

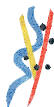
Università degli Studi Roma Tre

SMART ENVIRONMENTS

Valorizzazione della ricerca e crescita del territorio
negli ambienti intelligenti

a cura di

STEFANO PANZIERI, PAOLA MARRONE,
GIANCARLO DELLA VENTURA, STEFANO CARRESE



Roma TrE-Press

2017

Con il supporto della REGIONE LAZIO
Assessorato Formazione, Ricerca, Scuola e Università
Direzione Regionale Formazione, Ricerca e Innovazione
Scuola e Università, Diritto allo Studio
Area Ricerca e Innovazione per la Programmazione Regionale

AVVISO PUBBLICO RELATIVO A
PROGETTI DI RICERCA PRESENTATI DA
UNIVERSITA' E CENTRI DI RICERCA – LR 13/2008

(Prot. FILAS-RU- 2014 – 1024 del 06/03/2014- Convenzione del 23/07/2015, registrata il
29/07/2015 con Vs. n°. reg. cronologico 18072 – CUP F82I15000450002)

Coordinamento editoriale:
Gruppo di Lavoro *RomaTrE-Press*

Edizioni: RomaTrE-Press ©
Roma, dicembre 2017
ISBN: 9788894376364

<http://romatrepress.uniroma3.it>

Quest'opera è assoggettata alla disciplina *Creative Commons attribution 4.0 International Licence* (CC BY-NC-ND 4.0) che impone l'attribuzione della paternità dell'opera, proibisce di alterarla, trasformarla o usarla per produrre un'altra opera, e ne esclude l'uso per ricavarne un profitto commerciale.



Sommario

Prefazione	7
Giuseppe Di Battista	
Introduzione	11
Stefano Panzieri	
Trasferimento Tecnologico tra Università e Imprese	15
Aleardo Furlani	
Energia e Sostenibilità	19
Paola Marrone	
Beni Culturali	25
Giancarlo Della Ventura	
Mobilità sostenibile	33
Stefano Carrese	
 ENERGIA E SOSTENIBILITA'	 39
1. <i>Smart Buildings: Edifici Intelligenti per Migliorare l'Efficienza Energetica e il Comfort degli Utenti</i>	41
Chiara Foglietta, Dario Masucci, Cosimo Palazzo, Stefano Panzieri, Federica Pascucci	
2. <i>La valutazione di soluzioni progettuali e tecnologiche per l'efficienza energetica del patrimonio costruito</i>	53
Laura Calcagnini, Paola Marrone	
3. <i>Ottimizzazione della produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili a basso impatto ambientale</i>	67
Antonino Laudani, Gabriele Maria Lozito, Francesco Riganti Fulginei, Alessandro Salvini	
4. <i>GIS per il rischio climatico e l'efficienza energetica</i>	79
Daniela De Ioris, Simone Ombuen	
5. <i>Sviluppo di un modello GTAP economico-energetico per la valutazione di politiche di sostegno delle nuove tecnologie pulite in campo energetico</i>	87
Valeria Costantini, Elena Paglialonga, Giorgia Sforza	
6. <i>Riqualficazione ambientale degli spazi aperti: proposta di uno strumento multicriteria di supporto alla progettazione</i>	97
Paola Marrone, Federico Orsini	
7. <i>Tecnologie Big Data per Data-Driven Smart Environment</i>	111
Luca Cabibbo, Donatella Firmani, Riccardo Torlone	

8. <i>Studio delle caratteristiche geotermiche del sottosuolo romano</i> Claudio Baffioni, Andrea Bonamico, Guido Giordano, Alessandro Vona	125
9. <i>Verso un sistema indossabile autonomo per il riconoscimento intelligente di parametri relativi alle attività fisiche</i> Bernabucci, D. Bibbo, C. Caramia, S. Conforto C. De Marchis, A. Proto M. Schmid	135
MOBILITA'	147
10. <i>Ingegneria dei trasporti per la mobilità sostenibile nel settore dei beni culturali</i> Stefano Carrese, Andrea Gemma	149
11. <i>MUSE: turisti e mobilità pedonale</i> Lorenzo Barbieri, Andrea Filpa	161
12. <i>Fruizione dei beni culturali a Roma: un approccio smart</i> Angelo Panno, Ylenia Passiatore, Giuseppe Carrus	173
13. <i>Analisi economica della mobilità sostenibile nel settore dei beni culturali: focus sulla mobilità pedonale dei turisti a Roma</i> Valerio Gatta, Michela Le Pira, Edoardo Marcucci	183
BENI CULTURALI	195
14. <i>Banca dati per aspetti normativi in tema di beni culturali</i> Maria Chiara Buttiglione, Luigi Moccia	197
15. <i>Laboratorio virtuale su piattaforma telematica per ottimizzare e facilitare la fruizione di apparati sperimentali finalizzati alla tutela dei beni culturali</i> Andrea Benedetto, Maria Giulia Brancadoro	207
16. <i>Personal Museum: proposte per un museo personalizzato ed interattivo</i> Chiara Di Stefano, Alessandro Neri	217
17. <i>Analisi ipermediali e regia automatica</i> Enrico Menduni, Giacomo Ravesi	227
18. <i>Un Sistema di Raccomandazione Sociale basato su Linked Open Data per la Fruizione di Beni Culturali</i> Alessandro Micarelli, Giuseppe Sansonetti	241
19. <i>Diagnostica per il restauro e la conservazione: danni ambientali e di origine biologica</i> Giulia Caneva, Annalaura Casanova Municchia, Giancarlo Della Ventura, Maria Antonietta Ricci, Armida Sodo	253
20. <i>Metodologie integrate per la prevenzione sismica del costruito storico</i> Gianmarco de Felice, Bartolomeo Pantò	261

21. <i>Cervantes dal verbo all'immagine-movimento: una piattaforma interculturale</i> Daniele Corsi, Giuseppe Grilli	273
SMART FOOD	291
22. <i>Metrologia dell'olio extra vergine di oliva</i> Maurizio Caciotta, Barbara Orioni	293
23. <i>Studio degli effetti di alimenti arricchiti col flavanone naringenina sulla prevenzione di patologie degenerative</i> Manuela Cipolletti, Marco Fiocchetti, Maria Marino, Maria Teresa Nuzzo	299
PAESAGGI CULTURALI	309
24. <i>Sistema informativo integrato multiplatforma per la promozione e l'esperienza consapevole del territorio laziale</i> Sara Carallo, Claudio Cerreti	311
25. <i>I paesaggi rurali tradizionali nel Lazio. Tutela e valorizzazione di un patrimonio "vivente"</i> Giorgia De Pasquale, Elisabetta Pallottino	325
26. <i>Strumenti e metodi di indagine per la conoscenza dei paesaggi culturali. Il centro urbano di Manziana ed il suo contesto ambientale</i> Matteo Flavio Mancini, Giovanna Spadafora	337
27. <i>Un contributo alla costruzione di un quadro unitario del paesaggio storico laziale, sulla base dei documenti del Catasto Gregoriano: il Sistema Informativo Territoriale della città storica di Tivoli</i> Antonio Cimino, Elisabetta Pallottino	349
AMBIENTE E MATERIALI	361
28. <i>Pericolosità geochimica da gas endogeni e sostanze radioattive nelle aree perivulcaniche del Lazio ed impatto sull'ambiente</i> M. Castelluccio, G. De Simone, G. Galli, C. Lucchetti, E. Pollinzi F. Pompilj, M. Soligo, P. Tuccimei, P. Tufoni	363
29. <i>Indomatic: prototipo di una piattaforma community-based per la fruizione di conoscenze avanzate sulla tecnica della nanoindentazione</i> Edoardo Bemporad, Daniele Toti	375
PUBBLICA AMMINISTRAZIONE	387
30. <i>Strumenti e procedure per rendere gli ambienti digitali un moltiplicatore dello sviluppo</i> Fabio Bassan, Maria Letizia Magno	389

31. *La brevettabilità dell'innovazione biotecnologica nello spazio giuridico europeo, tra simmetrie normative e asimmetrie interpretative* 401
Giandonato Caggiano, Daniela Vitiello
32. *La disciplina europea dei "segreti commerciali" come tutela delle innovazioni delle imprese in alternativa ai brevetti* 415
Giandonato Caggiano, Ilenia Italiano
33. *L'accordo istitutivo del Tribunale Unificato dei Brevetti* 429
Giandonato Caggiano, Ilaria Ottaviano

2 La valutazione di soluzioni progettuali e tecnologiche per l'efficienza energetica del patrimonio costruito

Laura Calcagnini, Paola Marrone¹¹

2.1 *Sommario*

Il contributo descrive il percorso di ricerca, svolto nell'ambito del *Task Energia*, per la valutazione di interventi di riqualificazione energetico-ambientale sul patrimonio edilizio pubblico della Regione Lazio, e con l'obiettivo di sostenere, nelle decisioni progettuali e tecniche, sia la Pubblica Amministrazione nel finanziamento di nuovi interventi, sia le imprese nel loro riposizionamento tecnologico.

La ricerca è stata mirata, in primo luogo, a individuare, indicatori economici e tecnici di valutazione *ex-post* degli interventi di *retrofitting* energetico e, in secondo luogo, casi rappresentativi delle principali tipologie edilizie e d'intervento che possono costituire, in ambito regionale, esempi di riferimento o *benchmark* per la programmazione *ex ante* degli interventi.

I risultati, qui riportati in sintesi, rappresentano 'prove di efficacia' utili allo sviluppo di attività di progettazione, di scelte tecnologiche e, conseguentemente, di allocazione di finanziamenti, basate sull'evidenza (*Evidence Based Design*), ossia su una valutazione comparata tra prestazioni energetiche attese e realmente ottenute.

2.2 *Riqualificazione energetica del patrimonio edilizio: un approccio metodologico per le strutture scolastiche della Regione Lazio*

In questi ultimi anni, in attuazione delle Direttive Europee e degli

¹¹ Università degli Studi Roma Tre, Dipartimento di Architettura.

obiettivi fissati dai Piani d'Azione Europei per l'Efficienza Energetica (PAN)¹², l'Italia ha introdotto numerose misure per ridurre i consumi energetici e le emissioni di carbonio, incrementando l'efficienza energetica del patrimonio edilizio, riducendo i costi dell'energia e promuovendo filiere tecnologiche innovative per sostenere un nuovo sviluppo del settore edilizio. Tuttavia, accanto all'aggiornamento del quadro legislativo e all'adeguamento delle relative norme tecniche, che hanno introdotto standard e metodologie di calcolo per le nuove edificazioni e riqualificazioni soprattutto degli edifici pubblici, non è stato ancora avviato un processo di valutazione dell'efficacia dei progetti di riqualificazione energetica per garantire, non solo la qualità dei materiali e delle soluzioni tecnologiche da adottare, ma anche per verificare i risultati attesi rispetto a quelli realmente raggiunti [1]. A differenza di altri Paesi, in Italia mancano adeguate procedure di Monitoring&Evaluation (M&E) o di *benchmarking*, per un controllo comparato delle prestazioni energetiche.

In questa direzione si stanno sviluppando ricerche sul comportamento energetico degli edifici per raggiungere un livello di conoscenza¹³ utile ai progettisti e alla stessa industria delle costruzioni nella valutazione delle soluzioni progettuali e tecnologiche [2].

In questo quadro, grazie a un Accordo di Collaborazione con la Regione Lazio ed ENEA, la possibilità di disporre dei dati relativi ad oltre 150 interventi di riqualificazione energetica del patrimonio pubblico (finanziamento FESR Lazio 2007-2013), realizzati e conclusi nel 2015, ha permesso di confrontare dati sulle pratiche di retrofitting energetico del territorio regionale.

Per gestire la grande quantità di dati e restituire una valutazione complessiva ex-post dei risultati raggiunti con gli interventi di riqualificazione energetica, sono state considerate le soluzioni di efficientamento in termini tecnico-costruttivi, energetici ed economici:

- elaborando un'analisi multivariata dei dati per il raggruppamento

¹² Direttive europee 2002/91/CE (EPBD), 2009/28/CE e 2010/31/CE (nZEB).

¹³ In ambito anglosassone, e sul modello dei protocolli decisionali dell'*Evidence-Based Medicine*, si sta sviluppando, anche nel campo della progettazione edilizia, l'*Evidence-Based Design* (EBD) basato su decisioni responsabili, motivate da informazioni rilevanti, tratte dalla letteratura scientifica e dalla buona pratica delle realizzazioni.

degli edifici in classi omogenee (la *cluster analysis*);

- impostando indicatori di prestazione e di efficacia economica;
- costruendo modelli di simulazione energetica e validazione dei dati di progetto;
- compiendo indagini sul campo con misure strumentali;
- comparando le prestazioni tecnologiche dei componenti e dei materiali utilizzati.

È stato sviluppato un percorso metodologico in tre fasi¹⁴ (Fig. 1):

- analisi dei progetti esecutivi di tutti i 155 edifici oggetto degli interventi di riqualificazione (dati climatici, caratteristiche dimensionali e costruttive, tipologie di interventi e loro costi, etc.), effettivamente realizzati e conclusi entro dicembre del 2015 (Fase 1);
- monitoraggio (Fase 2a) e modellazione in regime dinamico (Fase 2b) di alcuni edifici, individuati (attraverso la *cluster analysis*) come i più rappresentativi del patrimonio riqualificato in ragione dei

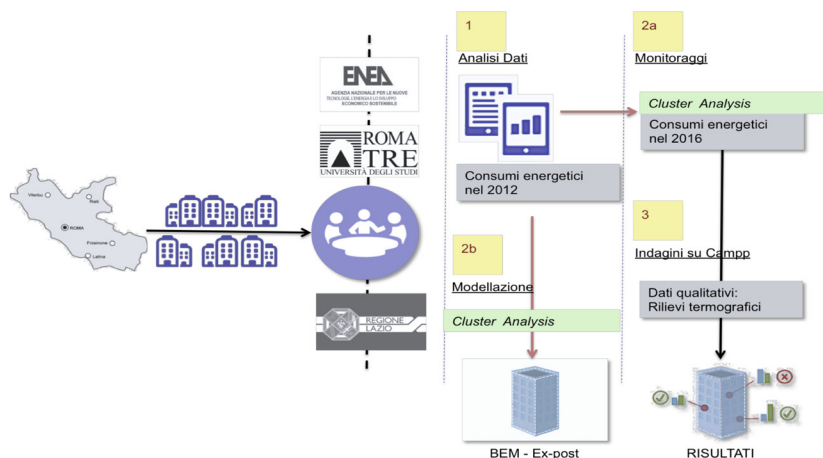


Fig. 1 – Metodologia generale. Le tre fasi: 1-Analisi dati, 2-Monitoraggio (a) & Modellazione (b) (monitoraggio sul 10% degli edifici e modellazione sugli edifici di riferimento), 3-Indagini su campo (sul 10% degli edifici)

¹⁴ Si ringraziano i proff. Francesco Asdrubali e Paola Gori con ingg. Luca Evangelisti, Claudia Maria Guattari e Luca Grazieschi per l'importante supporto nella definizione e applicazione della *cluster analysis* e delle indagini sul campo.

- loro caratteri costruttivi ed energetici (campione pari al 10%);
- indagini sul campo e analisi della qualità tecnologica e materica degli interventi realizzati sugli edifici rappresentativi (Fase 3).

Sulla base dei dati messi a disposizione dalla Regione Lazio sono stati costruiti due *database*: il primo raccoglie tutti gli interventi, classificandoli secondo le caratteristiche previste dal primo livello di indagine (Fase 1); il secondo contiene le informazioni più dettagliate relative a solo settanta-sette strutture con funzioni socio-educative e che sono state oggetto di monitoraggio, modellizzazione e indagini sul campo (Fase 2 e 3).

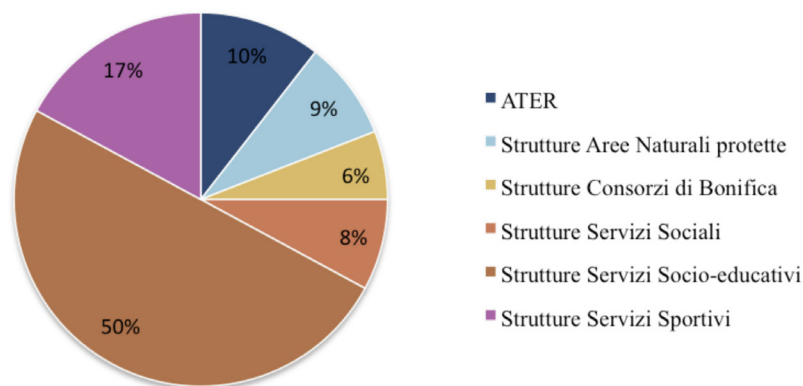


Fig. 2 – Distribuzione delle tipologie di intervento

La scelta di approfondire la valutazione complessiva solo per gli edifici a uso scolastico ha diverse ragioni:

- le strutture socio-educative rappresentano il 50% degli edifici oggetto di intervento (Fig. 2);
- gli interventi eseguiti sulle altre tipologie funzionali, come per esempio, gli impianti sportivi che rappresentano il 17%, sono in prevalenza di natura impiantistica e, pertanto, poco rappresentativi del complesso degli interventi edificio-impianto;
- le altre tipologie funzionali, presenti in quantità meno significative (ad es., le strutture per i servizi sociali), sono estremamente

eterogenee costruttivamente (ad es., le strutture all'interno delle aree naturali protette variano da piccoli presidi a palazzi storici), o poco significative sotto il profilo dell'utenza (consorzi di bonifica), o senza una utenza omogenea (i 9 complessi residenziali ATER);

- la letteratura scientifica internazionale e le recenti normative in materia di riqualificazione edilizia dimostrano l'importanza del *retrofitting* energetico del patrimonio edilizio scolastico [3, 4, 5, 6];
- il 48% del patrimonio ad uso scolastico – edificato in prevalenza tra gli anni sessanta e ottanta – è ancora da riqualificare e, presumibilmente, corrisponde a circa 10.000 edifici [7];
- il 3% degli edifici scolastici è stato costruito prima del 1900, la maggior parte, circa il 45%, tra il 1961 al 1980, ossia circa 20.000 edifici scolastici sono stati realizzati prima dell'entrata in vigore delle prime leggi sull'energia e quindi, presumibilmente, sono estremamente energivori¹⁵ [7];
- secondo il Programma per la Riqualificazione Energetica degli Edifici e della Pubblica Amministrazione Centrale (PREPAC), si dovrà riqualificare il 3% degli edifici pubblici ogni anno¹⁶.

2.3 Evidenze

Le evidenze esito dei diversi livelli di indagine sono numerose e articolate. Si riportano in sintesi alcune conclusioni con l'obiettivo di mostrare il percorso nella sua interezza, sebbene occorra omettere le elaborazioni complete dei dati¹⁷ svolte e già oggetto di pubblicazioni scientifiche [10, 11].

¹⁵ Il patrimonio scolastico della Regione Lazio corrisponde come epoche costruttive al quadro nazionale [7].

¹⁶ La Legge 102/2014 ha stanziato 355 milioni di Euro nel periodo 2014-2020 per la riqualificazione energetica delle Pubbliche Amministrazioni [8, 9].

¹⁷ Si omettono pressoché completamente le analisi dei costi e i dati relativi agli interventi impiantistici e alle FER.

2.3.1 Valutazioni sulle tipologie di intervento

La distribuzione sul territorio degli edifici scolastici è piuttosto omogenea nelle cinque provincie del Lazio, gli edifici ricadono in tre differenti zone climatiche (C, D, E) secondo la classificazione italiana¹⁸. Gli interventi realizzati sono classificabili in tre (3) classi tipologiche e sette (7) tipologie:

1. il 49% sull'involucro edilizio (sostituzione dei serramenti, isolamento termico delle chiusure opache verticali, isolamento termico delle chiusure opache orizzontali);
2. il 21% sugli impianti (riqualificazione dell'impianto di riscaldamento e di raffrescamento);
3. il 30% sulle fonti rinnovabili (installazione Solare termico, installazione solare fotovoltaico).

Gli interventi sono distribuiti nelle zone climatiche D, (48%) C (30%) ed E (22%) e caratterizzati in prevalenza dalla sostituzione di generatori vetusti con nuovi a condensazione, dalla sostituzione di impianti tradizionali di riscaldamento con nuovi impianti di climatizzazione, dall'isolamento termico dell'involucro con materiali tradizionali e dall'installazione di impianti fotovoltaici (n. 63 impianti).

2.3.2 Valutazioni economiche

Rispetto al totale degli interventi sull'edilizia scolastica, il cui costo finanziato è pari a circa 19,3 milioni di euro, circa 13,2 milioni di euro sono stati impiegati per la riqualificazione energetica dell'involucro edilizio e poco più di 6 milioni di euro per gli interventi sugli impianti e per introdurre fonti rinnovabili. Il costo finale delle riqualificazioni per superficie calpestabile rientra, per la maggior parte degli interventi, in un costo inferiore ai 500 €/m². Questo dato fa riferimento all'applicazione di tecnologie tradizionali, legate a pratiche comuni (non migliori, né innovative) e a materiali anch'essi tradizionali (ad es., isolanti termici quali

¹⁸ In funzione dei gradi giorni, il territorio nazionale è suddiviso in 6 zone climatiche (DPR 412/1993), dalla più calda (zona A) alla più fredda (zona F).

poliuretano, polistirene, intonaci civili non isolanti, etc.). In termini di costi benefici il risparmio medio dichiarato è pari al 18,64%¹⁹, per un costo di efficientamento medio pari a 8,95 euro a kWh risparmiato²⁰ (Tab. I).

Risparmio energetico (escluse FER) [kWh]	Consumi nel 2012 [kWh]	Risparmio energetico medio [%]	Costo degli interventi [€]	Costo per kWh risparmiato [€/kWh]	Energia risparmiata per unità di superficie [kWh/m²a]
2.290.234,70	12.285.956,50	18,64	16.854.018	7,47	25,56

Tab. I – Risparmi energetici e costi relativi

Il Piano d'Azione Nazionale per Incrementare gli Edifici a Energia quasi Zero (PANZEB)²¹ ha stimato il risparmio energetico potenziale per il 2020 per la riqualificazione energetica degli edifici a uso scolastico pari a 9, 19 e 31 kWh/m² anno, rispettivamente per le zone climatiche C, D ed E [12]. In riferimento agli interventi analizzati, il risparmio energetico per unità di superficie, nelle tre zone climatiche, è pari a 25,87, 22,70 e 29,93 kWh/m²anno, rispettivamente per i ventuno (21) edifici in zona C, i ventidue (22) edifici in zona D, gli undici (11) edifici in zona E; questo indicatore mostrebbe che i risparmi ottenuti si configurano come leggermente inferiori, in termini di risparmio energetico a quelli potenzialmente attesi dal Piano per la zona climatica E (quella più energivora) e superiori nella zona C.

2.3.3 Valutazioni sulla riduzione dei consumi energetici e delle emissioni di CO₂

Per valutare la riduzione dichiarata dei consumi e, pertanto, la reale efficacia della riqualificazione energetica, in questa fase dello studio si è deciso di sperimentare un processo metodologico basato sull'individuazione di

¹⁹ Nel complesso i dati di 57 su 77 edifici sono considerati maggiormente affidabili poiché corrispondenti in tutti gli elaborati presenti dalla documentazione preliminare fino a quella esecutiva.

²⁰ Il costo per kWh risparmiato è uno dei criteri di valutazione per il finanziamento della riqualificazione energetica degli edifici della Pubblica Amministrazione.

²¹ Allegato I al Decreto interministeriale 19 giugno 2017.

classi omogenee e di edifici rappresentativi delle singole classi per l'elevato numero di edifici da sottoporre a monitoraggio. Il monitoraggio documentale dei consumi è stato realizzato su una casistica pari a circa il 10% degli edifici oggetto di intervento, che corrisponde a sette edifici, ritenuti i più rappresentativi attraverso la *cluster analysis*²² dei dati disponibili.

Sono state così individuate due classi di edifici²³ con caratteristiche omogenee rispetto ai loro caratteri costruttivi ed energetici, nonché all'esito degli interventi di riqualificazione effettuati. Le due classi (o cluster) raggruppano rispettivamente 39 e 18 edifici²⁴ con caratteristiche variabili secondo quanto riportato nella Tabella 2.

Variabili per determinare i cluster	Cluster 1 (39 edifici)		Cluster 2 (18 edifici)	
	Valori di appartenenza	Valori del centroide	Valori di appartenenza	Valori del centroide
Fattore di forma S/V [1/m]	0.29-0.74	0.46	0.51-0.91	0.75
Volume Riscaldato [m ³]	2682-41633	8535.77	685-4156	1906.00
Salto di classe energetica [num]	0-7	3.43	1-7	4.72
Costo a kWh risparmiato [€/kWh]	1.33-34.97	12.57	5.76-69.89	25.61
Consumi normalizzati [kWh/m ³ N]	7.82-49.79	25.26	6.97-58.56	24.59
Risparmi energetici attesi [kWh]	0.24-15.48	6.12	1.85-27.60	10.09

Tab. 2 – Esiti della cluster analysis e variabili che hanno determinato le classi

All'interno di ciascuna classe, sono stati poi individuati alcuni edifici rappresentativi (evidenziati nella Tabella 3) del patrimonio considerato e degli interventi di riqualificazione effettuati. Sui due edifici di riferimento (n. 2 e n. 58) sono stati verificati i risparmi ottenuti attraverso la modellizzazione in regime dinamico²⁵. I due edifici hanno caratteristiche costruttive diverse che ben rappresentano due tipologie edilizie e costruttive ricorrenti: l'edificio con struttura muraria e intelaiata in c.a. L'edificio n. 2, infatti, è

²² È stata condotta su un campione ridotto di edifici pari a 55 anziché a 77 per poter valutare un campione di dati congruenti e affidabili.

²³ Le classi di edifici sono state determinate sulla base dei seguenti parametri: volume lordo riscaldato, il rapporto di forma (rapporto tra la superficie disperdente e il volume netto riscaldato dell'edificio), i consumi di energia primaria *ex-ante* interventi di riqualificazione, i risparmi energetici dichiarati e il salto di classe energetica previsto in fase di progetto.

²⁴ La *cluster analysis* è stata condotta sui 57 edifici i cui dati originari risultavano attendibili.

²⁵ La simulazione è stata effettuata con *Design Builder*, motore di calcolo Energy Plus.

stato costruito nel 1930, ha un volume piuttosto compatto e una struttura massiva in muratura portante con poche superfici vetrate; l'edificio n. 58 è stato realizzato nel 1978, ha un volume più articolato e una struttura intelaiata in calcestruzzo armato, con una maggiore percentuale di superfici vetrate. Entrambi sono in buono stato.

La Tabella 3 riporta i dati di risparmio effettivamente ottenuti, confrontando i consumi termici *ex-ante*, dichiarati²⁶ ed *ex-post* reali, nonché gli esiti della modellizzazione sugli edifici di riferimento (ante e post interventi).

	Edifici di riferimento	Consumi del 2012 [kWh anno] (ex ante)	Consumi del 2016 [kWh anno] (ex post)	Consumi attesi da progetto [kWh anno] (ex post)	Consumi secondo modellazione [kWh anno]	% Risparmio energetico
Cluster 1	Edificio n.2	75146,58	59853,96	52540,78	56933,00	20%
Cluster 2	Edificio n.58	96604,8	64389,92	57491,6	61884,80	33%

Tab. 3 – Verifica delle corrispondenze tra dati di risparmio di progetto, di simulazione e di realizzazione

La corrispondenza, abbastanza soddisfacente, tra i consumi calcolati con la modellazione e i consumi *ex post* reali aiutano nel confermare la validità della *cluster analysis* e nell'utilizzare gli edifici di riferimento per verificare anche sugli edifici dei due cluster la corrispondenza tra consumi dichiarati e ottenuti dopo gli interventi di riqualificazione.

Per quanto riguarda i risparmi dichiarati, possiamo osservare che sono stati ottenuti attraverso un complesso di centoquarantotto (148) interventi sull'involucro edilizio (isolamento termico delle chiusure opache e sostituzione dei serramenti), sessanta (60) interventi di sostituzione impiantistica (nuovi generatori in prevalenza, sistemi a regolazione delle emissioni, passaggio da sistemi tradizionali a sistemi idronici e a pompa di calore e ottantasei (86) interventi di installazione di fonti pannelli solari (fotovoltaici in prevalenza e termici).

In conclusione, in termini di sola prestazione energetica simulata e con

²⁶ Per consumi dichiarati si intendono quelli presentati nella documentazione per il finanziamento del progetto senza che sia stato comunicato il metodo di calcolo e gli strumenti; mentre per consumi attesi quelli ottenuti dal calcolo delle prestazioni in regime dinamico.

riferimento al campione degli edifici selezionati, il processo di progettazione e realizzazione degli interventi appare essere stato virtuoso per la corrispondenza tra quanto determinato in fase di progetto e quanto effettivamente ottenuto con gli interventi realizzati.

2.3.4 Valutazioni sulla qualità tecnologica e costruttiva

Gli interventi sull'involucro edilizio rappresentano oltre il 50% degli interventi complessivi e oltre il 70% dei costi finanziati. Le opere sull'involucro consistono, per la maggior parte, in opere compiute secondo le pratiche comuni, certamente non le migliori, e con materiali senza attenzione alla qualità ambientale. La quasi totalità degli interventi riguarda l'introduzione di un sistema di isolamento a cappotto delle chiusure verticali e all'estradosso delle coperture con 6-10 cm in poliuretano o polistirene (per l'83%, ossia 85.000 m² circa di superfici riqualificate). I serramenti sono stati sostituiti con nuovi infissi in alluminio a taglio termico e vetro basso-emissivo e di sicurezza.

Per controllare la qualità tecnologica e materica degli interventi si è inoltre fatto ricorso a indagini termografiche sulla selezione dei sette edifici rappresentativi (inclusi i due edifici di riferimento), individuati con la *cluster analysis*. La valutazione dei difetti è stata ricondotta alle categorie di danno che rappresentano in forma più o meno esaustiva i possibili difetti di un involucro edilizio su un edificio esistente [13]: in Figura 3 il caso di un edificio oggetto di tre interventi sull'involucro (isolamento delle chiusure orizzontali e verticali e sostituzione dei serramenti). Sono significativi i gradienti termici tra i nodi di connessione degli elementi costruttivi, tra serramenti e tamponatura che dimostrano, in linea generale, un'attitudine, sia progettuale sia realizzativa, a non concertare gli interventi sull'involucro edilizio. La mancata considerazione delle connessioni tra le componenti costruite determina, per la maggior parte, difetti di isolamento non uniforme. Questo tipo di difetti è stato riscontrato in tutti i sette edifici indagati che rappresentano il 10% della totalità degli interventi.

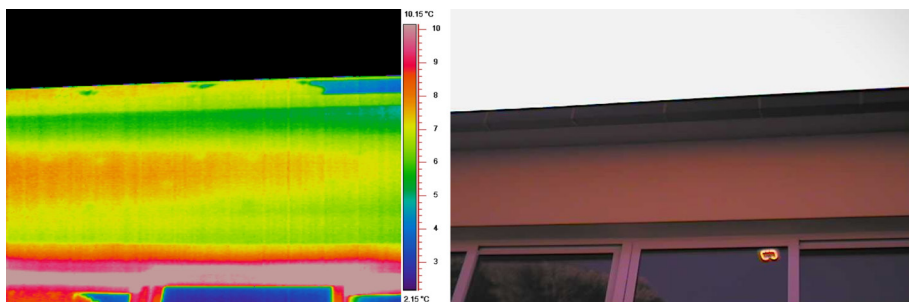


Fig. 3 – Immagine all'infrarosso e al visibile della facciata Nord dell'edificio n. 43

2.3.5 Valutazioni sulla qualità ambientale

Settantasette (77) edifici su settantaquattro (74) sono stati oggetto di almeno un intervento sull'involucro, ma solamente per due sono stati utilizzati materiali a basso impatto ambientale e/o con etichettature di prodotto ISO 14000. Poiché il ricorso a materiali con valenza ambientale è pressoché nulla, si può concludere che, in questi interventi, la riduzione dell'impatto ambientale è stata affidata solo al risparmio energetico ottenuto e a nessuna scelta materica. Se si dovessero confrontare le scelte operate con le prescrizioni degli attuali Criteri Ambientali Minimi (CAM)²⁷, potremmo affermare che gli interventi non ottemperano o ottemperano parzialmente a tali criteri ambientali [14], come riportato nel quadro comparativo in Tabella 4.

Criteri presenti nei CAM	Dati degli interventi sui 77 edifici
Valori minimi di trasmittanza delle pareti < 1,8-2,1 W/m ² K (1,8 zona C, 2,0 per zona D, 2,1 for zona E).	24 su 45 interventi rispettano i CAM. Nessuna informazione presente nei progetti sui restanti 21 int.
Nuovi serramenti se non in materiali rinnovabili debbono contenere una percentuale di materiale riciclato, se in legno con certificazioni FSC o PEFC.	Nessuna informazione presente nei 77 progetti esecutivi.
Vecchi serramenti debbono essere recuperati o riciclati con processo e operatori dichiarati.	Nessuna informazione presente nei 77 progetti esecutivi.
Privilegiare la realizzazione di tetti giardino nel caso di interventi di isolamento termico delle coperture.	Assente in tutti i 44 interventi d'isolamento delle coperture.
Negli interventi d'isolamento termico delle coperture devono garantire un indice SRI > 29 per tetti inclinati e SRI > 76 quando l'inclinazione < 15%.	Nessuna informazione presente nei 77 progetti esecutivi.

Tab. 4 – Confronto tra i CAM e le soluzioni di progetto nei 77 edifici

²⁷ D.M. 11 gennaio 2017 (G.U. Serie Generale n. 23 del 28 gennaio 2017).

2.4 Conclusioni

In questo contributo che illustra in sintesi la ricerca, sono stati presentati il percorso metodologico (analisi dati, *cluster analysis*, modellizzazioni energetiche, indagini su campo) e alcune considerazioni conclusive per una valutazione *ex-post* complessiva sugli interventi di retrofitting. La possibilità di ottenere i dati relativi alle prestazioni energetiche, non solo del 2016, ma anche del 2017, ci fa ritenere lo studio ancora non concluso. Tuttavia, sulla base delle evidenze riscontrate e delle modellizzazioni compiute, possiamo osservare che:

- in termini di efficacia, gli interventi di riqualificazione, valutati su alcuni edifici rappresentativi dei cluster individuati sul campione degli edifici analizzati, hanno permesso di raggiungere le prestazioni energetiche attese;
- in termini di qualità delle realizzazioni, sono stati riscontrati difetti ricorrenti e corrispondenti, in particolare, alla mancata realizzazione delle connessioni tra gli elementi isolati termicamente e gli altri elementi costruttivi degli edifici, con evidenti gradienti termici tra gli elementi;
- in termini di qualità ambientale, la riduzione delle emissioni di CO₂ è stata ottenuta solo attraverso il risparmio energetico e non con adeguate scelte materiche o l'applicazione di criteri ambientali.

Il quadro prestazionale emerso dal confronto tra prestazioni attese/dichiarate/progettate e le prestazioni realmente verificate e dalle indagini sulla qualità ambientale e tecnologica degli interventi consente di concludere la ricerca con indicazioni a sostegno della redazione di nuovi bandi per la riqualificazione energetica dell'edilizia scolastica regionale, soprattutto in vista degli obblighi recentemente stabiliti dai CAM e ribaditi nella recente Strategia Energetica Nazionale [15] e nella Strategia Nazionale per lo Sviluppo Sostenibile [16].

BIBLIOGRAFIA

- [1] Fasano, G. (a cura di), *L'efficienza energetica nel settore civile*, Quaderno Enea, 2011.
- [2] Kirk Hamilton, D. and Watkins, D.G., *Evidence Based Design for Multiple building types*, John Wiley & Sons, Inc, New Jersey, 2009.
- [3] Dias Pereira, L.; Raimondo, D.; Corgnati, S.P.; Gameiro Da Silva M., *Energy consumption in schools - A review paper*, Renew. Sustain. Energy n. 40, 911-922, 2014.
- [4] Corgnati, S.P.; Corrado, V.; Filippi, M., *A method for heating consumption assessment in existing buildings: A field survey concerning 120 Italian schools*, Energy Build. 40, 801-809, 2008.
- [5] Dall'O, G. e Sarto, L., *Potential and limits to improve energy efficiency in space heating in existing school buildings in northern Italy*, Energy Build. 67, 298-308, 2013.
- [6] Ascione, F.; Bianco, N.; De Masi, R.F.; Mauro, G.M.; Vanoli, G.P., *Energy retrofit of educational buildings: Transient energy simulations, model calibration and multi-objective optimization towards nearly zero-energy performance*, Energy Build. 144, 303-319, 2017.
- [7] MIUR. Dalla presentazione dell'Anagrafe edilizia scolastica del 7 Agosto 2015 <<http://www.istruzione.it/ediliziascolastica/anagrafe.shtml>> (ultima consultazione in data 12.04.2017).
- [8] PREPAC. Linee guida alla presentazione dei progetti per il Programma per la Riqualificazione Energetica degli edifici della Pubblica Amministrazione Centrale (D.M. 16 Settembre 2016). Maggio 2017.
- [9] MISE. <<http://www.sviluppoeconomico.gov.it/index.php/it/energia/efficienza-energetica/pubblica-amministrazione>> (ultima consultazione in data 14.08.2017).
- [10] Marrone, P.; Gori, P.; Evangelisti, L.; Calcagnini, L.; Grazieschi, G., *Energy benchmarking in educational buildings through cluster analysis of energy retrofitting*, Applied energy (articolo in review).
- [11] Asdrubali, F.; Calcagnini, L.; Evangelisti, L.; Guattari, M.C.; Marrone, P., *Effectiveness of materials, technologies and renewable energy in educational buildings through cluster analysis of energy retrofitting*, in Proceedings of IV International Conference Med Green Forum

- 2017 (in stampa).
- [12] <http://www.sviluppoeconomico.gov.it/images/stories/normativa/all_decreto_interministeriale_19_giugno_2017_panzeb.pdf> (ultima consultazione in data 10.09.2017).
- [13] Lanzoni, D. "Il quadro normativo nel settore della termografia" in neo-Eubios n.36, Giugno 2011.
- [14] CAM. Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici per la gestione dei cantieri della pubblica amministrazione. Adottati con Decreto Ministeriale 11 gennaio 2017 (G.U. Serie Generale n. 23 del 28 gennaio 2017) e Criteri ambientali minimi serramenti esterni. Adottati con DM 25 luglio 2011 (G.U. n. 220 del 21 settembre 2011)
- [15] <http://dgsaie.mise.gov.it/sen/Strategia_Energetica_Nazionale_2017_-_documento_di_consultazione.pdf> (ultima consultazione il 10.09.2017)
- [16] <<http://www.minambiente.it/pagina/la-strategia-nazionale-lo-sviluppo-sostenibile>> (ultima consultazione il 10.09.2017).