicatore economico più diffuso, che in molti casi è sufficiente a definire la redditività dell'investimento: esso rappresenta il periodo di tempo necessario affinché la somma dei risparmi di denaro conseguiti annualmente (flusso di cassa, FC) eguagli il costo o sovracosto dell'investimento (I); esso è dato dalla relazione 2).

$$TR = (I / FC) \quad 2)$$

Nel caso di interventi di risparmio energetico, il flusso di cassa rappresenta il risparmio determinato dalla diminuzione dei costi energetici di esercizio che l'investimento consente di ottenere in ciascun anno. In pratica se TR è maggiore o eguale all'arco di vita presumibile dell'intervento l'investimento non è conveniente.

Il VAN si calcola comparando il costo dell'investimento (I) con i benefici economici che esso genererà (Flusso di Cassa, FC), tenendo conto di coefficienti di correlazione (funzione del Fattore di Annualità, FA) che rendano equiparabile il valore del denaro disponibile in tempi diversi; esso è definito dalla relazione 3).

$$VAN = (FC \cdot FA) - I \quad 3)$$

Quindi se il VAN è positivo l'investimento è conveniente mentre se il VAN è negativo non è conveniente realizzare l'intervento.

L'indice di profitto ci dice quanto produce un euro investito nell'attività considerata. Questo indice è molto utile in quanto consente di individuare tra una molteplicità di investimenti quello che utilizza al meglio il denaro disponibile; esso è dato dalla relazione 4).

$$IP = (VAN / I) \quad 4)$$

7. DISCUSSIONE DEI RISULTATI: CASI STUDIO

Come esempi applicativi della metodologia adottata sono stati presi in considerazione due edifici (edificio A, un Liceo, ed edificio B, un Istituto Tecnico) con struttura portante in cemento armato a vista e tamponamenti in muratura in laterizio a vista, realizzati rispettivamente negli anni '70 nei primi anni '90. Entrambi gli edifici presentano generatori di calore in acciaio alimentati a metano, efficienti, ma al contempo lamentano carenze più o meno gravi nel sistema di regolazione, riscontrate anche dalle interviste con gli utenti, ed hanno radiatori in ghisa. Nella Tabella 1 sono riportati i valori di trasmittanza e le percentuali di dispersioni termiche dei due edifici.

Per quanto riguarda il Liceo, i tamponamenti sono realizzati con differenti tecnologie, laterizio alveolato e intercapedine d'aria (s=34cm) e laterizio alveolato intonacato su entrambe le facce (s= 29cm). La copertura piana come pure il solaio su vespaio aerato e quello sul loggiato di ingresso sono in struttura latero-cementizia. Gli infissi sono realizzati con telaio in alluminio e vetrocamera.

Tab. 1 – Valori di trasmittanza e percentuali delle dispersioni per trasmissione dei componenti degli edifici analizzati

EDIFICIO	PARETI DI TAMPONAMENTO	PAVIMENTI	SOFFITTI	INFISSI
EDIFICIO A *	U = 1,1-1,2 W/m ² K	Su loggiato U = 1,4 W/m ² K su vespaio aerato U = 1,6 W/m ² K	Copertura U = 1,6 W/m ² K	U = 2,6 W/m ² K
	23% dispersioni totali	25% dispersioni totali	38% dispersioni totali	11% dispersioni totali
EDIFICIO B	U = 1,9 W/m ² K	Pavimenti U = 1,4 - 1,9 W/m ² K	Sottotetto U = 1,7 W/m ² K Copertura U = 1,4 W/m ² K	U = 2,5 W/m ² K
	40 % dispersioni totali	18% dispersioni totali	18% dispersioni totali	17% dispersioni totali

Note: * percentuale di dispersioni dovuta ai ponti termici pari al 3%.

La valutazione dell'efficienza energetica dell'edificio attuata con diversi indici ne ha messo in evidenza i limiti, essendo caratterizzato da elevati consumi di combustibile per il riscaldamento e da elevate dispersioni. Infatti il Cd dell'edificio risulta superiore a quello limite, definendo quindi un edificio non efficiente dal punto di vista energetico; l'IEN_R risulta insufficiente; ciò può essere giustificato considerando che per raggiungere livelli di comfort ritenuti accettabili dagli utenti, così come risulta dalle interviste e dai questionari, occorra un elevato consumo annuo di combustibile. Infine, la verifica del FEN risulta negativa ed il rendimento globale medio stagionale al limite del valore ammissibile.

Il calcolo delle dispersioni per trasmissione attraverso l'involucro ha messo in evidenza il contributo di ogni singolo componente tecnologico, individuando quindi i sottosistemi più importanti su cui agire ottenendo i maggiori risparmi sia in termini energetici che economici. Si è deciso quindi di intervenire sulla copertura, avendo questa un'incidenza del 38% sulla potenza totale dispersa in regime invernale, attuando un isolamento a cappotto con relativa impermeabilizzazione. Il calcolo dell'economia mediamente conseguibile su base annua (riferita alla stagione di riscaldamento) viene valutata a partire dal valore dal fabbisogno di energia primaria prima e dopo l'intervento. In sintesi si è confrontato, nell'arco di vita presumibile dell'intervento, il risparmio conseguito in termini energetici (attualizzato) con gli extracosti sostenuti (realizzazione e manutenzione).

Per lo stesso edificio sono state ipotizzate anche altre tipologie di interventi sul sistema impiantistico finalizzate al miglioramento delle prestazioni dello stesso ed all'uso di fonti rinnovabili, in specifico del solare termico per la produzione di acqua calda sanitaria. In dettaglio tali interventi prevedono una riqualificazione energetica dell'impianto termico, tramite installazione di valvole termostatiche (aumento del rendimento di regolazione) e di un sistema di telecontrollo per la gestione dell'impianto (aumento del rendimento globale medio stagionale e riduzione dell'energia termica fornita all'edificio), nonché l'uso di collettori solari piani ad alta efficienza per il riscaldamento dell'acqua sanitaria (superficie captante di circa 60m²).

Dal confronto fra gli indici economici dei due interventi, riportato nella tabella 2, il primo (sull'involucro) risulta più conveniente rispetto al secondo (sull'impianto) sia per il tempo di ritorno che per l'indice di profitto, a fronte di un investimento iniziale maggiore.

Tab. 2 – Confronto fra gli interventi ipotizzati per l'Edificio A

Parametri	Edificio esistente	Intervento involucro	Intervento impianto
Fabbisogno di energia primaria	6483402 MJ	4817095 MJ	5813434 MJ
Consumo di combustibile	180345 m ³	133994 m ³	165965 m ³
Totale costi per il combustibile	104600 €	77716 €	96260 €
Emissione CO ₂	346262 kg/anno	257268 kg/anno	318652 kg/anno
Risparmio annuale conseguibile FC		26884 €	8340 €
Costo intervento		130.000 €	55.000 €
VAN		positivo	positivo
Tempo di ritorno		4,8 anni	6,5 anni
Indice di profitto		1,81	1,06

Per quanto riguarda l'Edificio B i tamponamenti sono realizzati in laterizio faccia vista (s=27 cm), gli orizzontamenti sono in struttura laterocementizia; solo il solaio di copertura è isolato termicamente con lastre in poliuretano espanso; gli infissi sono realizzati con telaio in alluminio e vetrocamera.

Tab. 3 – Confronto fra gli interventi ipotizzati per l'Edificio B

Parametri	Confronto delle prestazioni	
	Edificio Esistente	Intervento impianto
Sistema di regolazione	$\eta_r = 86\%$	$\eta_r = 90\%$
Rendimento globale	$\eta_g = 64,5\%$	$\eta_g = 67,5\%$
Fabbisogno di energia edificio	1.828.800 MJ	1.724.400 MJ
Consumo annuo combustibile	81.000 m ³	70.800 m ³
Totale costi per il combustibile	46980 €	41064 €
Emissione CO ₂	156.000 kg/anno	136.000 kg/anno
Risparmio annuale conseguibile FC		5916 €
Costo intervento		42000 €
VAN		positivo
Tempo di ritorno		7,1 anni

Il valore dell'indicatore IEN_R risulta buono, mentre il valore del Cd risulta al limite del massimo consentito dalla L. 10/91; la verifica del FEN risulta positiva e quella del rendimento globale medio stagionale negativa; quest'ultima comporta una evidente priorità di intervento sul sistema impiantistico seguita da possibili miglioramenti delle prestazioni dell'involucro.

Per quanto attiene il sistema impiantistico la schedatura evidenzia una carenza del sistema di regolazione sia per quanto attiene quella in sequenza delle caldaie che quella relativa al circuito dei radiatori. Si segnalano inoltre sprechi di combustibile dovuti ad una non ottimale gestione dell'impianto. Infine, la produzione di acqua calda sanitaria potrebbe essere ottimizzata attraverso l'installazione di pannelli solari termici. In particolare, gli interventi volti a migliorare il rendimento globale del sistema impiantistico sono i seguenti: installazione di valvole termostatiche sui corpi scaldanti (aumento del rendimento di regolazione) e installazione di un sistema di telecontrollo (aumento del rendimento medio stagionale e riduzione dell'energia termica fornita all'edificio). Infine, per quanto attiene la produzione di

acqua calda per usi sanitari viene valutata l'installazione di un impianto solare (superficie captante di circa 30 m²) collocato sulla copertura della palestra.

Come si evince dalla tabella 3, la valutazione economica dell'investimento, che risulta positiva secondo l'analisi del VAN con un tempo di ritorno pari a circa 7 anni, fornisce informazioni utili circa la convenienza dell'investimento, sia dal punto di vista del risparmio energetico, che del miglioramento del comfort interno, che della salvaguardia dell'ambiente grazie alla riduzione delle emissioni di gas inquinanti.

8. CONCLUSIONI

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.

Gli immobili scolastici della Provincia sono per il 55% costruiti prima del 1945, e se consideriamo che un gran numero di edifici è situato nel centro storico di Firenze ed ha un'età superiore anche ai 500 anni, risulta evidente la difficoltà nell'adeguamento energetico di tali edifici anche in vista di una loro prossima certificazione energetica. Spesso tuttavia gli immobili più vetusti, non predisposti originariamente ad ospitare funzioni scolastiche, nonostante la mancanza di coibentazione termica e la integrazione spesso inesistente fra edificio ed impianto, mantengono comunque una discreta valenza energetica, grazie ad una buona inerzia termica dell'involucro ed alla pressoché mancanza di ponti termici dovuta all'omogeneità dei materiali.

Lo scopo della metodologia descritta nella 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.

Appare importante incrociare in maniera semplice ed efficace, infatti, 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 dalle fasi precedenti, 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 fondamentalmente 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.

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.² ≤ 70 kWh/m²anno) o che siano finalizzate a rendere edifici energivori dei modelli di edifici passivi (I.E. ≤ 15 kWh/m²anno).

² Consumo di energia per il riscaldamento

In conclusione, sebbene la situazione generale degli immobili scolastici esaminati, riguardo al contenimento dei consumi di energia non appaia soddisfacente, sebbene rientri nella media 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., Sciarpi 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., Sciarpi 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, discussa presso il Dipartimento TAeD dell'Università degli studi di Firenze, AA 2001/2002

Ringraziamenti

La ricerca del Laboratorio FAQE, oggetto anche di una Tesi di Laurea, si è resa possibile grazie alla collaborazione ed ai dati forniti dalla Provincia di Firenze, in particolare nella persona dell'Assessore al Patrimonio, Edilizia, Didattica Ambientale, Arch. Alberto di Cintio.