

Le prestazioni dei sistemi schermanti

Andrea Giovanni Mainini, Politecnico di Milano

1 Introduzione

Le parti trasparenti dell'involucro edilizio permettono di modulare il flusso energetico e luminoso. Il grado di controllo dipende dall'adattabilità del sistema vetratura unitamente alla protezione solare. L'approccio al progetto del sistema è generalmente di tipo integrato: la scelta delle proprietà ottico-radiative e termiche della parte trasparente (vetratura + telaio + schermatura) viene governata simultaneamente e dipende nella maggior parte dei casi dalla rispondenza a vincoli legislativi e normativi (D.Lgs. 311-2006, UNI TS 11300).

La caratterizzazione della prestazione dei sistemi di controllo solare tradizionali è ampiamente trattato in letteratura. Sui sistemi come le lamelle, le veneziane, le tende, molto è stato scritto in merito al contributo nella riduzione del fabbisogno energetico di organismi edilizi [1][2][3][4][5][6].

Quello che però accade è che la prestazione viene definita a progetto avanzato e per la configurazione data. Tale approccio può essere applicato nel caso in cui il controllo dei flussi energetici e luminosi viene demandato unicamente alla vetratura; in questo caso l'ottimizzazione della prestazione energetica richiede, in fase di modellazione, la sostituzione di alcune specifiche di prestazione (U_w , g , τ_v).

Nel caso, invece, in cui la vetratura risulti accoppiata a un sistema di controllo solare, le variabili in gioco e la complessità nella fase di valutazione della prestazione cambiano. La scelta di un sistema di controllo solare non può prescindere dalla conoscenza del suo profilo prestazionale effettivo al variare dell'orientamento e della latitudine e di alcuni parametri fisici e geometrici nelle fasi preliminari.

2 Definizione dei "tipi" di protezione solare

I sistemi di schermatura e protezione solare più diffusi in edilizia prevedono l'utilizzo di sistemi schermanti a lamelle, veneziane e tende con giacitura prevalentemente parallela al piano di facciata e posizionate, con differente efficacia schermante, sul lato interno esterno o intermedio del serramento.

In generale gli indicatori che incidono sulla prestazione del sistema sono:

- per le tende
 - grammatura;
 - trasmittanza visibile τ_v e trasmittanza solare τ_e ;
 - Riflettanza visibile ρ_v e solare ρ_e
- per le lamelle e le veneziane
 - geometria;
 - rapporto H/L (ovvero le dimensioni caratteristiche del rettangolo in cui può essere inscritta la geometria dell'elemento schermante);
 - rapporto L/I (ovvero il rapporto tra la larghezza dell'elemento - H/L- e il passo tra i diversi elementi schermanti);
 - riflettanza visibile ρ_v e solare ρ_e delle superficie;

Per quanto riguarda i sistemi a tenda a rullo, si considerano significativi valori di τ_v e la τ_e in un intervallo compreso tra il 15% e il 30% e la ρ_v e la ρ_e tra il 20% e il 60%;

Per quanto riguarda i sistemi a lamelle e veneziane, a causa del considerevole numero di combinazioni possibili per la definizione del sistema è stata condotta un'analisi per evidenziare la soluzione "tipo" a partire dall'analisi delle tipologie di sistema attualmente più comuni presenti sul mercato. Tale analisi ha permesso di definire i parametri geometrici e materici di caratterizzazione dei differenti sistemi di schermatura e di pesarne la distribuzione statistica. Complessivamente sono stati analizzati 207 prodotti.

Soffermandosi ad analizzare nel dettaglio le caratteristiche dei sistemi a veneziane e lamelle è emerso quanto segue:

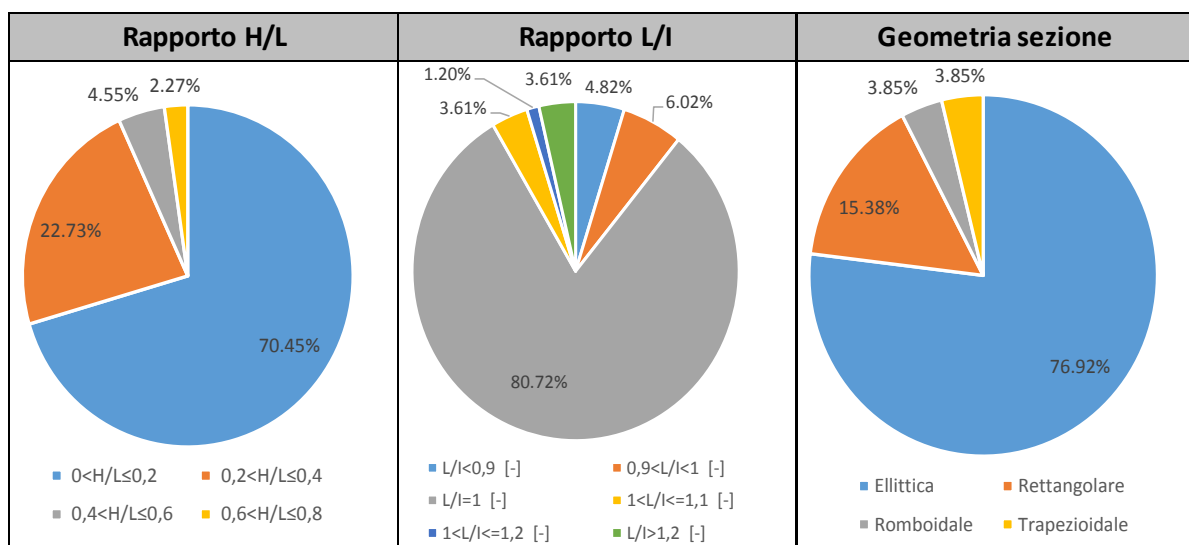


Fig. 1 - Rapporto H/L, Rapporto L/I e geometria della sezione per le schermature a lamelle e veneziane

Dall'analisi dei grafici (Fig. 1) si evince che le caratteristiche più diffuse per tali sistemi di schermatura sono:

- rapporto $0 < H/L < 0,2$;
- rapporto $L/I = 1$;
- geometria della sezione ellittica.

L' emissività (ϵ) e la riflettanza visibile solare lamelle e veneziane influiscono sulla prestazioni dei sistemi. Anche in questo caso la scelta del sistema tipo da analizzare è stata effettuando una serie di misure in laboratorio per la determinazione delle curve di ρ spettrale (per le lunghezze d'onda da 250 a 2500 nm) di riferimento. Tali misure sono state effettuate con uno spettrofotometro Perkin Elmer LAMBDA 950 e calcolate secondo ISO 9050 (air mass 1.5), relative ai campioni in Fig. 2 (rispettivamente lamiera zincata pre-patinata e lamiera zincata lucidata) utilizzate per determinare una curva media necessaria per calcolare i valori integrali di ρ ($\rho_{s,med}=0,496$, $\rho_{uv,med}=0,418$, $\rho_{v,med}=0,490$, $\rho_{nir,med}=0,510$).

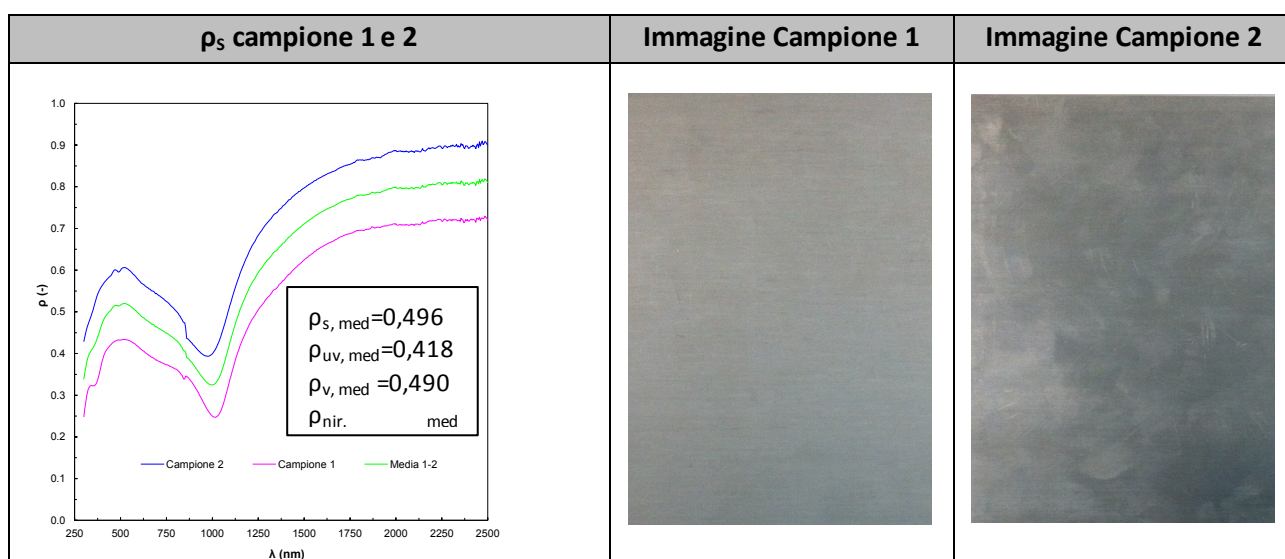


Fig.2 - ρ_s campione 1 e 2, immagine campione 1 e immagine campione 2. Le misure sono state effettuate presso il Politecnico di Milano, Dipartimento ABC - SeedLab

3 Efficienza energetica delle protezioni solari: analisi di un modulo ufficio standard

La qualità e l'efficacia energetica dell'involucro nel periodo estivo vengono definite in funzione del fabbisogno di energia utile, valutato considerando i profili di utilizzo, gli apporti e le dispersioni (sensibili e latenti), così come il mantenimento delle condizioni di comfort. Tale valore deve essere necessariamente riportato a energia primaria, tramite l'utilizzo di una soluzione impiantistica convenzionale, per confrontare il fabbisogno di energia primaria. Nelle analisi seguenti verranno valutati i fabbisogni di energia primaria per la climatizzazione (EP_C) e il fabbisogno di energia primaria per l'illuminazione (EP_{ILL}), dato che per il modello scelto e per le condizioni ambientali valutate rappresentano i le variabili di fabbisogno maggiormente significative. Quando ci si riferirà al fabbisogno totale di energia primaria questo sarà espresso come $EP_{ILL}+EP_C$ valutato annualmente ed espresso in kWh/m^2 anno. 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.

3.1 Il caso studio

In relazione alle premesse delineate è stato selezionato un modulo standard ad uso ufficio in cui i carichi interni elevati e gli apporti solari richiedono la necessità di climatizzare anche al di fuori del periodo classico di climatizzazione.

Tale ambiente (in riferimento alla Fig. 3) è caratterizzato da:

- una pianta rettangolare $L \times P=3 \times 4$ m e un'altezza $H=3$ m (misure interne nette);
- un'unica chiusura verticale confinante con l'ambiente esterno (in cui, a seconda del caso in analisi, sarà variato il rapporto tra superficie opaca e superficie trasparente) e avente trasmittanza pari a $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ (spessore 34 cm);
- tre partizioni verticali confinanti con altri ambienti riscaldati (non disperdenti).
- due partizioni orizzontali confinanti con ambienti riscaldati (non disperdenti).

Nessuna ostruzione esterna modifica il contributo degli apporti solari.

3.2 La dimensione della parte trasparente

Per determinare l'impatto dei differenti sistemi di schermatura solare, per le chiusure trasparenti, sul fabbisogno energetico dell'ambiente in analisi si sono selezionate tre differenti percentuali di WWR (ovvero Window to Wall Ratio), descritte nel dettaglio dei componenti in Tab. 1:

- $1/8$ dell'area del pavimento che corrisponde al 17% della superficie della chiusura verticale (13% se si considera la sola parte vetrata);
- finestra a nastro [7] avente area lorda pari al 33% della chiusura verticale (26% se si considera la sola parte vetrata);
- facciata continua avente estensione pari all'intera superficie della chiusura verticale in analisi (80% se si considera la sola parte vetrata).

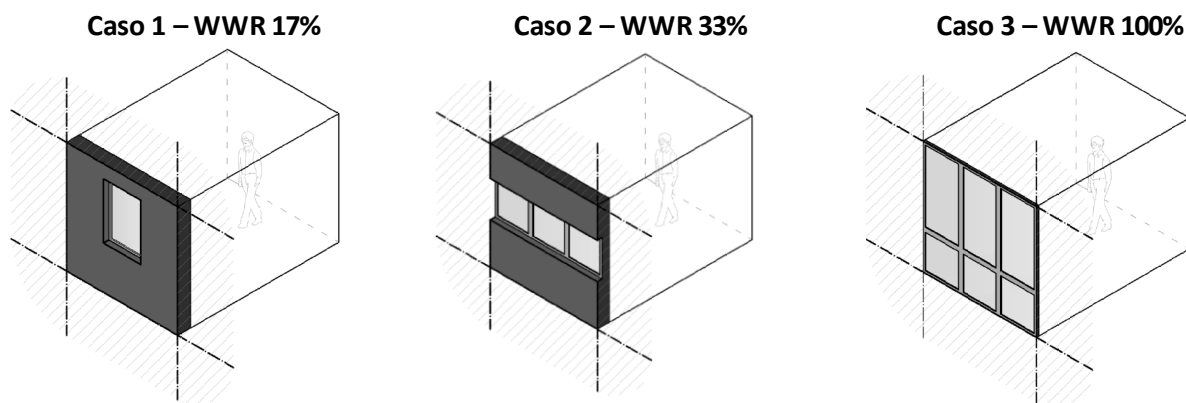


Fig.3 - Geometria degli ambienti tipo di riferimento.

Città	WWR	Tipologia vetro	Sigla	U_w	U_f	U_g	g	τ_v
				[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[-]	[%]
Roma	17%	Basso emissivo	LE	2.00	3.00	1.95	0.54	0.71
		Selettivo	SEL	2.00	3.00	1.97	0.32	0.58
		Controllo solare	SC	2.00	3.00	1.79	0.31	0.38
	33%	Basso emissivo	LE	2.00	3.00	1.95	0.54	0.71
		Selettivo	SC	2.00	2.60	1.97	0.32	0.58
		Controllo solare	SC	2.00	2.60	1.79	0.31	0.38
	100%	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

Tab. 1 - Caratteristiche tecniche delle chiusure verticali trasparenti. Nel dettaglio sono: U_w (trasmissione termica della chiusura verticale trasparente), U_g (trasmissione termica della parte vetrata), g (fattore solare), τ_v (trasmissione visibile), U_f (trasmissione termica telaio), ψ_g (trasmissione termica lineare dovuta agli effetti della vetrata, del distanziatore e del telaio).

3.3 Le variabili ambientali

Le variabili ambientali sono state definite secondo la norma UNI EN 15251 [8], la quale delinea temperature e umidità relativa di set-point in funzione del periodo e della destinazione d'uso. Nel caso analizzato, essendo a uso ufficio si hanno:

- 20°C di temperatura dell'aria e 50% di umidità per l'inverno; e
- 26°C di temperature dell'aria e 50% di umidità per l'estate.

Le condizioni di temperatura e umidità definite dalla norma sono mantenute nella fascia oraria lavorativa tipica secondo uno scheduling che prevede il funzionamento e la modulazione dei carichi ideali nell'orario compreso tra le 8:00 e le 18:00 per tutti i giorni lavorativi, ovvero da Lunedì a Venerdì.

Nella giornata di sabato si prevede una riduzione pari al 30% dell'attività lavorativa.

Nei giorni festivi e nei periodi di attivazione la temperatura e dell'aria possono raggiungere un minimo di 18°C in inverno e un massimo di 30°C in estate, prima che un controllo di backup entri in funzione.

Il profilo di attivazione dell'impianto ideale che garantisce le condizioni di comfort è lo stesso considerato per la gestione della ventilazione, per la presenza di persone e per la gestione dei carichi interni (illuminazione e apparecchiature).

La quantificazione dei carichi interni è stata così definita:

- 10 W/m² per le apparecchiature installate;

- 140 W a persona (sensibile + latente) e 1 persona per modulo ufficio;
- 12 W/m² per la presenza di corpi illuminanti.

La potenza installata è sufficiente a garantire un illuminamento medio sul piano di lavoro pari a 500 lux e corrisponde all'equivalente di 4 plafoniere al neon da 36 Watt.

La ventilazione minima da garantire è stata definita in funzione dell'occupazione e della destinazione d'uso. A tale proposito sono stati previsti:

- I volumi di ventilazione in accordo con la norma [8], per la destinazione d'uso considerata e con un livello medio previsto d'inquinanti;
- un profilo costante di infiltrazioni pari a 0.1 vol/h.

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:

- ρ_v soffitto = 0.80
- ρ_v pareti = 0.50
- ρ_v pavimenti = 0.25

Il controllo dell'illuminazione all'interno degli ambienti avviene in continuo per garantire le condizioni di illuminamento pari a 500 lux sul piano di lavoro, per tutta la giornata lavorativa.

Le simulazioni sono state eseguite considerando la presenza di un impianto a tutt'aria per il raffrescamento con EER di 3. Il fabbisogno di energia primaria è stato calcolato in funzione dei valori di energia finale stimati, utilizzando come fattori 2.18 per l'energia elettrica

3.4 Efficacia dei sistemi di protezione solare al variare della superficie lorda trasparente

Ad una prima analisi di tipo generale segue, con i grafici successivi, un'analisi dettagliata per tipologie di sistema schermante. L'efficacia dei sistemi schermanti è stata valutata per i tre ambienti di riferimento tipo, con differenti WWR per orientamento SUD e per le latitudini di Roma, confrontando i risultati ottenuti per Milano, e Palermo nel caso di facciata continua con WWR 100%.

La prima comparazione e valutazione di efficacia rispetto al fabbisogno di energia primaria (condizionamento + illuminazione) riguarda i sistemi di controllo solare tradizionali che risultano essere in generale i sistemi più efficaci. Tale efficacia è imputabile al fatto che sono sistemi dinamici. Questi sistemi sono sempre comparati a tre casi di riferimento: la sola finestra con vetro basso emissivo (LE), la finestra con vetro selettivo (SEL) caratterizzati da una alta τ_{VIS} e la finestra con vetro a controllo solare (SC) caratterizzati da una bassa τ_{VIS} . Tale comparazione permette di definire *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.

I sistemi tradizionali considerati sono le lamelle esterne (VB) con elementi a giacitura orizzontale (H) e verticale (V) fissi (inclinazioni di 90° e 45° rispetto al piano di facciata), oppure orientabili (inclinazioni di 90° e 45° con strategie di attivazione dipendenti dalla irradiazione con set-point di attivazione pari a 150 e 300 W/m²) e le tende a rullo esterne (SH) che mantengono le stesse strategie di attivazione delle lamelle. Nel caso dei sistemi a tenda, la variabile discriminante sul comportamento è la trasmittanza solare (τ_c), pari a 0.2 o a 0.5. I risultati riportati nella Fig. 4 seguente fanno riferimento ad un orientamento (SUD) e località (Roma) specifici.

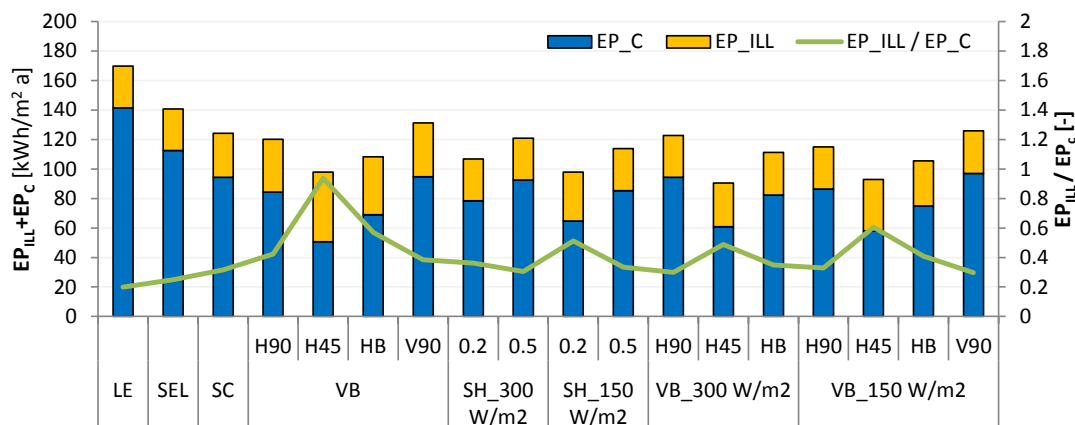


Fig. 4- WWR 100%, orientamento SUD, Roma.

Per $WWR \geq 33\%$, il primo obiettivo è la riduzione degli apporti solari gratuiti. La sola vetratura non è sufficiente ed è necessaria l'adozione di un sistema schermante.

Nel caso di facciate continue (WWR pari a 100%) il sistema più efficace è rappresentato da un sistema dinamico costituito da lamelle. Quello che però si può osservare è che per orientamento SUD, un sistema statico con lamelle orizzontali orientate a 45°, può essere impiegato.

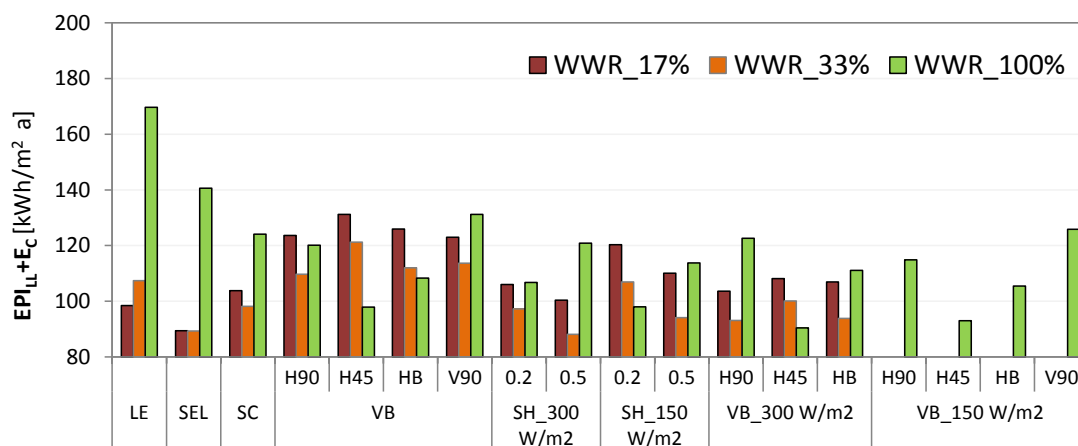


Fig. 5 - Comparazione efficacia sistemi schermanti in funzione di WWR, orientamento SUD, Roma. Il controllo a 150 W/m² per la tipologia VB è stata effettuata solo per i casi con WWR pari al 100%

Nel caso di superficie trasparente prossime a WWR pari a 33%, i sistemi più efficaci sono quelli dinamici e il set-point di attivazione più efficace è strettamente correlato alla tipologia di sistema schermante (caratterizzato da differenti rapporti Vuoto/Pieno, differenti proprietà ottiche degli elementi e da diversi modelli di funzionamento –on-off o singoli elementi orientabili).

Per WWR inferiore a 33% la vetratura selettiva (SC) è la più efficace. Ciò significa che l'uso delle protezioni solari dipende dal rapporto WWR e non da un generico set-point di attivazione legato alla irradiazione; per superfici finestate di modeste o medie dimensioni quindi la disponibilità di luce naturale ha un peso maggiore rispetto al controllo degli apporti solari gratuiti. L'eventuale fenomeno di abbagliamento (diretto o riflesso) può essere controllato mediante un sistema di tende interno. Inoltre è da sottolineare che per $WWR \leq 33\%$ tutti i sistemi considerati hanno un fabbisogno per condizionamento assimilabile (indipendentemente dalla tipologia, dal modello di funzionamento –statico o dinamico- e dalla strategia di attivazione nel caso dinamico). I sistemi dinamici permettono, invece, una riduzione del fabbisogno per illuminazione. Il set-point ottimizzato di attivazione è pari a 300 W/m². L'attivazione per valori inferiori

porta benefici minimi sul consumo per condizionamento mentre riduce il livello d'illuminamento in ambiente con conseguente incremento del consumo per illuminazione.

In generale i sistemi più performanti sono quelli che garantiscono il minor fabbisogno di energia primaria per condizionamento. Nel caso di tende (SH), è interessante notare come, per WWR pari a 100% le prestazioni migliori si abbiano per valori di trasmittanza solare bassi (predominanza controllo apporti) mentre per $WWR \leq 33\%$, la prestazione migliore si ottiene per valori di trasmittanza solare alti (predominanza controllo flusso luminoso). In **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, dove viene comparata l'efficacia del sistema al variare della superficie trasparente, risulta evidente come:

- un sistema statico è efficace solo per superfici trasparenti estese;
- il demandare il controllo del flusso termico ed energetico alla sola vetratura per sistemi di facciata continua non è la soluzione più efficace;
- le superfici trasparenti minime (17%), se accompagnate da una schermatura, hanno un fabbisogno totale maggiore rispetto a soluzioni di facciate continue accoppiate ad una schermatura esterna;
- il rapporto WWR ottimale per l'orientamento SUD è prossimo al 33%;
- per WWR pari a 17% e 33% è possibile definire un andamento assimilabile con una maggiore con un fabbisogno di energia primaria inferiore per WWR 33% mentre per WWR pari a 100% è riscontrabile una variabilità di prestazione anche per tipologie di sistemi o strategie di attivazione assimilabili.

A completamento dell'analisi, per WWR pari a 100%, l'efficienza dei sistemi schermanti tradizionali in termini di energia primaria totale per illuminazione e climatizzazione ($EP_{ILL} + EP_C$) viene valutata per tre località: Milano, Roma e Palermo (Fig.).

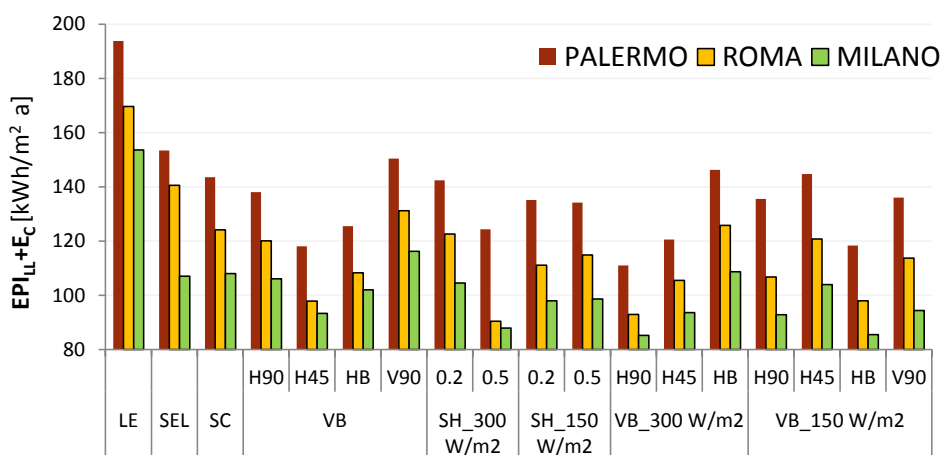


Fig. 6 - Comparazione efficacia dei sistemi schermanti per Milano, Roma e Palermo, WWR 100% e orientamento SUD.

- In generale la latitudine incide sul fabbisogno totale (maggiore è la latitudine e maggiore risulta il fabbisogno totale di energia primaria), sia per la radiazione incidente, sia per la temperatura dell'aria esterna.
- Per sistemi fissi costituiti da lamelle orientate a 45° e per tende con trasmittanza pari a 0.2 con attivazione per irradianza pari a 300 W/m², si può osservare un comportamento analogo per Milano e Roma.

4 Ringraziamenti

Il presente lavoro rientra nell'ambito dell'Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA - Report Ricerca di Sistema Elettrico, T. Poli, A. G. Mainini, R. Paolini, A. Speroni, M. Zinzi, Politecnico di Milano – Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle costruzioni e Ambiente costruito – Architecture, Built environment and Construction engineering Dept. – ABC, 2014, *Valutazione parametrica delle prestazioni dell'involucro edilizio semitrasparente nel contesto italiano*

5 Bibliografia

- [1] M.-C. Dubois and Å. Blomsterberg, "Energy saving potential and strategies for electric lighting in future North European, low energy office buildings: A literature review," *Energy Build.*, vol. 43, no. 10, pp. 2572–2582, Oct. 2011.
- [2] A. Tzempelikos and A. K. Athienitis, "The effect of shading design and control on building cooling demand," no. May, pp. 953–958, 2005.
- [3] M. Dubois, "Solar Shading and Building Energy Use," *Lund Univ.*, pp. 1–118, 1997.
- [4] A. Atzeri, F. Cappelletti, and A. Gasparella, "Internal Versus External Shading Devices Performance in Office Buildings," *Energy Procedia*, vol. 45, pp. 463–472, 2014.
- [5] M.-C. Dubois, "Shading devices and daylight quality: an evaluation based on simple performance indicators," *Light. Res. Technol.*, vol. 35, no. 1, pp. 61–76, Mar. 2003.
- [6] A. I. Palmero-Marrero and A. C. Oliveira, "Effect of louver shading devices on building energy requirements," *Appl. Energy*, vol. 87, pp. 2040–2049, 2010.
- [7] M. Citterio, "Analisi statistica sul parco edilizio non residenziale e sviluppo di modelli di calcolo semplificati," 2009.
- [8] UNI EN 15251 Criteri per la progettazione dell'ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica