

magazine

recupero *e* conservazione

rec_editrice

Speciale Serramenti Storici



ISSN 2283-7558

settembreottobre2020

161 *Speciale Serramenti Storici*



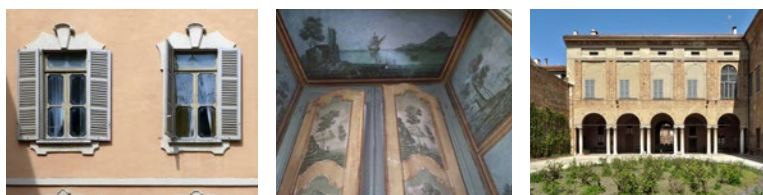
- 8 EDITORIALE _ di Cesare Feiffer
Tra cultura materiale e autenticità
- 14 **Sostenibilità *versus* sostenibilità. Alcuni equivoci tra conservazione ed efficienza energetica**
di Valeria Pracchi
- 24 **Tradizione e innovazione nel retrofit energetico dei serramenti storici: una *literature review***
di Sara Mauri

LIGURIA



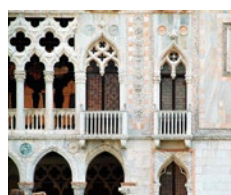
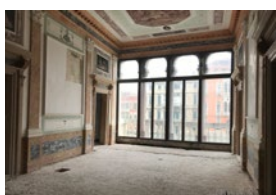
- 32 **Serramenti genovesi dal Medioevo all'Ottocento. Osservazioni e datazioni**
di Anna Boato
- 38 **Verso una cronotipologia dei serramenti**
di Anna Decri
- 44 **Conservazione di infissi storici e risparmio energetico. Studi inglesi, riflessioni e un piccolo intervento di "miglioramento di efficienza energetica" nel Palazzo Reale di Genova**
di Marta Gnone

LOMBARDIA



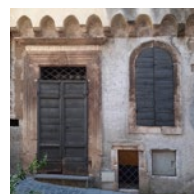
- 50 **La conservazione dei serramenti del passato**
Letteratura specialistica e pratiche nell'Europa di oggi
di Alberto Grimoldi
- 56 **Finestre tra convenienza, decoro e comfort. Il Palazzo del Governatore dello Stato di Milano**
di Marica Forni
- 62 **Un serramento secentesco. Palazzo Magio Grasselli a Cremona**
di Angelo Giuseppe Landi, Emanuele Facchi

Speciale Serramenti Storici



VENETO

- 72 **La tutela dei serramenti tra efficienza energetica e conservazione materiale**
Equilibri difficili ma non impossibili
di Itaria Cavaggioni
- 80 **Serramenti storici a Venezia. Caratteri ed evoluzione**
di Francesco Trovò
- 90 **Serramenti storici a Venezia. Una proposta per un repertorio di casi di intervento**
di Giulia Sacilotto, Francesco Trovò



EMILIA ROMAGNA

LAZIO

- 104 **Per un atlante dei serramenti storici in Emilia**
di Rita Fabbri, Serena Ciliani, Luca Rocchi, Fabio Bevilacqua
- 118 **Serramenti storici nel Lazio. Caratteri di una componente edilizia in via di estinzione**
di Donatella Fiorani, Silvia Cutarelli



ABRUZZO

SICILIA

- 126 **Conoscenza e conservazione dei serramenti storici nel restauro**
Una prima verifica in Abruzzo
di Carla Bartolomucci, Barbara Malandra
- 134 **Intervenire sui serramenti storici, tra sostenibilità e conservazione**
Un progetto di miglioramento energetico per il patrimonio della Sicilia
di Alessia Buda



TRADIZIONE E INNOVAZIONE NEL RETROFIT ENERGETICO DEI SERRAMENTI STORICI: *UNA LITERATURE REVIEW*

Sara Mauri
Dottoranda in Restauro, Dipartimento ABC,
Politecnico di Milano
sara.mauri@polimi.it

Lo scritto si propone di indagare, mediante una literature review, le misure di retrofit energetico e lo sviluppo di nuove soluzioni tecnologiche sperimentali, anche con materiali innovativi, per la componente finestre. Il lavoro ha richiesto la valutazione di molte pubblicazioni, provenienti da diversi campi disciplinari, per un totale di 133 testi tra articoli, guide e report di ricerca. Il risultato è una panoramica quanto più completa possibile dello stato dell'arte della ricerca scientifica in questo campo.

PAROLE CHIAVE Efficienza energetica, serramenti storici, literature review, materiali innovativi, nuove soluzioni tecnologiche

Abstract **TRADITION AND INNOVATION IN ENERGY RETROFIT OF HISTORIC WINDOWS: A LITERATURE REVIEW**

Through a literature review, this paper aims to investigate energy retrofit measures and the development of new experimental technological solutions for the window component, also with the use of innovative materials. This work required the assessment of many publications, related to various disciplinary fields, for a total of 133 documents which include papers, booklets and research reports. The result is an as complete as possible view of the research status on window interventions.

KEYWORDS Energy efficiency, historic windows, literature review, innovative materials, new technological solutions

Introduzione

Negli ultimi decenni il tema del miglioramento dell'efficienza energetica dell'edilizia storica ha assunto un'importanza sempre maggiore. Questo ha comportato, all'interno della comunità scientifica, la produzione di un numero sempre crescente di ricerche. Seppure la maggior parte tra esse sia dedicata ad "interventi radicali", alcune indagano opzioni di retrofit energetico alternative, concepite come armonizzazione tra i differenti valori in gioco nell'ambito qui trattato. Tra i componenti edilizi, le finestre sono considerate il "punto debole" dell'involucro e, pertanto, le prime ad essere sostituite in particolare nell'edificio storico, in nome di un significativo risparmio energetico che non trova però riscontro se paragonato ad interventi che coinvolgono altri elementi [1]. Alternative più "sostenibili" sono possibili: numerose sono, infatti, le strategie che possono essere messe in atto per migliorare le prestazioni termiche dei serramenti senza dismetterli.

Per delineare uno stato dell'arte della ricerca scientifica in questo campo, attraverso un processo di *literature review*, sono stati raccolti i risultati degli studi, condotti in diversi Paesi, sulle misure e strategie di retrofit energetico dei serramenti e sullo sviluppo e l'applicazione di nuove soluzioni tecnologiche sperimentali, anche con materiali innovativi. La raccolta degli articoli è stata effettuata attraverso tre banche dati (Scopus, Web of Science e Google Scholar) utilizzando un insieme di parole chiave relative all'argomento, diversamente combinate per ottenere il maggior numero possibile di risultati. Dopo aver analizzato le pubblicazioni, ne sono state selezionate 70, ritenute significative. Si aggiungono, poi, opuscoli e guide pubblicati sui siti internet di associazioni ed organizzazioni governative e no-profit, che si propongono di indirizzare architetti, proprietari, utenti ecc. nella ricerca di soluzioni attente ai valori storico-architettonici dell'edificio, al miglioramento delle condizioni di comfort e al risparmio di energia. Molti, poi, sono i centri di ricerca che hanno sviluppato programmi e progetti a lungo termine di cui sono disponibili report di ricerca e studi. Alle 70 precedenti si aggiungono così 43 opuscoli, guide e 20 report, pubblicati in Paesi europei ed extraeuropei, per un totale di 133 documenti. Il processo di *literature review* si può sintetizzare in tre ambiti che, per semplicità, chiameremo: soluzioni di retrofit (66%), nuove sperimentazioni (30%) e materiali e soluzioni innovative applicate ad edifici esistenti (4%).

IN APERTURA_Giuseppe Terragni,
Casa del Fascio, Como, 1936 (ph. Autrice).
1. A partire dal 2002 Palazzo Pallavicino
a Cremona è stato oggetto di un accurato
restauro che ha coinvolto anche i
serramenti. Nuove finestre in ferro e legno
sono state inserite sul filo della facciata,
mantenendo così quelle originali ancora
esistenti (ph. Autrice).



Soluzioni di retrofit

88 documenti si occupano di soluzioni di retrofit, risultando il segmento più trattato dalla letteratura¹. In generale questi testi propongono una panoramica di possibili strategie, in certi casi anche valutando le proprietà termiche degli interventi proposti. Tra gli studi considerati, infatti, 43 hanno natura qualitativa e 45 quantitativa. La maggior parte degli opuscoli, ad esempio, essendo dedicati ad un pubblico non specialistico, propone consigli pratici e modelli d'intervento tramite immagini e schemi grafici che i proprietari possono seguire per prendere decisioni informate. Un rilevante numero di articoli e report analizza, invece, le caratteristiche tecniche e le prestazioni energetiche dei serramenti (in particolare il valore di trasmittanza termica), considerando casi studio e progetti pilota.

NOTA 1_ La maggior parte dei documenti analizzati proviene dal continente europeo. Questo evidenzia come la Commissione Europea stia investendo nella ricerca e sviluppo di metodi efficaci per preservare e restaurare il patrimonio culturale esistente. Nel corso degli ultimi decenni, sono stati, infatti, finanziati molti progetti (EFFESUS, 3ENCULT, IEA Task 59 ecc.), con la partecipazione anche di università e centri di ricerca italiani, che propongono un nuovo approccio metodologico nel campo del retrofit energetico dell'edilizia storica. Quello che appare, invece, sorprendente è la difficoltà nel trovare materiali disponibili per gli utenti in Italia: se si escludono, infatti, le Linee d'Indirizzo del MiBACT, che si rivolgono perlopiù ai professionisti del settore e al personale del Ministero con un linguaggio tecnico e complesso, strumenti di diffusione mancano in confronto in particolare al mondo anglosassone, che vanta una tradizione consolidata.

1° LIVELLO > INTERVENTI A BASSO IMPATTO



MIGLIORAMENTO DELLA TENUTA ALL'ARIA DEL SERRAMENTO



RIPARAZIONE DEL SERRAMENTO



INSERIMENTO E/O RIPRISTINO DEGLI SCURI



INSERIMENTO E/O RIPRISTINO DI TENDAGGI

2° LIVELLO > INTERVENTI A MEDIO IMPATTO



INSERIMENTO DI UNA FINESTRA ACCOPPIATA



INSERIMENTO DI UNA PELLICOLA

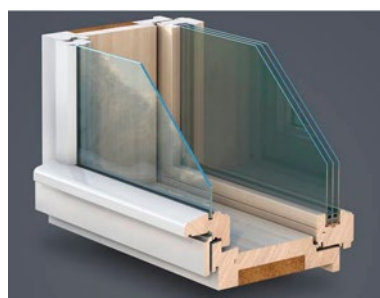


SOSTITUZIONE DEL VETRO ESISTENTE



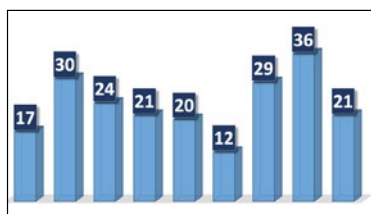
INSTALLAZIONE DI UN SECONDO SERRAMENTO

3° LIVELLO > INTERVENTI AD ALTO IMPATTO



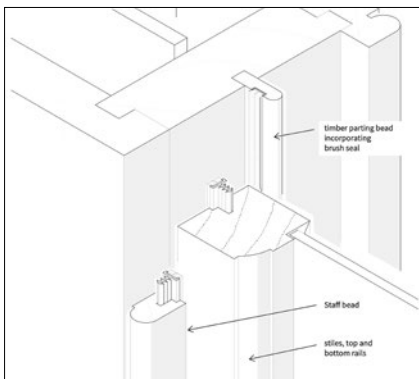
SOSTITUZIONE DEL SERRAMENTO

2. Schema grafico della suddivisione in livelli di impatto delle strategie emerse durante il processo di *literature review* (elaborazione Autrice).



3. Il grafico mostra quanti studi sono stati condotti per ciascuna delle soluzioni di retrofit energetico individuate nella *literature review*. Da sinistra a destra: n°17 Riparazione del serramento; n°30 Miglioramento della tenuta all'aria del serramento; n°24 Inserimento e/o ripristino di tendaggi; n°21 Inserimento e/o ripristino di scuri; n°20 Inserimento di una pellicola; n°12 Inserimento di una finestra accoppiata; n°29 Sostituzione del vetro esistente; n°36 Installazione di un secondo serramento; n°21 Sostituzione del serramento (elaborazione Autrice)

Alcuni scritti, poi, confrontano diverse misure possibili al fine di valutare quali tra esse garantiscano la miglior performance energetica. A tal proposito, la *literature review* ha messo in evidenza una serie di interventi raggruppabili in tre livelli d'impatto sull'edificio, nell'ottica di un approccio graduale al miglioramento dell'efficienza energetica (figure 2-3). Il primo riguarda interventi a basso impatto come la riparazione del serramento, il miglioramento della sua tenuta all'aria e l'inserimento e/o il ripristino di tendaggi e scuri. Si tratta di opzioni conservative potenzialmente applicabili a qualsiasi edificio. Il secondo comprende gli interventi a medio impatto come l'aggiunta di una pellicola, l'inserimento di una finestra accoppiata, la sostituzione del vetro esistente e l'installazione di un secondo serramento. In questo caso la sostenibilità dell'intervento dipende dalle caratteristiche dell'edificio considerato e dalla zona climatica in cui si trova. Il terzo è quello ad alto impatto, corrispondente alla sostituzione del serramento: questo necessita di un'attenta riflessione in quanto è totalmente finalizzato al raggiungimento della prestazione senza tener in alcun conto i valori insiti nell'edilizia storica. Una delle misure più considerate è il ripristino della tenuta all'aria delle finestre, un modo semplice e poco costoso per mantenere l'ambiente confortevole e per ridurre il fabbisogno energetico necessario per il riscaldamento, con modifiche minime o nulle all'edificio (figure 4-5). Ne deriva una riduzione delle perdite d'aria fino all'80% senza però alcun vantaggio in termini di trasmittanza termica [2]. Una significativa diminuzione di questo parametro è invece assicurata dalle altre due misure più studiate in assoluto: l'installazione di un secondo serramento, interno o esterno, (figure 1 e 6) e la sostituzione del vetro.



4. Il disegno mostra l'inserimento di diverse tipologie di guarnizioni per il miglioramento della tenuta all'aria di una finestra ad anta battente (fonte: *Energy Efficiency and Historic Buildings. Draught-proofing Windows and Doors* – Historic England).

5. Esempio di miglioramento della tenuta all'aria di un'anta di una finestra attraverso una guarnizione in materiale plastico (ph. *Energy Efficiency and Historic Buildings. Draught-proofing Windows and Doors* – Historic England).

Il grande vantaggio offerto dalla prima rispetto al ripristino della tenuta all'aria è che non si limita a migliorare l'ermeticità del sistema, ma riduce le perdite di calore per conduttività attraverso il vetro fino ad oltre il 60% [3] con effetti migliorativi per trasmittanza e comfort interno. In Italia questa soluzione non è molto utilizzata, ma lo è stata nel passato (figura 7).

L'apposizione di un secondo serramento ha poi il vantaggio di mantenere le finestre originali mentre la sostituzione del vetro consente di conservare unicamente il telaio (se compatibile con il peso del nuovo sistema di vetrazione) (figura 8).



6. Questo cottage a Newtowngrange fa parte di una serie di casi studio, oggetto d'intervento da parte dell'Historic Scotland, volti ad indagare il miglioramento termico di alcuni edifici tradizionali scozzesi. Il progetto in questo caso prevedeva, tra le altre cose, l'inserimento di un secondo serramento interno realizzato su misura in modo da adattarsi perfettamente alla finestra esistente (fonte: *Refurbishment Case Study 11. Newtowngrange. Installation of roof and coom insulation and secondary glazing* – Historic Scotland).

7. Esempio di tripla finestra a balcone con serramenti doppi in una casa di via Donizetti a Milano. La fotografia, pubblicata alla fine degli anni Trenta su una nota rivista di architettura, mostra un rinnovato interesse nei confronti di una soluzione molto impiegata in un recente passato (fonte: *La finestra doppia è un sicuro risparmio di combustibile*, in "Il Vetro", Anno III, 2, 1940).

Una vasta gamma di vetri è oggi disponibile sul mercato e la scelta dipende da valutazioni inerenti le necessità energetiche dell'edificio, lo stato di conservazione, le caratteristiche materiche e dimensionali e la resistenza del telaio.

Entrambe le soluzioni necessitano di un'attenta progettazione perché comunque potrebbero alterare profondamente il carattere dell'edificio.



8. Tra marzo 2009 e marzo 2010 Changeworks, in collaborazione con altri enti, ha condotto un progetto consistente nell'adeguamento di una serie di finestre a vetro singolo di edifici storici della città di Edimburgo con sistemi di doppi vetri con profili sottili. Nella foto una vista esterna (sinistra) ed interna (destra) di uno dei serramenti a cui è stato applicato il sistema a doppio vetro "Histoglass" (fonte: *Double Glazing in Listed Building*, Report redatto da Changeworks per la città di Edimburgo, Luglio 2010).

Nuove sperimentazioni

Dei 40 saggi dedicati a nuove sperimentazioni 18 contengono informazioni quantitative e 22 qualitative. I primi si concentrano su componenti edilizie, dispositivi e prodotti realizzati con materiali innovativi, frutto di ricerche sperimentali in ambito universitario e mai applicati ad edifici esistenti in quanto non ancora disponibili sul mercato². Gli altri, invece, raccolgono esperienze legate all'utilizzo di materiali performanti nel settore edile, con interessanti approfondimenti sull'involucro trasparente e sui dispositivi di ombreggiamento. L'aerogel e i PCM (*phase-change material*) sono i materiali più frequentemente considerati nelle soluzioni sperimentali per le loro elevate prestazioni: in particolare i PCM (che compongono l'84% degli studi considerati), durante il giorno, quando la temperatura aumenta, assorbono calore per liquefarsi, raffrescando l'ambiente, mentre durante la notte, quando la temperatura cala, ritornano solidi, rilasciando il calore dissipato per ventilazione.



9. La campagna sperimentale si è svolta tramite l'utilizzo di una struttura esterna (sinistra) con il sistema di lamelle rivolto verso sud. A destra il particolare di una delle lamelle in alluminio riempita di PCM (fonte: Silva T., Vicente R., Rodrigues F. et al., *Performance of a window shutter with phase change material under summer Mediterranean climate conditions*, in "Applied Thermal Engineering", 2015, 84).

10. Struttura utilizzata durante l'indagine sperimentale per confrontare il comportamento di un'unità a doppio vetro con PCM (DGU_PCM) con un più tradizionale sistema a doppio vetro riempito d'aria (DGU_CG). La fotografia mostra il PCM nel suo stato solido, completamente opaco (fonte: Goia F., Perino M., Serra V., *Experimental analysis of the energy performance of a full-scale PCM glazing prototype*, in "Solar Energy", 2014, 100).



Grazie al loro rendimento elevato e alla possibilità di integrazione in componenti di limitato spessore sono stati spesso utilizzati per prototipi di persiane e vetri. Interessanti, a tal riguardo, sono le ricerche condotte in Portogallo dall'Università di Aveiro su un sistema di persiane con lame in alluminio riempite con PCM [4-5] (figura 9) e gli studi del Politecnico di Torino su sistemi all'avanguardia con PCM inseriti tra le lastre vetrate [6-7] (figura 10).



Il vetro è l'elemento su cui si concentrano anche alcune ricerche sull'aerogel. L'Università di Perugia è particolarmente attiva in questo campo e vanta una serie di studi condotti in laboratorio su sistemi vetri e in policarbonato con aerogel granulare [8-9] (figura 11). Tre sono poi le *review* [10,11,12] che presentano una rassegna completa degli ultimi sviluppi nel mondo del vetro ad alte prestazioni: vetri intelligenti, sottovuoto, fotovoltaici (figura 12), fotocromatici ecc. sono solo alcuni dei nuovi prodotti pensati per edifici di nuova costruzione che possono, però, avere risvolti interessanti anche nel comparto storico. Allo stato attuale, nonostante le forti limitazioni che queste tecnologie presentano, proprio per

il loro carattere sperimentale, ve ne sono alcune interessanti che potrebbero portare allo sviluppo di nuovi prodotti per l'edilizia storica come persiane, tende ecc. ovviamente da calibrare, anche in termini di compatibilità e sostenibilità, sulle esigenze specifiche dell'esistente. Altre, invece, sono ancora troppo "embrionali" per trovare riscontro nel contesto storico, in quanto provocherebbero alterazioni significative nell'immagine e nella percezione dell'edificio (come nel caso dei vetri con aerogel).

11. Vista dall'alto del portacampione con i soli vetri assemblati (sinistra). Vista frontale del campione con il riempimento in aerogel tra le due lastre di vetro pronto per essere testato in laboratorio (destra) (fonte: Buratti C., Moretti E., *Misura delle proprietà energetiche e luminose di sistemi vetri con aerogel granulare*, in 62° Congresso Nazionale Ati, Salerno, 11-14 settembre 2007).

12. Finestra fotovoltaica trasparente prodotta dalla start up Glass to Power, spin-off dell'Università degli Studi di Milano Bicocca. Questo sistema utilizza una tecnologia denominata LSC (*Luminescent Solar Concentrator*) che fa uso di nanocristalli. Questi convertono la luce solare in raggi infrarossi che vengono riflessi all'interno del pannello fino ad arrivare al bordo dello stesso. Qui, una sottile striscia di celle fotovoltaiche al silicio converte i fotoni infrarossi in corrente elettrica con un'elevata efficienza (fonte: <https://www.glasstopower.com/g2p/pages/brevetti/>).



NOTA 2_La letteratura scientifica raccolta riguarda non solo materiali e prodotti pensati per essere applicati in campo edilizio, ma anche quelli distanti da questo settore, ritenuti interessanti in termini di sviluppi futuri (ad esempio il settore dell'abbigliamento per i tessuti).

Materiali e soluzioni innovative applicate ad edifici esistenti

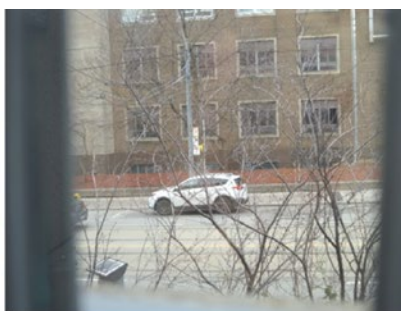
Solo 5 sono gli studi che documentano o ipotizzano l'uso di soluzioni di retrofit con materiali innovativi in edifici esistenti. Due di questi riguardano nello specifico il patrimonio edilizio storico; gli altri si riferiscono ad interventi in edifici di ben più recente costruzione. Entrambi i testi valutano la possibilità di realizzare sistemi con aerogel, inserito nella cavità tra due lastre di vetro, per riqualificare energeticamente due edifici canadesi, uno dei quali vincolato [13-14].

Questi studi dimostrano significativi risparmi energetici, a fronte, però, di un costo ancora elevato del materiale. Oltre ai problemi di limitata visibilità verso l'esterno e all'alterazione dell'aspetto dell'edificio (figure 13-14), poco si conosce di questo materiale in termini di compatibilità con l'edilizia storica.

Tra le soluzioni tecnologiche innovative, invece, la più interessante è quella del vetro sottovuoto. Questo è stato installato e monitorato, insieme ad una vasta gamma di sistemi di doppi vetri con profili sottili, in un edificio vincolato in Archibald Place ad Edimburgo (figura 15).

Nonostante lo spessore della cavità del vetro sottovuoto fosse di soli 0,2 mm, si è rivelato essere il migliore dal punto di vista della trasmittanza termica, raggiungendo un valore di 1 W/mqK a fronte degli altri rilevati, mai inferiori a 2 W/mqK [15].

Anche in questo caso, il costo elevato e gli scarsi esempi di monitoraggio di questi materiali e tecnologie applicati ad edifici storici limitano fortemente la loro diffusione e il loro utilizzo.



13. Campione di un pannello in aerogel monolitico (sinistra) e confronto dell'effetto sulla percezione visiva verso l'esterno tra un'unità a doppio vetro con e senza il pannello di aerogel (destra) (fonte: Berardi U., *The development of a monolithic aerogel glazed window for an energy retrofitting project*, in "Applied Energy", 2015, 154).

14. Possibili configurazioni di finestre con diverse percentuali di aerogel inserito. In ognuna delle soluzioni il tentativo è stato quello di preservare una visione quanto più chiara possibile dell'ambiente esterno, evitando l'inserimento dell'aerogel all'altezza degli occhi e al centro della finestra (fonte: Berardi U., *The development of a monolithic aerogel glazed window for an energy retrofitting project*, in "Applied Energy", 2015, 154).

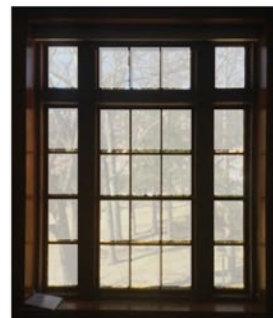
ORIGINAL

40% AEROGEL

60% AEROGEL

80% AEROGEL

100% AEROGEL



Conclusioni

La scelta delle misure di retrofit e dei materiali / tecnologie più o meno innovative dipende da diversi fattori, primo fra tutti l'interazione con le altre componenti edilizie. Queste sono, infatti, fortemente connesse tra loro e pertanto nella valutazione degli interventi progettuali è necessario adottare una visione globale dell'edificio. Da non trascurare è anche il contesto climatico in cui si opera. Strategie come l'inserimento o il ripristino di tende e scuri interni ed esterni sono diffuse nei climi caldi dove il problema maggiore è schermare l'ingresso della radiazione solare. Nelle zone più fredde, al contrario, sono di più comune utilizzo misure che limitano le infiltrazioni d'aria e la perdita di calore attraverso il vetro, come l'installazione di un secondo serramento. Nella valutazione degli interventi possibili, inoltre, non bisogna considerare il solo parametro della trasmittanza, ma anche quelli legati al comfort termico come l'umidità relativa e la temperatura ambientale, nonché aspetti di natura più qualitativa. È il caso dell'aerogel, materiale con alte prestazioni, ma con forti limitazioni nell'uso dovute al suo aspetto traslucido e alla scarsa trasparenza. Bisogna dunque uscire dalla stringente logica del parametro fisso, valutabile esclusivamente in termini quantitativi, così come stabilito dall'attuale normativa, per considerare altri aspetti anche di tipo qualitativo.



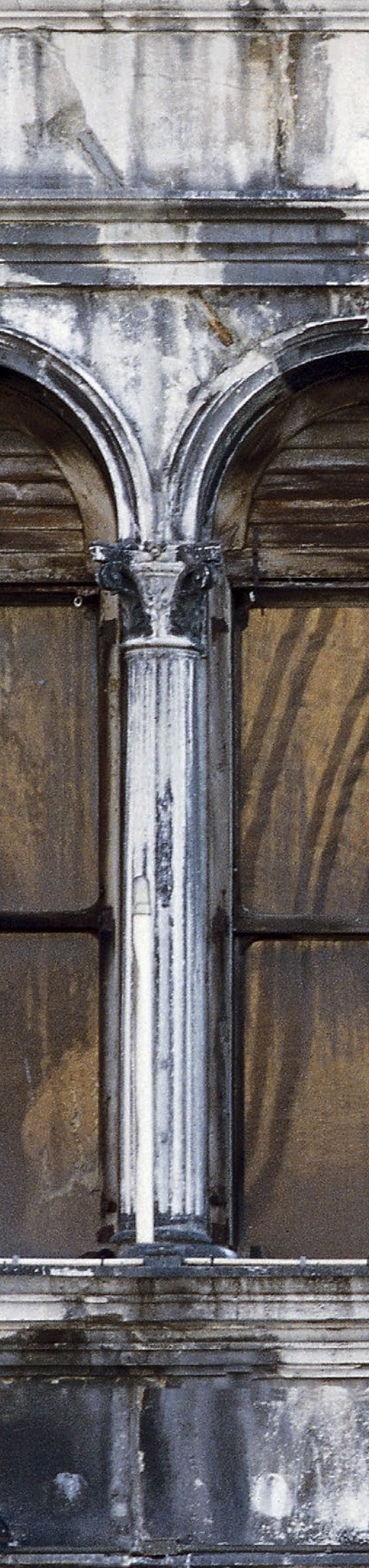
15. Tra i sistemi di doppi vetri con profili sottili testati da Changeworks vi sono anche i vetri sottovuoto. Nella foto una vista esterna (sinistra) ed interna (destra) di uno dei serramenti su cui è stato applicato il vetro sottovuoto "Pilkington energikare Legacy" (fonte: *Double Glazing in Listed Building*, Report redatto da Changeworks per la città di Edimburgo, Luglio 2010).

Bibliografia | References

- [1] Pracchi V., Rat N., Verzeroli A., *Historic windows: conservation or replacement. What's the most sustainable intervention? Legislative situation, case studies and current researches*, in International Conference in Energy Efficiency in Historic Buildings, Madrid, 29-30 settembre 2014.
- [2] *Fabric Improvements for energy efficiency in traditional buildings* – Historic Environment Scotland.
- [3] *Managing change in the historic environment window* – Historic Environment Scotland.
- [4] Silva T., Vicente R., Rodrigues F., Samagaio A., Cardoso C., *Performance of a window shutter with phase change material under summer Mediterranean climate conditions*, in "Applied Thermal Engineering", 2015, 84, pp. 246-256.
- [5] Silva T., Vicente R., Rodrigues F., Samagaio A., Cardoso C., *Development of a window shutter with phase change materials: Full scale outdoor experimental approach*, in "Energy and Buildings", 2015, 88, pp.110-121.
- [6] Goia F., Perino M., Serra V., *Experimental analysis of the energy performance of a full-scale PCM glazing prototype*, in "Solar Energy", 2014, 100, pp. 217-233.
- [7] Goia F., Perino M., Serra V., *Improving thermal comfort conditions by means of PCM glazing systems*, in "Energy and Buildings", 2013, 60, pp. 442-452.
- [8] Buratti C., Moretti E., *Misura delle proprietà energetiche e luminose di sistemi vetrati con aerogel granulare*, in 62° Congresso Nazionale Ati, Salerno, 11-14 settembre 2007.
- [9] Moretti E., Zinzi M., Merli F., Buratti C., *Optical, thermal and energy performance of advanced polycarbonate systems with granular aerogel*, in "Energy and Buildings", 2018, 166, pp. 407-417.
- [10] Cuce E., Riffat S.B., *A state-of-the-art review on innovative glazing technologies*, in "Renewable and Sustainable Energy Reviews", 2015, 41, pp. 695-714.
- [11] Jelle B.P., Hynd A., Gustavsen A., Arasteh D., Goudey H., Hart R., *Fenestration of today and tomorrow: A state-of-the-art review and future research opportunities*, in "Solar Energy Materials and Solar Cells", 2012, 96, pp. 1-28.
- [12] Rezaei S.D., Shannigrahi S., Ramakrishna S., *A review of conventional, advanced and smart glazing technologies and materials for improving indoor environment*, in "Solar Energy Materials and Solar Cells", 2017, 159, pp. 26-51.
- [13] Berardi U., *Aerogel – enhanced systems for building energy retrofits: Insights from a case study*, in "Energy and Buildings", 2018, 159, pp. 370-381.
- [14] Berardi U., *The development of a monolithic aerogel glazed window for an energy retrofitting project*, in "Applied Energy", 2015, 154, pp. 603-615.
- [15] *Technical paper 9. Slim-profile double glazing. Thermal performance and embodied energy* – Historic Environment Scotland.

NELLA PAGINA A LATO_Facciata di un edificio veneziano con scuri e tendaggi esterni. Questi elementi, semplici ma di grande efficacia, sono stati a lungo utilizzati per ridurre i guadagni termici provenienti dalla radiazione solare nel periodo estivo e le perdite di calore per trasmissione e ventilazione nel periodo invernale (ph. R.Gomez Angel).





ISSN 2283-7558

161_settembreottobre2020

Direttore Responsabile **Chiara Falcini**
chiara.falcini@recmagazine.it

Direttore Editoriale **Cesare Feiffer**
cesarefeiffer@studiofeiffer.com

Vicedirettore **Alessandro Bozzetti**
a.bozzetti@studiocroci.it

Comitato Scientifico Internazionale

**Giovanna Battista, Nicola Berlucchi, Paola Boarin, Marta Calzolari,
Giulia Ceriani Sebregondi, Maria Grazia Cianci, Pietromaria Davoli,
Marco Ermentini, Marcella Gabbiani, Paolo Gasparoli, Lorenzo Jurina,
Alessandro Melis, Marco Pretelli, Anna Raimondi, Marianna Rotilio,
Michele Trimarchi, Angelo Verderosa**

Editore
via Dormelletto, 49
28041 Arona (NO)

rec_editrice

Redazione_redazione@recmagazine.it

Grafica_JungleMedia

RIVISTA PERIODICA VENDUTA IN ABBONAMENTO

6 numeri/anno – uscita bimestrale
abbonamenti@recmagazine.it

Tutti i diritti di riproduzione sono riservati
Pubblicazione online a periodicità bimestrale registrata
presso il Tribunale di Verbania
n.3 del 2.03.2017 - n. cron. 594/2017

in COPERTINA_Venezia alle finestre, ph. Riccardo Zipoli (www.riccardozipoli.com)