

Valutazione dell'**efficacia** di interventi di **efficienza** energetica negli edifici **scolastici**

Risultati di una serie di analisi condotte su una parte del parco edilizio scolastico della Provincia di Treviso per valutare l'efficacia energetica e la fattibilità economica di alcuni interventi e stabilire alcune linee di sviluppo per poter migliorare l'attendibilità degli strumenti utilizzati in fase di previsione

*P. Romagnoni, F. Peron, F. Cappelletti, T. Temporin, E. Guolo, G. Pernigotto**

DA ALCUNI ANNI, soprattutto a seguito delle Direttive Europee sull'efficienza energetica (Parlamento Europeo, 2010; 2012), è aumentata l'attenzione per le prestazioni energetiche degli edifici pubblici, che dovrebbero rappresentare

un esempio virtuoso, in particolare per quanto riguarda l'edilizia scolastica.

In realtà, le prestazioni energetiche degli edifici scolastici sono molto scadenti: il 67% dei 43.000 edifici scolastici italiani è stato costruito prima del

1974, cioè prima della pubblicazione della Legge 373/76, e solo circa l'8% è stato edificato negli ultimi 20 anni [1].

Le campagne di monitoraggio energetico, condotte da lungo tempo



Figura 1 – Il primo campione di scuole secondarie esaminate (Comune di Castel Franco Veneto – Treviso)

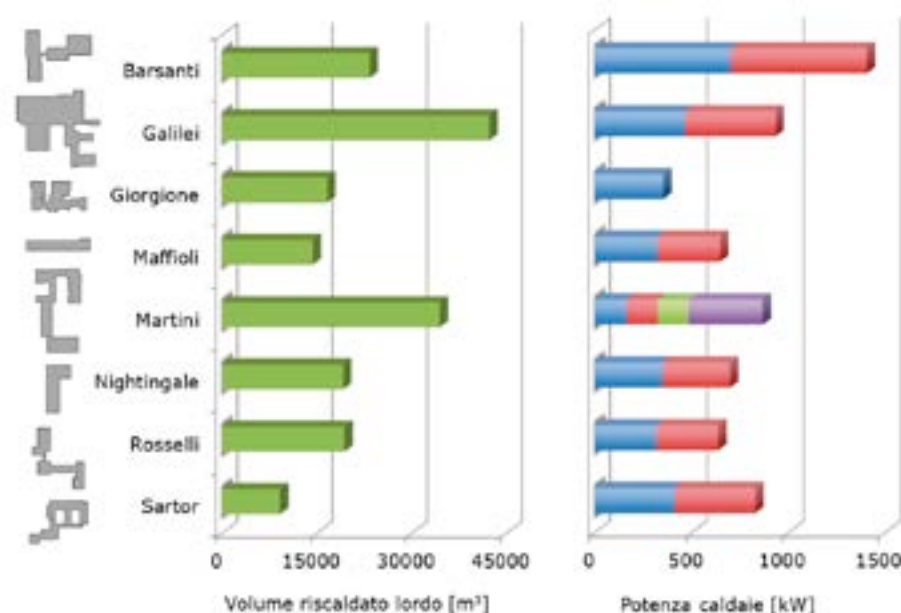
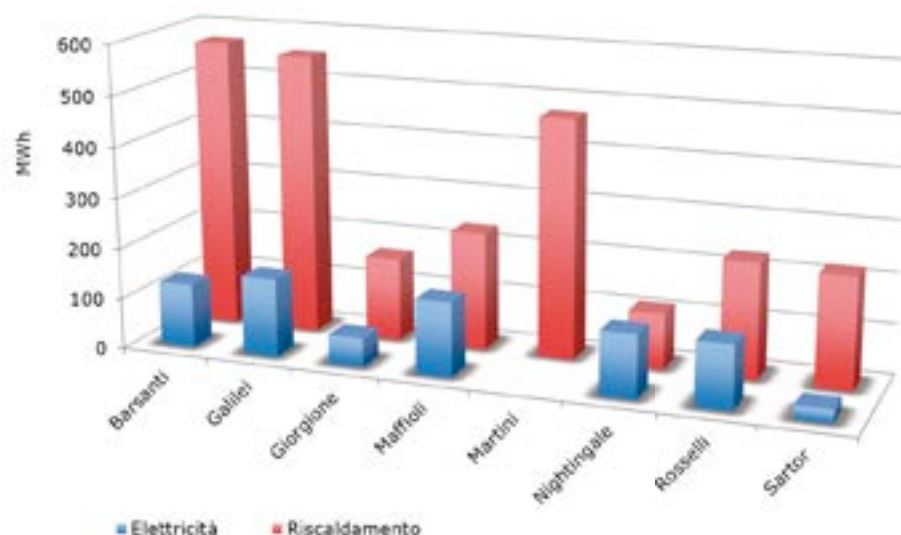


Figura 2 – Caratteristiche geometriche e potenze installate nelle scuole esaminate

Figura 3 – Consumi termici ed elettrici durante la stagione 2014-2015



e in contesti ambientali diversi (Hernandez et al., 2008; Corgnati et al., 2008; Antonini et al., 2009; Arambula Lara et al., 2015) hanno dimostrato l'importanza di accurate diagnosi energetiche e la difficoltà nel mettere ordine in un sistema condotto per molti anni con il solo aiuto della buona volontà di pochi operatori pubblici. L'operazione di diagnosi costituisce tuttavia solo il primo passo verso un uso oculato dell'energia: in una fase successiva bisogna coinvolgere i diversi attori, dai progettisti ai costruttori e agli installatori, dai manutentori e conduttori degli impianti all'utenza, per costruire un processo virtuoso, basato su corretti monitoraggi che porti a risparmi effettivi.

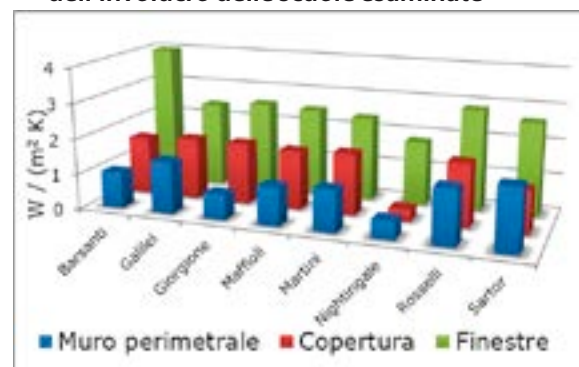
Di seguito sono illustrati i risultati di una serie di analisi condotte su una parte del parco edilizio scolastico della Provincia di Treviso per valutare l'efficacia energetica e la fattibilità economica di alcuni interventi e stabilire alcune linee di sviluppo per poter migliorare l'attendibilità degli strumenti utilizzati in fase di previsione.

Il campione di edifici e le loro caratteristiche

In Figura 1 è riportata la collocazione del campione analizzato, relativo al comune di Castel Franco Veneto; la stretta vicinanza geografica ha consentito di adottare per i calcoli predittivi le stesse condizioni esterne per tutti gli edifici.

Il data base reso disponibile dall'Amministrazione provinciale ha consentito di accedere ad alcune informazioni essenziali, a partire dalle caratteristiche geometriche e dalla potenza degli impianti installati, in Figura 2, e dai consumi elettrici e di riscaldamento, in Figura 3. Ciò ha consentito la valutazione delle caratteristiche termofisiche dell'involucro, riportate in Figura 4, che evidenziano la necessità di interventi tesi a rispettare i limiti normativi sui valori della trasmittanza termica. In Figura 5 sono indicate: la correlazione tra l'anno di costruzione, le trasmittanze medie di involucro, i volumi riscaldati e i consumi; da questi dati si ricavano indici energetici variabili tra 25 kWh/(m³ anno) e 5 kWh/(m³ anno).

Figura 4 – Caratteristiche della trasmittanza termica di alcuni componenti dell'involucro delle scuole esaminate



Le firme energetiche

La firma energetica consente una valutazione della prestazione energetica dell'edificio al variare delle condizioni climatiche esterne. L'angolo della linea di tendenza esprime la sensibilità dell'edificio alle variazioni di temperatura esterna: una linea con una forte inclinazione verso l'alto corrisponde a un edificio sensibile alle condizioni climatiche esterne, mentre una linea di tendenza debolmente inclinata indica un edificio meno sensibile alle condizioni esterne, quindi dotato di buon isolamento termico e impianto termico efficiente.

In generale, l'elaborazione delle firme energetiche per gli edifici scolastici esaminati ha evidenziato che è possibile intervenire sulla maggior parte di essi ottenendo significativi risparmi e un importante abbattimento delle emissioni.

In Figura 6 sono riportate le firme energetiche degli edifici in esame per la stagione 2014-2015, che risultano coerenti con i consumi totali degli istituti scolastici esaminati. Le diverse inclinazioni indicano non solo che i consumi sono molto diversi tra loro a causa delle diverse caratteristiche degli involucri, dei volumi riscaldati e della diversa efficienza degli impianti, ma anche che alcuni istituti necessitano di interventi urgenti, in particolare per quanto riguarda la coibentazione. Dalla Figura 6 emerge che l'Istituto Barsanti è quello con le prestazioni peggiori: nonostante abbia un volume riscaldato piccolo rispetto a quello degli altri edifici esaminati, come mostrato in Figura 5, l'involucro opaco è fortemente disperdente, le componenti trasparenti sono di scarsa qualità e occupano una considerevole superficie, il valore del parametro S/V è pari a 0,380 e gli indici di prestazione energetica per il riscaldamento sono i più alti. Sono quindi necessari un intervento di coibentazione e l'installazione di nuove componenti vetrate. Per quanto riguarda l'Istituto Sartor, il suo volume riscaldato è il più basso tra quelli del campione esaminato e gli indici di prestazione energetica per il riscaldamento sono tra i più alti; il valore S/V è il più elevato (uguale a 0,731), mentre l'involucro opaco contribuisce in maniera importante alle dispersioni e la percentuale finestrata è la più alta, con $WWR = 0,557$. Anche il Sartor necessita evidentemente di un generale migliore isolamento: la sua forma potrebbe rendere questo intervento molto costoso e poco efficace, per cui, per approfondire la questione e individuare l'intervento migliore, è stata effettuata una simulazione dinamica, descritta nel seguito.

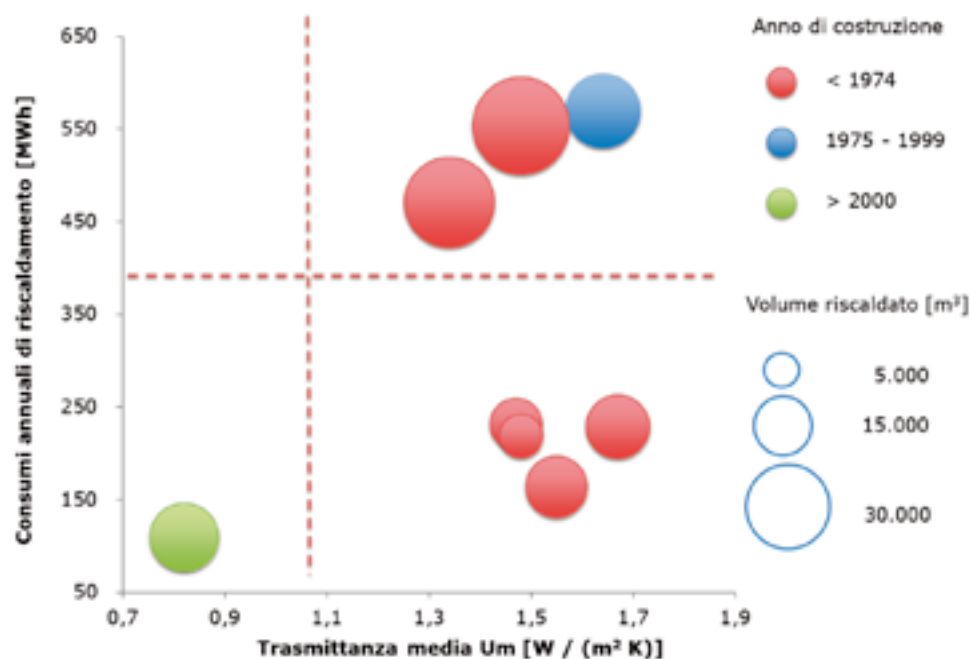


Figura 5 – Anno di costruzione, trasmittanze medie di involucro, volumi riscaldati e i consumi di riscaldamento

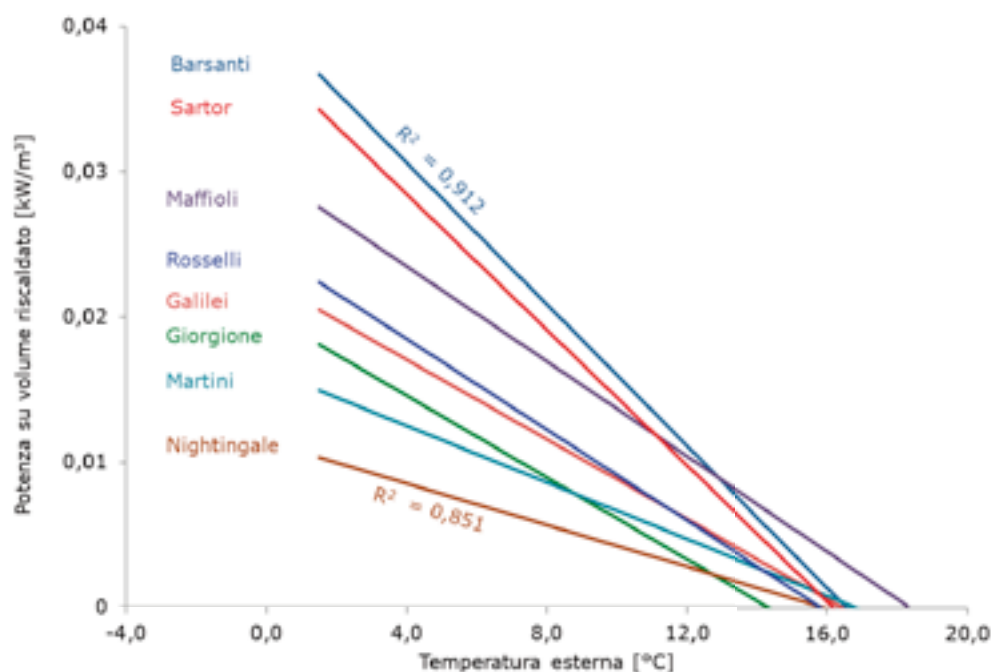


Figura 6 – Firme energetiche per la stagione 2014 – 2015



EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF ENERGY EFFICIENCY MEASURES IN SCHOOL BUILDINGS

The energy performance of Italian public buildings, especially of schools, is very poor: 67% of the 43,000 Italian school buildings stock were built before 1974, ie before the publication of the first national law that limited the energy consumption. The numerous publications concerning energy monitoring campaigns aim to demonstrate the importance of accurate energy diagnosis. The diagnosis operation, however, is only the first step towards an efficient use of energy: in a subsequent phase, it is fundamental to involve the various actors, from the building designers to the installers, from maintenance and plant operators to the users, in order to produce a virtuous process, based on correct monitoring and functioning, which leads to effective savings. This paper shows the results of an energy analysis on a part of the school buildings of the Province of Treviso; these results enabled us to assess the effectiveness and economic feasibility of some interventions on the thermal systems and the envelopes and to propose an overall strategy aimed at improving the reliability of the instruments used in the forecasting phase

Keywords: school building, dynamic simulation, energy audit

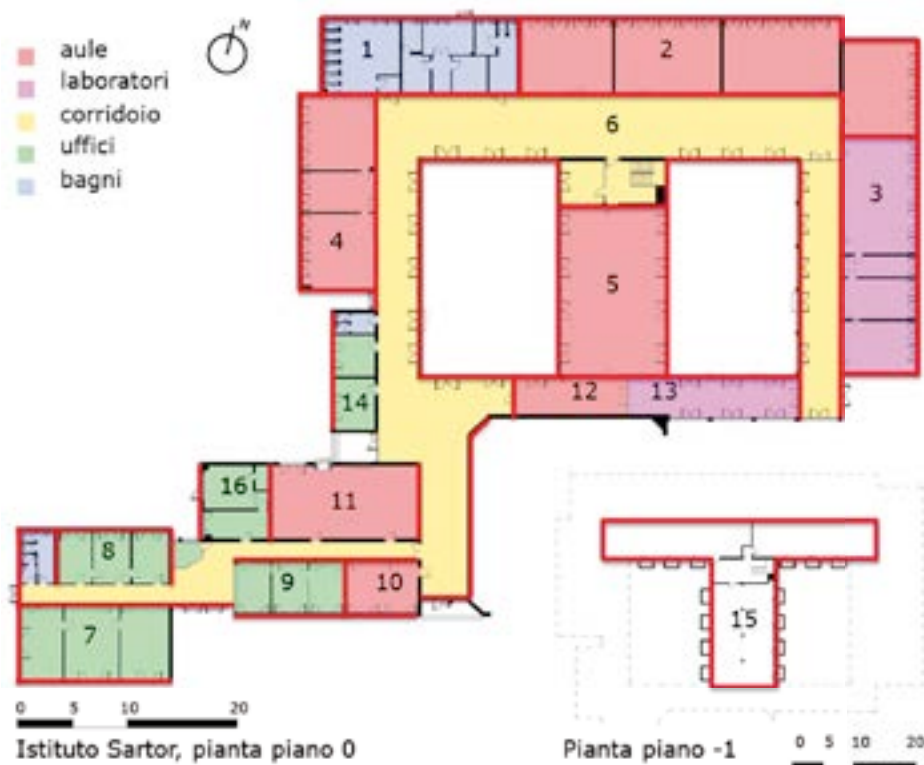


Figura 7 – Zonizzazione termica per la simulazione dinamica dell'Istituto Sartor

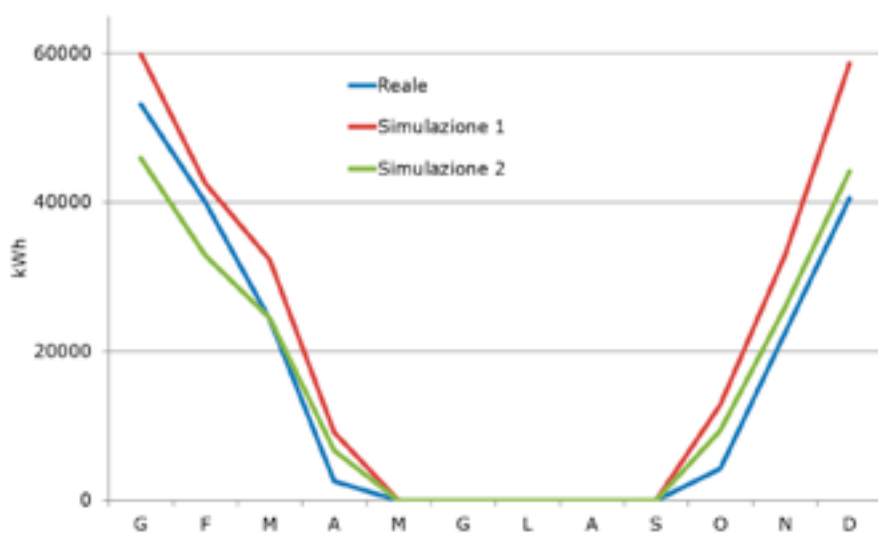


Figura 8 – Confronto tra i consumi reali e quelli simulati per l'Istituto Sartor: simulazione 1: portate aria da UNI 10339; simulazione 2: portate dimezzate

Tabella 1 – Proposte di intervento di efficientamento energetico dell'Istituto Sartor

Proposta 1: isolamento delle facciate.

Proposta 2: isolamento della copertura. Il materiale isolante è polistirene espanso sinterizzato con grafite.

Proposta 3: sostituzione finestre piccole [doppio vetro basso emissivo (4-9-4), argon nell'intercapedine, cornice in alluminio] e finestre grandi [triplo vetro basso emissivo (6-12-6-12-6), argon nell'intercapedine, cornice in alluminio].

Proposta	λ [W/mK]	U [W/m ² K]	ρ [kg/m ³]	S [m]	Consumi [kWh]	Risparmio sui consumi [kWh]	Risparmio sui consumi [%]	Costi intervento [€]	Risparmio per combustibile [€/anno]	Pay-back time [anni]
1	0,031	-	30	0,10	135.753	51.628	27,5	76.330	4.388	19
2				0,14	163.621	24.760	13,2	121.703	2.104	50
3	-	1,5 (piccole) 0,9 (grandi)	-	-	181.198	6.184	3,3	332.153	525	100

L'Istituto Sartor

La simulazione dinamica

I sopralluoghi, la raccolta e l'elaborazione dei dati hanno consentito di mettere a punto la simulazione dinamica degli istituti menzionati: nel seguito si presenta, a titolo esemplificativo, il caso dell'Istituto Sartor, che ha consentito di confrontare alcune ipotesi di intervento dal punto di vista sia energetico che economico.

La simulazione è stata svolta in tre fasi: la costruzione del modello, la sua calibrazione e l'applicazione degli interventi ipotizzati. La modellazione è stata la fase più delicata, che ha richiesto l'utilizzo di tre software, SketchUp, Open Studio ed EnergyPlus, per il disegno tridimensionale e per l'attribuzione dei dati, tra i quali la stratigrafia dell'involucro e gli apporti interni. Per la calibrazione si è cercato di stimare il reale valore dei parametri non noti, quali le portate di aria di infiltrazione; è stato ipotizzato un sistema di riscaldamento ideale per calcolare il fabbisogno termico dell'edificio. I consumi globali sono risultati pari a 248 MWh. Sempre per la calibrazione, partendo dai dati di progetto, dimezzandone i valori e limitando le portate di ventilazione dei bagni da 4 a 1 ACH costanti, i consumi sono scesi a 189 MWh. La Figura 8 riporta l'andamento dei consumi nei 2 casi proposti e un confronto con quelli reali per la stagione 2014-2015.

Una volta messo a punto il modello che rispetta le caratteristiche sia fisiche sia energetiche dell'istituto, sono stati applicati gli interventi migliorativi, per ciascuno dei quali è stata verificata l'incidenza sui consumi. La Figura 7 riporta la pianta dell'edificio e la zonizzazione adottata.

Proposte di intervento sull'involucro

I criteri per la scelta delle tre proposte di intervento considerate, in Tabella 1, sono stati la fattibilità tecnica e la sostenibilità economica per l'Amministrazione.

In Figura 9 è riportata la modifica della firma energetica per la Proposta 1.

Proposta di intervento sull'impianto

Tra le proposte analizzate c'è anche l'installazione di un impianto di ventilazione meccanica controllata con recupero termico con efficienza stagionale del 65%. A seguito di questo intervento, il consumo energetico dovuto alle infiltrazioni, che nel caso reale è stato stimato pari a 26 MWh, scenderebbe a 16,9 MWh, riducendo del 71% il fabbisogno annuale di riscaldamento totale.

Sintesi

Il diagramma in Figura 10 presenta sinteticamente l'impatto sull'abbattimento dei consumi a seguito degli interventi proposti, fermo restando una richiesta di energia elettrica pari al 17% dei consumi globali, sulla quale non sono state fatte valutazioni.

L'Istituto Da Collo

La valutazione dell'Istituto Da Collo ha riguardato non solo i temi già presentati per l'Istituto Sartor, ma anche la qualità dell'ambiente interno, tenendo quindi in considerazione il grado di benessere degli utenti al fine di sviluppare un potenziamento delle componenti tecnologiche e impiantistiche. I risultati ottenuti sono ancora in fase di elaborazione.

L'Istituto, di notevoli dimensioni sia per il volume riscaldato che per le superfici di scambio, è riconducibile a un modello distributivo di schema "a corridoio", caratterizzato dalla successione di aule contigue, collegate tra loro da corridoi lineari, e segue il tipo edilizio "a piastra", che raccoglie al suo centro tutte le funzioni necessarie alle attività didattiche e che migliora l'illuminazione e la continuità visiva con l'esterno grazie a vetrate poste principalmente nei corridoi che danno origine a un vuoto interno.

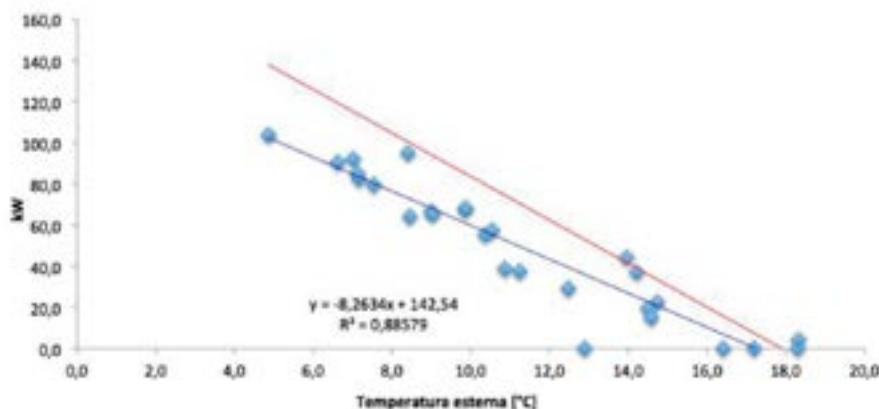


Figura 9 – Intervento di isolamento termico delle facciate: variazione della linea di tendenza della firma energetica. In blu la linea post-intervento

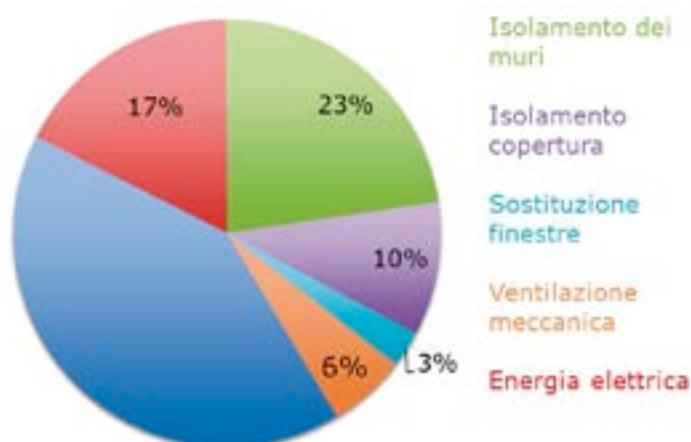


Figura 10 – Impatto sui consumi realizzati a seguito degli interventi proposti per la stagione 2014-2015

Tabella 2 – Proposte di intervento di efficientamento energetico dell'Istituto Da Collo

Proposta 1: isolamento delle facciate.

Proposta 2: isolamento della copertura. Il materiale isolante è polistirene espanso in pannelli.

Proposta 3: sostituzione finestre piccole [doppio vetro basso emissivo (4-9-4), argon nell'intercapedine, cornice in alluminio] e finestre grandi [triplo vetro basso emissivo (6-12-6-12-6), argon nell'intercapedine, cornice in alluminio].

Proposta	λ [W/mK]	U [W/m²K]	ρ [kg/m³]	s [m]	Consumi [kWh]	Risparmio sui consumi [kWh]	Risparmio sui consumi [%]	Costi intervento [€]	Risparmio per combustibile [€/anno]	Pay-back time [anni]
1	0,033	-	30	0,12	872	68	7,25	52.785	2.799	21
2				0,12	832	108	11,57	357.848	4.465	84
3	-	1,1 (piccole) 0,9 (grandi)	-	-	550	390	41,5	357.403	16.007	24

Figura 11 – Esterni dell'Istituto Da Collo



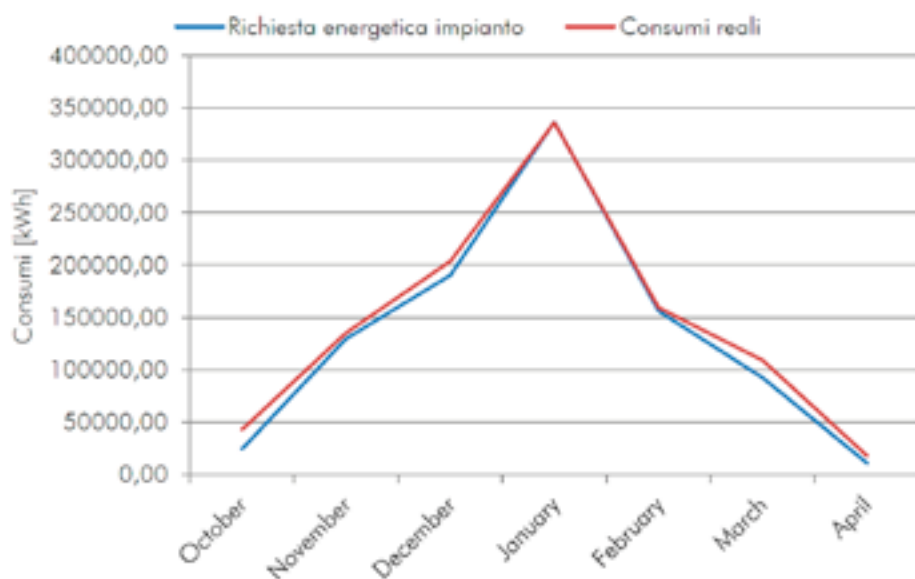


Figura 12 – Simulazione dinamica per l'Istituto Da Collo: esito della calibrazione

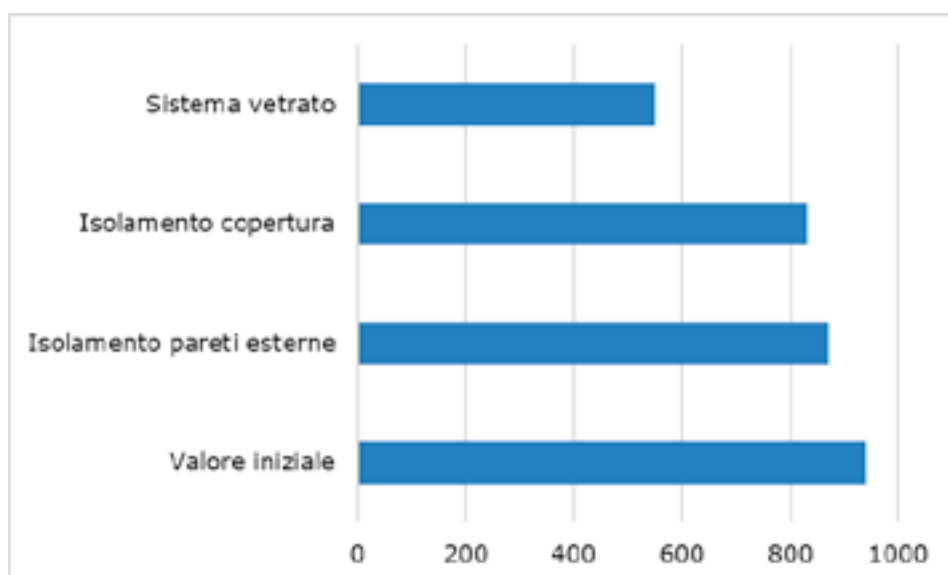


Figura 13 – Istituto da Collo. Consumi energetici, valori in [MWh]

BIBLIOGRAFIA

- Antonini E., Boscolo M., Cappelletti F., Romagnoni P. 2009. Riqualificazione di edifici scolastici: risultati di una campagna di monitoraggio energetico. 4° Energy Forum, Bressanone, pp.139-143, 2009.
- Arambula Lara R., Pernigotto G., Cappelletti F., Romagnoni P., Gasparella A. 2015. Energy audit of schools by means of cluster analysis. Energy and Buildings, 95, 160 - 171.
- Corgnati S.P., Corrado V., Filippi M. 2008. A method for heating consumption assessment in existing buildings: a field survey concerning 120 Italian schools. Energy and Buildings, 40(5), 801-809.
- Hernandez P., Burke K., Lewis J.O. 2008. Development of energy performance benchmarks and building energy ratings for non-domestic buildings: An example for Irish primary schools. Energy and Buildings, 40, 249-254.
- Parlamento Europeo. 2010. Direttiva 2010/31/UE del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia (rifusione), Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea L 153 del 18 giugno 2010, pp. 13 - 35.
- Parlamento Europeo. 2012. Direttiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 ottobre 2012 sull'efficienza energetica, Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea L 315 del 14 novembre 2012.
- UNI. 1995. Impianti aerulici a fini di benessere, generalità, classificazione e requisiti, regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura. Norma UNI 10339. Milano: Ente Italiano di Normazione.

WEBGRAFIA

- [1] http://www.agenziaefficienzaenergetica.it/scuolesostenibili/SMES_19_04.pdf
- [2] www.legambiente.it

L'edificio presenta quattro piani fuori terra nella zona dedicata alle aule scolastiche, situate a Sud e a Est, e due piani fuori terra nelle altre aree, tra cui palestra, auditorium, locali tecnici e uffici amministrativi, per un totale di area calpestabile pari a 18.412 m² e un volume lordo di 56.105 m³, con i prospetti Sud ed Est che presentano una grande zona di aerazione vetrata schermata esternamente con alcuni frangisole in alluminio. La trasmittanza media dell'involucro, U_m , è stata valutata pari a 0,8 W/(m²K).

In Figura 11 è riportata una vista esterna dell'edificio.

La simulazione energetica in questo caso è stata particolarmente difficoltosa a causa della complessità strutturale dell'edificio e della presenza di una doppia soluzione impiantistica: un impianto ad aria nella parte dell'edificio esposta a sud e un impianto a radiatori in quella esposta a nord. La calibrazione effettuata con i dati reali ha fornito i risultati riportati in Figura 12.

Gli interventi di efficientamento energetico proposti in questo caso sono gli stessi visti per l'Istituto Sartor e sono sintetizzati in Tabella 2.

La Figura 13 riassume i valori dei fabbisogni del caso esaminato e le variazioni ottenute a seguito degli interventi.

Conclusioni

Gli esempi riportati illustrano come sia possibile pianificare realisticamente interventi migliorativi su involucro e sistemi impiantistici di edifici esistenti utilizzando la simulazione dinamica, valutando l'impatto dei possibili interventi individuati e determinarne l'efficacia potenziale in termini energetici.

Nei casi esaminati sono state evidenziate alcune criticità, legate agli aspetti impiantistici e in particolare alla complessità di funzionamento, anche nella logica distributiva e di emissione termica, a sua volta dovuta a interventi non radicali e dilatati nel tempo, spesso effettuati senza un progetto ben delineato. Tutto ciò ha confermato il ruolo cruciale di una strategia volta a suggerire, di volta in volta, le soluzioni tecniche di efficientamento energetico migliori per l'edificio in esame.

Altro punto importante è che il raggiungimento di interventi efficaci passa attraverso la definizione di un consistente database di dati di consumi, condizione che permette una buona calibrazione delle simulazioni numeriche. ■

* *Piercarlo Romagnoni e Fabio Peron*, Università IUAV di Venezia – Soci AiCARR; *Francesca Cappelletti, Tommaso Temporin, Erika Guolo*, Università IUAV di Venezia; *Giovanni Pernigotto*, Libera Università di Bolzano

Si ringrazia l'Amministrazione della Provincia di Treviso, in particolare il personale del Settore Edilizia, per aver consentito l'utilizzo dei dati dei consumi.