

LE SCHERMATURE SOLARI TRA TECNOLOGIA, PRESTAZIONE E NORMATIVA

di Tiziana Poli* e Andrea Giovanni Mainini*

*Politecnico di Milano - Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, P.zza Leonardo da Vinci 32, Milano 20133, Italia

Il fabbisogno energetico per la climatizzazione estiva, invernale e l'illuminazione dipende fortemente dall' "efficienza" delle porzioni trasparenti dell'involucro edilizio. Per le nostre latitudini un sistema può essere definito efficiente se è ad assetto variabile. Questo significa disporre di un sistema trasparente in grado di:

- limitare i disperdimenti (U value) e guadagnare quanto possibile (incremento degli apporti solari gratuiti) durante il periodo sotto riscaldato al fine di limitare il consumo per il riscaldamento;
- limitare gli apporti solari gratuiti nel periodo surriscaldato;
- favorire la presenza di luce naturale in ambiente confinato (incremento daylight autonomy).

Per garantire un tale modello di funzionamento delle superfici trasparenti, le alternative tecniche sono molteplici e dipendono dalla estensione della chiusura vetrata stessa. Se le dimensioni sono contenute è possibile (ma non è certo questa una regola) pensare di disporre di un sistema statico; in altri termini si può pensare di demandare il controllo dei flussi termici, energetici e luminosi alla sola vetratura [1]. L'impiego di un eventuale elemento aggiuntivo (tende) avrebbe il solo scopo di controllare i fenomeni di abbagliamento. Se, invece, le dimensioni delle superfici sono importanti (serramento/facciata o facciate continua), la modularità della prestazione e l'uso di una protezione solare risultano necessarie. Fino all'emanazione dei tre DM del 26.06.2015 [2], [3], [4] (e del D.g.r. 17 luglio 2015 - n. X/3868 [5] che ha recepito i DM), la scelta della strategia dipendeva unicamente dal rispetto di $E_{ph\ limite}$ e dall'ottimizzazione mensile degli apporti solari rispetto ai disperdimenti (almeno sull'involucro), mentre ora il concetto di Edificio di Riferimento, utilizzato nella classificazione e verifica dell'edificio oggetto di analisi cambia sostanzialmente il paradigma di quantificazione della prestazione dell'edificio, imponendo un vincolo non solo sulla prestazione del sistema edificio impianto, ma anche relativamente a quella del solo involucro. In precedenza la presenza o meno di una schermatura solare dipendeva dalle strategie morfologiche, edilizie e impiantistiche adottate. Oggi, invece, il rispetto del valore limite di g_{gl+sh} minore di 0.35 indipendentemente dalla latitudine per le esposizioni più sfavorevoli, oppure il rispetto del rapporto tra l'area solare equivalente estiva dell'edificio e la superficie utile dello stesso, implicano l'adozione di un sistema di protezioni solari esterno alla vetratura, mobile e ad assetto variabile. Tale vincolo avrà forti ricadute sull'architettura (l'integrazione di questi dispositivi richiede una differente attenzione progettuale che va oltre il semplice "applico una tenda a posteriori!"), sulla tecnologia del sistema serramento (la schermatura potrebbe essere direttamente integrata nella parte di telaio ricordando però che non deve andare a discapito della trasmittanza termica, U), sulla tecnologia dei sistemi di facciata continua, sui materiali/prodotti per le schermature che saranno sempre più funzionalizzati, sugli strumenti per il calcolo della prestazione. Il rispetto di tali indicatori prestazionale apre una serie di questioni che non renderanno semplice modellare la prestazione energetica di un organismo edilizio dotato di schermature solari.

Ed è proprio osservando l'Architettura contemporanea che ci si rende immediatamente conto del grado di complessità che connota il costruire (e quindi il progettare e il modellare) oggi (Figg. 1, 2, 3 e 4).



Fig. 1 - Manuel Gea Gonzalez Hospital, Mexico City, Prosolve, 2013
(fonte: <http://inhabitat.com/mexico-citys-manuel-gea-gonzalez-hospital-has-an-ornate-double-skin-that-filters-air-pollution/>)



Fig. 2 - MANNY, Nantes (fonte: <http://www.tetrarc.fr>)



Fig. 3 - DELOITTE BUILDING, oslo, SNØHETTA, SCHÜCO, 2013,
<http://blog.archpaper.com/>

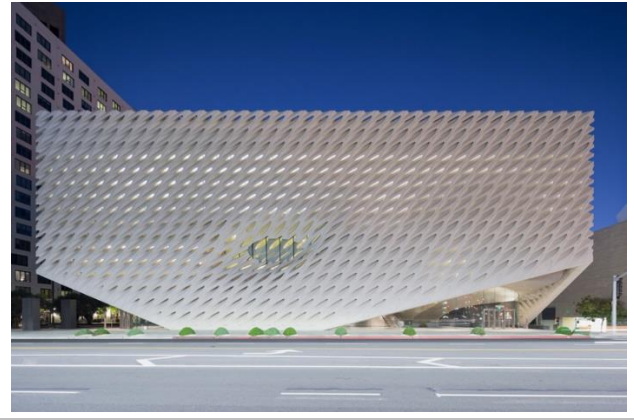


Fig. 4 - DS+R, contemporary art museum, Los Angeles,
<http://www.designboom.com/>

Molteplici sono i problemi che ci si trova ad affrontare per la determinazione della prestazione delle schermature e del sistema schermatura più vetro. Se si considera l'apparato normativo di riferimento per il calcolo della prestazione energetica del sistema schermante (UNI EN 13363 parte 1 e 2 [6] [7], UNI/TS 11300-1 [8], DM 26.06.2015 in materia di energia [2], [3], [4]), ecco manifestato il primo limite: nel mondo delle protezioni solari non esistono solo le lamelle (con orientamento ortogonale al filo di facciata o con inclinazione 45° e costituite da elementi pieni), le tende (chiare o scure) o gli aggetti orizzontali o verticali (anche in questo caso costituiti da elementi pieni). E se le protezioni solari sono costituite da reti e maglie metalliche (Fig. 5) oppure lamiere stirate (Fig. 6) [9] [10] [11]? E se sono lamiere micro-forate con geometria bi-direzionale (Fig. 7)? E se gli elementi sono discontinui e non planari (Fig. 8)? E se, infine, gli elementi presentano una geometria 2D oppure 3D non uniforme (Fig. 9) [12] oppure sono elementi eterogenei (ossia costituiti da più materiali) (Fig. 10) [13] [14]? E se l'attivazione non dipende da un sistema meccanico ma dalla temperatura e da un impulso elettrico (stiamo parlando in questo caso di SMA, SME e TBM) (Fig. 11).



Fig. 5 – esempio rete o maglia metallica (© SEEDLab, Dipartimento. ABC – Politecnico di Milano, T. Poli, A.G. Mainini, R. Paolini, A. Speroni, A. Zani)

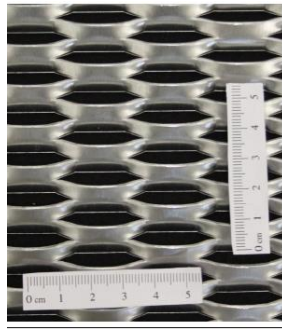


Fig. 6 – esempio lamiera stirata (© SEEDLab, Dipartimento. ABC – Politecnico di Milano, T. Poli, A.G. Mainini, R. Paolini, A. Speroni, A. Zani)



Fig. 7 – lamiera bi-direzionale (© SEEDLab, Dipartimento. ABC – Politecnico di Milano, T. Poli, A.G. Mainini, R. Paolini, A. Speroni, A. Zani)



Fig. 8 – esempio di lamiera stirata ondulata (© Italfilm)



Fig. 9 – tessuto 3D (© SEEDLab, Dipartimento. ABC – Politecnico di Milano, T. Poli, A.G. Mainini, R. Paolini, A. Speroni, A. Zani)



Fig. 10 – I.Light Italcementi (© SEEDLab, Dipartimento. ABC – Politecnico di Milano, T. Poli, A.G. Mainini, R. Paolini, A. Speroni, A. Zani)



Fig. 11 – Applicazione di SMA su tessuti a base metallica (<http://www.deckeryeadon.com/>)

Il progettista, l'esperto di involucro e il certificatore, dispongono di tutti i dati necessari per la modellazione energetica del sistema (ossia il calcolo di g_{gl+sh})?

Sui tessuti tecnici, in linea di massima sì! E' "semplice" misurare le proprietà ottico radiative del tessuto e altrettanto "semplice" modellarle (come richiesto dalla norma sia rispetto la componente diretta che diffusa). Questa affermazione vale se l'**openness factor** (%), rapporto vuoto/pieno) non è elevato; in caso contrario anche i tessuti presentano una dipendenza angolare della trasmittanza energetica (τ_E) e visibile (τ_V).

Facendo un passo indietro, condizione necessaria e sufficiente è, in prima istanza, comprendere le natura effettiva del sistema schermante che può essere definito in funzione:

- della morfologia complessiva quando discontinuo (dimensione, passo tra elementi, spessore, openness factor);
- della geometria del singolo elemento (diametro filo, diametro vuoto, dimensione lamella, spessore, openness factor);
- della consistenza materica degli elementi, che incide sulle proprietà termiche e ottico-radiative dell'elemento (trasmittanza solare - τ_E - e riflettanza solare - ρ_E , della trasmittanza visibile - τ_{VIS} - e riflettanza nel campo del visibile - ρ_{VIS} ed emissività - ϵ);
- del modello di funzionamento (elemento fisso, orientabile in continuo, on-off);
- della tipologia di azionamento (incide sul tempo impiegato per raggiungere l'assetto ottimizzato);
- della durata di attivazione (da definirsi in funzione di W/m^2 su superficie trasparente).

Accoppiando il sistema schermante al vetro, l'indicatore di prestazione è g_{gl+sh} (fattore di trasmissione solare totale), indicatore di riferimento per la caratterizzazione della prestazione del serramento secondo [6], [7]

Anche disponendo dei dati, la difficoltà nella modellazione rimane. Spesso, per evitare tempi macchina importanti o per assenza di uno strumento in grado di modellare esattamente il comportamento del sistema, si procede per semplificazioni, sottovalutando la portata di tale semplificazione (sottostima o sovrastima degli apporti solari gratuiti, sovrastima e/o sottostima del livello di illuminamento e dei possibili fenomeni di abbagliamento). Inoltre, per evitare lunghe e complesse modellazioni, sarebbe opportuno poter disporre di un profilo caratteristico di prestazione dei sistemi complessi al variare della loro geometria e della loro tipologia di posa (soprattutto per gli elementi a geometria bi-direzionale che a parità di *openness factor* presentano variazioni importanti al variare dell'angolo di incidenza della radiazione) (Fig. 12). Questo significa che la scelta del sistema dovrebbe essere vincolata alla prevalenza dell'angolo di incidenza sulla superficie trasparente (estivo, invernale e nel periodo intermedio).

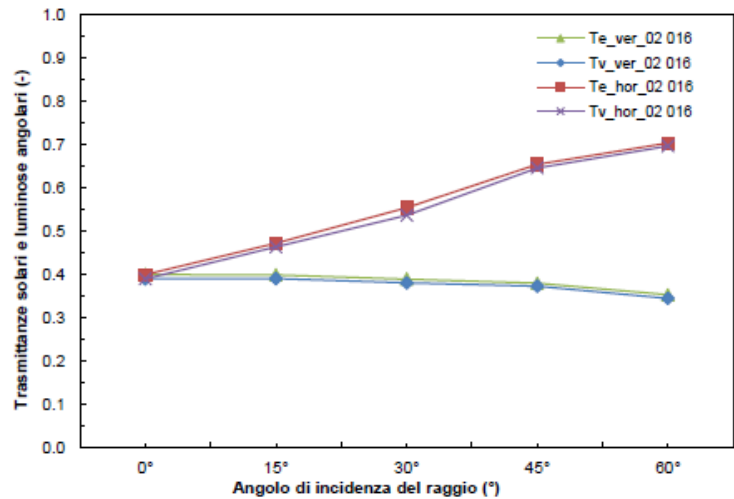
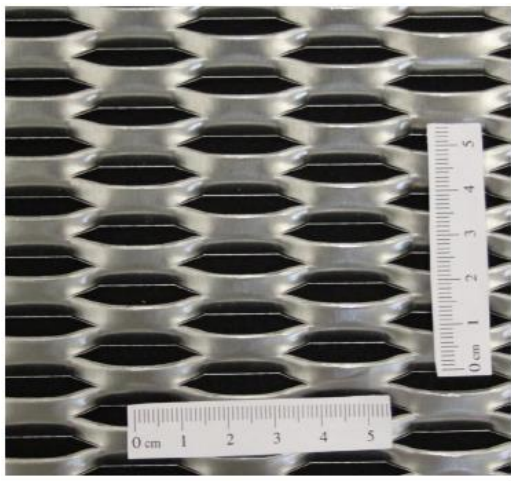


Fig. 12 a - Elemento schermante caratterizzato da una geometria bi-direzionale. La variazione della prestazione ottico-energetica al variare della giacitura [© SEEDLab, Dipartimento. ABC - Politecnico di Milano, T. Poli, A.G. Mainini, R. Paolini, A. Speroni]

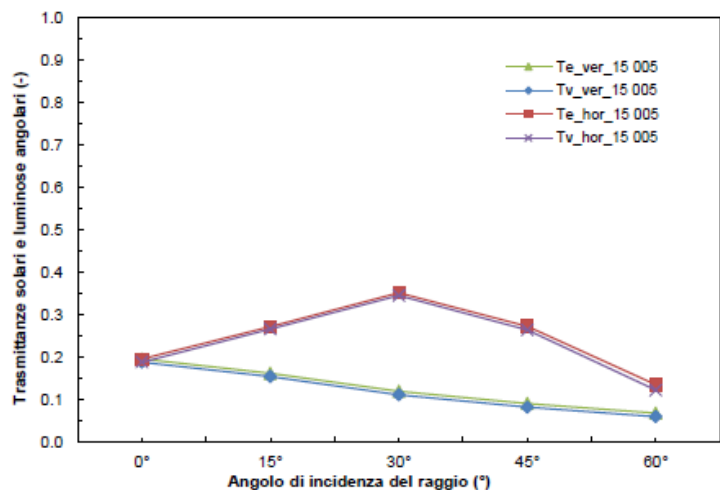
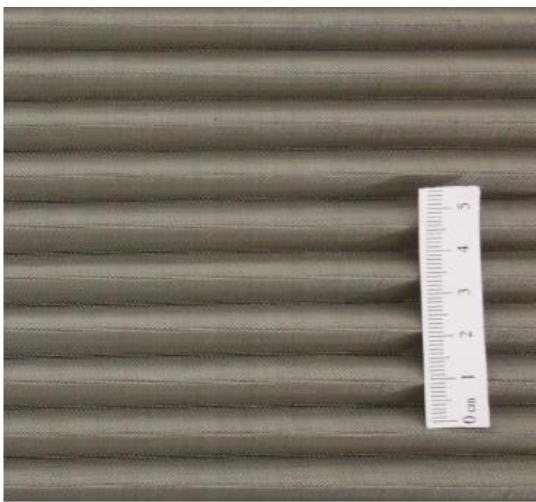


Fig. 12 b - Elemento schermante caratterizzato da una geometria 3D. La variazione della prestazione ottico-energetica al variare della giacitura [© SEEDLab, Dipartimento. ABC - Politecnico di Milano, T. Poli, A.G. Mainini, R. Paolini, A. Speroni]

Definire degli indicatori prestazionali è condizione necessaria e sufficiente così come definire le specifiche di prestazione. L'importante è comprendere che quei valori dipendono da sistemi edilizi e impiantistici che si devono integrare e che la modellazione deve avvicinarsi il più possibile al valore misurato in opera (e qui si aprirebbe anche la questione legata alla validazione). E allora, quali valori limite effettivamente usare? g_{gl+sh} è il riferimento o basta la prestazione energetica dell'edificio distinguendo tra involucro e sistema integrato involucro-impianti? L'unica cosa certa è che il nuovo apparato normativo porterà allo sviluppo e alla messa a

punto di componenti di involucro innovativi, altamente performanti e fortemente caratterizzati dal punto di vista ottico-radiativo e non solo.

LA NUOVA NORMATIVA IN DETTAGLIO

L'Unione Europea tramite la Direttiva 2002/91/CE "Rendimento energetico nell'edilizia" [15] aggiornata nel 2010 dalla direttiva 31 [16], si è espressa in merito alle procedure e alla politica di risparmio energetico nel settore delle costruzioni.

In Italia tali direttive sono state recepite tramite il D.lgs. 192/05 [17] (successivamente integrato dal D.lgs. 311/06 [18], riferito alla sola [15]) e il Decreto Legge 63/13 [19] che ha recepito la direttiva [16], in seguito convertita in legge dalla Legge 90/13 [20] e il cui attuativo è rappresentato dai Decreti Ministeriali del 26 giugno 2015 che definiscono:

- I criteri per identificare un edificio a energia quasi zero, la metodologia di calcolo e i requisiti minimi degli edifici a seconda del tipo di intervento realizzato [2]
- Le linee guida nazionali per la certificazione energetica [3]
- Gli schemi della relazione tecnica di progetto [4]

In materia di uso e promozione delle fonti rinnovabili troviamo infine il DLgs 28/2011 [21] che attua quanto promosso a livello europeo all' interno della direttiva 2009/28/CE [22]

I decreti [2], [3], [4] del 26 Giugno 2015 cambiano significativamente lo scenario normativo italiano in materia di risparmio energetico, determinando uno sforzo progettuale maggiore e una migliore attenzione alla qualità del costruito, in risposta a richieste prestazionali più restrittive rispetto alla pratica costruttiva attualmente in vigore.

Fatte salve le tipologie di edifici e le destinazioni d'uso elencate in [17] e [20], che sono escluse dall' applicazione del Decreto, si prescrive, per tutte le rimanenti casistiche, il rispetto di una serie di verifiche in funzione della tipologia di intervento edilizio che si deve attuare, ovvero:

- Nuova costruzione;
- Demolizione e ricostruzione;
- Ampliamenti (creazione di un nuovo volume lordo > di 500 m³ o superiore del 15% del volume lordo esistente);
- Ristrutturazioni importanti di primo livello che coinvolgono più del 50% della superficie lorda dell'edificio, nonché l'impianto termico;
- Ristrutturazioni importanti di secondo livello, che coinvolgono più del 25% della superficie lorda dell'edificio ed eventualmente l'impianto termico;
- Riqualificazioni energetiche dell'involucro che coinvolgono meno del 25% della superficie disperdente;
- Interventi sull' impianto termico (nuova installazione, ristrutturazione e sostituzione del generatore);

A seconda del tipo di intervento le verifiche possono riguardare il sistema edificio impianto, il solo involucro edilizio o il solo impianto. Oltre alla tradizionale procedura di confronto puntuale delle caratteristiche di involucro e di impianto rispetto alle tabelle di riferimento (Appendice B di [2]) è introdotto il concetto di edificio di riferimento, che permette di valutare la prestazione energetica dell' edificio da verificare o certificare, tramite il confronto con un edificio identico in termini di destinazione d'uso, località, contesto, geometria, orientamento, ma in possesso delle caratteristiche di involucro e impianto conformi all' Appendice A di [2].

La trattazione delle novità introdotte dai decreti potrebbe essere molto lunga elaborata, ma quanto in seguito esposto si limiterà ad analizzare le implicazioni relative all' efficacia dei sistemi schermanti.

VERIFICA DEL FATTORE DI TRASMISSIONE SOLARE TOTALE G_{GL+SH}

Nel caso di ristrutturazioni importanti che coinvolgono l'involucro per più del 25% della superficie dell'involucro, o nei casi di riqualificazione energetica dell'involucro che coinvolgano meno del 25% della superficie disperdente dell'involucro, è richiesto al progettista di verificare che il fattore di trasmissione solare totale g_{gl+sh} valutato secondo [8], [6], [7] sia inferiore a 0.35. La verifica deve essere effettuata per componenti finestrati con orientamento da EST a OVEST, passando per SUD e in presenza di una schermatura mobile, mentre può essere omessa per altri orientamenti e in caso di edifici in categoria E.8.

Per valutare le implicazioni di questa prescrizione normativa, consideriamo una serie di semplici casi analitici e che possono essere affrontati tramite la procedura di calcolo semplificata riportata all'interno della norma UNI EN 13363-1 [6]. Siamo in presenza di una famiglia di tende a rullo, tra loro differenti in termini di caratteristiche di trasmissione solare diretta della radiazione ($\tau_{e,B}$), riflessione ($\rho_{e,B}$) e assorbimento ($\alpha_{e,B}$), così come riportato in Tabella 1. Consideriamo che tali tende stiano schermando differenti tipologie di chiusure trasparenti, caratterizzate da differenti coppie di valori di trasmittanza termica (U_g) e fattore solare normale (g), così come riportato in Tabella 2

Tipologia di schermatura		$\tau_{e,B}$	$\rho_{e,B}$	$\alpha_{e,B}$
A.1	Bianco	0.2	0.6	0.2
A.2	Colorato	0.2	0.4	0.4
A.3	Scuro	0.2	0.1	0.7
B.1	Bianco	0.4	0.4	0.2
B.2	Colorato	0.4	0.3	0.3
B.3	Scuro	0.4	0.1	0.5

Tipologia vetro	U_g	g
Triplo vetro chiaro	2	0.67
Doppio vetro basso-emissivo	1.6	0.7
Triplo vetro basso-emissivo	1.4	0.5

Tabella 1: Caratteristiche ottico energetiche delle tende a rullo considerate. La tipologia A si riferisce a tende mediamente traslucide, il tipo B si riferisce a tende altamente traslucide, così come definite nella [6]

Tabella 2: Caratteristiche termiche e ottiche dei vetri considerati.

Nei grafici seguenti viene riportato il valore di g_{gl+sh} valutato per tutte le coppie possibili di sistema schermante-vetro proposte in Tabella 1 e 2.

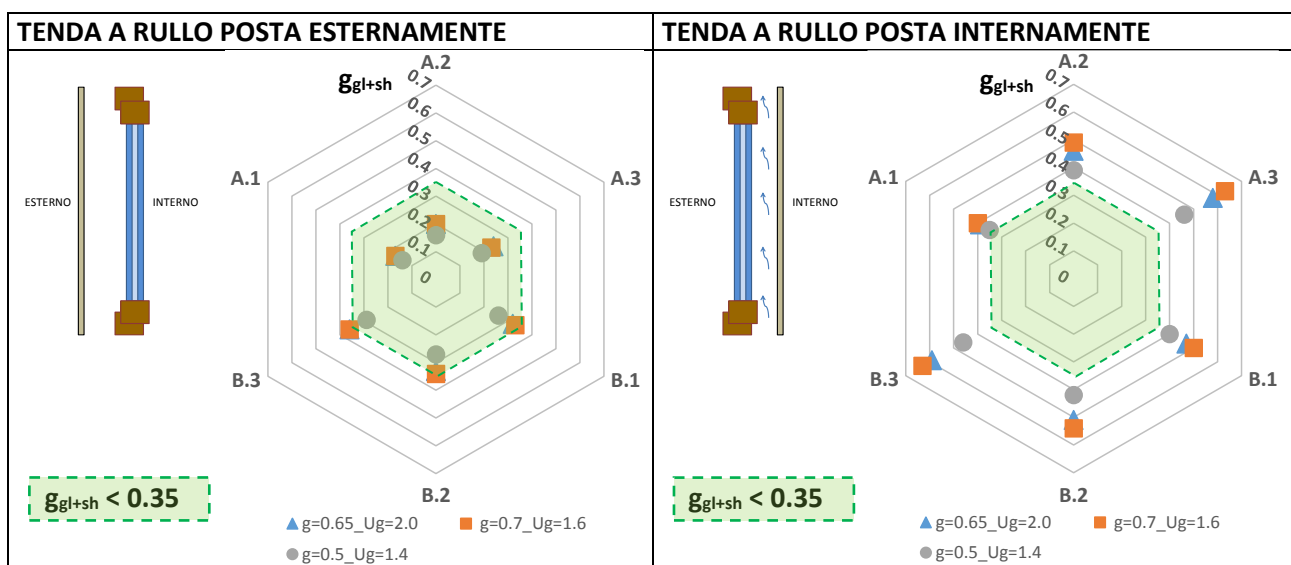


Fig. 13 a e b – Valori di g_{gl+sh} calcolati in accordo con la metodologia di calcolo approssimata proposta dalla [6], per i sistemi composti utilizzando i vetri in tabella Tabella 2 e i sistemi schermanti da A.1 a B.3 riportati in Tabella 1. Nell'area in verde cadono tutti i valori di g_{gl+sh} inferiori a 0.35.

Come è possibile notare dai grafici in Fig. 13 a e b, per garantire il rispetto dei valori minimi richiesti dal DM 26 Giugno 2015 [2] e considerando vetri standard non a controllo solare, si deve ricorrere a sistemi schermanti con valori di $\tau_{e,B}$ inferiori a 0.2, nel caso di schermature poste internamente. In questo caso risulta importante controllare anche la riflettanza del lato della superficie della tenda a rulla rivolta verso il vetro. Maggiore sarà il valore di riflettanza solare $\rho_{e,B}$, migliore sarà la prestazione ottenuta. Ponendo la schermatura esternamente all'elemento trasparente, la verifica risulterà essere molto più agevole, garantendo la possibilità di utilizzare, a parità di vetro impiegato, sistemi con una trasparenza maggiore, ma pur sempre con valori di $\tau_{e,B}$ inferiori a 0.4.

VERIFICA DEL RAPPORTO $A_{SOL,EST}/A_{SUP\ UTILE}$

Per tutti gli interventi non elencati nel paragrafo precedente e ad esclusione degli interventi che riguardano il solo impianto termico dell'edificio, viene richiesta di effettuare la verifica del rapporto tra l'area solare equivalente estiva dell'edificio e la superficie utile dello stesso, ovvero $A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$. Il valore così calcolato deve essere inferiore a:

- 0.030 nel caso di edifici in categoria E.1 (escludendo collegi, conventi, case di pene e caserme)
- 0.040 per tutte le rimanenti categorie di edifici, compresa la categoria E.8

La procedura per il calcolo dell'area equivalente estiva $A_{sol,est}$ dell'edificio è in seguito espressa ed equivale, come descritto nella Appendice A di [2], alla sommatoria delle aree equivalenti estive di ogni componente vetrato k, ovvero:

$$A_{sol,est} = \sum_k F_{sh,ob} \times g_{gl+sh} \times (1 - F_F) \times A_{w,p} \times F_{sol,est}$$

Dove:

- $F_{sh,ob}$ è il fattore di riduzione per ombreggiatura relativo ad elementi esterni per l'area di captazione solare effettiva della superficie vetrata k-esima, riferito al mese di luglio e valutata secondo [8];
- g_{gl+sh} è la trasmittanza di energia solare totale della finestra calcolata nel mese di luglio, quando la schermatura solare è utilizzata, valutata secondo le [8], [6], [7];
- F_F è la frazione di area relativa al telaio, rapporto tra l'area proiettata del telaio e l'area proiettata totale del componente finestrato;
- $A_{w,p}$ è l'area proiettata totale del componente vetrato (area del vano finestra);
- $F_{sol,est}$ è il fattore di correzione per l'irraggiamento incidente, ricavato come rapporto tra l'irradianza media nel mese di luglio, nella località e sull'esposizione considerata e l'irradianza media annuale di Roma, sul piano orizzontale.

Continua a valere la richiesta che il progettista, al fine di limitare i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva e di contenere la temperatura interna degli ambienti, valuti puntualmente e documenti l'efficacia di sistemi schermanti le superfici vetrate, che siano interni o esterni, ma tali da ridurre l'apporto di calore per irraggiamento.

I regolamenti edilizi comunali e i regolamenti d'igiene vincolano la superficie minima di chiusura trasparente che deve essere garantita per ogni destinazione d'uso. Diventa quindi importante prevedere efficaci sistemi di schermatura, che siano in grado di garantire il soddisfacimento della verifica, abili allo stesso tempo di ottimizzare le richieste utili a garantire il confort visivo.

La presenza di aggetti, il loro corretto dimensionamento in funzione della latitudine e la loro ricaduta nel calcolo di $F_{sh,ob}$, diventa in questo caso premiante, mentre l'efficacia del sistema schermante mobile deve essere oggetto di attenta analisi, soprattutto nei casi in cui vengano utilizzati come schermatura solare mobile dei materiali come quelli presentati nel primo paragrafo.

Il nuovo decreto determina una evidente penalizzazione, o meglio regolamentazione, degli edifici realizzati tramite sistemi a facciata continua o in cui la porzione trasparente di involucro è dominante rispetto alla parte opaca, soprattutto se il confronto con edifici standard viene effettuata a parità di superficie utile degli ambienti. Per ottenere il rispetto dei parametri imposti, soprattutto per edifici di grande altezza, caratterizzati da una prevalenza di sistemi schermanti interni, sarà necessario garantire valori molto ridotti di fattore solare del vetro.

RIFERIMENTI

- [1] A. G. Mainini, D. Bonato, T. Poli e A. Speroni, «Lean strategies for window retrofit of Italian office buildings: impact on energy use, thermal and visual comfort.,» ENERGY PROCEDIA, vol. 70, pp. 719-728, 2015.
- [2] DM 26 giugno 2015, Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici. (15A05198) (GU Serie Generale n.162 del 15-7-2015 - Suppl. Ordinario n. 39).
- [3] DM 26 giugno 2015, Adeguamento del decreto del Ministro dello sviluppo economico, 26 giugno 2009 - Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici. (15A05200)(GU Serie Generale n.162 del 15-7-2015 - Suppl. Ordinario n. 39).
- [4] DM 26 giugno 2015, Schemi e modalita' 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. (15A05199) (GU Serie Generale n.1).
- [5] D.g.r. 17 luglio 2015 - n. X/3868 Disposizioni in merito alla disciplina per l'efficienza energetica degli edifici ed al relativo attestato di prestazione energetica a seguito dell'approvazione dei decreti ministeriali per l'attuazione del d.lgs. 192/2005.
- [6] UNI EN 13363-01 Dispositivi di protezione solare in combinazione con vetrate; calcolo della trasmittanza totale e luminosa, metodo di calcolo semplifi cato.
- [7] UNI EN 13363-02 Dispositivi di protezione solare in combinazione con vetrate; calcolo della trasmittanza totale e luminosa, metodo di calcolo dettagliato.
- [8] UNI/TS 11300- 1, Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva e invernale, 2014.
- [9] A. G. Mainini, T. Poli, M. Zinzi e A. Speroni, «Spectral light transmission measure of metal screens for glass façades and assessment of their shading potential,» ENERGY PROCEDIA, vol. 48, pp. 1292-1301, 2014.
- [10] T. Poli, «Una pelle esterna come protezione solare continua,» in Transparency. Facciate in vetro tra architettura e sperimentazione, Milano, Il sole 24 ore, 2013, pp. 99-115.

- [11] T.Poli, «Schermature solari e involucri ad alte prestazioni: tra innovazione e misura,» *Ingenio*, pp. 1-8, Aprile 2015.
- [12] T. Poli, A. G. Mainini, R. Paolini, A. Speroni, L. Vercesi e M. Zinzi, «Sviluppo di materiali e tecnologie per la riduzione degli effetti della radiazione solare. A. Implementazione delle prestazioni e nuovi prodotti per il controllo della radiazione solare e costruzione di un archivio cartaceo di prodotti innovativi,» ENEA, Roma, 2013.
- [13] A. G. Mainini, T. Poli, M. Zinzi e S. Cangiano, «Spectral light transmission measure and radiance model validation of an innovative transparent concrete panel for facades,» *ENERGY PROCEDIA*, vol. 30, pp. 1184-1194, 2012.
- [14] S. Cangiano, T. Poli, A. Mainini e M. Zinzi, «CARATTERIZZAZIONE FOTOMETRICA DI UN PANNELLO IN CALCESTRUZZO TRASPARENTE,» in *Atti del 19° Congresso C.T.E.*, Bologna, 2012.
- [15] Direttiva 2002/91/CE, Del Parlamento europeo del consiglio del 16 dicembre 2002 sul rendimento energetico nell'edilizia.
- [16] Direttiva 2010/31/UE, Del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 Maggio 2010 sulla prestazione energetica nell' edilizia (rifusione).
- [17] DLgs 192/2005, Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico in edilizia.
- [18] DLgs 311/06, Disposizioni correttive ed integrative al DLgs 192/05, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia.
- [19] DL 63/2013, Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione.
- [20] Legge 90/13, Conversione, con modificazioni, del decreto-legge 4 giugno 2013, n. 63.
- [21] DLgs 28/2011, Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE.
- [22] Direttiva 2009/28/CE, del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 aprile 2009 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE.