

# La protezione solare degli edifici: dalla forma alla prestazione integrata

Le linee per l'efficienza energetica negli edifici passano per una limitazione delle dispersioni e un incremento degli apporti solari gratuiti favorendo, allo stesso tempo, l'utilizzo di luce naturale in ambiente confinato

DOI 10.12910/EAI2016-029

di **Tiziana Poli e Andrea Giovanni Mainini**, *Politecnico di Milano*

**N**ell'architettura contemporanea si assiste a una sempre più crescente smaterializzazione del muro: le superfici opache lasciano spazio alle superfici trasparenti. Questa trasformazione, evidente soprattutto per alcune specifiche destinazioni d'uso, ha portato a una continua evoluzione delle prestazioni dei vetri (sempre più performanti dal punto di vista termico ed energetico) e, più in generale, del sistema vetratura unita alle schermature solari (interne e/o esterne).

Vari sono gli obiettivi progettuali, ma le richieste del progettista all'involu-

cro edilizio riguardano la capacità di fornire prestazioni in grado di:

- limitare le dispersioni incrementando al tempo gli apporti solari gratuiti (soprattutto durante il periodo invernale) al fine di limitare il fabbisogno di energia per il riscaldamento;
- evitare o ridurre efficacemente gli apporti solari gratuiti durante il periodo estivo per ridurre il consumo energetico per il raffrescamento; e
- favorire l'utilizzo e modulare la presenza di luce naturale in ambiente confinato (incrementando il *daylighting* autonomy).

Le alternative tecniche sono molteplici e dipendono dall'estensione della chiusura trasparente stessa. Si possono adottare soluzioni di tipo statico che, per configurazione o prestazione, devono garantire un funzionamento "ottimizzato" sull'anno o possedere caratteristiche dinamiche (gli apporti solari gratuiti vengono ad esempio controllati mediante un sistema di protezioni solari ad assetto variabile, dove il cambiamento dipende dalle condizioni al contorno).

Si possono adottare soluzioni costituite da un unico layer (tutte le prestazioni vengono caricate sulla vetratura) o soluzioni formate da più



layer (le prestazioni vengono ripartite su più elementi di involucro: uno per la gestione del flusso luminoso e dei fenomeni di abbagliamento, uno per la gestione degli apporti solari gratuiti e uno o più layer per isolare termicamente).

Il progetto della chiusura è generalmente di tipo integrato: la scelta delle proprietà ottico-radiative e termiche della parte trasparente dipende nella maggior parte dei casi dalla rispondenza a vincoli legislativi e normativi.

L'Unione Europea tramite la Direttiva 2002/91/CE "Rendimento energetico nell'edilizia" aggiornata nel 2010 dalla direttiva 31, si è espressa in merito alle procedure e alla politica di risparmio energetico nel settore delle costruzioni. A livello italiano i decreti del 26 giugno 2015 hanno cambiato significativamente lo scenario normativo in materia di

risparmio energetico, determinando la necessità di una migliore attenzione alla qualità del costruito, in modo da rispondere adeguatamente alle richieste prestazionali più restrittive imposte. Se consideriamo, ad esempio, le sole chiusure trasparenti, nel caso di nuove costruzioni, 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 sia inferiore a 0,35, ma anche che il sistema sia in grado di modulare la propria prestazione in funzione della variabilità delle condizioni ambientali esterne e del bilancio energetico dell'edificio a cui si riferisce.

Il nuovo approccio normativo sugge-

risce implicitamente l'uso di schermature solari. In realtà la questione è più complicata e alcuni quesiti meriterebbero una risposta: 1. È sempre necessaria una schermatura solare? E se sì, 2. È sempre necessaria una schermatura dinamica? 3. Il rapporto WWR (Window Wall Rate) può essere la discriminante per la scelta della tipologia di schermatura? E ancora, la prestazione energetica è prioritaria rispetto al comfort e alla percezione visiva?

Un sistema di controllo solare efficiente può ridurre tra il 10% e il 20% il fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione, nel caso di edifici con destinazione d'uso ufficio. Il valore è **variabile in funzione del contesto climatico di riferimento, della morfologia dell'edificio, del rapporto superficie trasparente/opaca, della tipologia di schermatura e del livello d'illuminamento interno** richie-

sto. La riduzione degli apporti solari gratuiti, infatti, è però generalmente accompagnata da una riduzione del livello d'illuminamento interno incrementando di conseguenza il fabbisogno energetico per l'illuminazione. Le pellicole e/o le protezioni solari sono efficaci e fungono da filtro sia nel campo dell'infrarosso sia del visibile, anche se possono indurre sull'utente una sensazione di *discomfort* legata a un'alterazione nella percezione (colore e nitidezza delle forme) dell'esterno, oppure fenomeni di abbagliamento diretto e indiretto non adeguatamente controllati. In linea generale possiamo dire che il serramento e ancora di più la facciata continua dovrebbero sempre essere accoppiati a un sistema di protezione solare che può essere costituito da un singolo componente oppure da un rivestimento dell'involucro "integrale", in grado di costituire una vera e propria seconda pelle esterna con funzioni sia estetiche che di controllo dei flussi luminosi ed energetici. Ma qual è la protezione solare migliore? La risposta non può che essere: "dipende!". Il progetto non adeguato in termini di modello di funzionamento o di ottimizzazione può trasformare la porzione trasparente e la sua schermatura solare nel punto debole del sistema involucro. Le variabili che entrano in gioco sono molteplici:

- il tipo di sistema (continuo o discontinuo con differenti gradi di permeabilità all'aria);
- il tipo di attivazione e il periodo di attivazione (movimentazione integrale del sistema, movimentazione parziale di alcuni elementi costituenti il sistema);
- la geometria degli elementi costituenti il sistema (quando discontinuo); e

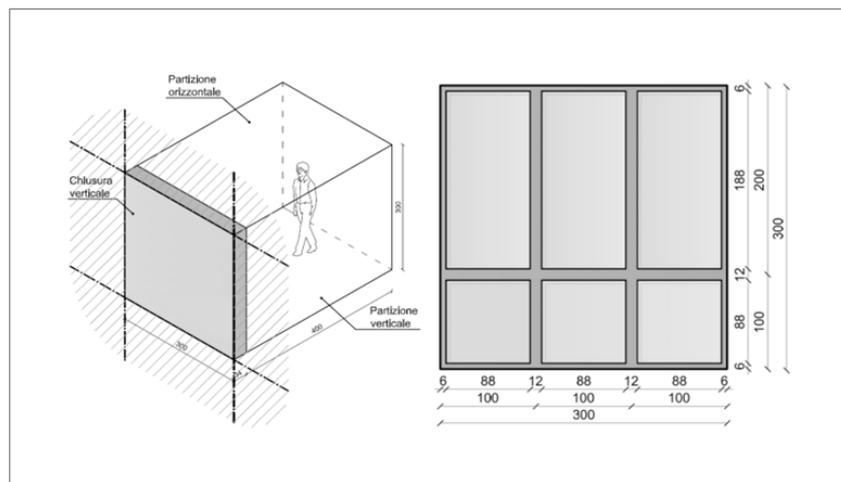


Fig. 1 Identificazione della geometria del modulo ufficio. Identificazione delle superfici disperdenti (campitura in grigio, immagine a sinistra). Discretizzazione geometrica della chiusura trasparente (a destra)

- le proprietà ottico-radiative delle superfici.

Queste variabili devono essere poi pesate rispetto al modello di funzionamento e alla morfologia dell'edificio, alla tipologia di impianto e al suo inserimento nel contesto (contesto fisico che concorre alla riduzione del potenziale solare e climatico dell'involucro).

### L'efficienza energetica delle schermature solari nel contesto italiano

La caratterizzazione della prestazione dei tradizionali sistemi di controllo solare è ampiamente trattata in letteratura. Tra i sistemi più comuni si considerano le lamelle, le veneziane e le tende a rullo. Questi sistemi possono essere installati sia sul lato esterno, che sul lato interno o interposti nella vetratura e determinando, a parità di sistemi coinvolti, una differente prestazione di controllo degli apporti solari. Esistono in letteratura numerosi esempi di analisi

volte a verificare l'efficacia di questi sistemi, localizzati in differenti contesti climatici. Di seguito è analizzato un particolare caso di studio costituito da un modulo ufficio localizzato in tre località italiane significative, quali Milano, Roma e Palermo, caratterizzate da differenti climi e latitudini. Lo scopo dell'analisi è quello di dimostrare la differenza di prestazioni fornite da un sistema di controllo della radiazione di tipo statico, ovvero sempre presente a protezione della chiusura trasparente, e un sistema di tipo mobile, ovvero disattivabile in automatico o tramite l'azione dell'utente.

L'efficacia e l'efficienza energetica dell'involucro, durante tutto l'anno, sono definite valutando per il modulo considerato il fabbisogno di energia utile tenendo in considerazione i profili di utilizzo, gli apporti e le dispersioni (sensibili e latenti), così come il mantenimento delle condizioni di comfort. Tale valore viene tradotto in fabbisogno di energia primaria tramite l'utilizzo di soluzioni impiantistiche convenzionali.



Città	Tipologia vetro	Sigla	$U_w$	$U_f$	$U_g$	$g$	$T_v$
			[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]	[-]	[%]
MILANO	Basso emissivo	LE	1,30	1,50	0,98	0,49	0,66
	Selettivo	SEL	1,30	1,50	1,01	0,27	0,63
	Controllo solare	SC	1,30	1,50	1,02	0,26	0,40
ROMA	Basso emissivo	LE	1,50	2,00	1,33	0,49	0,63
	Selettivo	SEL	1,50	1,75	1,40	0,30	0,69
	Controllo solare	SC	1,50	1,75	1,13	0,22	0,33
PALERMO	Basso emissivo	LE	1,70	2,00	1,22	0,48	0,66
	Selettivo	SEL	1,70	1,80	1,26	0,29	0,69
	Controllo solare	SC	1,70	1,80	1,44	0,24	0,37

Tab. 1 Tipologie di chiusure trasparenti, suddivise per città e tipologia di vetro

È in questo modo possibile definire il fabbisogno di energia primaria per il raffreddamento (EPC), per il riscaldamento (EPH) e per l'illuminazione (EPILL). Le analisi sono state effettuate tramite il software di simulazione dinamica EnergyPlus 8.1, valutando i livelli di illuminamento all'interno degli ambienti tramite il software LBNL Radiance.

### La descrizione del caso studio

È stato individuato un modulo standard ad uso ufficio in cui i ca-

richi interni elevati e gli apporti solari richiedono la necessità di raffreddare parzialmente l'ambiente anche durante il periodo convenzionalmente attribuito al solo riscaldamento.

L'ambiente di riferimento è riportato in Figura 1 ed è caratterizzato da:

- una pianta rettangolare di 12 m<sup>2</sup> (L= 3m e P= 4m) e un'altezza interna netta H= 3m;
- una chiusura verticale confinante con l'ambiente esterno con caratteristiche variabili in funzione della

latitudine e riassunte in Tabella 1. La chiusura è orientata a SUD.

- una facciata continua avente estensione pari all'intera superficie della chiusura verticale in analisi (80% se si considera la sola parte vetrata).
- Partizioni interne orizzontali e verticali non disperdenti, in quanto in contatto con ambienti riscaldati, ovvero alla stessa temperatura dell'ambiente analizzato.
- Assenza di ostruzioni esterne dovute al contesto.

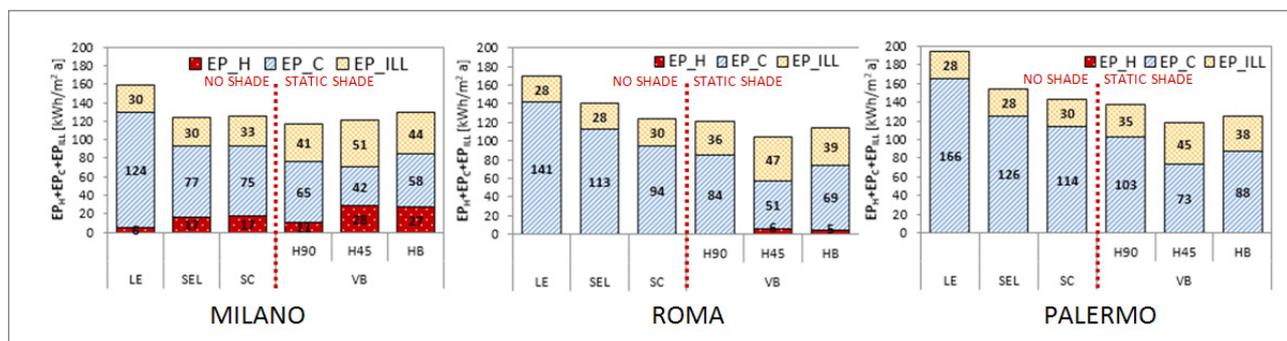


Fig. 2 Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento, il condizionamento e l'illuminazione per il modulo ufficio e per le tre località di riferimento. Individuazione dei casi con senza sistema di schermatura (NO SHADE) e quelli schermati con un sistema a lamelle orizzontali sempre presenti davanti alla chiusura trasparente (STATIC SHADE)

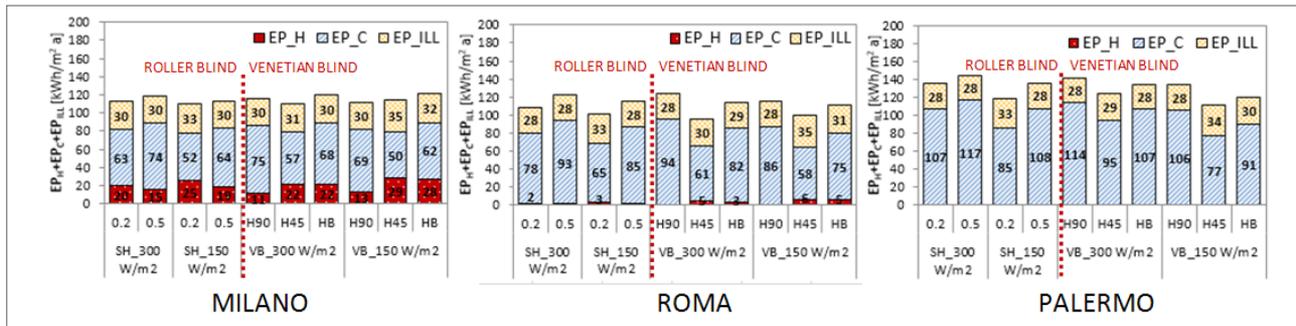


Fig. 3 Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento, il condizionamento e l'illuminazione per il modulo ufficio e per le tre località di riferimento. Individuazione dei casi schermata con un sistema di tenda a rullo mobile (ROLLER BLIND) e quelli schermati con un sistema mobile a lamelle orizzontali (VENETIAN BLIND)

I profili di utilizzo e i settaggi impiantistici sono stati definiti in accordo alla norma UNI EN 15251, la quale ipotizza per una destinazione uso ufficio:

- 20 °C di temperatura dell'aria e 50% di umidità relativa (stagione invernale con set-back pari a 18°); 26 °C di temperatura dell'aria e 50% di umidità relativa (stagione estiva con set-back pari a 30°);
- una ventilazione adeguata a un livello medio previsto di inquinanti e pari a 0,8 vol/h;
- un profilo costante di infiltrazioni pari a 0,1 vol/h.
- dei carichi interni pari a 10 W/m<sup>2</sup> per le apparecchiature installate e 12 W/m<sup>2</sup> per i soli corpi illuminanti (la potenza installata è tale da garantire 500 lux sul piano di lavoro, modulati tramite un controllo continuo del livello di illuminazione);
- 140 W totali di carico sensibile e latente a persona e 1 persona per modulo ufficio;

Il periodo di funzionamento degli impianti di climatizzazione, dell'illuminazione e delle apparecchiature in genere è sovrapponibile agli orari

di presenza delle persone all'interno dell'edificio. Si considera che la giornata lavorativa tipica sia compresa tra le 8:00 e le 18:00 per 5 giorni alla settimana, considerando un'occupazione al 30% per la giornata di sabato e il riposo domenicale.

Il colore e la riflettanza nel campo del visibile delle superfici interne del modulo ufficio influenzano la valutazione delle prestazioni di *daylighting* e, conseguentemente il controllo e l'attivazione dei sistemi d'illuminazione artificiale. Per il caso preso in esame sono stati utilizzati valori di riflettanza come segue:

- $\rho_v$  soffitto = 0,80 (Bianco);
- $\rho_v$  pareti = 0,50 (grigio chiaro, per tenere conto della presenza di mobili, arredi fissi e finiture);
- $\rho_v$  pavimenti = 0,25 (grigio scuro).

Le simulazioni sono state eseguite considerando la presenza di un impianto a tutt'aria, considerando un valore di EER=3 per il raffrescamento, e la presenza di un generatore a gas metano per la produzione dell'energia termica, con efficienza media stagionale pari a 0,85. Il fabbisogno di energia primaria è stato calcolato in funzione dei valori di energia uti-

le stimati, utilizzando come fattori 2,18 per l'energia elettrica e 1 per il metano.

### I principali risultati ottenuti

In seguito si riportano i principali risultati ottenuti, confrontando per ogni casistica analizzata i valori di fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione, l'illuminazione e il riscaldamento. Gli standard di riferimento sono stati considerati appartenenti alla categoria delle chiusure trasparenti senza sistema di schermatura e per cui il controllo degli apporti solari e delle prestazioni luminose è affidato solamente al vetro. Tali casistiche sono: la sola finestra con vetro basso emissivo (LE), la finestra con vetro selettivo (SEL) caratterizzata da una alta  $\tau_{VIS}$  e la finestra con vetro a controllo solare (SC) caratterizzati da una bassa  $\tau_{VIS}$ .

Le successive comparazioni permettono di comprendere quando e per quali condizioni è opportuno usare una schermatura tradizionale accoppiata alla vetratura piuttosto che demandare unicamente alla sola vetratura la modulazione dei segnali energetici e luminosi.

Tra i sistemi tradizionali considerati



**Fig. 4** Palazzo Italia EXPO2015. La seconda pelle in calcestruzzo armato. Ogni pannello è diverso dall'altro per forma e per rapporto di vuoto su pieno (% foratura). Questo è stato possibile grazie alla perfezione e al grado di precisione ottenibile impiegando il cemento biodinamico, unitamente all'impiego di strumenti di progettazione parametrica  
Fonte: G. Maserà



**Fig. 5** Enric Miralles, Benedetta Tagliabue - EMBT, Nuovo Parlamento Scozzese di Edimburgo. Le schermature sono discontinue e costituite da un insieme di elementi tubolari in quercia con passo variabile  
Fonte: G. Maserà



**Fig. 6** Zaha Hadid. Le schermature solari sono costituite da elementi orizzontali in parte a ridosso della superficie vetrata e in parte vincolate alla struttura di facciata ma in aggetto. La variazione di posizionamento e la variazione di forma generano, a parità di orientamento, una variazione di apporti solari gratuiti  
Fonte: G. Maserà



**Fig. 7** Elbphilharmonie di Amburgo, Hergoz & De Meuron. Il vetro è serigrafato e curvato. Le aperture che si generano in corrispondenza della curvatura, implementano il grado di complessità nel calcolo della prestazione  
Fonte: G. Maserà



**Fig. 8** Herzog & De Meuron. Una seconda pelle interna in lastre di rame microforate funge da filtro per la luce. A parità di foratura (vuoto su pieno) la dimensione del foro e il materiale possono incidere sulla prestazione  
Fonte: G. Maserà



**Fig. 9** Padiglione Spagnolo per Expo Shanghai 2010, Enric Miralles, Benedetta Tagliabue - EMBT. In questo progetto la complessità della schermatura solare è evidente: differenti forme anche a doppia curvatura, elementi con differenti giaciture, diverso rapporto vuoto su pieno e differenti forme di campitura  
Fonte: G. Maserà

si riportano le lamelle esterne (VB) con elementi a giacitura orizzontale (H90 e H45) fissi (con inclinazioni di 90° e 45° rispetto al piano di facciata) e orientabili in automatico rispetto alla direzione dalla radiazione solare incidente (HB). Tali sistemi risultano sempre presenti sul lato esterno della chiusura trasparente.

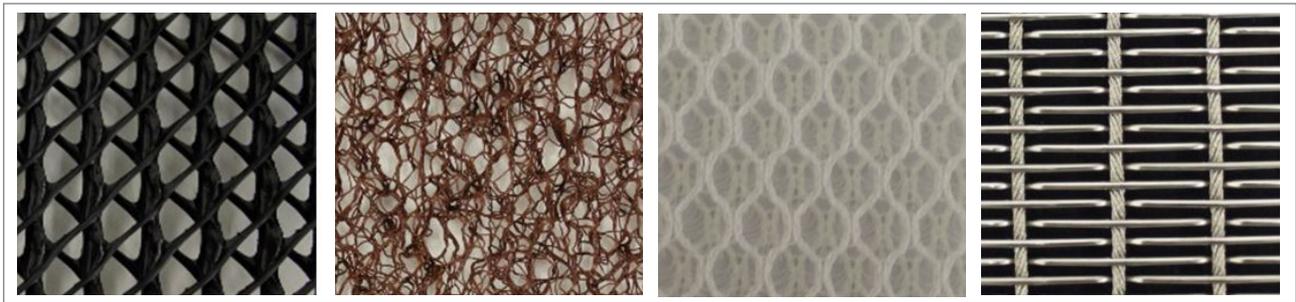
In Figura 3 sono invece presentate tutte le alternative che prevedono l'attivazione o la disattivazione del sistema, ovvero la presenza o meno del sistema di schermatura, in rela-

zione al valore di irradianza solare misurata sul piano di facciata. I valori di attivazione considerati sono pari a 150 e 300 W/m<sup>2</sup>, mentre i sistemi considerati riguardano le tende a rullo esterne (SH) con differenti valori di trasmittanza solare  $\tau_e$  (0,2 e 0,5) e le lamelle orizzontali con tipologie analoghe a quelle del caso precedente (VB).

Dall'analisi dei risultati ottenuti si osserva come, per i casi in cui si abbia una estesa superficie trasparente, sia molto più efficace demandare al sistema di schermatura il controllo

degli apporti solari, piuttosto che affidare al solo vetro il controllo delle prestazioni termiche e luminose.

Un sistema a lamelle inclinate a 45°, a parità di tipologia e soglia di attivazione, è più efficace di una generica schermatura costituita da una tenda a rullo anche se, nel caso della tenda, la variabile discriminante sul comportamento è la sua trasmittanza solare ( $\tau_s$ ). Prestazioni migliori si hanno per valori di trasmittanza solare bassi (predominanza controllo apporti). In generale, e per superficie estese, un sistema statico è efficace ed



**Fig. 10** Geometrie tridimensionali complesse con possibili applicazione in edilizia. Da sinistra verso destra: superficie multidirezionale in polietilene, geotessile, tessuto 3D e tessuto metallico  
 Fonte: T. Poli, A.G. Mainini et al.

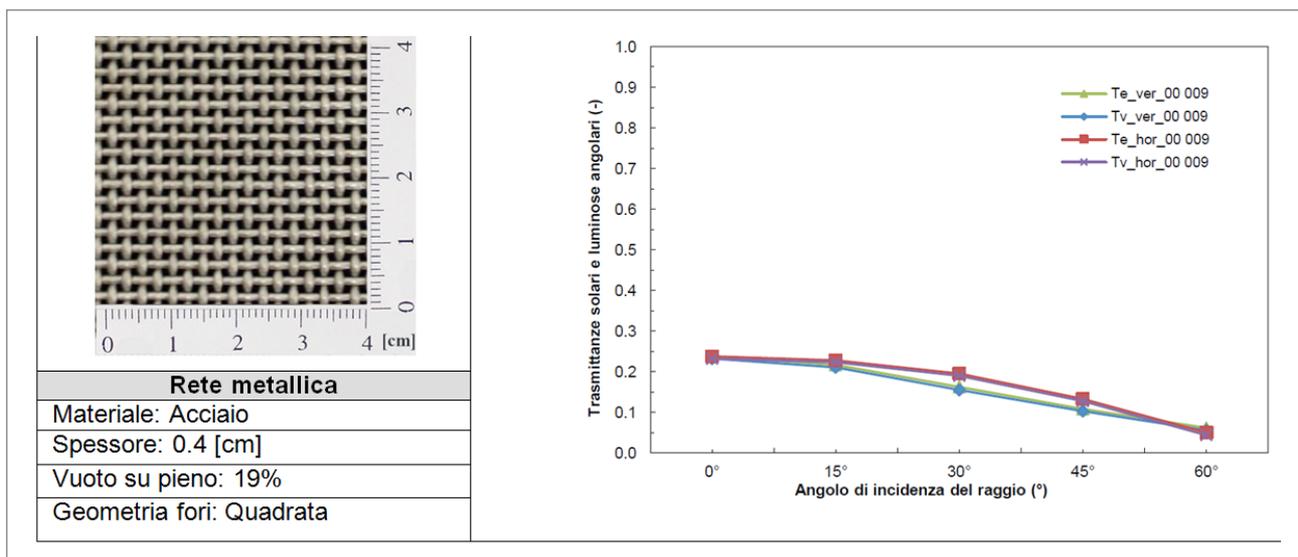
è riscontrabile una variabilità di prestazione anche per tipologie di sistemi o strategie di attivazione assimilabili. La latitudine incide sul fabbisogno totale sia per la radiazione incidente, sia per la temperatura dell'aria esterna. Infatti, minore è la latitudine e maggiore risulta il fabbisogno totale di energia primaria.

Se consideriamo i sistemi fissi costituiti da lamelle orientate a 45° e le

tende con trasmittanza pari a 0,2 con attivazione per irradianza pari a 300 W/m<sub>2</sub>, si può osservare un comportamento analogo sia per Milano che per Roma.

La grossa penalizzazione dei sistemi statici riguarda la loro, in questo caso modesta, inefficacia nel gestire gli apporti solari durante il periodo invernale determinando un incremento del fabbisogno di riscaldamento e la costante penalizzazione

della disponibilità di luce naturale. Tale fenomeno è maggiormente riscontrabile per Milano, in cui il fabbisogno annuale per riscaldamento non è di norma trascurabile. A causa della generica disponibilità inferiore di luce naturale a causa della differente latitudine, è evidente un valore di fabbisogno di energia primaria per l'illuminazione superiore rispetto alle casistiche caratterizzate da una schermatura solare mobile.



**Fig. 11** Variazione della trasmissione solare e visibile di un campione di rete metallica in acciaio in funzione dell'angolo di incidenza della radiazione sul campione stesso (0° rappresenta l'incidenza normale al piano della rete ed è assimilabile al valore di V/P)

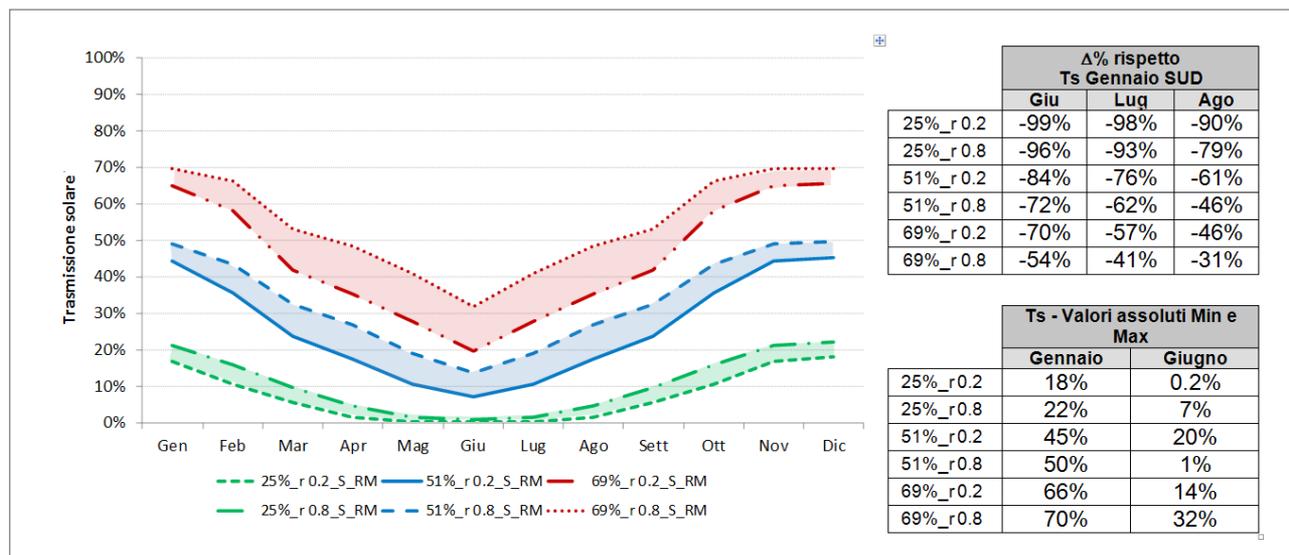


Fig. 12 Roma SUD - Trasmissione solare  $\tau_g$  in funzione di V/P e  $\rho_g$  dei materiali

## Le richieste dell'architettura contemporanea

Le soluzioni più ricercate e interessanti e nello stesso tempo più complicate da modellare in termini energetici e luminosi (perché mancano i dati riguardanti le proprietà radiative del prodotto costituente il sistema o perché la miniaturizzazione della geometria rende la modellazione onerosa in termini di tempo) sono attualmente riscontrabili negli edifici connotati da involucro trasparente (Figure 4, 5, 6, 7, 8, 9). Qui la facciata diviene il luogo della sperimentazione. Gli strumenti di progettazione parametrica (che permettono di gestire sia la forma che la prestazione energetica e luminosa unitamente ai limiti di resistenza meccanica e ai limiti legati ai processi produttivi) e i nuovi materiali hanno dato l'impulso alla sperimentazione per le schermature solari che non sono più un semplice elemento da applicare e da scegliere a catalogo, ma diventano l'elemento dominante della facciata.

Tante forme e tanti materiali rendono particolarmente complessa la definizione della prestazione del sistema schermante.

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.

## Le prestazioni dei sistemi schermanti alternativi

Anche quando le forme sono più lineari o quando si ricorre all'uso di elementi bidimensionali come il tessuto e/o le reti o maglie metalliche, a parità di percentuale di vuoto su pieno, la consistenza materica e il dimensionamento dei fori può incidere sulla prestazione. Sui materiali la sperimentazione riguarda prevalentemente i trattamenti superficiali. L'inedito o l'inusuale è frutto del trasferimento di prodotti e materiali messi a punti in altri settori industriali, di cui si

riportano alcuni esempi nelle immagini della Figura 10 per cui gli autori hanno già svolto delle analisi sistematiche.

Ogni qual volta il progettista si scontra con la scelta di un materiale che verrà applicato con finalità differenti rispetto a quelle per cui è stato concepito è di primaria importanza come il materiale sia in grado di rispondere efficacemente alle richieste normative in merito alle differenti prestazioni da garantire anche per la sua nuova applicazione (in particolare: resistenza meccanica, sicurezza d'uso e manutenzione, resistenza al fuoco ecc.). Tralasciando per il momento questi aspetti di non secondaria importanza, ma che al contrario permettono la reale attuazione del processo di trasferimento tecnologico, è utile per le nostre finalità soffermarsi sulla sola previsione del comportamento ottico ed energetico. L'efficacia delle superfici semi-trasparenti, che normalmente vengono applicate in edilizia come sistema di schermatura/protezione

solare, viene comunemente espressa tramite l'individuazione del rapporto vuoto su pieno (V/P), che identifica qualitativamente la "trasparenza" del sistema. Questa approssimazione può essere valida solo nel caso in cui l'osservatore consideri la sola incidenza della radiazione normale al campione.

Come è possibile apprezzare in Figura 11 e considerando uno dei più semplici sistemi di schermatura, ovvero una rete metallica a maglia quadrata, se si varia l'angolo di incidenza della radiazione la trasmittanza solare ( $\tau_c$ ) e visibile ( $\tau_v$ ) tende a decrescere a causa del mutuo ombreggiamento dei fili che costituiscono la trama e l'ordito del tessuto metallico.

Costruendo un modello geometrico del campione è possibile valutare, in condizioni di reale applicazione, il comportamento del medesimo sistema in funzione di una collocazione in ambiente simulato. Se ad esempio consideriamo un modello di rete metallica posto verticalmente, con orientamento Sud ed esposto alla radiazione solare per la latitudine di Roma otteniamo delle bande di trasmissione solare ( $\tau_c$ ) in funzione

della percentuale di V/P caratteristica di ogni singolo sistema. L'ampiezza della banda evidenziata è regolata dalla variazione di riflettanza solare ( $\rho_s$ ) ipotizzata per i sistemi.

Dal grafico in Figura 12 è possibile notare come, in realtà, il valore di V/P non dia quindi delle informazioni significative in merito al reale comportamento del sistema durante l'anno. Si nota, infatti, che il valore di V/P è per tutti i sistemi analogo al valore di  $\tau_c$  diretta modellata per i soli mesi di dicembre e gennaio. Maggiori scostamenti si riscontrano solo nel caso in cui vengano considerate tele con un rapporto V/P molto basso. Allo stesso modo, per questi sistemi, ovvero quelli con V/P pari al 25% si nota come la riflettanza dei materiali giochi un ruolo marginale nella modifica delle prestazioni del sistema, seppur incida maggiormente nei mesi invernali rispetto a quelli estivi. Le due curve in verde, infatti, sono molto vicine tra loro, fin quasi a sovrapporsi durante i mesi estivi. Tale fenomeno non si manifesta per percentuali superiori di V/P. Nei mesi compresi tra aprile e settembre, ad esempio, lo scostamento tra le due curve in rosso, rappresentative

del sistema con V/P pari al 69%, è il doppio rispetto a quello ottenuto per i mesi invernali. Questo comportamento ci suggerisce come possa essere una migliore soluzione utilizzare dei sistemi a riflettanza solare medio-bassa in quanto in grado di controllare in maniera più efficace gli apporti solari estivi, senza penalizzare eccessivamente lo sfruttamento invernale della radiazione solare. Il progettista dovrà poi valutare l'incidenza di questa variazione di riflettanza sulla temperatura superficiale del sistema.

Le tabelle accanto al grafico in Figura 12 mostrano la differenza % tra i valori di  $\tau_c$  ottenuti per il mese di gennaio, orientamento SUD, rispetto a quelli che si ottengono per le altre combinazioni nei mesi di giugno, luglio e agosto. La differenza riportata è molto significativa per valori di V/P pari al 25%. In questi casi la differenza rispetto al periodo invernale si assesta intorno al 90%. Per tutti gli altri rapporti geometrici questa differenza è minore, ma non risulta mai inferiore al 30%. Ulteriori differenze apprezzabili possono essere imputate a una variazione di riflettanza.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] G. F. Menzies e J. R. Wherrett, «Windows in the workplace: examining issues of environmental sustainability and occupant comfort in the selection of multi-glazed windows», *Energy and Building*, vol. 37, n. 6, 2005
- [2] A. I. Palmero-Marrero e A. C. Oliveira, «Effect of louver shading devices on building energy requirements», *Applied Energy*, vol. 87, n. 6, pp. 2040-2049, 2010
- [3] A. Tzempelikosa e A. K. Athienitisa, «The impact of shading design and control on building cooling and lighting demand,» *Solar Energy*, vol. 81, n. 3, pp. 369-382, 2007
- [4] E. S. Lee, D. L. Di Bartolomeo e S. E. Selkowitz, «Thermal and daylighting performance of an automated Venetian blind and lighting system in a full-scale private office», *Energy and Buildings*, vol. 29, pp. 47-63, 1998.
- [5] L. Heschong, «Daylighting and human performance», *ASHRAE Journal*, vol. 44, n. 8, pp. 65-67, 2002
- [14] A. G. Mainini, D. Bonato, T. Poli, 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
- [5] A. G. Mainini, T. Poli, M. Zinzi, A. Speroni, «Spectral Light Transmission Measure of Metal Screens for Glass Façades and Assessment of their Shading Potential», *Energy Procedia*, Vol 48, 2014
- [7] A.G. Mainini, T. Poli, M. Zinzi, A. Speroni, «Metal Mesh as Shading Devices and Thermal Response of an Office Building: Parametric Analysis», *Energy Procedia*, Vol 78, pp 103-109, 2015