



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie,  
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



*Ministero dello Sviluppo Economico*

## RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

impatto delle protezioni solari trattate con vernici innovative ad  
elevata riflettanza all'infrarosso sulle prestazioni energetiche di  
edifici residenziali in regime estivo

*M. Zinzi, G. Fasano, S. Agnoli, E. Carnielo*



IMPATTO DELLE PROTEZIONI SOLARI TRATTATE CON VERNICI INNOVATIVE AD  
ELEVATA RIFLETTANZA ALL'INFRAROSSO SULLE PRESTAZIONI ENERGETICHE DI  
EDIFICI RESIDENZIALI IN REGIME ESTIVO

M. Zinzi, G. Fasano, S. Agnoli (ENEA),  
E. Carnielo (Università Roma Tre)

Settembre 2011

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica)

Progetto: Studi e valutazioni sull'uso razionale dell'energia. Tecnologie per il risparmio elettrico nel settore civile

Responsabile Progetto: Gaetano Fasano, ENEA

## Sommario

L'andamento dei consumi elettrici in Italia ed all'estero dimostra una continua crescita degli usi finali per la climatizzazione estiva degli edifici. Diverse soluzioni possono migliorare le caratteristiche del parco edilizio esistente e di nuova costruzione per ottimizzarne le prestazioni energetiche. I *cool coloured material*, sono dei prodotti caratterizzati da un dato colore ma da un più elevato livello di riflettanza solare, dovuto alle caratteristiche di riflessione del materiale nello spettro dell'infrarosso vicino. Trattare i sistemi di protezione solare, tipici dell'edilizia residenziale italiana, con materiali di questo tipo consente di limitare l'innalzamento termico degli stessi in presenza di radiazione solare. Questa opportunità è ancora più importante oggi che l'alluminio va a sostituire i tradizionali componenti in legno. Sono studiate e comparate le curve di riflettanza di elementi in alluminio, trattati con verniciature tradizionali e *cool*, nelle colorazioni più usate per i tipi di protezione solare in esame. Le curve sono ottenute mediante analisi spettrofotometrica di una serie di campioni. I risultati ottenuti sono utilizzati come input per simulazioni in regime dinamico, l'obiettivo è valutare l'impatto derivante dall'utilizzo di vernici riflettenti per la riduzione dei consumi energetici per la climatizzazione estiva ed il miglioramento delle condizioni di comfort termico negli edifici non climatizzati. L'analisi è condotta in funzione di una serie di parametri: zona climatica, livello di isolamento, uso degli impianti di climatizzazione, caratteristiche dell'edificio. I risultati ottenuti per gli edifici climatizzati dimostrano che l'effetto delle vernici riflettenti comportano un risparmio per il raffrescamento estivo compreso tra il 4 ed il 6%, con punte di quasi il 9%. I risultati ottenuti per edifici non climatizzati mostrano una forte riduzione delle ore con temperature critiche (oltre i 30°C), mediamente tra il 20 ed il 40%, con picchi di quasi il 50%. Un esempio di applicazione del metodo di comfort adattativo ha dimostrato un generale aumento del livello di comfort per le zone climatiche e gli edifici testati, con un notevole contributo delle vernici nei climi più caldi. Si è calcolato un incremento delle ore di comfort di oltre il 15% nella stagione tra maggio e settembre a Palermo. Pur trattandosi di un'applicazione focalizzata su una porzione di involucro limitata, i risultati dell'analisi dimostrano che la stessa ha un impatto non trascurabile nel bilancio termico degli edifici residenziali in varie zone climatiche del territorio nazionale.

## IMPACT OF SOLAR PROTECTION DEVICES TREATED WITH COOL MATERIALS ON THE COOLING ENERGY PERFORMANCES OF ITALIAN DWELLINGS

### Summary

The electricity consumption trends in Italy and abroad show a continuous increase of the energy end uses for cooling the building stock. Several solutions can be adopted to improve the characteristics of the existing building stock and for new constructions and to optimise the energy performances. Cool coloured materials are characterised by a colour, whose solar reflectance is higher than the conventional value due to a higher reflectance in the near infrared range. The application of these materials on the solar protection components, typical of Italian residential buildings, reduce the heat up of such components under the solar radiation. This opportunity is even more important nowadays, since the aluminium is replacing the traditional wood for these components. The reflectance curves of conventional and cool coloured coatings on aluminium for solar protection devices are studied and compared. The study is performed for some typical colours. The curves are obtained by spectrophotometry on a number of samples. The results are use as input in dynamic building simulation in order to asses the energy performances of cooled buildings and the improvement of the thermal comfort in not-cooled buildings. The analysis is performed as a function of different parameters: climatic zone, insulation level, energy system use, building characteristics.

## Indice

1. Introduzione	6
2. Produzione di vernici riflettenti per telai e protezioni solari in alluminio	7
3. Caratterizzazione ottica	8
4. Analisi numerica	13
4.1. Metodologia	13
4.2 Zone climatiche	13
4.3 Edificio di riferimento	14
4.4 Analisi dei risultati	18
4.4.1 Edifici climatizzati	18
4.4.2 Edifici non climatizzati	21
Bibliografia	24

## 1. Introduzione

I dati sull'andamento dei consumi energetici, disponibili da fonti nazionali ed internazionali, mostrano una tendenza crescente soprattutto per gli usi elettrici. Ne è un esempio la figura 1, che riporta l'andamento degli usi finali di energia nel settore civile, disaggregati nei due vettori principali: combustibili fossili ed energia elettrica. I dati riguardano il periodo tra il 1990 ed il 2007. Gli andamenti evidenziano un aumento di circa il 10% dei combustibili fossili a partire dai valori del 1990. Gli usi finali elettrici sono aumentati di circa il 65% (con una crescita notevolissima nel terziario +115%, ma consistente anche nel residenziale + 27%) nello stesso periodo. Se è vero che il numero di elettrodomestici ed altre apparecchiature elettriche negli edifici è notevolmente aumentate durante l'ultimo ventennio, è altrettanto vero che la loro efficienza energetica è decisamente migliorata, come testimoniano elettrodomestici bianchi con classi di efficienza energetica sempre più elevate o le lampade a basso consumo. È lecito allora ipotizzare che una notevole fetta di tale incremento dei consumi elettrici possa essere imputata ai consumi elettrici per la climatizzazione estiva, soprattutto nel settore residenziale, che ha subito una forte accelerazione negli ultimi anni.

Un esempio di questo andamento è fornito dai dati di vendita forniti da COAER, l'associazione nazionale dei produttori per impianti di condizionamento dell'aria. I dati pubblicati sottolineano come tra il 2002 ed il 2006 siano state vendute più di otto milioni di macchine compatte per il condizionamento dell'aria, quelle tipicamente utilizzate nelle residenze. Negli stessi anni i consumi elettrici nazionali nel civile sono aumentati del 15% e del 7.4% nel solo settore residenziale. L'andamento si mantiene, seppure con minore intensità. Ad esempio nel 2008 sono state vendute oltre un milione e trecentomila macchine split.

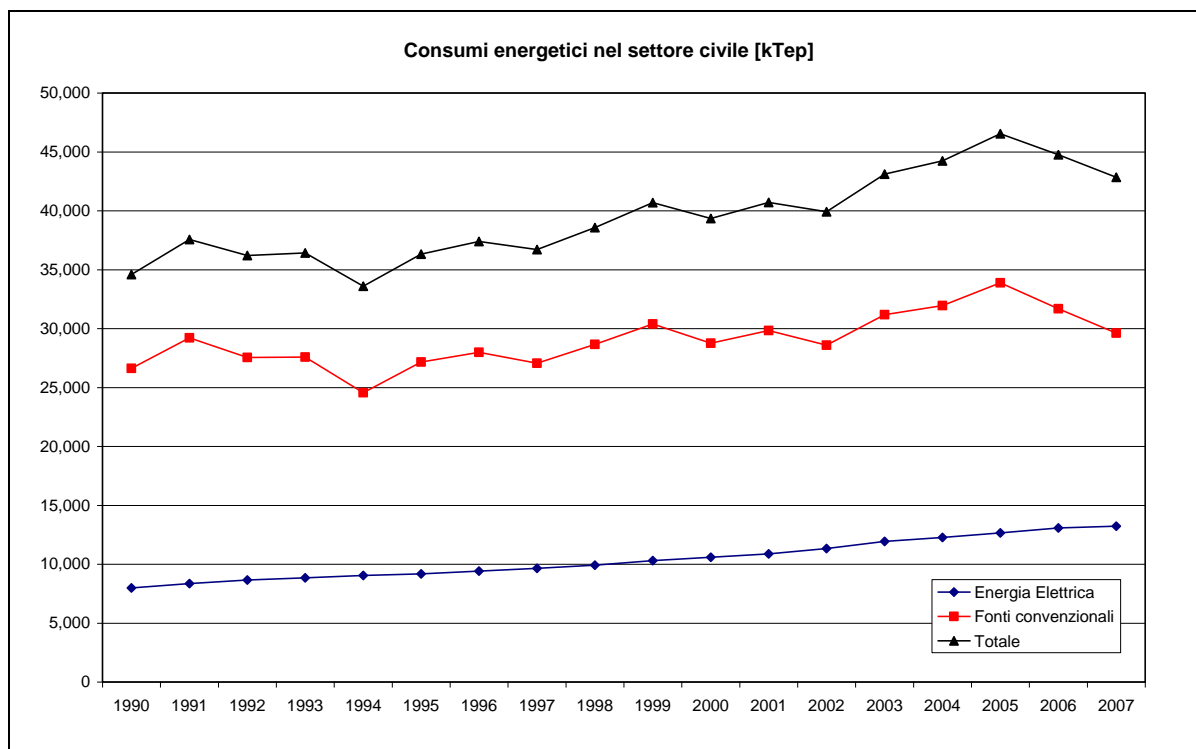


Figura 1 Consumi energetici nel settore civile

Da questo quadro emerge la necessità di una razionalizzazione dei consumi elettrici per la climatizzazione estiva, sulla scorta di quanto fatto per i consumi invernali. Il problema è tanto più urgente, quanto più si assiste al generalizzato aumento delle temperature ed a una sempre maggiore richiesta di comfort da parte degli utenti, anche da classi sociali fino a poco tempo fa non in grado di sopportarne gli oneri economici.

È noto che il controllo della radiazione solare sia una delle principali strategie per evitare il surriscaldamento degli edifici, soluzione ottenibile attraverso una efficace schermatura delle superfici trasparenti dell'involucro edilizio. Tralasciando il caso degli edifici non residenziali, caratterizzati da altri profili di uso e soluzioni architettoniche, è il caso di ricordare che gli edifici italiani hanno spesso fatto uso di elementi di chiusura dalla doppia funzione: sicurezza e protezione solare. Queste caratteristiche, riscontrabili con soluzioni simili nell'area mediterranea, facevano e fanno uso di chiusure quali *persiane* e *scuretti*, realizzati in legno e con colori prevalentemente scuri: verde, marrone, blu, ecc. Recentemente si è cominciato ad utilizzare l'alluminio in sostituzione del legno, per motivi legati alla durabilità ed alla stabilità del prodotto ma con lo svantaggio legato ai livelli di temperatura che il metallo raggiunge in presenza della radiazione solare. L'utilizzo di colori più chiari consentirebbe di limitare i profili termici ma trova ostacolo nella tradizione e, spesso, nei vincoli urbanistici ed edilizi, che impongono determinate soluzioni cromatiche per gli elementi di facciata.

I cosiddetti *cool coloured material* sono una soluzione innovativa per superare i vincoli precedentemente citati. Questo tipo di materiali sono caratterizzati dal colore desiderato, ma da un più elevato coefficiente di riflessione solare, ottenuto innalzando i livelli di riflessione del materiale nello spettro dell'infrarosso vicino. È così possibile ottenere delle gradazioni di colori tradizionali (verde, rosso, nero, ecc.) con valori di riflettanza solare decisamente più elevati di quelli ottenibili con materiali convenzionali. Questo tipo di materiali è in parte utilizzato per i mezzi da trasporto e per le coperture degli edifici, i cosiddetti *cool roof*, oppure per gli spazi urbani, pavimentazioni stradali e pedonali.

Non esistono attualmente studi che consentano di valutare le potenzialità di questi materiali innovativi per la finitura dei sistemi di protezione solare degli edifici. Questo studio intende valutare i benefici conseguibili negli edifici residenziali in diverse zone climatiche dell'Italia. Il lavoro include anche una analisi di caratterizzazione ottica di alcuni materiali appositamente sviluppati..

## **2. Produzione di vernici riflettenti per telai e protezioni solari in alluminio**

L'ottimizzazione delle prestazioni energetiche degli edifici passa anche attraverso piccoli risparmi conseguibili con azioni mirate, a patto di essere economicamente e tecnicamente sostenibili. Una di queste potenziali soluzioni è l'utilizzo di vernici riflettenti per gli elementi di protezione sopra citati. Le prime applicazioni di vernici riflettenti per alluminio sono state utilizzate nella marina. La verniciatura liquida venne adottata dalla Marina Militare degli Stati Uniti per ridurre la temperatura all'interno delle navi e proteggere i sensibili componenti elettronici. Successivamente è stata utilizzata nelle petroliere come rivestimento esterno per ridurre la perdita di prodotto (componenti volatili) e ridurre il rischio di incendi. Le applicazioni in edilizia fanno invece uso delle vernici in polvere. Lo studio in esame è il primo in cui sono sviluppati rivestimenti particolari, che utilizzano materiali colorati ad elevata riflessione solare per sistemi di protezione solare negli edifici.

La produzione di alluminio per elementi di facciata comprende tre fasi principali:

- pretrattamento dell'alluminio grezzo, che comprende varie fasi di lavaggio, sgrassaggio e cromatazione.
- verniciatura dei profili con applicazione elettrostatica.
- imballaggio dei profili su linee se automatiche.

La verniciatura per i prodotti ad elevata riflettanza è stata realizzata utilizzando delle speciali polveri con pigmenti ad elevata riflessione solare, caratterizzate dall'aver una resa cromatica in tutto uguale a quella desiderata e da un comportamento estremamente riflettente nell'infrarosso vicino. Oggi esiste anche la possibilità di realizzare dei profili metallici che riproducano le classiche essenze del legno naturale. Il processo produttivo richiede un'ulteriore fase, oltre a quelle già citate, ovvero il processo di sublimazione per il trasferimento delle caratteristiche venature e delle variazioni cromatiche delle essenze lignee.

### 3. Caratterizzazione ottica

La prima parte dello studio è dedicata alla sperimentazione di alcune vernici di recente sviluppo, mediante una serie di misure di laboratorio. Il principale parametro che caratterizza il prodotto dal punto di vista energetico è, come detto, la riflettanza solare. Queste misure di tipo spettrale sono state eseguite con uno spettrofotometro commerciale a doppio raggio a rilevazione automatica, prodotto dalla PerkinElmer modello Lambda 950. Lo strumento è in grado di irradiare il provino con una sorgente luminosa ad incandescenza al tungsteno per le lunghezze d'onda comprese tra il visibile e l'infrarosso vicino e, attraverso un dispositivo di emissione al deuterio, per la gamma di lunghezze d'onda nell'ultravioletto. Lo spettrofotometro può essere utilizzato in differenti modalità. Per le prove in esame lo strumento è equipaggiato con una sfera integratrice, necessaria per misure ottiche accurate in presenza di campioni a comportamento non speculare e, genericamente, diffondente.

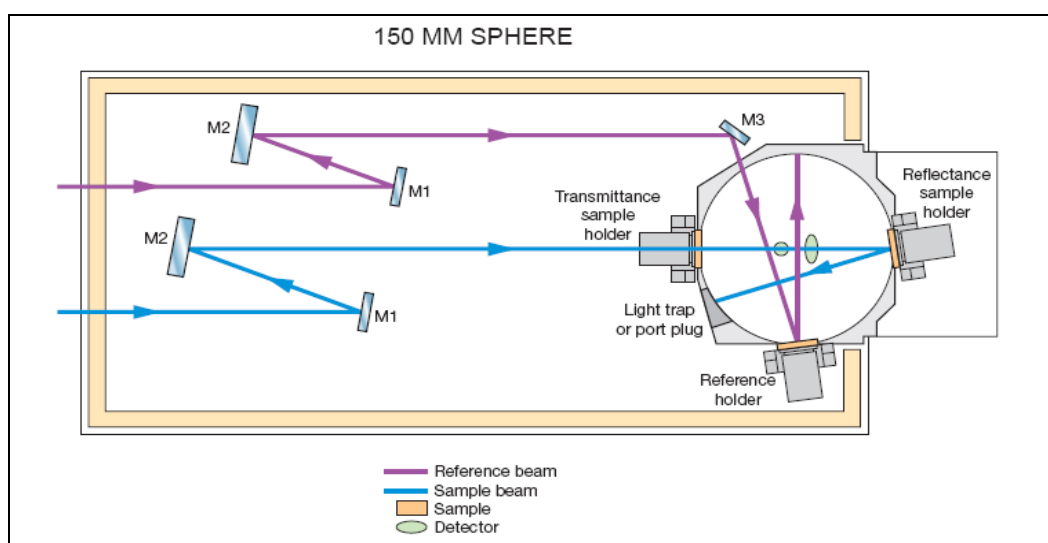


Figura 2 Schema ottico di una sfera integratrice in uno spettrofotometro a doppio raggio.

L'intervallo di scansione del provino è fissato tra 300 e 2500 nanometri secondo le norme di riferimento (1 e 2) e la scansione è eseguita ad ogni nanometro. L'apertura della slitta è di 2

nanometri nello spettro visibile e di 20 nanometri nell'infrarosso vicino. La velocità di scansione è di circa 50 nanometri/min. Prima dell'effettiva misurazione della riflettanza del campione lo spettrofotometro deve essere calibrato, ovvero quando si procede ad una sessione di misurazione si deve innanzitutto procedere con una base-line dello strumento. La misura viene effettuata misurando la riflettanza spettrale di un campione di riferimento di colore bianco, in genere un provino ceramico standard .

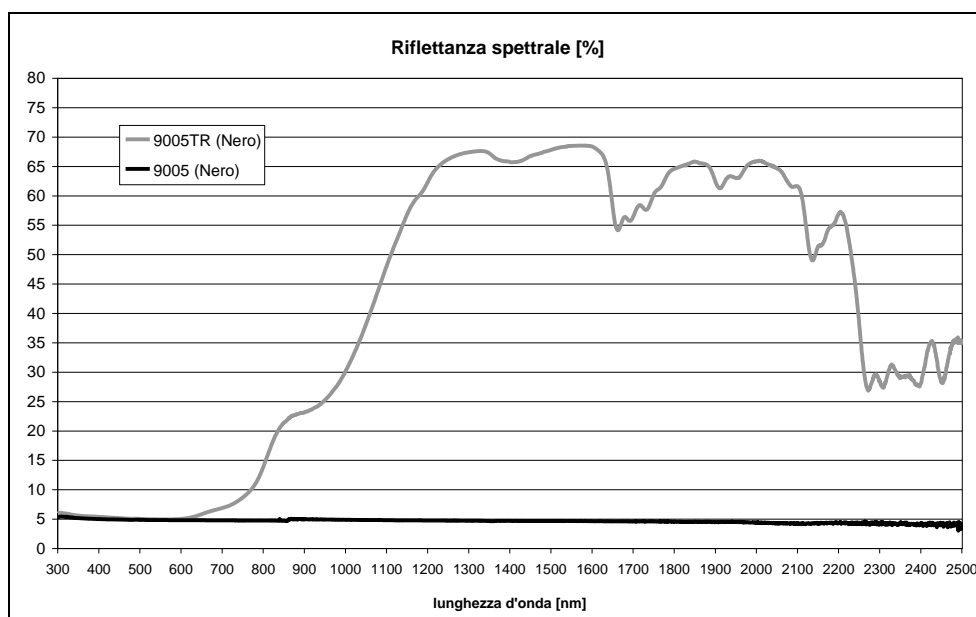


Figura 3 Comparazione di un prodotto nero con vernice convenzionale e ad elevata riflettanza

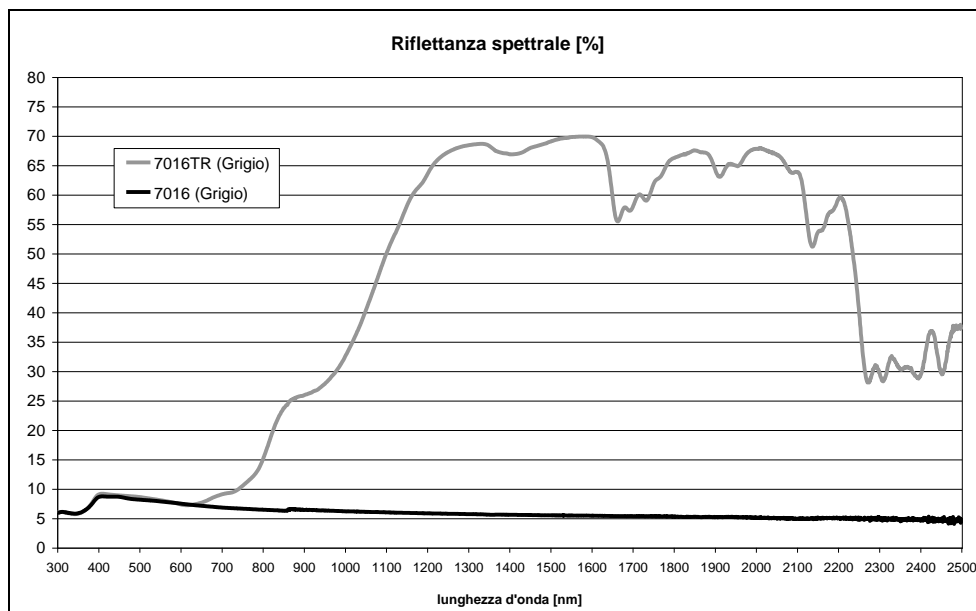


Figura 4 Comparazione di un prodotto grigio con vernice convenzionale e ad elevata riflettanza



Le figure 3, 4 e 5 riportano il confronto tra l'andamento spettrale dei set di campioni misurati con vernice convenzionale e riflettente. I campioni fanno riferimento ai colori: nero, grigio e gotico, colore di base marrone con una leggera puntinatura chiara. I valori integrati delle misure sono riportati nella tabella 1, insieme all'indice di resa cromatica dei campioni misurati.

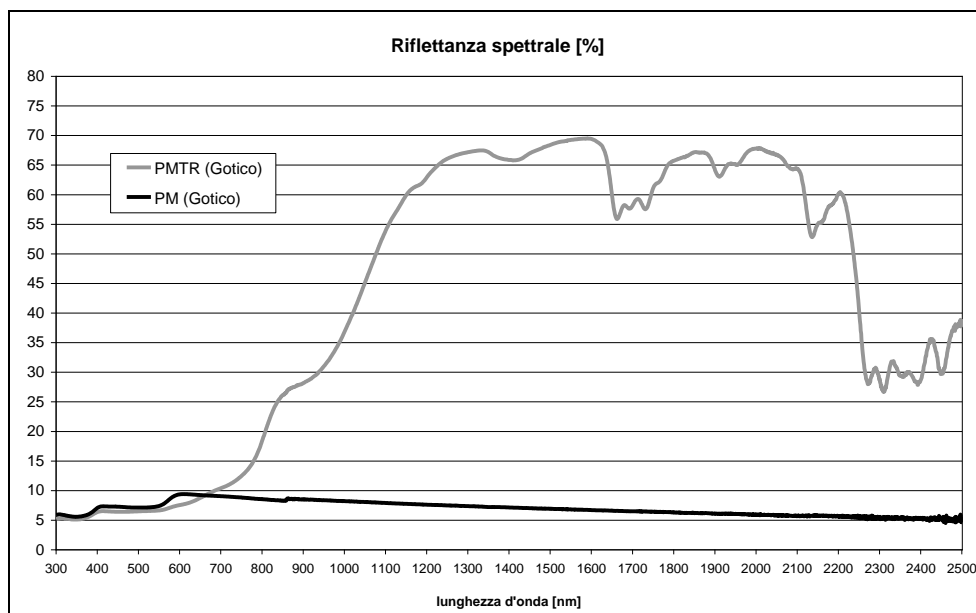


Figura 5 Comparazione di un prodotto color gotico con vernice convenzionale e ad elevata riflettanza

Tabella 1. Risultati aggregati delle misure per i colori nero, grigio e gotico

	9005TR (Nero)	9005 (Nero)	7016TR (Grigio)	7016 (Grigio)	PMTR (Gotico)	PM (Gotico)
$\rho_e$ (ISO 9050)	20.9	4.8	23.3	6.9	23.6	7.9
$\rho_v$ (ISO 9050)	5.0	4.8	8.0	7.9	7.0	8.0
$\rho_{ir}$ (ISO 9050)	42.2	4.7	44.1	6.0	45.7	7.7
$\rho_e$ (UNI EN 410)	20.2	4.8	22.6	7.0	22.9	7.8
$\rho_v$ (UNI EN 410)	5.0	4.8	8.0	7.9	7.0	8.0
Ra (UNI EN 410)	95.1	99.5	94.2	94.9	88.4	88.0

I risultati dimostrano come in questo caso l'effetto della vernice riflettente sia ampiamente positivo. La differenza di riflettanza solare è evidente in tutti i casi, con un aumento intorno al 300%, tenendo conto che si parte da valori iniziali molto bassi. Ancora maggiore è la differenza se si confronta il solo spettro dell'infrarosso vicino, in questo caso la riflettanza tra vernice convenzionale e riflettente aumenta tra 6 (gotico) e 10 (nero) volte. La risposta cromatica è molto simile per il nero ed il grigio ed, infatti, la riflettanza luminosa varia per valori inferiori al 2 per mille. La discrepanza aumenta nel caso del colore gotico, con una

differenza integrata sullo spettro luminoso di circa l'1% a favore della vernice convenzionale, differenza che si nota, tra l'altro, anche osservando le 2 curve spettrali di figura 5

La seconda analisi è stata invece condotta su materiali in alluminio, il cui trattamento superficiale deve riprodurre alcune tipiche essenze lignee. Sono state testate in particolare due diverse tipologie di marrone, una più chiara (da qui denominato per brevità chiaro) ed una più scura da qui denominato per brevità scuro), che hanno la funzione di *fondo* nei trattamenti industriali per la riproduzione delle essenze lignee. La comparazione tra vernici convenzionali e vernici riflettenti in questo non ha dato risultati molto soddisfacenti. La riflettanza solare è passata da circa 26 a 36% per il marrone scuro e da circa il 30% a circa il 36% per il marrone chiaro. Il tutto con una rispondenza cromatica piuttosto limitata, come si evince dalle curve nelle figure 6 e 7, in cui è stata evidenziata la banda del visibile tra 370 e 770 nanometri. I due materiali convenzionali in questo caso hanno la tendenza ad incrementare la riflettanza nell'infrarosso, soprattutto il marrone scuro, cosa che pregiudica l'efficacia del prodotto riflettente. Sulla base di questi risultati, si può affermare che il marrone chiaro presenta maggiori potenzialità ed andrebbe valutato sulla base di campioni che abbiano un effettivo riscontro nello spettro visibile.

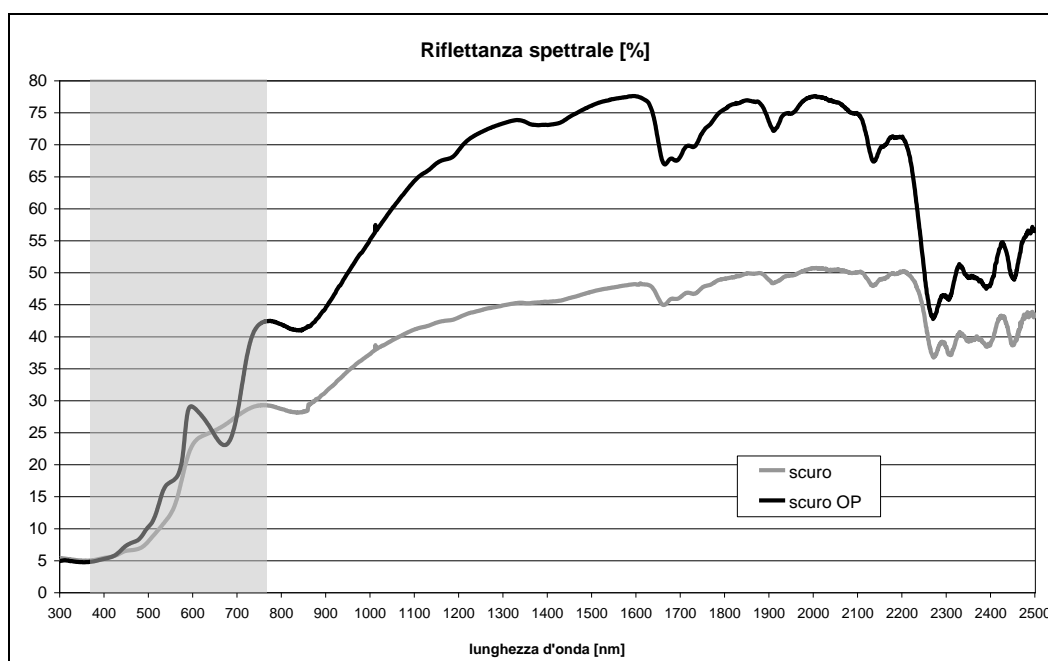


Figura 6 Comparazione di un fondo marrone scuro con vernice convenzionale e ad elevata riflettanza

L'ultimo set di misure è stato dedicato ai materiali in alluminio con riproduzione di essenze lignee, utilizzando come fondo i due fondi precedentemente testati. Come atteso, i risultati sono in linea con quelli ottenuti per il fondo. L'effetto della vernice riflettente fa passare la riflettanza solare da 25.9 a 31.7% per l'essenza legno scuro e da 28.2 a 33.7% per l'essenza legno chiaro. Un dato interessante riguarda comunque l'accuratezza della misura in questo tipo di prove, le essenze lignee sono caratterizzate da venature cui corrispondono gradazioni cromatiche differente. Per questo motivo sono state eseguite tre prove per ogni campione

andando ad analizzare venature con gradazioni cromatiche differenti. I risultati sono evidenziati in figura 8. Gli spettri del vicino infrarosso sono praticamente coincidenti, mentre nel visibile il risultati cambiano in funzione del punto di investigazione, come è evidenziato dallo spettro della prova 1, che ha avuto come spot di indagine una venatura particolarmente scura dell'essenza.

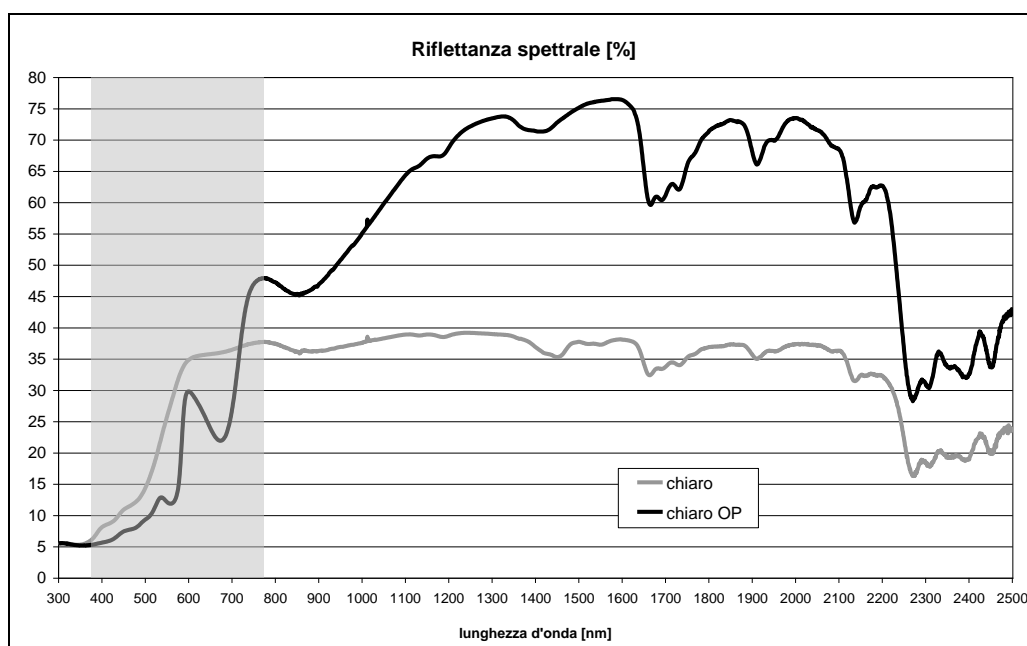


Figura 7 Comparazione di un fondo marrone chiaro con vernice convenzionale e ad elevata riflettanza

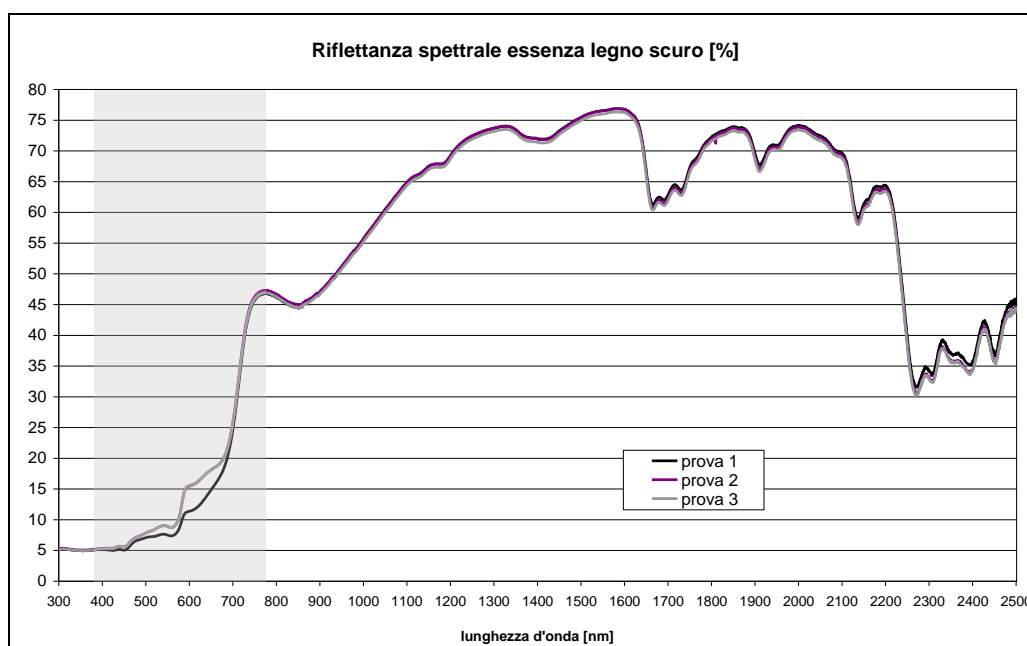


Figura 8 Curve spettrali di tre prove eseguite su una essenza lignea con fondo marrone scuro rifinite con vernice riflettente.

Una notazione finale, comune a tutti i materiali testati, riguarda il campo di azione dei pigmenti riflettenti. Questi ultimi conferiscono al prodotto il massimo di riflettanza intorno ai 1600 nanometri. Considerando che lo spettro visibile termina prima degli 800 nanometri, esiste un campo ad alto contenuto energetico in cui la riflettanza del prodotto potrebbe essere più elevata, con un contributo medio su tutto lo spettro solare stimabile intorno al 5-8%. Situazione analoga si ha nelle zone periferiche dello spettro infrarosso, ma il contenuto energetico della radiazione solare a queste lunghezze d'onda è così modesto da non suggerire azioni di ottimizzazione della risposta spettrale del prodotto.

## **4. Analisi numerica**

La seconda parte dello studio è dedicata a valutare l'impatto di questi prodotti in edifici di tipo residenziale, essendo quelli in cui questi dispositivi di protezione sono tipicamente usati. I risultati rappresentano una casistica significativa, ma in nessun caso possono ritenersi di validità assoluta, tali e tante sono le variabili in gioco.

### **4.1. Metodologia**

Per valutare l'impatto delle protezioni solari in alluminio trattate con vernici riflettenti, sono state definite alcune configurazioni standard di edificio e, conseguentemente, sono stati eseguiti i calcoli:

- del fabbisogno energetico netto, ovvero senza considerare il rendimento di impianto, per edifici climatizzati
- di comfort termico, nel caso di edificio non climatizzato.

L'impatto del prodotto è stato valutato attraverso la comparazione dei risultati ottenuti ipotizzando l'utilizzo dell'elemento di chiusura tradizionale e quello con stesso colore, ma trattato con vernici riflettenti. I calcoli sono stati effettuati utilizzando l'interfaccia Design Builder che si appoggia al motore di calcolo EnergyPlus, modello riconosciuto a livello internazionale che consente l'analisi dell'edificio in regime orario. L'analisi oraria consente di eseguire il bilancio termico in modo accurato in funzione delle varie modalità di trasferimento del calore.

### **4.2. Zone climatiche**

Sono state individuate tre zone di riferimento: Palermo, per il sud Italia, Roma per il centro, Venezia per il nord. La motivazione della scelta è dipesa da più motivi. Innanzitutto, individuare delle zone significative per numero di abitanti e per diffusione del componente in esame, tenendo presente che la tipologia di prodotto ha una larga diffusione nelle abitazioni stagionali ad uso tipicamente estivo. Le persiane sono molto usate nel Lazio ed in molte aree del sud Italia; mentre in Veneto, ed anche in altre zone del nord della penisola, è ancora molto diffuso il tradizionale scuretto. Oltre alle motivazioni legate alle tradizioni costruttive del paese, si anche cercato di coprire in modo significativo il territorio nazionale, includendo zone climatiche differenti tra loro. Palermo rappresenta le condizioni estive più severe sia in

termini di temperatura dell'aria, che di livelli di insolazione. Roma e Venezia hanno un regime termico piuttosto simile in estate, mentre variano in modo significativo i livelli di irraggiamento. La tabella 2 presenta i valori medi mensili delle due grandezze climatiche più rilevanti: la temperatura dell'aria e la radiazione solare globale sul piano orizzontale.

Tabella 2 Dati climatici delle tre città di riferimento

Mese	Palermo		Roma		Venezia	
	T (°C)	H (kWh/m <sup>2</sup> )	T (°C)	H (kWh/m <sup>2</sup> )	T (°C)	H (kWh/m <sup>2</sup> )
gennaio	12.7	64.5	8.3	58.2	2.3	29.1
febbraio	11.8	77.7	9.0	74.7	4.5	36.5
marzo	13.8	110.0	10.6	95.2	7.4	68.7
aprile	15.7	135.7	13.3	101.0	12.5	68.4
maggio	19.1	168.0	17.6	129.9	17.8	88.5
giugno	22.8	189.2	21.2	132.3	21.4	106.3
luglio	25.5	210.0	24.2	179.3	24.4	141.1
agosto	27.0	196.3	24.4	141.3	23.0	110.9
settembre	24.1	133.4	21.5	106.4	18.7	54.9
ottobre	21.6	118.7	17.0	75.4	14.0	37.6
novembre	17.2	53.7	12.8	57.5	7.9	33.7
dicembre	13.9	59.8	9.4	53.6	4.4	17.6

### 4.3. Edificio di riferimento

È stato definito un singolo ambiente, invece di un intero edificio, per avere delle indicazioni più puntuali sulle prestazioni del materiale in esame. È stata così scelta una stanza di 16 m<sup>2</sup>, a pianta quadrata con lato di quattro metri. L'altezza netta della stanza è 2.7 m. La stanza ha una sola facciata verso l'esterno, mentre le altre tre delimitano spazi interni all'appartamento. Si tratta, quindi, di superfici di separazione adiabatiche, ovvero che non implicano scambio termico tra i due ambienti separati, in quanto considerati con il medesimo regime termico. La superficie della finestra e, di conseguenza, quella dell'elemento di protezione solare, è stata definita utilizzando il coefficiente aero-illuminante, secondo quanto definito nelle norme nazionali, ovvero superficie trasparente pari ad un ottavo della superficie calpestabile dell'ambiente (2 m<sup>2</sup> per un ambiente di 16 m<sup>2</sup>). Si è poi aumentato del 25% questa superficie per tenere conto del telaio del serramento. È stata così definita l'area totale dell'elemento di protezione solare. La pianta e la sezione della stanza tipo sono riportate nelle figure 9 e 10. Sono state individuate due tipologie di ambiente:

- Piano intermedio, con una sola superficie totale disperdente

- Piano sottocopertura, come sopra con in più il solaio superiore che funge da copertura piana.

Sono state poi fissati cinque orientamenti della facciata per valutare l'impatto della protezione in funzione dell'esposizione: sud, est, ovest, sud-est, sud-ovest; non considerando le esposizioni meno esposte al soleggiamento, ovvero con orientamento prevalente nord.

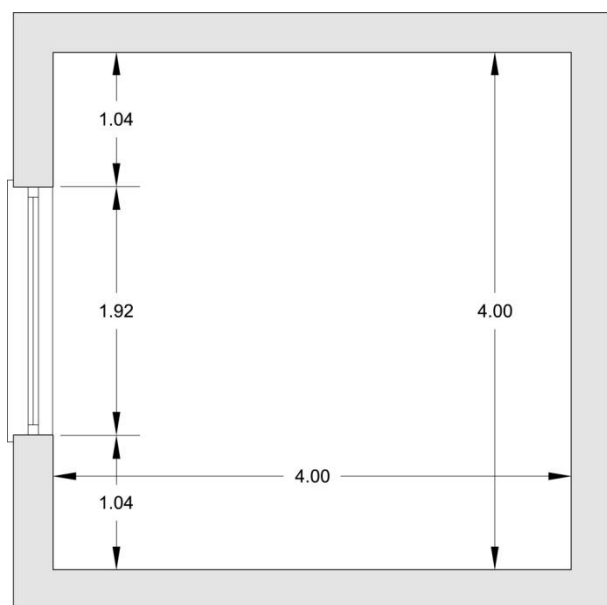


Figura 9 Pianta stanza tipo

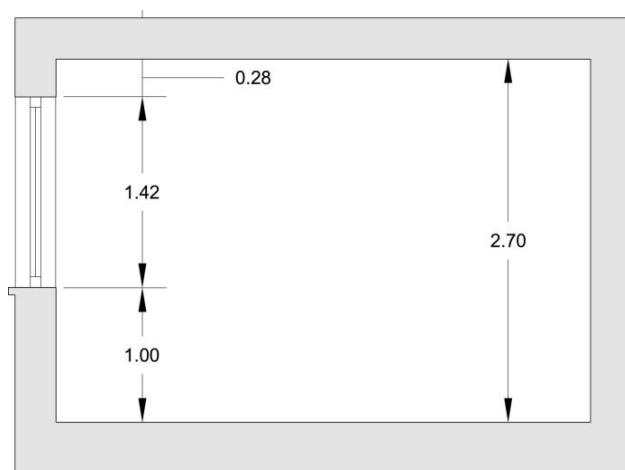


Figura 10 Sezione stanza tipo

Nelle tabelle 3 e 4 sono riportati i dati termo fisici dei materiali che compongono le chiusure opache a contatto diretto con l'esterno (la conducibilità  $\lambda$ , lo spessore  $s$ , la densità  $\delta$ , il calore specifico  $\gamma$ ) i valori di trasmittanza termica e della massa superficiale tengono conto dei parametri indicati nelle linee guida nazionali e standard tecnici connessi. La stratigrafia riportata di seguito è intesa dall'interno verso l'esterno. L'ultima colonna riporta il valore

principale, ovvero la trasmittanza termica  $U$  ( $W/m^2 K$ ). Per quanto riguarda i serramenti, sono state definite due tipologie:

- Edificio non isolato: costituito da vetro singolo montato in un telaio di legno;
- Edificio isolato: costituito da vetrocamera tradizionale (4-16-4) montato in un telaio in alluminio a taglio termico.

Poiché lo studio prevede l'ottimizzazione delle prestazioni dell'edificio durante la stagione estiva, si ipotizza che le protezioni rimangano praticamente sempre chiuse durante il giorno in modo da praticamente annullare gli apporti solari. Sono stati scelti due valori di riflettanza solare come individuati da precedenti rapporti di prova del prodotto, sono fissati in 6.3 e 23.5% per, rispettivamente, le vernici convenzionali e le vernici riflettenti. I valori sono stati ricavati da una banca dati di prodotti già testati. Le condizioni operative dipendono dalla presenza di impianti:

- Nel caso di edificio non climatizzato si ipotizza che il serramento sia sempre aperto durante le 24 ore, con la protezione sempre chiusa, almeno durante il giorno. A questo utilizzo si associa un ricambio orario stimato in 3 V/h (volumi per ora).
- Nel caso di edificio con impianto di condizionamento, ai fini del calcolo è stato ipotizzato che l'ambiente sia servito da un impianto funzionante dalle ore 9.00 alle ore 21.00. La potenza è stata scelta illimitata così da garantire, nelle ore di occupazione, sempre le condizioni di comfort imposte (temperatura dell'aria a 26°C). Nelle ore notturne l'impianto è spento e la temperatura interna varia liberamente. I ricambi d'aria sono stati fissati a 0.3 V/h con impianto acceso e 3 V/h con impianto spento.

Tabella 3 Caratteristiche termofisiche della tamponatura esterna

Edificio non isolato					
Materiale	$\lambda$ (W/m K)	s (m)	$\delta$ (J/Kg K)	$\gamma$ (Kg/m <sup>3</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> K)
Gesso	0.4	0.015	1000	1000	1.58
Forato	0.3	0.08	750	840	
Mattone pieno	0.87	0.12	1800	840	
Intonaco	0.9	0.02	1800	910	
Palermo edificio isolato					
Gesso	0.4	0.015	1000	1000	0.55
Forato	0.3	0.08	750	840	
Mattone pieno	0.87	0.12	1800	840	
Polistirene	0.034	0.04	1340	30	
Intonaco	0.9	0.02	1800	910	
Roma edificio isolato					
Gesso	0.4	0.015	1000	1000	0.42
Forato	0.3	0.08	750	840	

Mattone pieno	0.87	0.12	1800	840	
Polistirene	0.034	0.06	1340	30	
Intonaco	0.9	0.02	1800	910	
<b>Venezia edificio isolato</b>					
Gesso	0.4	0.015	1000	1000	
Forato	0.3	0.08	750	840	
Mattone pieno	0.87	0.12	1800	840	0.39
Polistirene	0.034	0.065	1340	30	
Intonaco	0.9	0.02	1800	910	

Tabella 4 Caratteristiche termofisiche della copertura

<b>Edificio non isolato</b>					
Materiale	$\lambda$ (W/m K)	s (m)	$\delta$ (J/Kg K)	$\gamma$ (Kg/m <sup>3</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> K)
Gesso	0.4	0.02	1000	1000	
Laterocemento	0.8	0.16	250	880	
Caldana	1.91	0.05	2500	920	1.48
Sottofondo	0.7	0.06	1600	880	
Guaina	0.04	0.005	160	1360	
Mattonelle	1	0.02	2000	800	
<b>Palermo edificio isolato</b>					
Gesso	0.4	0.015	1000	1000	
Laterocemento	0.8	0.16	250	880	
Caldana	1.91	0.04	2500	920	
Polistirene	0.034	0.055	1340	30	0.443
Sottofondo	0.7	0.05	1600	880	
Guaina	0.04	0.005	160	1360	
Mattonelle	1	0.02	2000	800	
<b>Roma edificio isolato</b>					
Gesso	0.4	0.015	1000	1000	
Laterocemento	0.8	0.16	250	880	
Caldana	1.91	0.04	2500	920	0.372
Polistirene	0.034	0.055	1340	30	
Sottofondo	0.7	0.05	1600	880	
Guaina	0.04	0.005	160	1360	



Mattonelle	1.00	0.02	2000	800	
<b>Venezia edificio isolato</b>					
Gesso	0.4	0.015	1000	1000	
Laterocemento	0.8	0.16	250	880	
Caldana	1.91	0.04	2500	920	
Polistirene	0.034	0.075	1340	30	0.353
Sottofondo	0.7	0.05	1600	880	
Guaina	0.04	0.005	160	1360	
Mattonelle	1	0.02	2000	800	

Viste le caratteristiche costruttive delle tipologie di protezione solare in esame, l'apporto solare diretto è praticamente trascurabile, mentre risulta essere significativo quello secondario, ovvero la quota parte di radiazione solare assorbita dall'elemento opaco ed emessa successivamente verso l'ambiente interno.

In entrambi i casi, i carichi interni relativi alla presenza di persone, all'illuminazione artificiale, agli elettrodomestici etc. sono stati impostati sui valori di 5.6 W/m<sup>2</sup> durante il periodo di occupazione e di 2.8 W/m<sup>2</sup> durante il resto del tempo, come previsto dalla norma di riferimento (3) che indica come valore standard un carico medio di 4.2 W/m<sup>2</sup>.

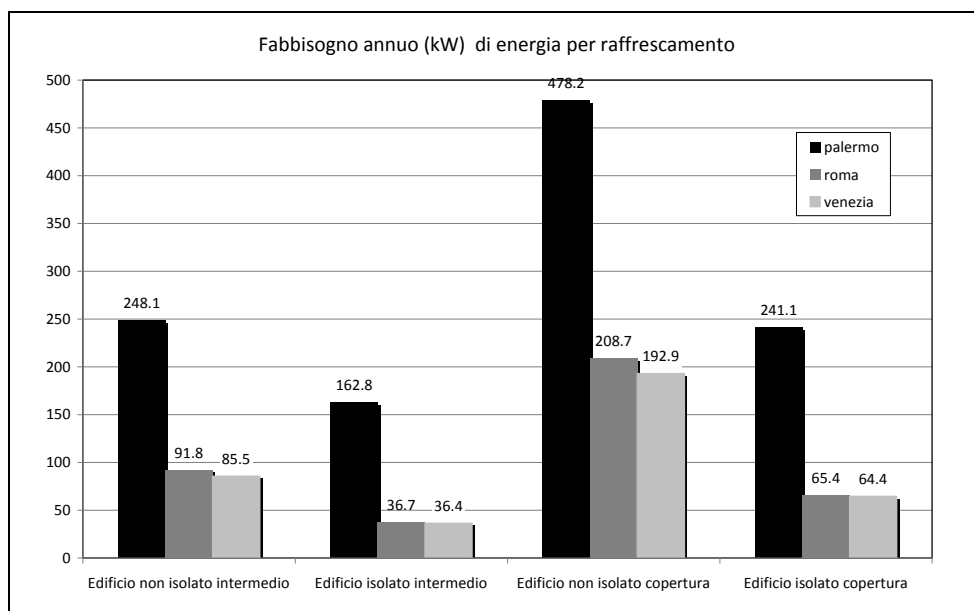


Figura 10 fabbisogno annuo per raffrescamento nelle 3 città di riferimento

#### 4.4. Analisi dei risultati

I risultati dell'analisi numerica sono presentati nei due seguenti paragrafi, separando il caso di edifici climatizzati da quello degli edifici sprovvisti di impianto.

#### 4.4.1. Edifici climatizzati

I risultati evidenziano, come previsto, una notevole dipendenza dalla zona climatica e consentono di estrapolare alcuni aspetti interessanti sulla variazione della prestazione energetica di raffrescamento in funzione della tipologia di sistema oscurante. L'effetto di chiusura degli elementi di protezione determina l'annullamento del guadagno solare diretto attraverso i componenti trasparenti. L'apporto termico è dunque legato alla differenza di temperatura tra interno ed esterno ed al contributo della radiazione solare assorbita dai componenti di involucro, inclusi gli elementi di protezione solare, ed emessa nuovamente verso l'interno. I risultati sono riassunti in figura 10, che riporta i fabbisogni annui per raffrescamento espressi in kilowatt, i valori sono mediati rispetto ai cinque orientamenti selezionati. I risultati sono disaggregati in funzione delle quattro tipologie di ambiente simulato e sono ottenuti considerando l'utilizzo della vernice convenzionale. La figura dimostra gli elevati carichi di Palermo, il cui clima è severo sia in termini di profili di temperatura che di radiazione solare. L'andamento delle temperature di Venezia e Roma è simile, cosa che spiega i carichi di raffrescamento molto vicini. L'aumento del carico termico a Roma, stimabile intorno al 5%, è dovuto al contributo della radiazione solare, evidentemente più alta rispetto a Venezia.

Si sono ovviamente riscontrate delle differenze dei fabbisogni in funzione dell'esposizione all'interno di ogni singola città. Le massime differenze rispetto alla media sono state: 7.7% a Palermo, 10% a Venezia, 15.4% a Roma. A Roma e Palermo il carico massimo è stato riscontrato a sud-est, mentre a Venezia il picco dei fabbisogni è stato riscontrato per l'esposizione sud-ovest. Il fronte sud-est risulta penalizzato in modo apparentemente anomalo, probabilmente legato ad un effetto combinato di irraggiamento solare ed elevato carico interno non efficacemente smaltito durante la notte.

I risultati sono differenti passando dai fabbisogni assoluti ai risparmi energetici derivanti dall'utilizzo delle vernici riflettenti per le protezioni solari. La tabella 5 riporta i risparmi netti ottenibili utilizzando le vernici riflettenti invece di quelle convenzionali nelle tre città.

Tabella 5 Risparmi annui (kW) per città e per orientamento con applicazione di vernici rifelttenti

	Non isolato inter.	Isolato intermedio	Non isolato cop.	Isolato copertura
<b>Palermo</b>				
ovest	13.6	8.1	15.2	9.1
est	13.3	7.9	14.1	8.7
sud	12.9	7.1	14.8	8.6
sud-ovest	14.8	8.5	16.4	9.7
sud-est	14.9	8.5	15.9	9.4
<b>media</b>	<b>13.9</b>	<b>8.0</b>	<b>15.3</b>	<b>9.1</b>
<b>Roma</b>				

ovest	7.4	7.4	9.1	2.6
est	8.1	8.1	9.1	2.7
sud	7.3	7.3	9.5	2.6
sud-ovest	8.1	8.1	10.1	2.8
sud-est	9.0	9.0	10.3	3.0
<b>media</b>	<b>8.0</b>	<b>8.0</b>	<b>9.7</b>	<b>2.7</b>
<b>Venezia</b>				
ovest	7.1	2.3	8.4	2.5
est	6.2	2.0	7.1	2.3
sud	5.9	2.0	7.8	2.4
sud-ovest	7.6	2.4	8.9	2.7
sud-est	6.8	2.2	7.9	2.5
<b>media</b>	<b>6.7</b>	<b>2.2</b>	<b>8.0</b>	<b>2.5</b>

La figura 11 evidenzia la variazione percentuale dei risparmi energetici rispetto al valore mediato sulle cinque esposizioni, per le quattro tipologie di ambiente ed i 5 orientamenti di riferimento a Venezia. Dalla figura emerge che le variazioni sono sempre inferiori a 8.4%, la stessa analisi a Roma e Palermo ha dato differenze massime di rispettivamente 9 e 5%.

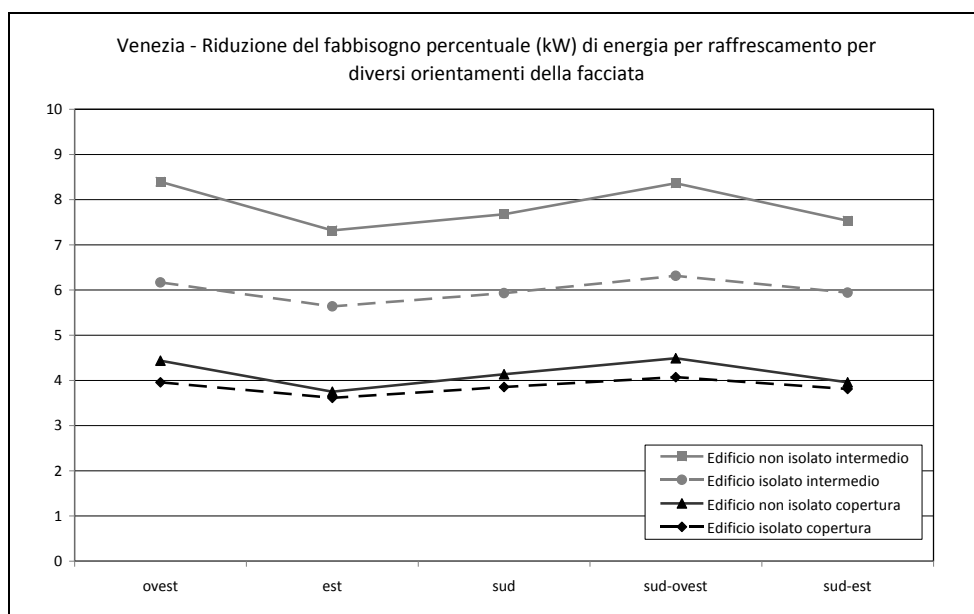


Figura 11 Risparmio percentuale per applicazione di vernici riflettenti a Venezia

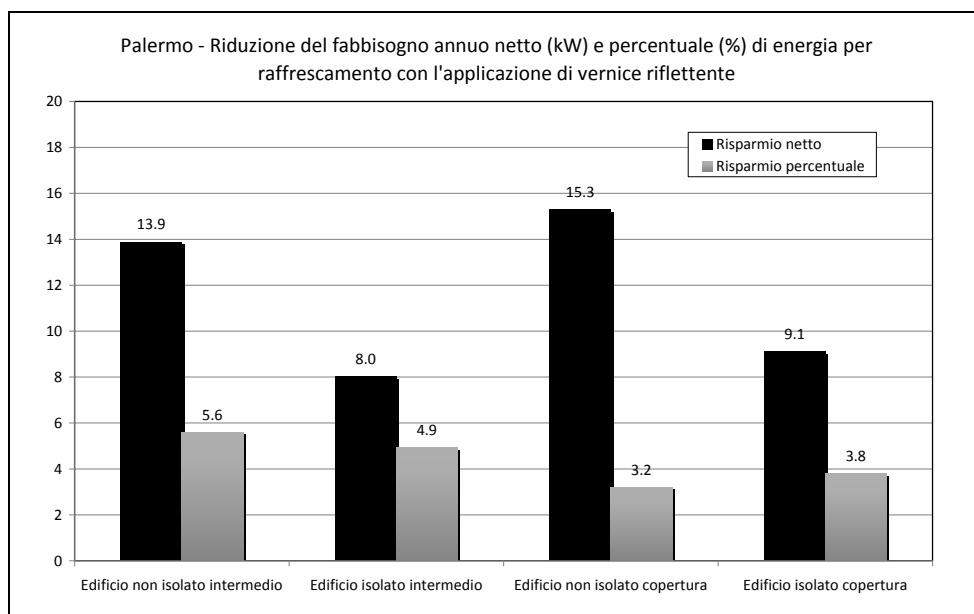


Figura 12 Risparmi assoluti e percentuali a Palermo

Alla luce di questi risultati si presentano i grafici definitivi delle simulazioni nelle figure 12, 13 e 14 con i risparmi medi netti e percentuali per Palermo, Roma e Venezia,. I risultati evidenziano un risparmio di circa il 5% a Palermo per ambienti localizzati su piani intermedi, tale valore decresce tra il 3 e 4% per ambienti al sottotetto. Risultati più significativi si ottengono per Roma e Venezia, dove con risparmi fino a quasi il 10% per ambienti intermedi e oltre il 4.5% per ambienti sottocopertura.

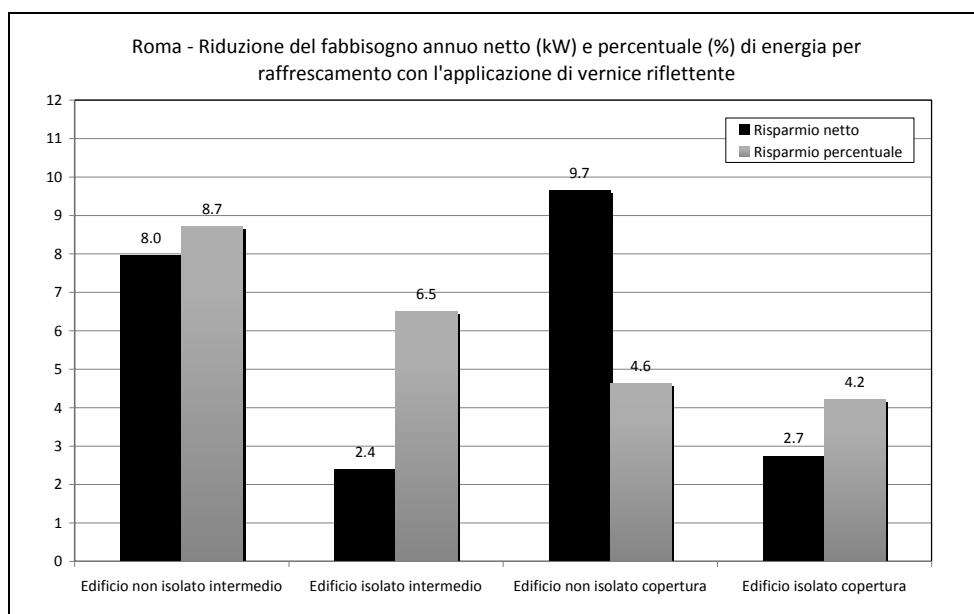


Figura 13 Risparmi assoluti e percentuali a Roma

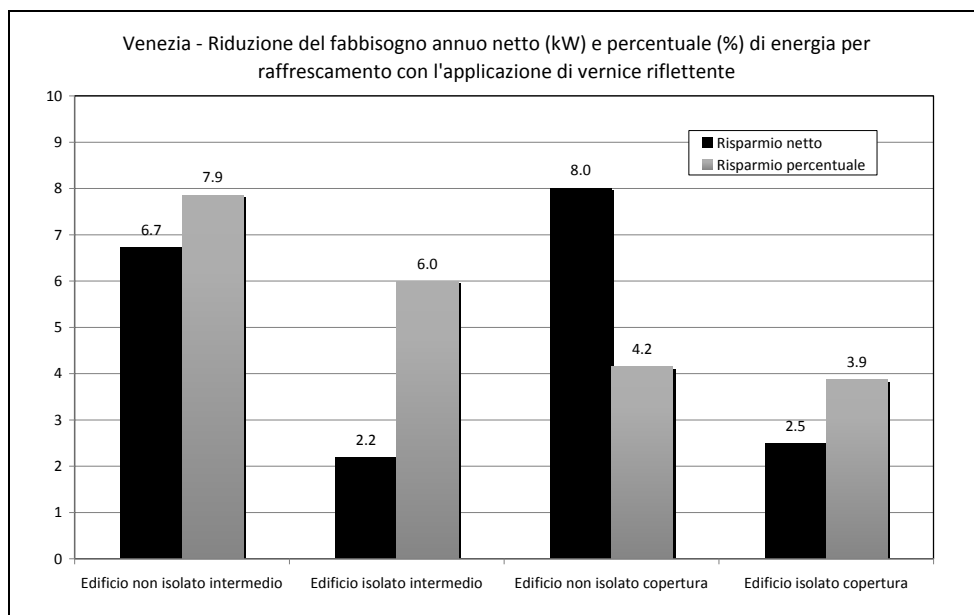


Figura 14 Risparmi assoluti e percentuali a Venezia

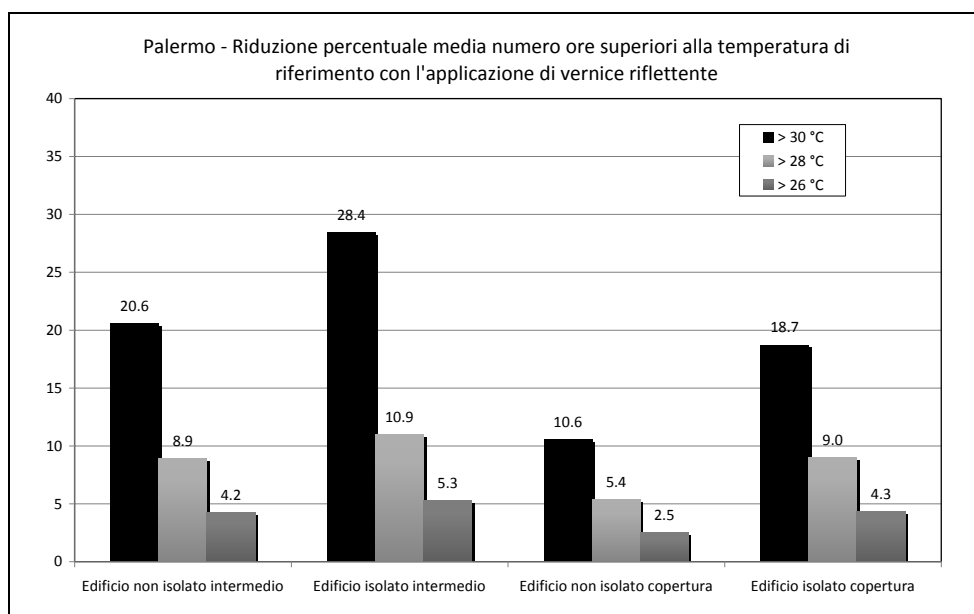


Figura 15 Variazione dei livelli di temperatura interna a Palermo

#### 4.4.2. Edifici non climatizzati

Nel caso di edifici non climatizzati si è utilizzata la temperatura dell'aria interna come indicatore principale di comfort termico. Il profilo di utenza prevede la finestra sempre aperta in estate e l'elemento di protezione sempre chiuso, almeno durante le ore diurne. Il ricambio d'aria è così stimato in 3 volumi ora. Le figure 15, 16 e 17 riportano i risultati legati al miglioramento del comfort termico con l'utilizzo di vernici riflettenti. I diagrammi riportano la riduzione delle ore con temperatura inferiore a tre valori definiti in funzione della tipologia di edificio. I valori di temperatura di riferimento sono 26°C, valore tipico di set-point per gli

impianti di climatizzazione estiva, 28 e 30°C, indicatori di condizioni limite di discomfort e valori spesso riscontrabili sul territorio italiano in edifici non climatizzati.

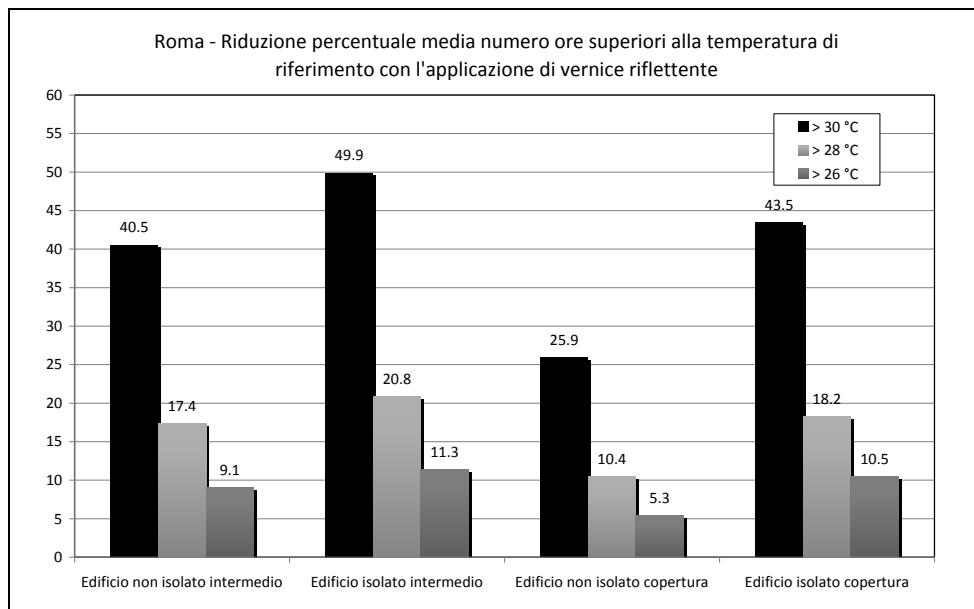


Figura 16 Variazione dei livelli di temperatura interna a Roma

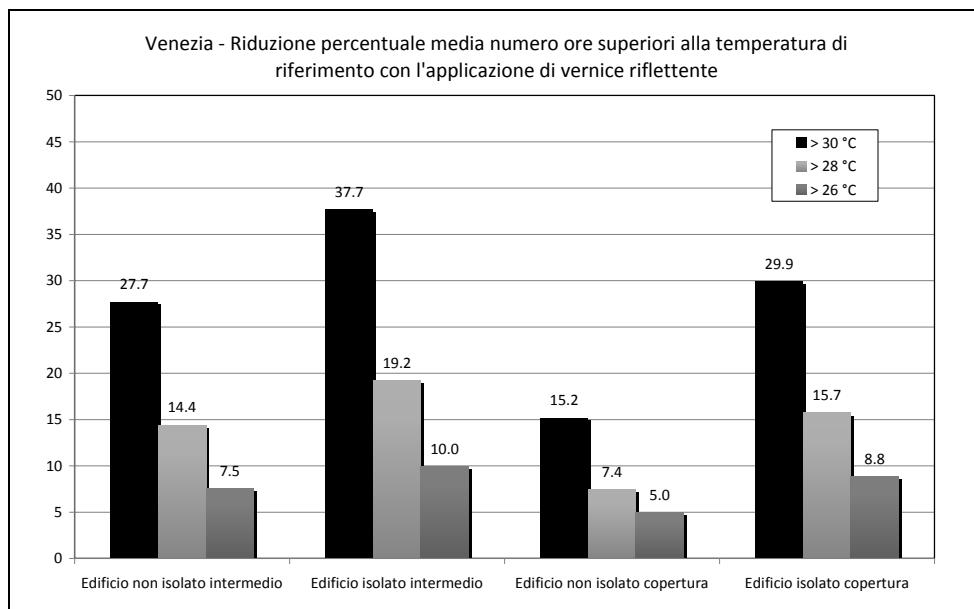


Figura 17 Variazione dei livelli di temperatura interna a Venezia

La stanza tipo ha risultati simili in funzione del clima per tre posizioni: intermedia con e senza isolamento, copertura con isolamento. Risparmi nettamente inferiori si hanno per la configurazione non isolata in copertura, poichè quest'ultima influisce pesantemente sul bilancio termico determinando una riduzione dell'impatto delle protezioni solari sul carico

globale. Facendo riferimento alle figure in esame, si può notare una drastica riduzione delle ore con temperatura superiore a 30°C. Questa riduzione si attesta mediamente tra il 20% (Palermo) ed il 40% (Roma), con picchi di quasi il 50%. La riduzione delle ore con temperatura dell'aria maggiore di 28°C è intorno al 10% a Palermo, intorno al 17-18% a Roma e Venezia. Questi risultati escludono la stanza non isolata con copertura, per i motivi di cui sopra. Per quanto riguarda la riduzione delle ore a temperature inferiori a 26°C sono stati ottenuti risultati intorno al 5% per Palermo e intorno al 7-8% per Roma e Venezia..

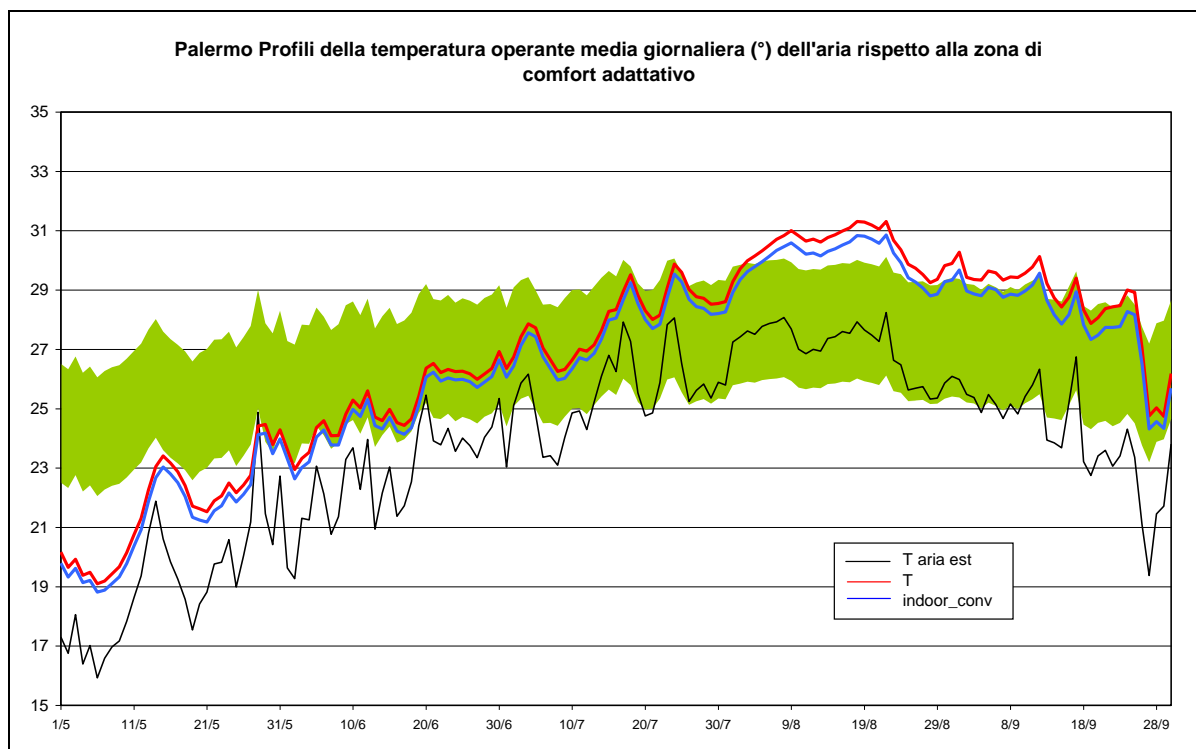


Figura 18 Profili di temperatura operativa per diverse vernici intervallo di comfort a Palermo

Un'ultima analisi riguarda l'impatto di vernici riflettenti per protezioni solari, valutato secondo la norma UNI EN 1525 del 2008. La norma introduce il concetto di benessere termico in ambienti non climatizzati, secondo il metodo adattativo. Il concetto di base è quello per cui, le condizioni di benessere in caso di temperatura interna variabile non sono fisse, ma evolvono con la temperatura esterna. Esiste dunque un intervallo di temperatura, funzione della temperatura esterna, all'interno del quale sono realizzate le condizioni di comfort. È importante notare che la temperatura interna di riferimento è quella operativa, media aritmetica della temperatura dell'aria e della temperatura media radiante. La figura 18 riporta l'andamento della temperatura operativa media giornaliera per protezioni con e senza vernici riflettenti, riporta altresì la temperatura media dell'aria esterna e l'intervallo di comfort da cui essa dipende. Il grafico fa riferimento alla stanza non isolata esposta a sud. La prima parte del grafico mostra temperature interne inferiori a quelle di comfort, tuttavia questo aspetto non risulta critico poiché il comfort viene valutato con riferimento al problema del surriscaldamento. Dalla figura emerge l'impatto delle vernici riflettenti, ed infatti le giornate di comfort passano dal 69.3 a 85.6% nel periodo da maggio a settembre. Se si restringe l'intervallo temporale alla stagione più critica, ovvero da giugno ad agosto, il

miglioramento del comfort riguarda un numero di ora che passa dal 67.4 al 78.3%. Si noti che si tratta comunque di percentuali piuttosto elevate, in quanto il blocco della radiazione solare in ingresso, mitiga notevolmente il regime delle temperature interne. Il dato è significativo per le varie condizioni testate a Palermo. Le condizioni climatiche a Roma e Venezia sono tali per cui i limiti di comfort sono superati in un numero di ore limitato (percentuale di giornate all'interno dei limiti di comfort in genere maggiore dell' 85%), per cui l'impatto delle vernici è meno evidente.

## **Bibliografia**

1. ISO 9050:2003 Glass in building -- Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance, ultraviolet transmittance and related glazing factors.
2. UNI EN 410:2000 Vetro per edilizia - Determinazione delle caratteristiche luminose e solari delle vetrate.
3. UNI/TS 11300-1:2008 Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.