

Capitolo 2. La radiazione solare e il bilancio energetico di un edificio

Capitolo 4. La valutazione delle prestazioni energetiche degli schermi solari in relazione

Original

Capitolo 2. La radiazione solare e il bilancio energetico di un edificio Capitolo 4. La valutazione delle prestazioni energetiche degli schermi solari in relazione all'edificio Appendice A. Determinazione delle componenti dell'irradiazione solare (CD) Appendice D. Quadro legislativo e normativo (CD) / Cavaglià, G.; Mutani, Guglielmina; Raimondo, Luca; Curti, Corrado; Bertorello, ANNA RITA; Devecchi, Marco; Larcher, Federica; C., Massaia. - STAMPA. - (2014), pp. 1-175.

Availability:

This version is available at: 11583/2567936 since:

Publisher:

EdicomEdizioni

Published

DOI:

Terms of use:

openAccess

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

La presente pubblicazione invita a riflettere in merito al ruolo delle schermature solari nell'architettura contemporanea attraverso l'esperienza di un gruppo di docenti e professionisti. I diversi contributi supportano il lettore nella scelta, nella progettazione e nella valutazione delle prestazioni dei sistemi di schermatura solare, rispondendo così alle esigenze di confort e alle prescrizioni contenute nelle più recenti leggi in materia di contenimento energetico degli edifici. Arricchisce l'opera un'ampia rassegna di schede, che riporta il panorama delle soluzioni tecnologiche più diffuse. A partire da una analisi climatica di sito e con dettaglio differente in relazione alla scala di approfondimento, il progettista deve valutare gli effetti della radiazione solare che attraverso l'involucro edilizio e scegliere la soluzione tecnologica per il sistema di schermatura.

L'edificio ad alta efficienza energetica è infatti un edificio che minimizza nell'arco dell'anno i fabbisogni di energia per gli usi termici (riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria) ed elettrici. Attraverso le prestazioni dell'involucro edilizio vengono infatti controllati gli scambi di calore (tra ambiente interno ed esterno. Progettare l'involucro edilizio significa, pertanto, progettare le dispersioni di calore, gli apporti solari gratuiti e la luce naturale che entra in ambiente. In tale contesto, una corretta progettazione del sistema schermante diventa fondamentale per garantire prestazioni di eccellenza sia in termini di efficienza energetica che di comfort dell'edificio.

Luca Raimondo

Architetto libero professionista, si occupa di progettazione, valutazione e certificazione di edifici eco-compatibili, e diagnosi di edifici esistenti per le tematiche energetico-ambientali e le problematiche legate a fenomeni di carattere termometrico dell'involucro. Svolge l'attività di certificatore energetico in Lombardia, Piemonte, Liguria, Valle d'Aosta ed Emilia Romagna. È docente esterno presso il Corso di Laurea Magistrale in Architettura per il Progetto Sostenibile del Politecnico di Torino, coordinatore di corsi di formazione professionale. Dal 2012 è referente territoriale di Piemonte e Valle d'Aosta per la rivista AZERO.

a cura di LUCA RAIMONDO

SISTEMI DI SCHERMATURA PER IL CONTROLLO SOLARE



Euro 20,00

ISBN 978-88-96386-37-8



9 788896 386378

a cura di LUCA RAIMONDO

SISTEMI DI SCHERMATURA PER IL CONTROLLO SOLARE

presentazione di GIANFRANCO CAVAGLIÀ

/architettura sostenibile/ quaderni/



EdicomEdizioni

a cura di Luca Raimondo

SISTEMI DI SCHERMATURA PER IL CONTROLLO SOLARE

Presentazione di
Gianfranco Cavaglia

EdicomEdizioni
/ architettura sostenibile / quaderni /

EdicomEdizioni
Montalcone (Gorizia)
tel. 0481/484488
fax 0481/485721
e-mail: info@edicomedizioni.com
www.edicomedizioni.com

I testi e le foto sono stati forniti dagli autori

© Copyright EdicomEdizioni

Vieta la riproduzione anche parziale
di testi, disegni e foto se non
espressamente autorizzata.

Tutti i diritti sono riservati
a norma di legge e delle
convenzioni internazionali.

ISBN 978-88-96386-37-8

Questo libro è stampato interamente su carta riciclata

Stampa Litogi Milano
Luglio 2014

scala diversa. L'equivoco è incrementato dalle immagini di finiture tecnologiche che le soluzioni trasmettono e da un conseguente allontanamento della realtà. Ancora Virilio ben descrive dicendo che si allontanano dalla realtà in "una condizione di incertezza in rapporto a ciò che esiste in atto, e ciò che è virtuale".



Figura 17. L'identità architettonica si sposta verso quella urbana (Berlino, 2012). Foto: Anna Rita Bertorello.

1.10. Per il progetto di nuovi schermi

Queste documentazioni esplicitano, per opposizione, le priorità che si vogliono trasmettere:

- priorità della funzione abitativa, anche per le destinazioni terziarie
- priorità dell'utente: non si può accettare l'arroganza di limitare il rapporto visuale con l'esterno
- priorità delle condizioni ambientali da realizzare possibilmente senza impiego di energia
- priorità del progetto con scelte motivate

Queste considerazioni di carattere generale sono il resoconto dell'analisi di un ampio repertorio di esempi considerati per il contributo tecnologico e che vengono espressi in modo disaggregato nelle schede del quinto capitolo.

La struttura delle schede è stata composta con l'analisi ed il raffronto di tanti esempi, di periodi e di contesti diversi per mettere in evidenza caratteristiche, utilità e criticità. Gli esiti di questa rassegna è espressa nella sinteticità delle schedatura che riporta, in modo disaggregato, memoria degli argomenti da considerare nella progettazione, del sistema *chiusura*, schermi compresi

Bibliografia

Carlo Bossoli, *Luoghi, personaggi, costumi, avvenimenti nell'Europa dell'Ottocento, visti dal pittore ticinese*, Tipografia Torinese editrice, Torino 1874

Gianfranco Caviglia, *L'analisi fotografica e la comprensione del costruito. Dalle patologie edilizie al progetto tecnologico*, Celid, Torino 2001

Dizionario Treccani online (www.treccani.it)

www.mediamente.rai.it

2. La radiazione solare e il bilancio energetico di un edificio

Guglielmina Mutani

Il sole riscaldando la Terra, consente la vita sul nostro pianeta. Il Sole riscalda la superficie terrestre per irraggiamento, gli strati d'aria a contatto con la superficie vengono riscaldati per conduzione e trasmettono il loro calore agli strati d'aria soprastanti per convezione termica. La quantità di radiazione elettromagnetica proveniente dal Sole che colpisce la superficie della Terra influenza fortemente i diversi macroclimi sulla superficie terrestre, il macroclima: caldo secco, caldo umido (più vicini all'equatore), temperato e freddo (vicino ai poli). L'irradiazione solare è sicuramente la grandezza climatica che più influenza il comportamento termico del nostro pianeta e non solo.

In questo capitolo si definiscono quali sono le grandezze ed i fattori che influenzano l'irradiazione solare che arriva sulla superficie terrestre e quindi i modelli matematici più o meno semplificati che possono essere utilizzati per fare delle valutazioni qualitative o quantitative sul consumo energetico di un edificio sfruttando e controllando il sole

2.1. La radiazione solare

L'irradiazione solare che arriva sulla Terra dipende dalle condizioni climatiche della località. Conoscere le condizioni di irradiazione solare è fondamentale per progettare correttamente un edificio, in modo da poter controllare e sfruttare la fonte di energia solare in alternativa alle fonti fossili e per valutare le condizioni di comfort termico all'interno degli ambienti.

Sarebbe molto importante poter avere una banca dati dell'irradiazione solare per tutte le località sulla superficie terrestre, ma ciò ovviamente non è possibile e la limitata copertura delle stazioni climatiche indica che è necessario sviluppare dei modelli di irradiazione solare che integrino i dati climatici misurati.

Vi sono due categorie di modelli di irradiazione solare presenti in letteratura: i modelli che scompongono l'irradiazione nelle sue diverse componenti (*decomposition models*) e i modelli parametrici (*parametric models*) che necessitano di informazioni molto dettagliate sulle condizioni dell'atmosfera (es. quantità e distribuzione delle nuvole, torbidità ecc). Tra questi ultimi, un modello che viene ampiamente utilizzato dalla comunità scientifica è il metodo ASHRAE.

In appendice A vengono presentati sinteticamente i modelli di irradiazione solare più conosciuti che vengono anche utilizzati per realizzare dei metodi tabellari o grafici più semplificati. Infine un cenno alle banche dati climatiche disponibili.

2.1.1. La radiazione solare extra-atmosferica e terrestre

La Terra ruota attorno al sole seguendo un'orbita ellittica con il sole in un fuoco dell'ellisse.

L'orientamento dell'orbita terrestre intorno al Sole è tale che la distanza Terra-Sole varia solo dell'1,7% e, dal momento che l'irradiazione solare fuori dall'atmosfera terrestre è quasi costante, il valore di irradianza solare su una superficie perpendicolare alla direzione dei raggi solari in corrispondenza della distanza media Terra-Sole (1.495 · 10¹¹ m), al di fuori dell'atmosfera, è praticamente costante durante tutto l'anno. Questa grandezza è definita come costante solare G_{sc} e il suo valore è pari a 1367 W/m².

Tuttavia, la radiazione extra-atmosferica subisce piccole variazioni a causa del fatto che la Terra gira intorno al Sole non su un'orbita circolare, ma secondo un percorso ellittico con il Sole in uno dei fuochi. L'intensità dell'irradiazione extra-atmosferica, misurata sul piano normale alla direzione della radiazione, nel giorno n-esimo dell'anno, G_{sc} è data dalla seguente correlazione:

$$G_{sc} = G_0 [1 + 0,033 \cos(360n / 365)]$$

Tale radiazione ha uno spettro di emissione con lunghezza d'onda λ variabile principalmente da 0,2 a 3 μm e quindi si può dire che sia composta dalle seguenti radiazioni elettromagnetiche:

- ultravioletta ($0,2 < \lambda < 0,38 \mu\text{m}$) per il 6,4%
- visibile ($0,38 \leq \lambda \leq 0,78 \mu\text{m}$) per circa il 48%
- infrarossa ($0,78 < \lambda < 3 \mu\text{m}$) per circa il 45,6%

L'irradiazione solare durante il passaggio attraverso l'atmosfera terrestre, viene assorbita e diffusa. Inoltre, una frazione della radiazione che raggiunge la superficie terrestre viene riflessa nell'atmosfera ed è soggetta di nuovo a questi fenomeni di assorbimento e diffusione; il resto viene assorbito dalla superficie terrestre.

L'assorbimento atmosferico è dovuto principalmente alla presenza di ozono (O₃), ossigeno (O₂), azoto (N₂), ossido di carbonio (CO), monossido di carbonio (CO) e vapore acqueo (H₂O), mentre la dispersione è dovuta alle particelle sospese che si trovano nell'atmosfera tra cui polvere, goccioline d'acqua e molecole d'aria.

I raggi X e le radiazioni ultraviolette del Sole a piccole lunghezze d'onda vengono assorbite nella ionosfera grazie all'azoto, ossigeno e ad altri gas atmosferici; i vapori

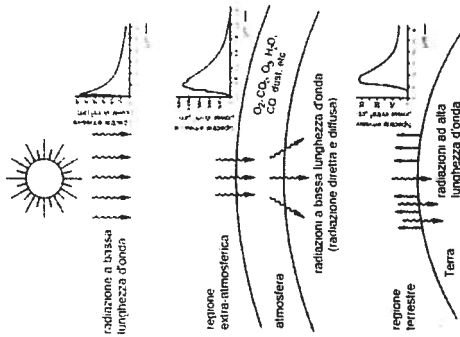


Figura 1. La radiazione solare extra-atmosferica e terrestre. Fonte: Ahmad M.J., Tiwari G.N., "Solar radiation models. A review", International Journal of Energy, volume 35, pp. 171-190.

di ozono e acqua assorbono invece gran parte i raggi ultravioletti ($\lambda < 0,40 \mu\text{m}$) e le radiazioni infrarosse ($\lambda > 2,3 \mu\text{m}$). E come già anticipato, in atmosfera vi è quasi completo assorbimento delle radiazioni ad onde corte ($\lambda < 0,29 \mu\text{m}$).

Quindi, l'energia della radiazione solare di lunghezza d'onda al di sotto di 0,29 μm e al di sopra di 2,3 μm incidente sulla superficie terrestre è trascurabile.

La dispersione dovuta alle molecole d'aria, vapore acqueo e particelle sospese provoca inoltre l'attenuazione della radiazione. La gamma di lunghezze d'onda della radiazione emessa dal Sole, l'attenuazione della sua ampiezza durante la propagazione dal Sole verso l'atmosfera e l'ulteriore attenuazione della radiazione in atmosfera sono mostrati in Figura 1; si può anche notare la radiazione emessa dalla Terra ad alta lunghezza d'onda.

L'attenuazione atmosferica dipende dalla quantità di atmosfera che l'irradiazione solare deve attraversare, che dipende dalla stagione e dall'ora del giorno.

Dal punto di vista delle applicazioni terrestri per l'energia solare, solo la radiazione di lunghezza d'onda variabile tra 0,29 e 2,3 μm è significativa. La radiazione solare, attraverso l'atmosfera, raggiungendo la superficie terrestre può essere classificata in due componenti:

- radiazione diretta
- radiazione diffusa.

La radiazione diretta (beam, b) è la radiazione solare che si propaga lungo la linea che unisce la superficie ricevente e il Sole. La radiazione diffusa (diffuse, d) è la radiazione solare che si diffonde a causa delle polveri e molecole presenti in atmosfera e non ha una direzione specifica.

La radiazione totale o globale è la somma della radiazione diretta e diffusa. Quando la quantità di radiazione diffusa che raggiunge la superficie terrestre è minore o uguale al 25% della radiazione globale, il cielo viene definito "sereno".

In Appendice A sono riportate le formule che si adottano per la valutazione delle tre

componenti della radiazione solare e per il calcolo dell'irradiazione solare incidente su una superficie inclinata; inoltre si elencano alcune grandezze (come l'indice di chiarezza o il fattore di torbidità di Linke) che vengono richieste da alcuni software, che servono a determinare l'irradiazione solare che arriva sulla superficie terrestre.

2.1.2. Banche dati

Le banche dati che contengono dati climatici delle località italiane e in generale di tutto il mondo si possono trovare on-line su diversi siti internet.

Oltre alla banca dati dei principali parametri climatici medi mensili contenuta nella norma tecnica UNI 10349:1994 "Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici", in questo paragrafo si citano le banche dati più conosciute:

- **PVGIS** (Photovoltaic Geographic Information System)¹: il sistema informatico per la tecnologia fotovoltaica realizzato nel 2005, a cura della Commissione Europea, dal Joint Research Centre a Ispra (Varese). Il sistema comprende il database europeo (e non solo) sulla radiazione solare e consiste in mappe raster ad alta risoluzione (1 km²) con i valori di irradiazione rappresentanti il periodo 1981-1990. Le mappe sono state sviluppate utilizzando i dati climatici dell'Europa appartenenti all'European Solar Radiation Atlas ed estendendoli su tutto il territorio attraverso delle interpolazioni.
- **Archivio climatico ENEA DBT²**. Contiene dati e mappe di radiazione per l'Italia, ottenuti dall'ENEA ma aggiornati al 1999; i dati sono relativi ai valori medi mensili della radiazione globale giornaliera ($R_{g,global}$) su piano orizzontale, tabellati per circa 1600 località italiane; le mappe, da cui sono estratti i dati, esprimono la stessa $R_{g,global}$ su piano orizzontale, con una risoluzione spaziale di 2.5 km x 2.5 km circa, e sono stimate a partire dalle immagini satellitari di copertura nuvolosa acquisite dall'ente europeo EUMETSAT. Mappe e dati sono stati pubblicati anche su supporto cartaceo. Inoltre nella sezione della documentazione che ENEA mette a disposizione on - line si trova: <http://www.solaritaly.enea.it/Documentazione/Documentazione.php>.
- **ARPA Piemonte³**. Contiene i valori giornalieri e mensili di temperatura, precipitazione, neve, umidità, radiazione, velocità e direzione vento, elaborati a partire dai dati rilevati dalle stazioni automatiche della rete al suolo. I dati dal 1990 al 2003 coincidono con quelli precedentemente pubblicati su cd-rom; i dati dal 2006 al 2010 sono registrati e controllati con un livello di validazione automatica che, per sua natura, non è in grado di rilevare tutte le possibili anomalie. Inoltre sempre sullo

1 PVGIS (Photovoltaic Geographic Information System): <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/soires/htm>
 2 Archivio climatico ENEA DBT: <http://www.solaritaly.enea.it/Documentazione/Documentazione.php>
 3 Banca dati meteo Arpa Piemonte: <http://old.arpa.piemonte.it/annali/meteorologici>

stesso sito è possibile ricavare le serie storiche dei valori giornalieri e mensili di livelli idrometrici, portata e qualitativi, elaborati a partire dai dati rilevati dalle stazioni automatiche del Sistema regionale di monitoraggio meteorologico, idrologico e della qualità delle acque superficiali. I dati pubblicati sono relativi al periodo 1995 - 2009 e comprendono quelli che, fino al 2003, sono riportati in forma tabellare e grafica (<http://old.arpa.piemonte.it/annali/meteorologici>).

A scala internazionale è necessario segnalare un sito che contiene i dati climatici di più di 2100 località in tutto il mondo: EnergyPlus Energy Simulation Software - Weather data⁴.

A livello locale, si possono citare altre banche dati come ad esempio quella dell'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRIM) di Torino⁵. Inoltre il personale e gli studenti del Politecnico di Torino possono scaricare i dati delle principali grandezze meteorologiche, di qualità dell'aria esterna, nonché le grandezze utili per la valutazione dei consumi energetici e di comfort e qualità dell'aria interna (es. temperatura e umidità relativa dell'aria interna, livelli di illuminamento degli ambienti interni, consumi di energia delle diverse sedi/contactori e consumi di acqua): <http://smartgreenbuilding.polito.it/panoramica/>.

Infine si può citare l'applicazione "Area solar radiation" del software ArcGIS che consente la valutazione dell'irradiazione solare giornaliera media mensile e cumulata annua sulla superficie terrestre partendo da un modello digitale del terreno (Digital Terrain Model, DTM) che contiene delle informazioni georiferite della quota della superficie (altitudine), pendenza ed esposizione del terreno. Le stesse valutazioni si possono fare con le applicazioni r.sun ed r.sunmask (contenute nei plugin facoltativi "Sextante") possono essere utilizzate dai software open source Quantum GIS e GRASS GIS. Le suddette applicazioni utilizzano le correlazioni di geometria solare e di valutazione dell'irradiazione solare riportate in appendice.

2.2. Bilanci di energia sull'edificio⁶

L'uomo, per poter svolgere le proprie attività, ha da sempre cercato spazi protetti, ovvero caratterizzati da condizioni ambientali stabili rispetto a quelle offerte dall'ambiente naturale esterno.

Da un punto di vista energetico, un edificio si definisce come un sistema termodi-

4 EnergyPlus Energy Simulation Software - Weather data: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/Cfm/weather_data.cfm
 5 Banca dati meteo INRIM Torino <http://www.inrim.it/uc/meteo/index.php>
 6 "La procedura di certificazione della prestazione energetica dal sopralluogo all'A.P.E.", L. Raimondo, G. Mutiani, C. Massaia, Maggioli S.p.A. Ed., pp.354, 2014, Vol. 1, ISBN 9788891601568

namico aperto, nel quale l'ambiente interno, le cui condizioni microclimatiche sono definite dalla richiesta di benessere da parte degli utenti, è separato rispetto a quello esterno da una superficie di controllo. Tale superficie è l'involucro edilizio, ovvero l'insieme delle strutture opache e trasparenti, che in relazione alle proprie caratteristiche svolge una funzione di "termoregolazione" dei continui e complessi scambi di energia tra ambiente interno ed esterno, rappresentati da scambi di calore e di massa. In estate, con i picchi di carico termico legati alla forte irradiazione solare che incide sull'involucro di un edificio, una corretta progettazione dell'involucro può ridurre il surriscaldamento degli ambienti interni e quindi influenzare il consumo energetico per garantire le condizioni ottimali di comfort termico e quelle di comfort luminoso soprattutto nella stagione estiva.

2.2.1. Il bilancio termico dell'involucro

La funzione di controllo termico svolta dall'involucro edilizio può essere descritta mediante un bilancio energetico; gli scambi di calore e di massa che si realizzano in virtù delle differenze di stato tra l'ambiente interno e quello esterno, infatti, seguono il primo e il secondo principio della termodinamica: l'energia si conserva ed il calore passa spontaneamente da un ambiente più caldo a uno più freddo.

Ciascun flusso di energia è regolato da fenomeni fisici, che rappresentano rispettivamente gli scambi di calore sensibile, legati alla temperatura dell'aria e delle superfici, di calore latente, legati al contenuto di vapore d'acqua nell'aria che può cambiare stato e di massa in funzione del gradiente entalpico tra aria interna e aria di rinnovo. I termini del bilancio energetico di un edificio variano in relazione alla stagione dell'anno e all'uso energetico considerato. In particolare sarà importante limitare l'irradiazione solare incidente sull'involucro di un edificio durante la stagione di raffreddamento e invece sfruttarla come apporto gratuito durante la stagione di riscaldamento. Infine sarà possibile valutare differenzialmente il consumo energetico in funzione del diverso utilizzo ed in particolare quando si parla di: climatizzazione invernale ed estiva, produzione di acqua calda sanitaria e illuminazione artificiale.

Di seguito saranno evidenziati gli scambi termici che vengono influenzati in modo diretto dall'irradiazione solare che incide sull'involucro di un edificio, soprattutto quello trasparente, e che quindi può essere controllata attraverso dei sistemi schermanti.

La quantità di calore necessaria per mantenere le condizioni di comfort termico all'interno degli spazi occupati, ovvero quella che deve essere ad esempio fornita in inverno dai terminali di un impianto, può essere determinata mediante l'analisi dei flussi di calore scambiati attraverso l'involucro tra l'ambiente interno riscaldato, quello esterno e gli ambienti non riscaldati.

In modo coerente alle indicazioni legislative e normative, ai fini della valutazione del

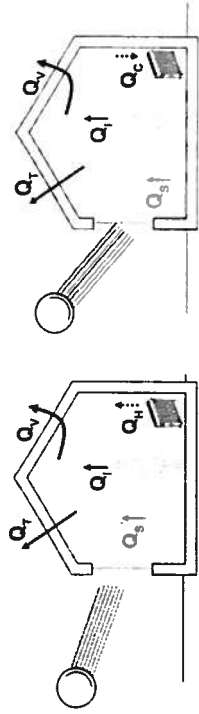


Figura 2. Schemi del bilancio termico dell'involucro durante le stagioni di riscaldamento e raffreddamento.

fabbisogno di riscaldamento e raffreddamento, il bilancio termico (Figura 2) considererà esclusivamente il calore sensibile; esso può essere espresso mediante le seguenti espressioni utilizzando le condizioni climatiche medie mensili raccolte per i capoluoghi di Provincia italiani nella norma UNI 10349:1994 (es. la temperatura media giornaliera, l'irradiazione solare giornaliera media mensile e l'irradiazione solare globale giornaliera media mensile):

stagione invernale: $Q_{H_i} = Q_r + Q_v - \eta_{in,H} \cdot (Q_s + Q_c)$

stagione estiva: $Q_{C_e} = Q_s + Q_c - \eta_{in,C} \cdot (Q_r + Q_v)$

dove:

- $Q_{H_i} - Q_{C_e}$ è l'energia termica richiesta in ambiente per mantenere le condizioni di comfort, rispettivamente nel periodo invernale (H) ed estivo (C) [kWh];
- Q_r è l'energia termica scambiata per trasmissione [kWh];
- Q_v è l'energia termica scambiata per ventilazione [kWh];
- η_{in} è il coefficiente di utilizzazione invernale (H) ed estivo (C) [-];
- Q_c è il carico (estivo, C) o apporto termico (invernale, H) dovuto alle sorgenti interne [kWh];
- Q_s è il carico (estivo, C) o apporto termico (invernale, H) dovuto alla radiazione solare [kWh].

Gli aggiornamenti futuri della famiglia di norme tecniche UNI/TS 11300 prevedono un controllo anche dell'umidità relativa da parte dell'impianto di climatizzazione estiva e quindi sarà previsto anche il carico latente.

2.2.2. Scambi di calore per trasmissione

Gli scambi di calore per trasmissione interessano tutti gli elementi dell'involucro edilizio che separano l'ambiente interno dall'ambiente esterno, locali adiacenti a temperatura fissa o non climatizzati e il terreno. Tali scambi sono originati da una differenza di temperatura e dipendono dalle caratteristiche geometriche e termofisiche dell'involucro edilizio stesso. La presenza di chiusure o schermi che abbiano una certa

resistenza termica può influenzare le dispersioni termiche attraverso l'involucro. Ad esempio durante la stagione di riscaldamento, la presenza dell'irradiazione solare può ridurre le dispersioni termiche attraverso l'involucro opaco in quanto la dispersione termica e il flusso solare hanno direzioni opposte: la prima dall'interno verso l'esterno ed il secondo dall'esterno verso l'interno dell'edificio. In pratica è come se l'aria esterna avesse una temperatura più elevata. Per valutare il bilancio termico su una superficie A di involucro opaco in presenza di irradianza solare incidente I si può utilizzare la seguente relazione:

$$Q_{t,op} = h_p \cdot A \cdot (T_i - T_{p,op}) + \alpha \cdot A \cdot I = h_p \cdot A \cdot (T_{sa} - T_{p,op}) \cdot n_h / 1000 \text{ [kWh]}$$

da cui si determina una temperatura fittizia dell'aria esterna, detta "sole-aria" T_{sa} [°C]:

$$T_{sa} = T_i + \frac{\alpha \cdot I}{h_p}$$

dove:

T_i è la temperatura dell'aria esterna giornaliera media mensile [°C]

$T_{p,op}$ è la temperatura superficiale della parete esterna [°C]

α è il coefficiente di assorbimento solare [-] della facciata dell'edificio (es. 0,3 per colori chiari, 0,6 per colori medi e 0,9 per colori scuri; vedere anche⁷⁾

I è l'irradianza solare incidente sulla facciata dell'edificio [W/m²]

h_p è il coefficiente di scambio termico limitare esterno [W/(m²K)]

n_h è il numero di ore della stagione di riscaldamento.

Per i componenti trasparenti la presenza di chiusure oscuranti, utilizzate nel periodo notturno, va a modificare le dispersioni termiche attraverso l'involucro. Tale fenomeno è più rilevante nel caso di chiusure con elevata resistenza termica. Le dispersioni termiche attraverso gli elementi trasparenti di area A_w considerando le chiusure oscuranti (*shut*) si possono calcolare con la seguente relazione:

$$Q_{t,w} = U_{w,cor} \cdot A_w \cdot (T_i - T_e) \cdot n_h / 1000 \text{ [kWh]}$$

$$U_{w,cor} = U_{w,shut} \cdot f_{shut} + U_w \cdot (1 - f_{shut})$$

dove:

U_w è la trasmittanza termica della finestra senza chiusura oscurante

$U_{w,cor}$ è la trasmittanza termica ridotta della finestra e della chiusura oscurante

$U_{w,shut}$ è la trasmittanza termica della finestra con la chiusura oscurante (consideran-

⁷⁾ Cengel, Yunus A., Termodinamica e trasmissione del calore / Yunus A. Cengel, edizione italiana a cura di Ettore Crifollo, Ed. McGraw-Hill, Milano, 2009.

do la resistenza termica aggiuntiva ΔR che si trova nel prospetto C.4 della norma UNI/TS 11300-1)

f_{sunt} è la frazione adimensionale della differenza cumulata di temperatura, derivante dal profilo orario di utilizzo della chiusura oscurante e dal profilo orario della differenza tra temperatura interna ed esterna (nella valutazioni di progetto e standard in assenza di dati precisi si può utilizzare $f_{sunt} = 0,6$).

2.2.3. Scambi di calore per ventilazione

La ventilazione può avvenire in regime naturale, attraverso l'apertura di porte e finestre e infiltrazioni d'aria, o in regime meccanico, attraverso uno specifico sistema impiantistico. Tali scambi sono originati dalla differenza di temperatura tra ambiente interno ed esterno e naturalmente dipendono dalla permeabilità all'aria dell'involucro. In generale per valutare gli scambi termici dovuti alla ventilazione degli ambienti interni, si utilizza la relazione:

$$Q_v = c \cdot m \cdot (T_i - T_e) \cdot n_h / 1000 = c \cdot \rho \cdot \dot{V} \cdot (T_i - T_e) = c \cdot \rho \cdot \frac{V \cdot n}{3600} \cdot (T_i - T_e) \cdot n_h / 1000 =$$

$$0,35 \cdot V \cdot n \cdot (T_i - T_e) \cdot n_h / 1000 \text{ [kWh]}$$

con:

c il calore specifico a pressione costante dell'aria = 1004 J/(kgK)

m e V sono rispettivamente la portata in massa ed in volume di aria [kg/s, m³/s]

T_i e T_e sono le temperature dell'aria interna ed esterna giornaliera media mensile [°C]

ρ è la massa volumica dell'aria = 1,25 kg/m³

n sono il numero dei ricambi d'aria orari [h⁻¹] che vengono consigliati in funzione delle attività che si svolgono negli ambienti interni per avere una buona qualità dell'aria.

2.2.4. Carichi o apporti di calore gratuiti

I carichi o apporti di calore sono flussi termici che possono provenire sia dall'esterno (esogeni), sia dall'interno dell'edificio (endogeni); in questo lavoro tratteremo quelli endogeni che in generale sono definiti:

- "carichi" in estate quando determinano un surriscaldamento degli ambienti e
- "apporti" in inverno quando il loro contributo concorre a riscaldare l'ambiente.

Si possono distinguere due componenti degli apporti/carichi:

1. *Interna* che dipende dal calore ceduto in ambiente da sorgenti interne di calore diverse dal sistema di riscaldamento (es. apparecchiature elettriche, impianto di illuminazione artificiale, presenza di persone, ecc.).
2. *Solare* che per effetto della radiazione solare che viene assorbita dall'involucro opa-

co o entra in ambiente attraverso le superfici trasparenti; dipende:

- dall'irradiazione solare disponibile nella località interessata;
- dall'inclinazione e dall'orientamento della superficie esposta;
- dalla presenza di ostruzioni, fisse o mobili;
- dalle caratteristiche di finitura dei componenti opachi di involucro;
- dal fattore solare dei componenti trasparenti di involucro;
- dalle caratteristiche di assorbimento ed accumulo delle superfici interne soleggiate, ossia le pareti, i pavimenti e le strutture colpite direttamente dalla radiazione solare.

In alcuni periodi nella stagione di riscaldamento, soprattutto nei mesi meno freddi, i guadagni interni e solari possono superare le dispersioni termiche e quindi solo una parte di questi può contribuire effettivamente al riscaldamento degli ambienti. Gli apporti interni e solari, per essere definiti utili ai fini del riscaldamento, vengono quindi moltiplicati per il coefficiente di utilizzazione, che dipende dal rapporto apporti/dispersioni e della costate di tempo termica (rappresentativa dell'inerzia termica caratteristica della zona). Lo stesso ragionamento vale per la stagione di raffreddamento.

Gli apporti interni dipendono dalla destinazione d'uso dei locali in quando dipendono dall'attività che si svolge all'interno degli ambienti, dal tipo di apparecchiature elettriche presenti, nonché dal numero di occupanti che si comportano anch'essi come sorgenti di calore. Tali flussi termici dipendono dalla grandezza dei locali e dunque vengono definiti in funzione della destinazione d'uso e della superficie utile di pavimento e si misurano in W/m^2 .

Gli apporti solari tengono conto delle caratteristiche di trasparenza e di assorbimento solare dell'involucro e della presenza di schermi che ostacolano l'irradiazione solare incidente sull'involucro dell'edificio.

Il flusso termico di origine solare ϕ_{sol} (W) dipende dall'area di captazione solare effettiva, A_{sol} , da un fattore riduttivo che dipende dalle condizioni di ombreggiamento, $F_{sh,ob}$ e dall'irradianza solare media mensile che incide sulla superficie di involucro I_{sol} :

$$\phi_{sol} = A_{sol} \cdot F_{sh,ob} \cdot I_{sol}$$

L'area di captazione solare effettiva di un componente vetrato dell'involucro si calcola come:

$$A_{sol} = F_{sh,sp} \cdot g_{sp} \cdot (1 - F_s) \cdot A_w$$

dove:

$F_{sh,sp}$ è il fattore di riduzione degli apporti solari considerando l'utilizzo delle schermature mobili;

g_{sp} è la trasmittanza di energia solare dell'elemento vetrato (può essere ricavato moltiplicando la trasmittanza di energia solare totale per incidenza normale per un fattore

di esposizione assunto pari a 0,9);

F_s è la frazione di area relativa al telaio, rapporto tra l'area frontale del telaio e quella totale della finestra A_w (in assenza di dati di progetto o di informazioni più precise, si può assumere un valore convenzionale del fattore telaio pari a 0,8).

Per i componenti opachi, l'area di captazione solare effettiva dell'involucro edilizio, A_{sol} , è calcolata come:

$$A_{sol} = \alpha_{sol} \cdot R_{se} \cdot U \cdot A$$

dove:

α_{sol} è il coefficiente di assorbimento solare del componente opaco;

R_{se} è la resistenza termica superficiale esterna del componente opaco;

U è la trasmittanza termica del componente opaco;

A è l'area proiettata del componente opaco.

Anche per l'involucro opaco si può considerare la presenza di ombreggiamento attraverso il fattore $F_{sh,ob}$. Tale fattore di riduzione per ombreggiatura dipende dalle ostruzioni esterne e dagli schermi orizzontali e verticali dati dall'edificio stesso (vedi Figura 3):

$$F_{sh,ob} = F_{hor} \cdot F_{ov} \cdot F_{lm}$$

2.2.5. Il bilancio termico dell'edificio

Definiti i flussi termici per ciascun mese di riscaldamento e raffreddamento, è possibile calcolare il fabbisogno globale invernale ed estivo di energia netta dell'involucro per mantenere gli ambienti ad una temperatura confortevole. Nel bilancio dell'edificio si inserisce oltre all'involucro anche l'impianto o meglio il sistema impiantistico formato da diversi sottosistemi ognuno con un rendimento o delle perdite di energia legate alla tecnologia impiegata e alle modalità di utilizzo.

Il rendimento di un sistema impiantistico può essere definito dal rapporto tra la

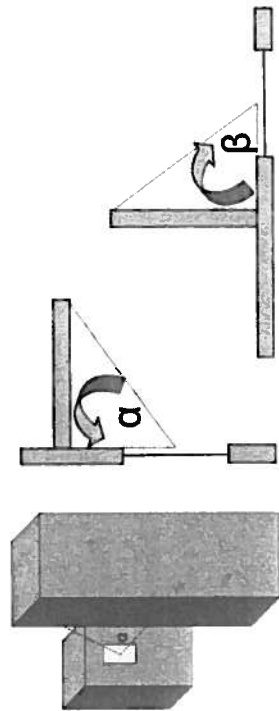


Figura 3. Fattori di ombreggiatura per schermi fissi esterni F_{hor} , orizzontali F_{ov} e verticali F_{lm} .

quantità di calore resa disponibile dal sistema, rispetto alla quantità di energia da esso impiegata; tale rapporto dipende dalle caratteristiche del sottosistema di generazione, distribuzione, regolazione, emissione ed eventuale accumulo, ciascuno dei quali può essere descritto attraverso un rendimento, rappresentativo delle proprie perdite.

In modo coerente alle indicazioni normative europee, ai fini della valutazione del fabbisogno di riscaldamento e raffreddamento, il bilancio termico sensibile del sistema involucro-impianto di un edificio può essere espresso mediante le seguenti espressioni:

Stagione di riscaldamento: $Q_C = Q_T + Q_V - \eta_{tr,H} \cdot (Q_S + Q_U) = Q_{ep,H} \cdot \eta_{g,H}$

Stagione di raffreddamento: $Q_C = Q_I + Q_S + Q_U - \eta_{tr,c} \cdot (Q_T + Q_U) = Q_{ep,c} \cdot \eta_{g,c}$

con:

$$\eta_{g,H} = Q_H / Q_{ep,H} \quad \eta_{g,c} = Q_C / Q_{ep,c}$$

I fabbisogni di energia forniti all'impianto, sottoforma dei diversi vettori energetici, vengono convertiti in fabbisogno complessivo di energia primaria moltiplicandoli per il fattore di conversione in energia primaria del vettore energetico fp.

A livello nazionale⁸, si assumono i seguenti fattori di conversione fp:

- Combustibili fossili: 1 (UNI/TS 11300-2)
- Energia elettrica: valore specificato nelle vigenti disposizioni di legge;
- Solare, biomasse e teleriscaldamento: sono trattati nella norma UNI/TS 11300-4.

Per ulteriori approfondimenti si vedano le Linee Guida Nazionali sulla certificazione energetica degli edifici contenute nel D.M. del 26 giugno 2009⁹, che definiscono i metodi di riferimento per il calcolo delle prestazioni energetiche di un edificio e le sintesi fatte dall'ANIT¹⁰ che raccolgono tutta la normativa nazionale e regionale in tema di risparmio energetico e comfort termico.

Bibliografia

AA.VV., "Dati di illuminamento naturale sul territorio italiano", seconda edizione, CTI; G8/97 - 1, gennaio 1997.

AA.VV., "Fundamentals, Chapter 31 Fenestration", American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers ASHRAE Handbook, Ed. Amer Society of

⁸ Vengono anche trattati nel D.Lgs. 28/2011.

⁹ D.M. 26 giugno 2009. Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici. (GU n. 158 del 10-7-2009).

¹⁰ <http://www.anit.it/sintesi>

Heating, Atlanta, Georgia, U.S.A., 2005.

Ahmad M.J., Twari G.N., "Solar radiation models. A review", International Journal of Energy, volume 35, n. 4, (2011), pp.271-290.

Allegato Energetico-Ambientale al Regolamento Edilizio del Comune di Torino: http://www.comune.torino.it/edilizioprivata/energia/pdf/ae_istr_trasp.pdf.

Archivio climatico ENEA DBT: <http://www.solaritaly.enea.it/Documentazione/Documentazione.php>.

Associazione Nazionale per l'isolamento Termico e acustico Anit: <http://www.anit.it/sintesi>.

Banca dati meteo Arpa Piemonte: <http://old.arpa.piemonte.it/annali/meteo/index>.

Banca dati meteo INRIM Torino <http://www.inrim.it/luc/meteo/index.php>.

Besharat F., Dehghan A.A., Faghii A.R., Empirical models for estimating global solar radiation: A review and case study, Renewable and Sustainable Energy Reviews 21 (2013), pp. 798 -821.

Çengel, Yunus A., Termodinamica e trasmissione del calore / Yunus A. Çengel, edizione italiana a cura di Ettore Cirillo, Ed. McGraw-Hill, Milano, 2009.

D.M. 26 giugno 2009. Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici. (GU n. 158 del 10-7-2009).

Duffie J.A., Beckman W.A., "Solar engineering of thermal processes", Third edition, Wiley Edition, 2006.

EnergyPlus Energy Simulation Software - Weather data: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm.

Fracastoro G.V., Elementi di climatologia edilizia, Quaderni di Fisica Tecnica ed Impianti, CELID Ed., Torino, 1985.

Jacovides, Tymvios, Assimakopoulos, Kaltsounides, Comparative study of various correlations in estimating hourly diffuse fraction of global solar radiation, Renewable Energy 31 (2006), pp. 2492 -2504.

Photovoltaic Geographic Information System PVGIS: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/solres/solres.htm>.

Raimondo L., Mutani G., Massaia C., "La procedura di certificazione della prestazione energetica: dal sopralluogo all'A.P.E.", Maggioli S.p.A. Ed., 2014, Vol. 1, pp. 354, ISBN: 9788891601568.

4. La valutazione delle prestazioni energetiche degli schermi solari in relazione all'edificio

Giulielmina Mutani

Le schermature sono dei sistemi che possono ridurre l'irradiazione solare incidente sugli elementi di involucro opaco e trasparente di un edificio in modo da poter controllare il carico solare durante la stagione di raffreddamento, garantendone l'apporto gratuito durante il periodo di riscaldamento¹. Tale indicazione consente di ridurre in modo importante il consumo energetico degli edifici, soprattutto quelli per il terziario o comunque dove gli apporti interni sono importanti, e di consentire un buon comfort luminoso negli ambienti interni.

Inoltre la legge italiana (D.P.R. 59/2009, articolo 4) stabilisce che il progettista², al fine di limitare i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva e di contenere la temperatura interna degli ambienti, deve valutare puntualmente e documentare l'efficacia dei sistemi schermanti delle superfici vetrate, in modo da ridurre l'apporto di calore per irraggiamento solare. Inoltre per gli stessi interventi, ad eccezione degli edifici industriali, artigianali e adibiti ad attività sportive, è resa obbligatoria la presenza di sistemi schermanti esterni, ma qualora se ne dimostri la non convenienza in termini tecnico-economici, detti sistemi possono essere omessi in presenza di superfici vetrate con fattore solare minore o uguale a 0,5.

Infine, risultano avere un'importanza crescente i sistemi schermanti verdi, in quanto il rinverdimento delle pareti degli edifici può contribuire all'incremento degli spazi verdi urbani, al risparmio energetico degli edifici, all'assorbimento delle polveri sottili ed a ridurre l'effetto "isola di calore estiva", così come riportato nella recente Legge 10/2013.

4.1. Gli indicatori per la valutazione dei sistemi schermanti

Gli indicatori che definiscono e consentono di valutare l'efficacia degli schermi dipendono dalla tipologia di schermo.

¹ "La procedura di certificazione della prestazione energetica: dal sopralluogo all'A.P.E.", L. Raimondo, G. Mutani, C. Massala, Maggioli S.p.A. Ed., pp. 354, 2014, Vol. 1, ISBN: 978-88-916-0156-8.

² Nel caso di edifici di nuova costruzione e nel caso di ristrutturazioni.

Vengono distinte due categorie di schermi:

- "fissi" che fanno parte del contesto in cui è inserito l'edificio, ossia l'orografia del territorio o la presenza di edifici vicini o limitrofi e da schermi dovuti alla forma che ha l'edificio stesso con la presenza di balconi, aggetti, angolature o sporgenze che comunque limitano la penetrazione del sole;
- "mobili e rimovibili" che vengono generalmente montati o applicati in modo parallelo all'involucro trasparente dell'edificio per controllare l'irradiazione solare e luminosa che entra in ambiente.

I parametri da considerare per esprimere le prestazioni delle schermature solari si distinguono a seconda che queste siano di tipo³:

- *fisso*: elementi facenti parte della struttura dell'edificio (balconi, aggetti ecc.) o di edifici attigui oppure elementi appartenenti all'orografia del contesto. Il parametro che li caratterizza è il fattore di ombreggiatura $F_{sh, orb}$, consente di valutare le prestazioni solari della sola schermatura, ha valori compresi tra 0 e 1 (oppure si esprime in termini percentuali) e rappresenta la riduzione della radiazione solare incidente dovuta all'ombreggiamento sull'involucro opaco e trasparente dell'edificio;
- *mobile o rimovibile*: elementi che non fanno parte della struttura dell'edificio o del contesto che lo circonda e che generalmente vengono aggiunti al suo involucro per schermare la radiazione solare. Il parametro principale da considerare è la trasmittanza di energia solare totale g o TSET⁴, nota anche come fattore solare FS, che è un fattore adimensionale che esprime in termini percentuali il flusso solare che entra in ambiente rispetto al flusso solare incidente sull'involucro di un edificio (vedi Figura 11, Capitolo 3).

La distinzione tra i suddetti indicatori è necessaria in quanto tutti gli schermi hanno un'efficacia che dipende dall'irradiazione solare incidente nei diversi momenti della giornata o nelle diverse stagioni dell'anno ma con gli schermi mobili è ad esempio importante poter considerare che non sempre lo schermo viene utilizzato, anche in funzione dell'utenza prevista. Inoltre il fattore di ombreggiatura considera la prestazione del solo schermo, mentre la trasmittanza di energia solare totale può esprimere le prestazioni solari della combinazione schermatura solare più vetro o anche del solo vetro.

Inoltre la presenza di una chiusura su un elemento di involucro determinerà una resistenza termica aggiuntiva che bisogna considerare calcolando una nuova trasmit-

3 "La nuova legislazione sull'efficienza energetica degli edifici. Requisiti e metodi di calcolo", Corrado V., Paduós S., Celid, aprile 2008.

4 Total Solar Energy Transmittance.

Coefficiente di trasmissione solare, $\tau_{s,b}$	Coefficiente di riflessione solare, $\rho_{s,b}$		
	Bianco	Pastello	Scuro
Opaco	0,0	0,7	0,3
Mediamente traslucido	0,2	0,6	0,2
Molto traslucido	0,4	0,4	0,2

Tabella 1. Valori per i coefficienti di trasmissione e riflessione solare per schermi standard (UNI 13363-1:2008, Allegato A, Tabella A.2).

tanza termica del componente nel calcolo delle dispersioni termiche (come visto nel paragrafo 2.2.2).

Le prestazioni dei dispositivi schermanti si suddividono, inoltre, in solari e luminose quando si considera rispettivamente il fenomeno termico o luminoso.

Nella valutazione dell'efficacia degli schermi, i principali parametri di riferimento sono quelli di trasmissione e riflessione⁵:

- $\tau_{e,b}$ è il coefficiente di trasmissione solare del dispositivo schermante;
- $\rho_{e,b}$ è il coefficiente di riflessione solare della parte di schermatura rivolta verso la radiazione solare incidente;
- $\tau_{v,b}$ è il coefficiente di trasmissione luminosa del dispositivo schermante;
- $\rho_{v,b}$ è il coefficiente di riflessione luminosa della parte di schermatura rivolta verso la radiazione solare incidente.

Inoltre per valutazioni più approfondite sono richiesti anche i seguenti parametri:

- $\rho'_{e,b}$ è il coefficiente di riflessione solare della parte di schermatura rivolta dalla parte opposta alla radiazione solare incidente;
- $\rho'_{v,b}$ è il coefficiente di riflessione luminosa della parte di schermatura rivolta dalla parte opposta alla radiazione solare incidente.

In assenza di dati specifici dello schermo, possono essere utilizzati i valori indicati in Tabella 1.

Per schermature inclinate di 45° rispetto alla radiazione solare incidente, è opportuno correggere i valori di trasmissione e riflessione solare attraverso le seguenti correlazioni:

$$\tau_{e,b}^{45^\circ} = 0,65 \cdot \tau_{e,b} + 0,15 \cdot \rho_{e,b}$$

$$\rho_{e,b}^{45^\circ} = \rho_{e,b} \cdot (0,75 + 0,70 \cdot \tau_{e,b})$$

5 Parametri: EN 13363-1:2008, paragrafo 4.2.

4.2. Gli schermi mobili o rimovibili

I sistemi schermanti mobili o rimovibili, sono elementi sullo stesso piano o paralleli al componente trasparente che consentono di controllare la radiazione solare che penetra negli ambienti interni. Le tende sono l'esempio più comune di sistemi filtranti, ma la stessa metodologia di calcolo che verrà descritta può essere anche applicata a veneziane, persiane o avvolgibili. In questo paragrafo vengono trattati solo gli elementi trasparenti di involucro perché gli elementi opachi hanno una trasmittanza di energia solare totale pari a zero.

I parametri da considerare per esprimere le prestazioni delle vetrate e della combinazione vetrata più schermo sono⁶:

- U_g è la trasmittanza termica del vetro [$W/(m^2K)$];
- g è la trasmittanza di energia solare totale;
- T_v è il fattore di trasmissione luminosa del vetro;
- P_v è il coefficiente di riflessione luminosa della parte di vetro rivolta verso la radiazione solare incidente;
- P'_v è il coefficiente di riflessione luminosa della parte di vetro rivolta dalla parte opposta alla radiazione solare incidente;
- T_s è il coefficiente di trasmissione solare del vetro;
- P_s è il coefficiente di riflessione solare della parte di vetro rivolta verso la radiazione solare incidente;
- P'_s è il coefficiente di riflessione solare della parte di vetro rivolta dalla parte opposta alla radiazione solare incidente.

	Trasmittanza termica U_g , $W/(m^2K)$	Trasmittanza solare totale g	Coefficiente di trasmissione luminosa T_v , g	Coefficiente di riflessione luminosa P_v , g
Vetro chiaro singolo	5,7	0,85	0,90	0,08
Vetro doppio chiaro	3	0,75	0,82	0,15
Vetro triplo chiaro	2	0,65	0,75	0,20
Vetro doppio bassoemissivo	1,6	0,70	0,75	0,17

Tabella 2. Caratteristiche termofisiche per vetri standard per vetri standard (UNI 13363-1:2008, Allegato A, Tabella A.1).

6 Parametri: EN 13363-1:2008, paragrafo 4.1

	Trasmittanza termica U_g , $W/(m^2K)$	Trasmittanza solare totale g	Coeff. di trasmissione luminosa T_v , g	Coeff. di riflessione luminosa P_v , g
4 mm Planibel Clear	5,8	0,87	0,90	0,08
4 mm Planibel Clear – 16 mm Argon 90% – 4 mm Planibel Clear	2,6	0,77	0,81	0,15
4 mm Planibel Clear – 12 mm Argon 90% – 4 mm Planibel Clear	1,8	0,70	0,74	0,20
4 mm Planibel Clearvision – 16 mm Argon 90% – 4 mm Planibel Top N+ on Clearvision pos. 3	1,1	0,64	0,81	0,13
4 mm Planibel Clear – 16 mm Argon 90% – 4 mm Planibel Top 1,0 pos. 3	1,0	0,50	0,70	0,20

Tabella 3. Caratteristiche termofisiche per alcune tipologie di vetri. Fonte: AGC glass.

Il parametro più utilizzato per valutare l'efficacia di un sistema schermante o filtrante sul componente trasparente è la trasmittanza solare totale o fattore solare g ; più è alto, più il sistema "vetro+schermo" è trasparente alla radiazione solare; più è basso, più il sistema filtrante riesce a schermare il sole.

Per l'elemento vetrato, in assenza di dati specifici, si possono usare i fattori solari tipici indicati in Tabella 2.

In Tabella 3 si trovano invece i dati per alcuni tipologie di vetri analoghe alle precedenti presenti in commercio⁷.

I valori di trasmittanza di energia solare totale che si trovano sulle schede tecniche dei vetri fanno riferimento ad un'irradiazione solare normale alla superficie vetrata $g_{v,n}$ (UNI EN 410:2011); per ottenere la trasmittanza di energia solare totale utile ai fini dei calcoli tale valore viene moltiplicato per un fattore di esposizione F_w pari a 0,9 (Come visto nel capitolo 2).

Di seguito si riporta la metodologia adottata per la valutazione del fattore solare del vetro più schermo in funzione della posizione relativa dello schermo rispetto a quella del vetro: all'esterno, all'interno o incorporato. I valori numerici riportati fanno riferimento ad uno schermo di colore bianco.

7 <http://www.yourglass.com/configurator/bef/en/toolbox/configurator/step1.html>

Vetro + schermo	Opaco	Medio	Traslucido	G, W/(m ² K)
Vetro chiaro singolo	0,06	0,22	0,41	2,10
Vetro doppio chiaro	0,05	0,20	0,36	1,58
Vetro triplo chiaro	0,04	0,17	0,32	1,25
Vetro doppio bassoemissivo	0,03	0,17	0,33	1,08

Tabella 4. Valori di trasmittanza solare totale g per vetri standard con schermo esterno.

4.2.1. Gli schermi esterni

La Figura 1 mostra lo schema tipico di una schermatura solare esterna. La trasmittanza di energia solare totale del dispositivo vetro + schermatura esterna è data da:

$$g_1 = \tau_{e,b} \cdot g + \alpha_{e,b} \cdot (G / G_2) + \tau_{e,b} \cdot (1 - g) \cdot (G / G_1)$$

dove:

$\alpha_{e,b}$ è la frazione di energia solare assorbita dal componente schermante, che si calcola sottraendo le porzioni di energia trasmessa e riflessa secondo la seguente formula:

$$\alpha_{e,b} = 1 - \tau_{e,b} - \rho_{e,b}$$

dove:

G_1 è assunto pari a 5 W/(m²K);
 G_2 è assunto pari a 10 W/(m²K);
 G è la conduttanza termica globale: $G = [(1 / U_g) + (1 / G_1) + (1 / G_2)]^{-1}$
 U_g è la trasmittanza termica del vetro;
 g è trasmittanza solare totale specifica del vetro;
 $\tau_{e,b}$ e $\rho_{e,b}$ sono specifici della schermatura solare adottata (vedi Tabella 1).

In mancanza di dati specifici di progetto, nel caso di schermature esterne si possono utilizzare i valori di trasmittanza solare totale per il pacchetto "schermo + vetro" indicati in Tabella 4 ricavati con riferimento ai dati della Tabella 1 e Tabella 2.



Figura 1. Schema di vetrata con schermo esterno.

4.2.2. Gli schermi interni

La Figura 2 mostra lo schema tipico di una schermatura solare interna. La trasmittanza di energia solare totale del dispositivo vetro + schermatura interna è data da:

$$g_1 = g \cdot [1 - \rho_{e,b} - \alpha_{e,b} \cdot (G / G_2)]$$

dove:

$$\alpha_{e,b} = 1 - \tau_{e,b} - \rho_{e,b}$$

G_2 è assunto dalla normativa pari a 30 W/(m²K);
 G è calcolata: $G = [(1 / U_g) + (1 / G_2)]^{-1}$.

Tenendo conto dei valori tipici di vetri e schermature riportati nella Tabella 1 e Tabella 2, nel caso delle schermature interne i valori di trasmittanza solare totale saranno quelli riportati in Tabella 5.

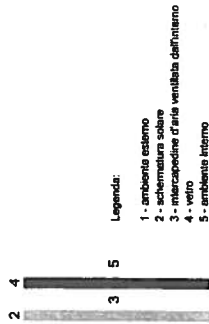


Figura 2. Schema di vetrata con schermo interno.

4.2.3. Gli schermi incorporati nel vetro

La Figura 3 mostra lo schema tipico di una schermatura solare nell'intercapedine non ventilata del vetro. In questo caso, la schermatura solare è interposta tra due lastre di vetro.

Il metodo di calcolo deve essere ritenuto valido per una soluzione tecnologica nella quale il vetro esterno non sia trattato o al più basso-emissivo. La trasmittanza di energia solare totale è determinata con la formula:



Figura 3. Schema di vetrata con schermo incorporato nel vetro.

Vetro + schermo	Opaco	Medio	Traslucido	G, W/(m ² K)
Vetro chiaro singolo	0,23	0,33	0,48	1,97
Vetro doppio chiaro	0,18	0,28	0,41	1,50
Vetro triplo chiaro	0,14	0,24	0,35	1,20
Vetro doppio bassoemissivo	0,12	0,23	0,36	1,04

Tabella 6. Valori di trasmittanza solare totale g per vetri standard con schermo incorporato nel vetro.

$$g_1 = \tau_{e,b} g + g (\alpha_{e,b} + (1 - \rho_{e,b}) (G / G_3))$$

dove:

$$\rho_{e,b} = 1 - \tau_{e,b} - \rho_{e,b}$$

G_3 è assunto dalla normativa pari a 3 W/(m²K);

G viene calcolata secondo la formula: $G = [(1 / U_d) + (1 / G_3)]^{-1}$.

Tenendo conto dei valori tipici di vetri e schermature riportati nella Tabella 1 e Tabella 2, nel caso delle schermature incorporate nel serramento il valore di g_1 è quello riportato in Tabella 6.

Il parametro g_1 esprime la quantità di energia trasmessa in ambiente sulla totalità di energia solare incidente sull'involucro esterno dell'edificio tenendo conto del dispositivo "vetro+schermo".

Dai dati riportati in Tabella 7, si evince la maggior efficienza delle schermature esterne seguite, rispettivamente, dai dispositivi interposti fra due lastre di vetro e, solo successivamente, dagli schermi interni. È evidente, inoltre, come il tipo di vetro influenzi il valore di trasmittanza solare totale e ciò è dovuto al fatto che un triplo vetro ostacola maggiormente l'ingresso della radiazione solare rispetto al vetro doppio o singolo; tale risultato è evidente poi con i vetri trattati bassoemissivi e ancor di più con i vetri a controllo solare e luminoso come ad esempio i vetri assorbenti o riflettenti.

Dalla Figura 4, è possibile riscontrare che l'abbinamento vetro-schermo che impedisce maggiormente l'ingresso di energia solare in ambiente è quello costituito da un vetro triplo associato ad una schermatura opaca esterna; quello che, al contrario, lo favorisce è un sistema costituito da un vetro singolo annesso ad una schermatura solare traslucida interna.

4.3. I sistemi schermanti mobili

Nel bilancio energetico di un edificio dotato di schermi si deve tener conto del fatto che quando sono presenti degli schermi mobili questi verranno utilizzati diversamente

4. La valutazione delle prestazioni energetiche degli schermi solari in relazione all'edificio

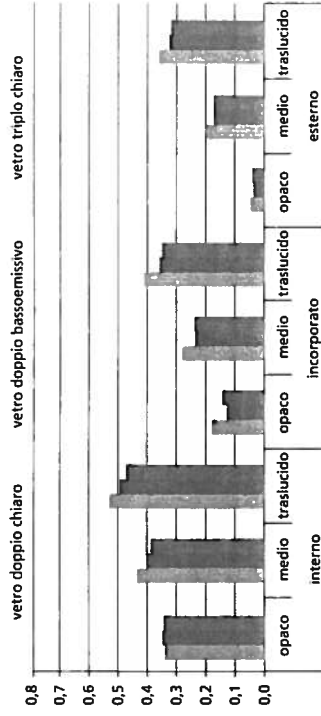


Figura 4. Confronto dei valori di fattore solare calcolati per alcuni schermi bianchi paralleli all'elemento vetrato, con posizione interna, incorporata o esterna rispetto al vetro (UNI EN 13363-1:2008).

in funzione della loro esposizione e tipologia. In Tabella 7 sono rappresentati i fattori di riduzione degli apporti solari dovuti all'utilizzo di schermature mobili definiti dal rapporto tra i valori di trasmittanza di energia solare totale della finestra con e senza schermatura ($g_{tot} + \rho_{e,b} / g_{gl}$).

In Tabella 7 si nota come gli schermi esterni abbiano un fattore di riduzione degli apporti solari diverso rispetto quelli interni a parità di tipologia e di proprietà ottiche della tenda. I sistemi più efficaci nello schermare la radiazione solare sono le tende esterne con coefficienti di trasmissione bassi.

Tipo di tenda:	Proprietà ottiche della tenda			Fattori di riduzione con tenda		
	Assorbimento	Trasmmissione	Esterna	Interna	Esterna	Esterna
Venezie bianche	0,1	0,05	0,25	0,25	0,10	0,15
		0,1	0,30	0,30	0,15	0,35
		0,3	0,45	0,45	0,35	
Tessuti rivestiti di alluminio	0,1	0,5	0,65	0,65	0,55	0,75
		0,7	0,80	0,80	0,75	0,95
		0,9	0,95	0,95		
Tessuti colorati	0,3	0,1	0,42	0,42	0,17	0,37
		0,3	0,57	0,57	0,37	0,57
		0,5	0,77	0,77		
Tessuti rivestiti di alluminio	0,2	0,05	0,2	0,2	0,08	

Tabella 7. Fattore di riduzione degli apporti solari dovuti all'utilizzo di schermature mobili.

Come indicato nel paragrafo 2.2.4, l'area di captazione solare effettiva di un componente vetrato dell'involucro, A_{eff} , dipende dal fattore di riduzione degli apporti solari considerando l'utilizzo delle schermature mobili $F_{\text{sh,gr}}$:

$$F_{\text{sh,gr}} = [(1 - f_{\text{sh,wh}}) \cdot g_f + f_{\text{sh,wh}} \cdot g_{\text{sh}} \cdot \eta] / g_{\text{gl}}$$

dove:

g_{gl} è la trasmittanza di energia solare totale della finestra, quando la schermatura solare non è utilizzata;

$g_{\text{sh,wh}}$ è la trasmittanza di energia solare totale della finestra, quando la schermatura solare è utilizzata;

$f_{\text{sh,wh}}$ è la frazione di tempo in cui la schermatura solare è utilizzata, pesata sull'irraggiamento solare incidente; essa dipende dal profilo dell'irradianza solare incidente sulla finestra e quindi dal clima, dalla stagione e dall'esposizione.

Nella norma UNI/TS 11300-1 per la valutazione della prestazione energetica di un edificio di progetto o standard i valori di $f_{\text{sh,wh}}$ si ricavano dal prospetto 15 in funzione del mese e dell'orientamento.

4.4. Gli schermi fissi

Nella valutazione del flusso termico di origine solare si tiene conto di tutti gli schermi che caratterizzano il contesto urbano e territoriale in cui è inserito un edificio e delle schermature dell'edificio stesso: aggetti, sporgenze, logge, ecc.

In particolare, come indicato nel paragrafo 2.2.5, il parametro che consente di tener conto della presenza degli schermi fissi è il fattore di riduzione per ombreggiatura $F_{\text{sh,ob}}$; tale parametro è relativo ad elementi esterni per l'area di captazione solare effettiva di una superficie e può essere calcolato come prodotto dei fattori di ombreggiatura relativi ad ostruzioni esterne F_{hor} , ad aggetti orizzontali F_{ov} e verticali F_{vir} :

$$F_{\text{sh,ob}} = F_{\text{hor}} \times F_{\text{ov}} \times F_{\text{vir}}$$

I valori dei fattori di ombreggiatura dipendono dalla latitudine, dall'orientamento dell'elemento ombreggiato, dal clima, dal periodo considerato e dalle caratteristiche geometriche degli elementi ombreggianti e sono riportati dalla Norma UNI/TS 11300-1 nell'Appendice D.

Nelle Figure 5 e 6 sono rappresentati i fattori di ombreggiatura F_{hor} relativi a un'ostruzione esterna per tre località italiane con latitudine diversa: Torino 45°N, Roma 41°N ed Agrigento 37°N; l'angolo di ombreggiamento considerato (α) per

ostruzioni esterne) è rispettivamente di 20° e 40° con l'orientamento dell'ostruzione esterna a Sud.

Si nota come il fattore di ombreggiatura sia molto simile per le tre diverse città nei

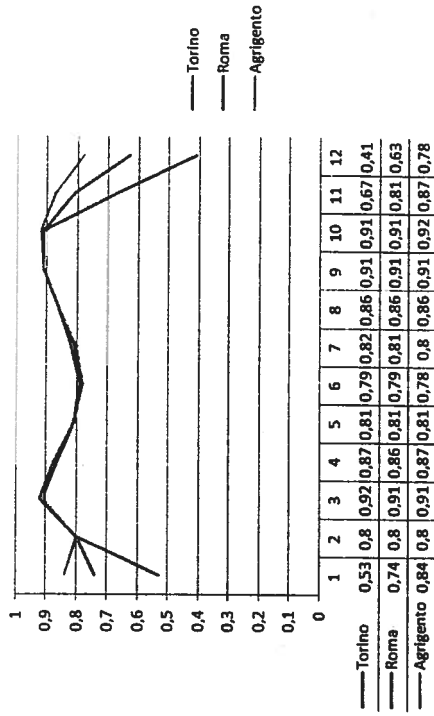


Figura 5. Fattori di ombreggiatura per uno schermo esterno orientato a Sud nei diversi mesi dell'anno a Torino (in blu), Roma (in rosso) e Agrigento (in verde) con angolo di ostruzioni $\alpha=20^\circ$.

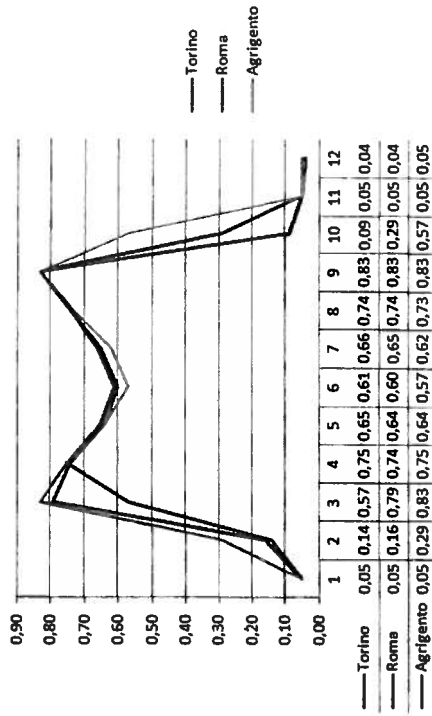


Figura 6. Fattori di ombreggiatura per uno schermo esterno orientato a Sud nei diversi mesi dell'anno a Torino (in blu), Roma (in rosso) e Agrigento (in verde) con angolo di ostruzione $\alpha=40^\circ$.

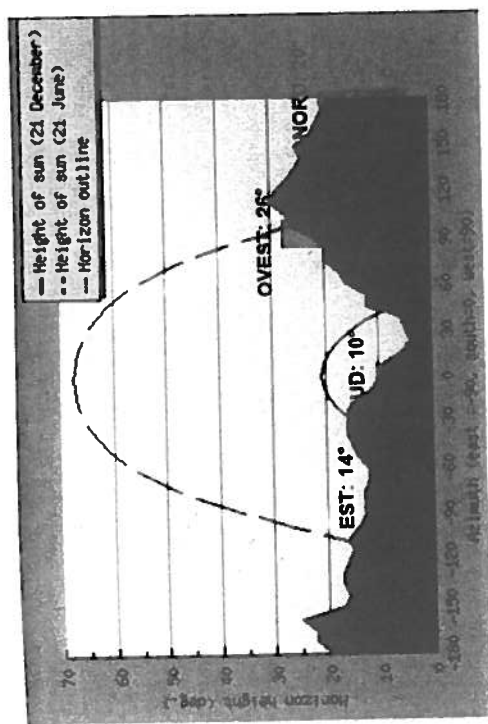


Figura 7. Fattori di ombreggiatura esterni dovuti all'orografia del territorio per la località di Breuil-Cervinia in Valle d'Aosta (Latitudine: 45°56'13" N, Longitudine 7°37'46" E, Altitudine: 2080 m s.l.m.).

mesi estivi, mentre varia da una città all'altra nel periodo invernale, quando il sole è più basso. In particolare il fattore di ombreggiatura diminuisce in modo significativo a Torino nei mesi invernali quando l'altezza solare è minore e l'irradiazione diretta viene schermata e all'aumentare dell'angolo dell'ostruzione esterna.

In fine esistono degli strumenti on-line per la valutazione degli angoli di ostruzione dovuti al territorio. Ad esempio in Figura 7 è rappresentato lo studio delle ombre dovute all'orografia del territorio per la località di Breuil-Cervinia in Valle d'Aosta realizzato con PVGIS (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>).

In Figura 7 sono rappresentati i percorsi solari per il 21 dicembre (linea continua) e per il 21 giugno (tratteggiato) tenendo conto dell'ostruzione delle montagne nella valle del Breuil-Cervinia. Sulle ascisse si legge l'angolo di azimut solare e sulle ordinate l'altezza solare; in arancione sono rappresentati gli angoli delle ostruzioni del territorio per le diverse esposizioni.

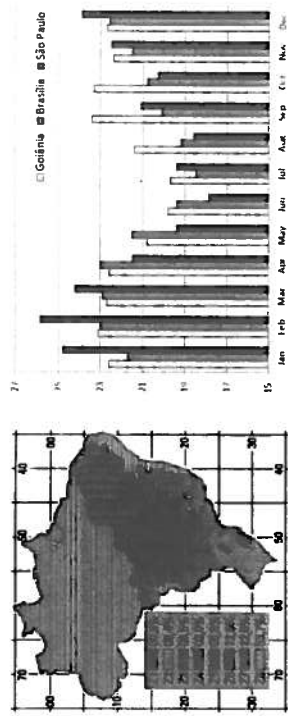


Figura 8. Le otto zone climatiche in Brasile e le temperature medie mensili di alcune metropoli brasiliane.

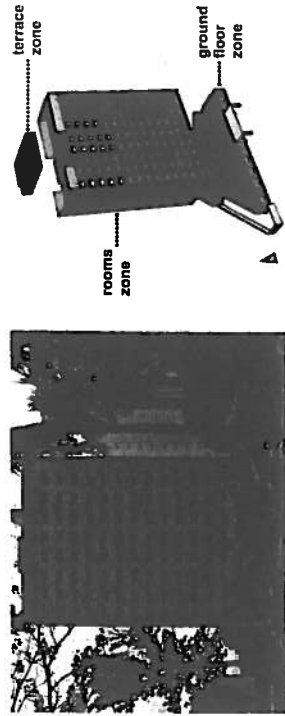


Figura 9. La facciata principale dell'albergo e lo schema delle zone termiche.

4.5. Un esempio di riqualificazione energetica in Brasile^{8, 9}

In questo paragrafo si è scelto di riportare un'esperienza di riqualificazione energetica di un albergo in Brasile in quanto questo paese ospita i mondiali di calcio (nel 2014) e le Olimpiadi (nel 2016) e quindi c'è una grande attenzione nella valorizzazione del turismo e di tutte le sue infrastrutture tenendo conto anche dell'impatto di queste opere sull'ambiente. Inoltre nel settembre 2012 è stata firmata una convenzione per l'adozione della certificazione energetico-ambientale per gli edifici del nuovo protocollo ClimAbita a Mendoza nella vicina Argentina.

8 "Evaluation of retrofitting strategies for energy saving in Brazilian hotels", Cademartori E., Mutani Guglielmina, Cóstola D., Hensen J.Lm., 9th World Energy System Conference WESC 2012, Suceava (Romania), Bulletin A.G.I.R. ISSN 1224-7928, June 28-30 2012, pp. 827-840.
9 "Energy policies for Brazilian hotels - implementation's prelude", E. Cademartori, G. Mutani, C. Amorim, The Scientific Bulletin of the Electrical Engineering Faculty, ISSN 1843-6188, URL <http://www.buletinfie.ro>, Romania, accepted for publication in 2012.

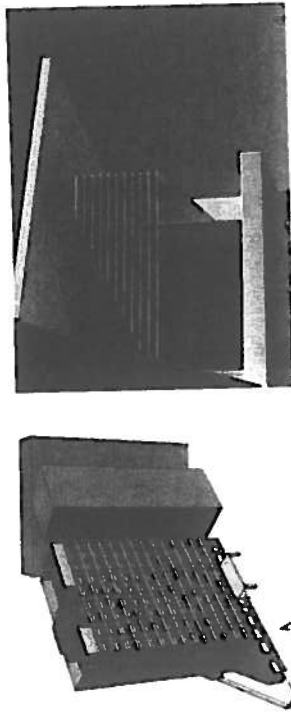


Figura 10.1 due interventi di schermatura sulle facciate principali dell'albergo Sud e Nord.

Il Brasile è un paese molto vasto di circa 8,5 milioni di km² con una latitudine variabile da 5°N a 34°S e quindi con condizioni climatiche diverse. Le politiche energetiche nell'edilizia sono quindi partite suddividendo il paese in otto zone climatiche (vedi Figura 8) per ognuna delle quali sono state individuate dodici strategie di interventi di riqualificazione energetica.

In questo lavoro si è scelto di valutare una riqualificazione energetica di un albergo esistente in Goiânia (latitudine 16.68°S, longitudine 49°15'W e altitudine 749 m s.l.m.), una metropoli nel centro del Brasile a 160 km da Brasilia, caratterizzata da un clima tropicale: umido da ottobre ad aprile e secco da maggio a settembre, con temperature medie mensili variabili da 13°C a 32°C. In queste condizioni climatiche, per mantenere gli ambienti ad una temperatura confortevole, è necessario raffreddare gli edifici per gran parte dell'anno ed in Brasile si utilizza principalmente la fonte elettrica.

L'albergo scelto è una costruzione tipica delle città del centro del Brasile caratterizzato da un'urbanistica organizzata in isolati chiamati "Super Quadre" costituiti da blocchi di condomini da tre a sei piani e con strade a maglia ortogonale che separano una Super Quadra dall'altra.

L'albergo oggetto di riqualificazione (vedi Figura 9) è di 17 piani fuori terra con 196 stanze e le parti comuni per un totale di 8.041 m². Tutti gli spazi interni sono condizionati.

Sono stati valutati dieci interventi di riqualificazione tenendo conto anche degli incentivi e delle fonti di energia rinnovabili che si riescono a sfruttare. In particolare sono risultati sostenibili da un punto di vista ambientale ed economico, nonché tecnicamente fattibili, gli interventi di schermatura dell'involucro sulle facciate Sud e Nord (vedi Figura 10):

- una struttura schermante orizzontale e verticale che consente di avere un angolo di ombreggiamento verticale di 40° e orizzontale di 35° sulle vetrate;
- delle lamelle orientabili orizzontali e verticali.

La riduzione stimata del carico solare è del 35% con il primo intervento e del 50% con

le lamelle. È stato scelto quest'ultimo intervento in quanto consente una riduzione del 32% sul fabbisogno energetico di raffrescamento con costi di riqualificazione minori. Inoltre è stata valutata anche l'ipotesi di scegliere una finitura esterna dell'involucro opaco più chiara in modo da ridurre il carico termico sulle facciate e sul tetto dell'edificio. Tenendo conto che nella pratica edilizia si utilizzano delle finiture esterne con coefficienti di assorbimento solare α pari a 0,42 e 0,48 rispettivamente per le pareti e i tetti, si è scelto di utilizzare una tinteggiatura con α pari a 0,20. Inoltre a tale intervento è stata associata una sostituzione dei componenti finestrati scegliendo elementi con trasmittanza solare totale g pari a 0,28. Questi interventi hanno consentito di abbattere il carico di raffrescamento del 52%.

Infine applicando tutti gli interventi di riqualificazione ritenuti più efficaci si è raggiunto un risparmio energetico di più del 60%, con un risparmio economico di oltre 35.000 euro all'anno sulla bolletta energetica.

4.6. Le prestazioni di alcuni schermi verdi. Esempio di un monitoraggio¹⁰

In questo paragrafo vengono presentati i principali risultati di un monitoraggio effettuato su alcuni schermi verdi. Il monitoraggio è stato condotto al fine di indagare il diverso comportamento termometrico di tre tipi di schermature solari, valutandone l'efficacia in termini di controllo della radiazione solare estiva. Il monitoraggio è stato condotto presso il Dipartimento di Scienze agrarie, forestali e alimentari dell'Università degli Studi di Torino, prendendo in esame due ambienti collocati con fronte rivolto verso Sud-Est (con azimut solare pari a circa 40°).

A ridosso delle chiusure trasparenti dell'ufficio sito al piano terreno, nella primavera 2012 sono state collocati dei tutori e, nei contenitori posti alla base, sono state seminate delle piante rampicanti annuali a rapida crescita: *Ipomoea purpurea* (L.) Roth conosciuta anche con il nome di campanella blu. I due tutori sono rispettivamente costituiti da una serie di elementi orizzontali in bambù, posti ad interasse di 10-15 cm circa, e da un grigliato in acciaio a maglia più fitta. Adiacente a quest'ultimo è stata posta una tenda in paglia, tipica della tradizione mediterranea (vedi Figura 11). La funzione di regolazione climatica esercitata da uno schermo vegetale associa all'effetto di ombreggiamento, il processo di evapotraspirazione; di conseguenza le temperature dell'aria intorno alle foglie e la temperatura radiante sul fogliame, sono inferiori rispetto a quelle che si avrebbero con uno schermo artificiale. La letteratura indica infatti che anche attraverso semplici schermi verdi è possibile abbattere la

¹⁰ G. Mutiani, L. Raimondo, Il controllo della radiazione solare attraverso le chiusure trasparenti, Rivista AZERO, n. 07, 2013

temperatura superficiale esterna di più di 4°C nei mesi estivi¹¹. Per caratterizzare i tre diversi sistemi schermanti è stata calcolata l'area che ostruisce la superficie vetrata attraverso l'openess factor (OF) che rappresenta la percentuale di superficie libera rispetto a quella schermata. Tale analisi è stata condotta caratterizzando ogni pixel delle immagini dei tre schermi attraverso le diverse tonalità di colore (pixel recognition technique) con Adobe Photoshop®. I diversi schermi analizzati hanno dunque i seguenti openess factor OF: i principali risultati di questa campagna di misura sono stati riportati nella Figura 12 e nella Figura 13.

Dalla Figura 12 si può notare che la fascia, orientata a Sud-Est, non riceve più la componente di irradiazione solare diretta già verso le ore 15,30 del pomeriggio, con un abbassamento della temperatura di radiazione solare diretta, è molto simile; quando colpiti direttamente dal sole, invece, risultano avere una diversa efficacia: in particolare, la pagliarella sembra attenuare in misura minore il picco di irradiazione solare. Questo risultato potrebbe essere dovuto all'assenza del fenomeno di evaporazione oltre che dal diverso openess factor: per la pagliarella quest'ultimo è maggiore del 51% rispetto al grigliato e del 23% rispetto al bambù.

Analizzando nel dettaglio l'andamento della temperatura superficiale del vetro esterno, nelle diverse giornate, si osservano due variazioni anomale dietro il bambù: in particolare un piccolo calo dovuto alla presenza di un grande albero che scherma parte della componente solare diretta incidente sullo schermo stesso.

In Figura 13, sono infine rappresentate le temperature superficiali del vetro (interna, esterna in posizione ombreggiata dallo sporto, e dietro i tre sistemi schermanti). Anche in questo caso, in relazione alla temperatura esterna del vetro in presenza di sole (linea rossa), si può notare che essa presenta un massimo verso le ore 10 e diminuisce

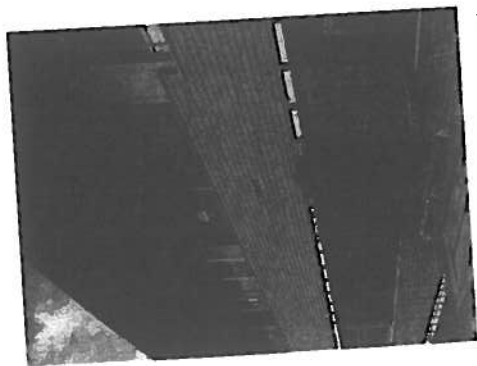


Figura 11. Fasciata SUD-EST con il rampicante su sostegni orizzontali in bambù, il rampicante su grigliato in acciaio e la tenda in paglia.

temperatura superficiale esterna di più di 4°C nei mesi estivi¹¹. Per caratterizzare i tre diversi sistemi schermanti è stata calcolata l'area che ostruisce la superficie vetrata attraverso l'openess factor (OF) che rappresenta la percentuale di superficie libera rispetto a quella schermata. Tale analisi è stata condotta caratterizzando ogni pixel delle immagini dei tre schermi attraverso le diverse tonalità di colore (pixel recognition technique) con Adobe Photoshop®. I diversi schermi analizzati hanno dunque i seguenti openess factor OF: i principali risultati di questa campagna di misura sono stati riportati nella Figura 12 e nella Figura 13.

Dalla Figura 12 si può notare che la fascia, orientata a Sud-Est, non riceve più la componente di irradiazione solare diretta già verso le ore 15,30 del pomeriggio, con un abbassamento della temperatura di radiazione solare diretta, è molto simile; quando colpiti direttamente dal sole, invece, risultano avere una diversa efficacia: in particolare, la pagliarella sembra attenuare in misura minore il picco di irradiazione solare. Questo risultato potrebbe essere dovuto all'assenza del fenomeno di evaporazione oltre che dal diverso openess factor: per la pagliarella quest'ultimo è maggiore del 51% rispetto al grigliato e del 23% rispetto al bambù.

Analizzando nel dettaglio l'andamento della temperatura superficiale del vetro esterno, nelle diverse giornate, si osservano due variazioni anomale dietro il bambù: in particolare un piccolo calo dovuto alla presenza di un grande albero che scherma parte della componente solare diretta incidente sullo schermo stesso.

In Figura 13, sono infine rappresentate le temperature superficiali del vetro (interna, esterna in posizione ombreggiata dallo sporto, e dietro i tre sistemi schermanti). Anche in questo caso, in relazione alla temperatura esterna del vetro in presenza di sole (linea rossa), si può notare che essa presenta un massimo verso le ore 10 e diminuisce

¹¹ Wong N.H., Tan A.Y.K., Chen Y., Sekar K., Tan P.Y., Chan D., Chiang K., Wong N.C., Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls, Building and Environment 45 (2010) 663-672.

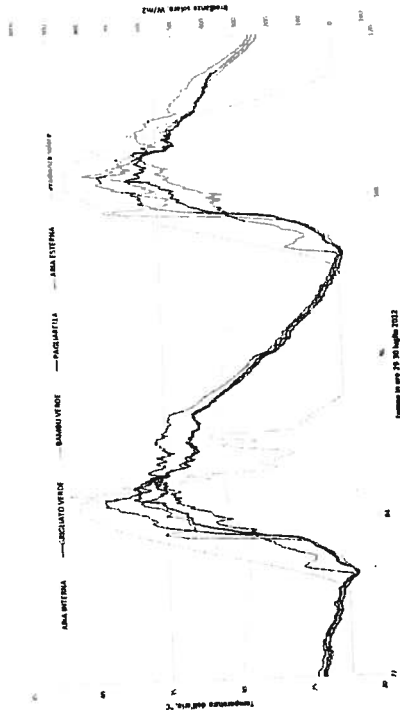


Figura 12. Andamento delle temperature dell'aria interna, esterna e sotto le diverse tipologie di schermi; i dati di irradiazione solare sono ricavati dalla stazione meteo del Politecnico di Torino e fanno riferimento alla superficie orizzontale.

scie già attorno alle 11, quando la componente diretta dell'irradiazione solare viene schermata. Anche la temperatura dell'ambiente interno presenta un massimo verso le 10,40, seguendo lo stesso andamento della temperatura superficiale del vetro non ombreggiata, nonostante tutte le finestre dell'ufficio siano schermate. È inoltre opportuno osservare che, in presenza di irradiazione solare diretta, la pagliarella ha una minor efficacia rispetto al bambù e al grigliato verde.

In ultimo, riguardo all'attenuazione della temperatura superficiale esterna del vetro, prodotta dagli schermi in presenza di irradiazione solare diretta, si registra, nei giorni di cielo sereno (27, 29 e 30 luglio) un'attenuazione della temperatura superficiale rispettivamente di 3, 4 e 6°C, conformemente a quanto trovato in letteratura¹².

4.7. La normativa di riferimento per le schermature

La normativa tecnica descrive in modo sintetico come calcolare gli indicatori degli schermi che poi andranno ad influenzare il bilancio energetico dell'edificio.

¹² Ip K., Lam M., Miller A., Shading performance of a vertical deciduous climbing plant canopy, Building and Environment 45 (2010) 81-88 e Peini K., Otiélé M., Fraaij A.L.A., Haas E.M., Raielli P., Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope, Building and Environment 46 (2011) 2287-2294.

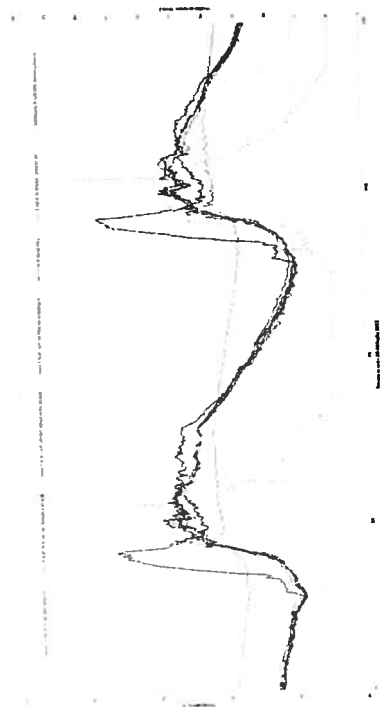


Figura 13. Andamento delle temperature superficiali della vetrata interna, esterna e sotto le diverse tipologie di schermo; i dati di irradianza solare sono stati misurati sul piano della finestra dietro gli schermi.

La parte 1 della famiglia di norme UNI/TS 113001¹³ descrive come calcolare la prestazione energetica di un edificio considerando tutte le componenti che ne influenzano il bilancio termico comprese le prestazioni dei sistemi schermanti. Tali valutazioni vengono fatte per tutto l'anno su base mensile considerando la stagione di riscaldamento e di raffrescamento utilizzando i dati climatici medi mensili della norma UNI 10349:1994¹⁴. La norma UNI/TS 11300-1 nasce dalla norma UNI EN ISO 13790:2008¹⁵ che definisce le modalità di calcolo con riferimento al metodo mensile ma anche orario per il calcolo dei fabbisogni di energia termica per riscaldamento e raffrescamento per ogni zona termica dell'edificio.

Per gli schermi fissi la norma UNI/TS 11300-1 descrive la metodologia di calcolo per valutare il fattore di riduzione per ombreggiatura $F_{sh, ob}$ in tutti i mesi, per località con diverse latitudini e in presenza di differenti angoli di ostruzione (Allegato D). Per la caratterizzazione degli schermi mobili o rimovibili si utilizza la norma tecnica UNI EN 13363-1¹⁶. Questa norma individua un metodo semplificato che fa riferimento alla trasmittanza termica ed alla trasmittanza di energia solare totale delle vetrate ed ai fattori di trasmissione e riflessione luminosa delle schermature al fine di calcolare la

13 UNI/TS 11300-1. Prestazioni energetiche degli edifici. Parte 1. Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale (maggio 2008).

14 UNI 10349. Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici (1994).

15 UNI EN ISO 13790. Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento (2008).

16 UNI EN 13363-1. Dispositivi di protezione solare in combinazione con vetrate - Calcolo della trasmittanza solare e luminosa - Parte 1. Metodo semplificato (2008).

4. La valutazione delle prestazioni energetiche degli schermi solari in relazione all'edificio

trasmittanza di energia solare totale (definita nella norma UNI EN 410¹⁷) dei dispositivi di protezione solare in combinazione con vetrate.

Tale metodo può essere applicato con le seguenti limitazioni:

- le schermature solari devono essere parallele all'elemento vetrato e posizionate rispetto a quest'ultimo all'esterno, all'interno o nell'intercapedine nel caso di vetri doppi;
 - il valore della trasmittanza di energia solare totale del vetro deve essere compresa tra 0,15 e 0,85;
 - i dispositivi schermanti devono essere posizionati in modo da non permettere l'ingresso in ambiente della radiazione solare diretta. Ciò significa che i valori di trasmissione e di riflessione solare devono essere calcolati come se le schermature solari fossero interamente chiuse od aperte con inclinazione di 45°, considerando un'incidenza della radiazione solare normale rispetto alla superficie dello schermo;
 - nel caso di schermature esterne od integrate all'interno del vetro, l'intercapedine che si crea tra lo schermo e la superficie da schermare non deve essere ventilata;
 - nel caso di schermature interne, l'intercapedine che si crea tra lo schermo e la superficie da schermare deve essere ventilata;
 - la radiazione solare deve essere considerata con incidenza solo normale rispetto alla superficie schermante. Ciò significa che non si tiene conto della dipendenza della trasmissione solare, della riflessione e della loro distribuzione spettrale dall'angolo di incidenza;
 - i valori dei fattori di trasmissione solare e riflessione solare dei dispositivi schermanti devono essere compresi tra $0 \leq \tau_{s, g} \leq 0,5$ e $0,1 \leq \rho_{s, g} \leq 0,8$.
- Esiste anche la norma UNI EN 13363-2¹⁸ che descrive il metodo dettagliato per il calcolo della trasmittanza solare e luminosa. Si basa sui dati di trasmissione spettrale dei materiali, per determinare la trasmittanza di energia solare totale ed altri parametri dei dispositivi di protezione solare abbinati a vetrate; questo metodo è valido:
- per tutti i tipi di dispositivi di protezione solare paralleli alle vetrate e posizionati rispetto a queste ultime all'esterno, all'interno o nell'intercapedine nel caso di vetri doppi; in ciascuno di questi casi è ammessa la ventilazione nell'intercapedine che si crea tra i diversi strati;
 - per gli schermi trasparenti, traslucidi ed opachi combinati con vetrate aventi fattori di trasmissione e riflessione solare ed emissività termica (ϵ) noti;
 - se la radiazione solare viene considerata con incidenza solo normale rispetto alla superficie schermante; ciò significa che non si deve tenere conto della dipendenza della trasmissione e della riflessione solare dei materiali dall'angolo di incidenza.

17 UNI EN 410. Vetro per edilizia - Determinazione delle caratteristiche luminose e solari delle vetrate (2011).

18 UNI EN 13363-2. Dispositivi di protezione solare in combinazione con vetrate. Calcolo della trasmittanza solare e luminosa. Parte 2. Metodo di calcolo dettagliato (febbraio 2006).

Il problema di questa norma è legato alla quantità di dati che è necessario avere per i vetri, intercapedini e schermi. In particolare sono indispensabili i seguenti dati:

- per la radiazione solare e luminosa: i fattori di trasmissione di riflessione di tutte le parti;
- per la radiazione termica: il fattore di trasmissione e l'emissività di tutte le parti.

La mancanza di questi dati rende la norma UNI EN 13363-2 di difficile applicazione. Infine, fino ad ora si è parlato del consumo energetico globale di un edificio considerando unicamente il fabbisogno per la climatizzazione invernale ed estivo. In realtà bisogna considerare anche il fabbisogno energetico per la produzione di acqua calda sanitaria e, per il terziario, anche l'energia per l'illuminazione artificiale. Le famiglie di norme tecniche UNITS 11300 e la norma UNI EN 15316¹⁹, forniscono i metodi di calcolo dei primi tre contributi considerando gli impianti ad acqua, ad aria ed i sistemi radianti, ma trascurando completamente ciò che concerne l'aspetto del fabbisogno per l'illuminazione artificiale.

Per ovviare a tale mancanza, nel marzo 2008 è stata pubblicata la Norma UNI EN 15193 "Requisiti energetici per l'illuminazione", non ancora recepita dalla legge italiana. La nuova norma specifica le metodologie di calcolo del consumo energetico degli impianti di illuminazione e definisce un indicatore numerico, il LENI (Lighting Energy Numeric Indicator), che stima i consumi elettrici degli impianti illuminotecnici per uffici.

Questo parametro è in grado di valutare i consumi di un impianto in funzione della potenza luminosa complessiva, della geometria dei locali e delle ostruzioni presenti, della latitudine e della presenza o meno dei sistemi di controllo dell'illuminazione artificiale degli ambienti interni considerando le potenze parassite²⁰. Le esigenze di illuminazione di un ambiente possono variare nell'arco della giornata e nel corso dell'anno, sia in relazione alle funzioni ed alle attività che vi si svolgono, sia in rapporto alla disponibilità di luce naturale o alla reale presenza degli occupanti. Per ridurre i consumi e migliorare la qualità degli edifici, si ricorre a sistemi di controllo dell'illuminazione il cui funzionamento consiste nel creare un ordine di gestione degli apparecchi superiore e sovrapposto all'impianto standard.

La norma UNI EN 15193 propone due metodi diversi per il calcolo dei consumi legati all'illuminazione:

- il primo metodo, su base annuale, è semplificato e consente di valutare rapidamente i consumi (considerando un modello di occupazione standard di 2.500 ore lavorative annuali indipendentemente dal reale utilizzo dell'ambiente);
- il secondo metodo, su base mensile, consente di valutare in maniera più dettagliata

¹⁹ UNI EN 15316. Impianti di riscaldamento degli edifici - Metodo per il calcolo dei requisiti energetici e dei rendimenti dell'impianto (2008-2011).

²⁰ "L'influenza dei sistemi di controllo dell'illuminazione sul bilancio energetico degli edifici", Marco M. Pedrazzo, Marco Rostagno, Relatori. Mutani, Lo Verso, Blaso, Tesi di Laurea in Architettura, Politecnico di Torino, settembre 2010

i consumi in quanto tiene conto, oltre ai dati dell'impianto, anche degli orari di lavoro effettivi. È possibile risalire al fabbisogno complessivo di energia per l'illuminazione, ma anche al consumo mese per mese, deducendo gli apporti interni per la stagione di riscaldamento e per quella di raffrescamento.

Bibliografia

Cademartori E., Mutani G., Amorim C., "Energy policies for Brazilian hotels - Implementation's prelude", The Scientific Bulletin of the Electrical Engineering Faculty, ISSN 1843-6188, URL <http://www.buletinfie.ro>, Romania, accepted for publication in 2012.

Cademartori E., Mutani Guglielmina, Cóstola D., Hensen J.Lm. "Evaluation of retrofitting strategies for energy saving in

Brazilian hotels", 9th World Energy System Conference WESC 2012, Suceava (Romania), BULETIN A.G.I.R. ISSN

1224-7928, June 28-30 2012, pp.827-840.

Corrado V., Paduos S., "La nuova legislazione sull'efficienza energetica degli edifici. Requisiti e metodi di calcolo", Celid, aprile 2008.

Mutani G., Raimondo L., "Il controllo solare attraverso le chiusure trasparenti", AZE-RO, EdicomEdizioni, Vol. 07, 2013,

pp.54-61. ISSN: 2239-9445/2013.

Pedrazzo M. M., Rostagno M., "L'influenza dei sistemi di controllo dell'illuminazione sul bilancio energetico degli edifici",

Relatori: Mutani, Lo Verso, Blaso, Tesi di Laurea in Architettura, Politecnico di Torino, settembre 2010.

Raimondo L., Mutani G., Massaia C., "La procedura di certificazione della prestazione energetica: dal sopralluogo

all'A.P.E.", Maggioli S.p.A. Ed., 2014, Vol. 1, pp. 354, ISBN: 9788891601568

Indice

Presentazione	5
Il ruolo dello schermo solare tra architettura, tecnologia e prestazioni	5
1. Il futuro dei sistemi schermanti tra recupero del passato e innovazione	7
1.1. Nuove opportunità	7
1.2. Le esperienze di progettazione del passato, prima della disponibilità dell'energia	8
1.3. Ruolo degli schermi (nel progetto contemporaneo)	9
1.3.1. Gli schermi e il disegno dell'edificio	9
1.4. Varietà degli schermi	12
1.5. L'ostentazione dell'energia	13
1.6. Quando l'identità formale prevale è facile trascurare requisiti che nella gestione potranno risultare mancanti	15
1.7. Il vetro	15
1.8. Campi di forza	16
1.9. La centralità dell'immagine	17
1.10. Per il progetto di nuovi schermi	18
Bibliografia	18
2. La radiazione solare e il bilancio energetico di un edificio	19
2.1. La radiazione solare	19
2.1.1. La radiazione solare extra-atmosferica e terrestre	20
2.1.2. Banche dati	22
2.2. Bilanci di energia sull'edificio	23
2.2.1. Il bilancio termico dell'involucro	24
2.2.2. Scambi di calore per trasmissione	25
2.2.3. Scambi di calore per ventilazione	27
2.2.4. Carichi o apporti di calore gratuiti	27
2.2.5. Il bilancio termico dell'edificio	29
Bibliografia	31
3. Il controllo degli apporti solari: criteri di progetto e dimensionamento dei sistemi di schermatura	33
3.1. Strategie progettuali per il controllo degli apporti solari	33

3.2. Il controllo degli apporti solari attraverso le chiusure trasparenti	35	Anta (sinonimi: antone)	102
3.2.1. Controllo della radiazione solare incidente sul componente trasparente	36	ANTA ESTERNA	103
3.2.2. Controllo della radiazione solare complessivamente trasmessa dal componente trasparente	43	ANTA INTERNA	104
3.2.3. Controllo della radiazione solare assorbita dalle superfici interne	49	Tenda (sinonimi: tenda da sole (se non è interna))	107
3.3. Schermature solari	51	TENDA ESTERNA	108
3.3.1. Schermi vegetali	52	TENDA INTEGRATA	112
3.3.2. Schermi artificiali	53	TENDA INTERNA	115
3.4. Criteri di dimensionamento di uno schermo	58	Veneziana (sinonimi: tenda veneziana)	118
3.4.1. Analisi del soleggiamento	58	VENEZIANA ESTERNA	119
3.4.2. Determinazione del periodo di schermatura	60	VENEZIANA INTEGRATA	122
3.4.3. Scelta del tipo di schermatura	61	VENEZIANA INTERNA	125
3.5. Verifica dell'ombreggiamento determinato da uno schermo	62	Avvolgibile (sinonimi: tapparella, persiana avvolgibile)	128
3.5.1. Metodo sincronico	64	Sporto (sinonimi: mensola)	132
3.5.2. Metodo diacronico	67	SPORTO ORIZZONTALE	133
Bibliografia	67	SPORTO VERTICALE	136
4. La valutazione delle prestazioni energetiche degli schermi solari in relazione all'edificio	69	SPORTO MISTO	139
4.1. Gli indicatori per la valutazione dei sistemi schermanti	69	Frangisole (sinonimi: brise-soleil)	140
4.2. Gli schermi mobili o rimovibili	72	FRANGISOLE ORIZZONTALE	141
4.2.1. Gli schermi esterni	74	FRANGISOLE VERTICALE	145
4.2.2. Gli schermi interni	75	FRANGISOLE INCLINATO	148
4.2.3. Gli schermi incorporati nel vetro	75	Griglia (costituisce un caso particolare di frangisole)	149
4.3. I sistemi schermanti mobili	76	GRIGLIA ORIZZONTALE	150
4.4. Gli schermi fissi	78	GRIGLIA VERTICALE	153
4.5. Un esempio di riqualificazione energetica in Brasile	81	GRIGLIA INCLINATA	156
4.6. Le prestazioni di alcuni schermi verdi. Esempio di un monitoraggio	83	Schermo vegetale	157
4.7. La normativa di riferimento per le schermature	86	Bibliografia	160
Bibliografia	89	6. Gli schermi vegetali	161
5. Classificazione e scelta dei sistemi schermanti	91	Bibliografia	171
5.1. Il percorso di redazione delle schede	92	Contenuto CD	
5.2. Imparare osservando l'esistente	93	Appendice A – Determinazione delle componenti dell'irradiazione solare: diretta, diffusa e riflessa dal terreno e la radiazione totale incidente su una superficie inclinata	
5.3. Classificazioni e progetto: da strumento di analisi a supporto alle scelte	93	Appendice B – I diagrammi polari per l'analisi del soleggiamento	
Persiana (sinonimi: gelosia)	96	Appendice C – Programmi e software per dimensionare e verificare le prestazioni delle schermature solari	
PERSIANA SCORREVOLE	97	Appendice D – Quadro legislativo e normativo	
PERSIANA A BATTENTE	98	Versione del volume a colori	
PERSIANA A LIBRO	99		



**SISTEMI DI IDI PER IL CONTROLLO
E LA TUTELA DELL'AMBIENTE**

Edicom Edizioni

La gestione delle risorse umane e materiali è un'attività complessa e articolata che richiede un'attenta pianificazione e un'accurata organizzazione. Questo volume è dedicato a chi si occupa di risorse umane e materiali, fornendo una panoramica completa delle attività e delle responsabilità in questo campo.

La gestione delle risorse umane e materiali

Apprendi senza perdere

Apprendi senza perdere

Apprendi senza perdere

Apprendi senza perdere

Apprendi senza perdere

Apprendi senza perdere

Apprendi senza perdere

Apprendi senza perdere

Apprendi senza perdere

Apprendi senza perdere

Apprendi senza perdere

Apprendi senza perdere

Apprendi senza perdere

Apprendi senza perdere

Apprendi senza perdere

Apprendi senza perdere

Apprendi senza perdere

Apprendi senza perdere

Apprendi senza perdere

Apprendi senza perdere

Apprendi senza perdere

Apprendi senza perdere

Apprendi senza perdere

Apprendi senza perdere