

NZEBnet. La piattaforma collaborativa per lo sviluppo e l'implementazione degli edifici a energia quasi zero

L'involucro edilizio

Superfici vetrate innovative, pacchetti prefabbricati in materiali compositi e pannelli di PCM (Phase Change Material) fra le tecnologie al vaglio della UO 3

Francesca Cappelletti, Antonio Carbonari, Domenico Mazzeo, Fabio Peron e Piercarlo Romagnoni, Università IUAV di Venezia
Natale Arcuri e Giuseppe Oliveti, Università della Calabria

UNITÀ OPERATIVA 3

<http://www.nzebplatform.it/>

D.M. 26/6/2015 [1,2] richiedono che ENEA, in collaborazione con il CTI, predisponga uno studio sui parametri tecnici dell'edificio di riferimento al fine di verificare le caratteristiche delle tecniche costruttive convenzionali e innovative. La UO 3 lavora su questo tema con due obiettivi: pervenire alla definizione delle proprietà prestazionali termofisiche e ottiche di componenti innovativi, in accordo con ENEA, e definire prototipi da utilizzare nelle ristrutturazioni energetiche degli edifici. In particolare, la UO 3 si occupa dello sviluppo di simulazioni e della definizione di dati sperimentali su elementi di involucro, valutando, con riferimento a pareti esterne del parco edilizio esistente in contesti climatici differenti e rappresentativi del territorio nazionale, il possibile miglioramento delle prestazioni conseguibile mediante:

- impiego di superfici vetrate innovative dotate di idonei elementi schermanti;
- pacchetti prefabbricati in materiali compositi

facilmente installabili o agganciabili alle superfici preesistenti;

- uso di materiale a cambiamento di fase (PCM) nel caso di pareti opache.

La prima fase della ricerca è stata dedicata alla definizione di un data-base di elementi di involucro esistenti, integrando quanto già presente in letteratura, a partire dalla norma UNI 7357:1974, ritirata nel 2006 ma che costituisce ancora un riferimento, ai risultati del Progetto Finalizzato Edilizia del CNR [3], fino al rapporto tecnico UNI/TR 11552 [4], con ulteriori indicazioni derivanti dall'esame di certificazioni energetiche e relazioni tecniche. Tali dati sono utilizzabili nelle more delle verifiche dei certificati energetici oltre che nella definizione di diagnosi energetiche. In particolare, per quanto riguarda le pareti vetrate, la definizione dello stato dell'arte, sia per il contesto residenziale che per edifici ad uso terziario, riguarderà la definizione delle prestazioni termiche dei componenti in particolare in presenza di schermature

esterne e/o di elementi per l'integrazione fotovoltaica.

Attualmente la UO 3 si sta dedicando alla definizione di strutture e sistemi di involucro innovativi che possano integrare quelli esistenti per consentire il raggiungimento di prestazioni termofisiche degli edifici in ristrutturazione che siano in linea con i target degli NZEB, per ridurre i fabbisogni energetici e migliorare l'integrazione con impianti alimentati da fonti rinnovabili. Con riferimento ai componenti opachi, è prevista la simulazione della riduzione della potenza necessaria per la climatizzazione estiva e invernale ottenibile migliorandone le caratteristiche dinamiche con l'inserimento nelle pareti esistenti di strati di isolanti innovativi, ad esempio i PCM

disposti all'interno, all'esterno, oppure su entrambe le facce della parete.

È evidente che un intervento di riqualificazione di questo tipo è facilmente realizzabile, in quanto richiede strati di PCM di spessore molto contenuto, ma è altrettanto evidente che tale spessore va correttamente dimensionato così come vanno correttamente scelte la tipologia di PCM e la posizione dello strato nella parete.

Per l'analisi energetica e dinamica è necessario definire un modello numerico alle differenze finite che fornisca ai vari istanti, nei nodi interessati

al cambiamento di fase, la posizione delle eventuali interfacce bifasi e, in tutti i nodi della parete, la temperatura, il flusso termico e l'energia accumulata. Le simulazioni dinamiche condotte su tali prototipi consentiranno di individuare i sistemi più promettenti che saranno sottoposti a indagini sperimentali nella doppia camera climatica in dotazione al Laboratorio FisTec dell'Università IUAV di Venezia.

Analisi dei componenti di involucro opaco e trasparente

Le finestre

Le prestazioni energetiche dei componenti

trasparenti, così come il loro dimensionamento e il loro orientamento, sono un elemento chiave negli edifici, in particolare negli NZEB. Per questo motivo, è stato analizzato il comportamento termico di alcuni serramenti con alte prestazioni tipici dell'attuale mercato europeo, tenendo presente che negli ultimi decenni è stato fatto un grande progresso nel campo dei vetri e dei telai e che attualmente si sono raggiunti ottimi risultati per quanto riguarda le prestazioni ottiche e termiche dei componenti trasparenti e che gli studi sono incentrati sulla riduzione dello scambio termico attraverso i bordi delle finestre.

La UO 3 ha eseguito un'operazione di clustering per identificare i tipi principali di componenti trasparenti e, fissati alcuni casi di studio in ciascuna categoria del sistema vetro-serramento, ha calcolato il valore di trasmittanza e il coefficiente del ponte termico lungo i bordi utilizzando un codice di calcolo agli elementi finiti. Per la validazione del modello numerico, la UO 3 ha utilizzato alcune misurazioni effettuate nella doppia camera del Laboratorio di Fisica Tecnica dell'Università IUAV di Venezia, per cui è stato possibile presentare un'analisi comparativa completa. Per quanto concerne i componenti opachi, la UO 3 ha per il momento analizzato una parete composita prefabbricata composta da una lastra in cemento armato e da una struttura in legno lamellare, realizzata con il nuovo sistema ibrido CGFP, Concrete Glulam Framed Panel [5], che unisce i due materiali maggiormente utilizzati nella tecnologia dei telai e che è mostrato in Figura 1 nella sua configurazione standard con la rete elettrosaldata.

I PCM

L'attività sviluppata dalla UO3 ha riguardato anche lo studio del comportamento termico dinamico ed energetico di pareti contenenti strati di PCM, soggette a forzanti termiche interne ed esterne caratteristiche dell'involucro edilizio. I PCM sono considerati materiali promettenti perché, integrati nell'involucro edilizio, consentono di ridurre e sfasare i picchi di carico termico estivo e invernale, di ridurre i fabbisogni energetici, e di mantenere adeguati livelli di comfort termico nell'ambiente

L'ANALISI DEL PANNELLO CGFP

La resistenza e la rigidità del CGFP sono state studiate mediante prove di spostamento del carico, le sue prestazioni termiche sono state analizzate con prove sperimentali con apparecchi hot-box, utilizzando diversi tipi di isolanti termici, e il suo impatto ambientale è stato verificato definendone la Carbon Footprint e l'Embodied Energy.

Dal punto di vista strutturale, la resistenza e la capacità di deformazione sono assicurate dalla risposta strutturale tra il telaio in legno e la soletta in calcestruzzo. Dal punto di vista termico e ambientale, il pannello CGFP ha presentato buone prestazioni termiche, un basso impatto ambientale rispetto a sistemi costruttivi simili e un comportamento strutturale promettente.

In [5] sono riportati i dettagli sulle analisi sperimentali e numeriche, i risultati ottenuti e il confronto tra questi ultimi, che hanno mostrato un buon accordo sia in campo meccanico che termico.

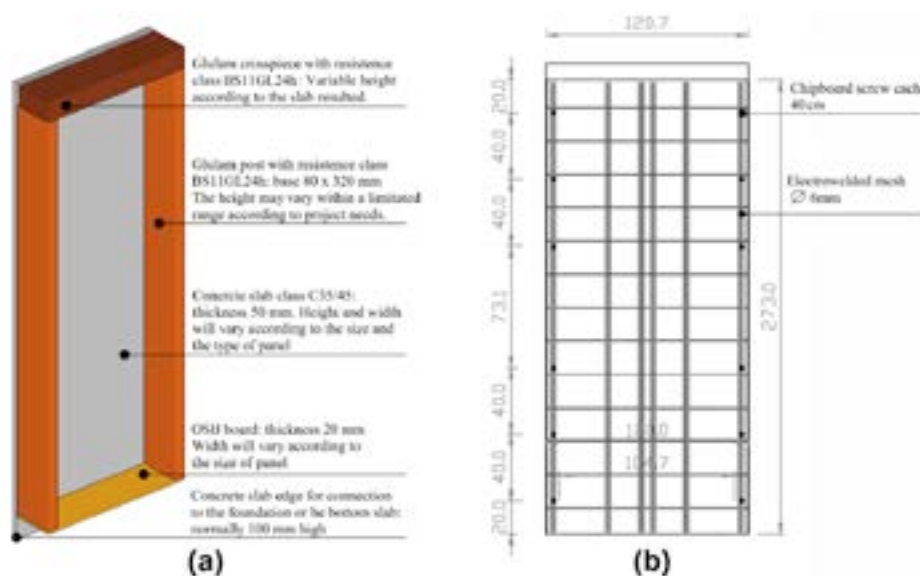


Figura 1 - Configurazione standard di un pannello CGFP (Concrete Glulam Framed Panel) (a) e rete elettrosaldata (b). Da [5]



BUILDING ENVELOPE AND NZEB: THE MOST PROMISING INNOVATIONS

The U03 deals with the development of simulations and experimental data on casing elements, evaluating, with reference to external walls of the existing building park in different climate contexts and representative of the national territory, the possible improvement of the building performance achievable through: innovative glass surfaces with suitable shielding elements; prefabricated packages in composite materials easy to install and hook onto pre-existing surfaces; use of phase change material, in PCM, in case of opaque walls.

Keywords: NZEBnet, building envelope, PCM



Figura 2 – Esempio di pannello di PCM disponibile in commercio

interno a causa delle ridotte fluttuazioni della temperatura superficiale. In Figura 2 è riportato un esempio di modulo contenente materiale a cambiamento di fase, attualmente disponibile in commercio.

Il processo di accumulo e il rilascio di energia latente alla temperatura di melting modifica in maniera significativa i campi termici nel PCM rispetto a quanto avviene in uno strato monofase: come ben noto, durante il cambiamento di fase il flusso termico presenta delle discontinuità, mentre la temperatura rimane costante. Per descrivere in maniera accurata il comportamento termico alla temperatura di melting, è stato messo a punto un codice numerico di calcolo alle differenze finite che descrive la conduzione nella fase solida e nella fase liquida e l'accumulo latente all'interfaccia tra le due fasi. La discretizzazione spaziale e temporale delle equazioni differenziali che descrivono il fenomeno consente il calcolo delle temperature nei nodi non soggetti a cambiamento di fase, in fase liquida o in fase solida, e delle frazioni di liquido nei nodi soggetti a cambiamento di fase. Il modello numerico e l'algoritmo risolutivo messi a punto sono stati validati mediante confronto con la soluzione analitica esatta di un modello che descrive il problema del trasferimento termico in uno strato di PCM in regime periodico stabilizzato [6].

Questo studio preliminare sul comportamento termico dei PCM, cui seguirà quello delle pareti multistrato contenenti strati di PCM, è stato effettuato per:

- un corretto dimensionamento termico dello strato in termini di scelta della temperatura di melting, del calore latente di condensazione e delle altre proprietà termofisiche;
- una caratterizzazione termica dinamica mediante lo studio delle modifiche che subiscono le fluttuazioni termiche superficiali nel transito attraverso lo strato;
- l'ottenimento di indicazioni sulle riduzioni dei carichi termici e dei fabbisogni energetici conseguibili nelle due stagioni di climatizzazione e nell'intero anno e sulla variazione della temperatura superficiale interna della parete.

In particolare, sono stati determinati su base mensile i campi termici di differenti strati di PCM disponibili in commercio, con temperature di melting variabili tra 15 °C e 32 °C e prossime alle temperature di set point degli ambienti climatizzati. Le condizioni al contorno considerate sono quelle caratteristiche di una località dal clima continentale e di un'altra dal clima mediterraneo. La procedura di calcolo ha consentito di valutare, ai vari istanti temporali del giorno caratteristico di ogni mese, le posizioni delle interfacce bifasi presenti nello strato, il campo di temperatura e di flusso termico e l'energia latente e sensibile rilasciata e

accumulata nell'unità di tempo. Lo studio ha consentito di chiarire le dinamiche di formazione delle interfacce bifase nello strato e l'effetto sull'accumulo e sul rilascio dell'energia latente e ha dimostrato che le configurazioni delle fasi nello strato variano con il mese, la località e la temperatura di melting. In particolare, per definite condizioni al contorno, il cambiamento di fase è determinato dalla temperatura di melting, mentre i campi termici e l'entità dell'accumulo latente dipendono dall'escursione di temperatura sulla superficie esterna dello strato [7].

I campi termici sono stati successivamente impiegati per definire il comportamento energetico e dinamico degli strati di PCM, mentre i flussi termici superficiali sono stati impiegati per valutare il comportamento energetico dello strato in termini di energie trasferite attraverso le superfici di contorno e di energia accumulata sotto forma sensibile e latente. Inoltre, gli andamenti delle temperature e dei flussi termici superficiali e l'energia fluttuante trasferita e accumulata sotto forma sensibile e latente sono stati utilizzati per definire i parametri occorrenti alla caratterizzazione dinamica dello strato, che, rispetto a quanto avviene per uno strato monofase, devono poter consentire anche di identificare gli effetti prodotti dall'accumulo latente. Il set di parametri individuati per il progetto termico dello strato di PCM è costituito da efficienza di accumulo latente, frazione di energia

latente accumulata rispetto a quella totale, fattore di attenuazione dell'escursione massima della temperatura e del flusso termico, fattore di attenuazione dell'energia, sfasamenti del picco massimo e di quello minimo della temperatura e del flusso termico, frazione di periodo in cui sulla superficie interna il picco massimo o il picco minimo della temperatura e del flusso termico sono costanti. Per valutare questi parametri sono state proposte correlazioni empiriche di calcolo indipendenti dalla località e dalla tipologia di PCM [8, 9, 10].

Altre attività

Ulteriori attività di ricerca svolte riguardano altre soluzioni di pareti opache innovative. In particolare, è stato studiato il comportamento termico di pareti assemblate a secco dotate di strati convenzionali e strati ottenuti mediante l'impiego di sabbia. Lo studio ha permesso di identificare le configurazioni ottimali dal punto di vista energetico nel clima Mediterraneo che consentono di rispettare i limiti previsti dagli standard Passivhaus [11]. ■

BIBLIOGRAFIA

- [1] MISE. 2015. Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici. D.M. 26.06.2015. Gazzetta Ufficiale n.162 del 15 luglio 2015.
- [2] MISE. 2015. Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici. DM 26/06/15 Schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto ai fini dell'applicazione delle prescrizioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica negli edifici. D.M. 26.06.2015. Gazzetta Ufficiale n.162 del 15 luglio 2015.
- [3] Cerruti C. (a cura di). 1997. Progetto Finalizzato Edilizia: l'attività, il consuntivo, i risultati, 1989-1995. Milano: Franco Angeli.
- [4] UNI. 2014. Abaco delle strutture costituenti l'involucro opaco degli edifici - Parametri termofisici. UNI/TR 11552. Milano: Ente Italiano di Normazione.
- [5] Dalla Mora T., Peron F., Romagnoni P., Boscato G., Russo S. 2018. A new concrete-glulam prefabricated composite wall system: Thermal behaviour, life cycle assessment and structural response. *Journal of Building Engineering*, *Journal of Building Engineering*, 19, 384-401.
- [6] Mazzeo D., Oliveti G., De Simone M., Arcuri N. 2015. Analytical model for solidification and melting in a finite PCM in a steady periodic regime. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 88, 844-861.
- [7] Mazzeo D., Oliveti G. 2018. Thermal field and heat storage in a cyclic phase change process caused by several moving melting and solidification interfaces in the layer, *International journal of thermal sciences* (in corso di revisione).
- [8] Mazzeo D., Oliveti G., Arcuri N. 2017. Definition of a new set of parameters for the dynamic thermal characterization of PCM layers in the presence of one or more liquid-solid interfaces. *Energy and Buildings*, 141, 379-396.
- [9] Mazzeo D., Oliveti G., Arcuri N. 2017. Data demonstrating the influence of the latent storage efficiency on the dynamic thermal characteristics of a PCM layer. *Data in Brief*, 12, 274-276.
- [10] Mazzeo D., Oliveti G., Arcuri N. 2017. A method for thermal dimensioning and for energy behavior evaluation of a building envelope PCM layer by using the characteristic days. *Energies*, 10(5), 659-678.
- [11] Arcuri N., Bruno R., Carpino C. 2017. Study of innovative solutions of the building envelope for passive houses in Mediterranean areas, 50th AICARR International Conference Matera 2017, "Beyond NZEB Buildings", 10-11 Maggio 2017.