



# Relazione Tecnica ENEA

---

Caratterizzazione delle proprietà  
ottiche e radiative di pitture  
riflettenti all'infrarosso vicino (cool)  
e impatto sulle prestazioni  
energetiche di edifici  
residenziale e commerciali

Con il presente studio sono caratterizzate e valutate le potenzialità, per l'applicazione in edilizia, di pitture formulate dalla COVEMA Vernici con una speciale ed innovativa tecnologia riflettente all'infrarosso vicino (che definiremo "pitture fredde" o "cool"), che abbassano l'assorbimento solare delle facciate e riducono il flusso termico trasmesso all'interno dell'edificio e ceduto all'ambiente esterno.

Questo sistema di prodotti, che l'azienda denomina commercialmente IRS (Infrared Reflective System), può fornire elevati benefici in termini di durabilità dei supporti trattati con tali sistemi, prolungamento della vita utile dell'edificio, allungamento dei tempi di manutenzione ordinaria, risparmi sulla bolletta energetica, comfort termico per gli utenti finali, benefici ambientali con strategie di mitigazione dell'isola di calore urbana.

Sono stati forniti al nostro laboratorio 20 campioni di colori diversi, rappresentativi dello spazio del colore utilizzato in esterni, di pitture per rivestimenti edilizi realizzati con soluzioni convenzionali (ST) e con tecnologia "cool" (IR), per migliorarne la riflettanza solare nel vicino infrarosso (NIR) a parità di resa cromatica. L'azienda dichiara che questa tecnologia è disponibile, per i prodotti della Linea IRS, per tutta la gamma cromatica per esterni tramite basi tintometriche e paste speciali dedicate.

La prima fase è consistita nella determinazione delle proprietà solari e radiative dei campioni "cool" forniti, in comparazione con i prodotti di tipo convenzionale.

Questa prima attività è svolta in laboratorio con strumentazione conforme alle norme di riferimento vigenti in Italia e a livello internazionale.

I dati sperimentali sono poi rielaborati secondo procedure di calcolo, anch'esse definite a livello normativo.

**I risultati hanno evidenziato un significativo miglioramento della riflettanza solare (definita anche Total Solar Reflectance (TSR) in letteratura non scientifica) delle "pitture fredde" nei colori più scuri, con incrementi intorno a 15-16%, e innalzamenti più modesti della riflettanza solare (intorno a 4-6%), nei colori più chiari dove si ha un innalzamento della riflettanza NIR anche nei campioni standard.**

Nella seconda fase si è proceduto a valutare, tramite un consolidato modello teorico di calcolo, l'impatto delle pitture cool sulle prestazioni energetiche di una abitazione residenziale e di un capannone industriale, a diverse latitudini e a diverse condizioni di isolamento della costruzione. In entrambe i casi, sono stati valutati separatamente sia i benefici sul raffrescamento estivo sia le perdite sul "riscaldamento solare passivo" dell'edificio durante i mesi invernali, arrivando a calcolare l'impatto complessivo annuo della tecnologia "cool".

I risultati di sintesi dimostrano che, nel caso dell'edificio residenziale si è calcolata una importante riduzione dei fabbisogni di climatizzazione estiva compresa tra il 10 e 20% nelle località italiane e di circa il 5% in area Emirati Arabi.

A queste ultime latitudini, il risparmio ottenuto sul raffrescamento è un vero risparmio "globale" annuo in quanto la tecnologia non causa perdite termiche in inverno.

Per Roma e Milano, fermo restando il vantaggio estivo, la tecnologia cool è invariante per il bilancio energetico annuale, mentre a Palermo si registrano risparmi complessivi annuali del 3-5%.

Anche nel caso dell'edificio industriale, la tecnologia risulta praticamente invariante su base annuale ma consente risparmi fino a 8% del fabbisogno di climatizzazione estiva.

Le temperature superficiali in facciata beneficiano in modo significativo del trattamento con prodotti IR riflettenti, con differenze calcolate di temperatura fino a oltre 6°C nelle ore di picco in tutte le località e con benefici maggiori sulle superfici isolate che più soffrono dell'innalzamento termico dei rivestimenti.

Notevole è anche l'impatto sulla riduzione dei valori assoluti di picco: drastica riduzione delle ore con temperature sopra 55°C sono registrate nelle varie zone climatiche e per varie esposizioni. In quasi tutti i casi sono totalmente azzerati i valori di temperatura sopra 60°C.

Tramite il modello, si sono indagati gli effetti della tecnologia cool sulle condizioni di comfort interno estivo degli edifici.

Si è potuto calcolare che, pur con abbassamenti modesti della temperatura assoluta interna media, le pitture cool incidono significativamente sull'abbassamento delle ore con condizioni climatiche indoor molto severe.

In Italia si registra una riduzione media del 35% delle ore con temperatura interna superiore ai 29°C; ad Abu Dhabi l'impatto più significativo si ha per temperature interne oltre i 40°C con abbattimento di circa il 30% nell'edificio residenziale.

In conclusione, lo studio evidenzia le potenzialità delle pitture della gamma IRS su tutto lo spazio del colore e in maniera più significativa su alcune configurazioni cromatiche.

Le ricadute per le applicazioni in edilizia sono interessanti per il ridotto stress termico cui sono soggette le superfici trattate, soprattutto in facciate isolate dall'esterno, con un prolungamento della vita utile dell'isolamento stesso e dell'edificio in generale e conseguente dilatazione dei tempi di manutenzione ordinaria.

Dal punto di vista energetico, i materiali indagati possono contribuire al miglioramento prestazionale dell'edificio anche in modo tutt'altro che trascurabile, sia pur in maniera variabile in funzione della zona climatica e con i limiti descritti sul bilancio energetico globale.

Il risparmio diventa, però, particolarmente importante se si concentra l'attenzione sulle doppie e terze case ad utilizzo stagionale, tipicamente estivo, esistenti in Italia.

In un parco edilizio composito e per molti versi sconosciuto come quello italiano, il numero di queste abitazioni e di quelle in località marine è incerto ma stimabile in oltre un milione di unità, secondo studi condotti da agenzie specializzate.

Questa tipologia di abitazioni non ha consumi invernali, perché non occupate, viceversa ha bisogno di tecnologie che garantiscano comfort termico e bassi consumi in regime estivo.

In tutti questi e in molti altri casi, la tecnologia IRS può rappresentare un sistema di intervento manutentivo di buon valore aggiunto che permette di realizzare, a costi incrementali contenuti, interventi di riqualificazione e di valorizzazione del costruito compatibili con disponibilità di spesa più limitate rispetto ad interventi più performanti ma economicamente più pesanti.

# Indice

1. Nota metodologica • pag. 00
2. Materiali • pag. 00
3. Misure ottiche • pag. 00
4. Misure radiative • pag. 00
5. Applicazioni di pitture cool in edilizia • pag. 00
  - 5.1 - Edificio residenziale
  - 5.2 - Edificio industriale
6. Elenco file allegati



# Nota metodologica

Per il conseguimento degli obiettivi dello studio sono state inizialmente misurate e calcolate le proprietà ottiche e radiative di una serie di campioni di ugual colore ma con diverso trattamento all'infrarosso.

Completata la caratterizzazione sperimentale dei materiali si è impostato un set di calcoli avente come obiettivo valutare l'impatto dei materiali riflettenti all'infrarosso vicino.

Per avere una panoramica quanto più ampia possibile sulle potenzialità della tecnologia si è innanzitutto scelto un materiale di riferimento nelle due versioni: standard e cool.

Successivamente sono stati eseguite analisi termiche per comparare le prestazioni dei due prodotti.

Sono state individuate due tipologie sensibili di edifici: residenziale e commerciale/industriale.

Sono state quindi definite una serie di variabili per monitorare ad ampio spettro l'impatto delle pitture: livello di isolamento termico dell'edificio; zona climatica di pertinenza; regime dell'edificio durante la stagione estiva (con o senza impianto di climatizzazione).

I parametri sensibili analizzati a valle dei calcoli sono: prestazioni energetiche con impianto di climatizzazione attivo, condizioni di comfort termico in edifici non climatizzati, andamento delle temperature superficiali delle facciate di involucro.



# Materiali

**Il contratto prevede la caratterizzazione di 20 colori da esterno, ossia 10 differenti colori realizzati con un prodotto tradizionale e 10 con un prodotto della gamma IRS, ad elevata riflettanza all'infrarosso vicino.**

Questi ultimi prodotti sono definiti a livello internazionale come *cool materials*, per brevità nel seguito della relazione questi prodotti saranno indicati semplicemente con il termine cool.

Caratteristica di questi materiali è avere una risposta cromatica del tutto simile ad un prodotto convenzionale ma con una più elevata riflettanza solare all'infrarosso che consente al materiale di mantenere una più bassa temperatura superficiale in presenza di radiazione solare.

Tale comportamento riduce l'innalzamento della temperatura superficiale dei supporti con i seguenti benefici: riduzione del calore ceduto all'ambiente interno e miglioramento del comportamento energetico degli edifici durante la stagione estiva; riduzione del calore ceduto all'ambiente esterno e mitigazione dell'isola di calore urbana; riduzione dello stress termico dei rivestimenti di involucro e incremento della loro funzionalità e vita utile.

Come da scheda tecnica provvisoria, la tipologia di prodotto da testare è un "Rivestimento murale a base di leganti acrilici alcali resistenti in emulsione in combinazione con leganti silossanici di ultima generazione e riempitivi a base di quarzo fine che presenta prestazioni e vantaggi di notevole interesse.

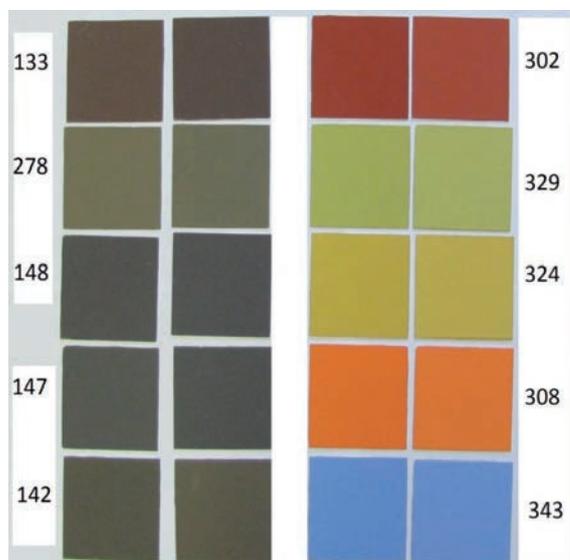
Il rapporto ottimale di queste componenti origina un film pieno, riempitivo, idrorepellente e resistente all'esterno in qualsiasi condizione climatica. Caratterizzato da alta opacità, unisce il potere riempitivo e di resistenza tipici delle farine di quarzo fini alla elevata scorrevolezza con alta resa".

Per il set di materiali da testare il committente a preparato una serie di campioni, secondo specifiche ENEA: codice identificativo; dimensioni 70x70 mm; substrato in alluminio; spessore della pittura dello stesso ordine delle applicazioni reali.

Si ritiene importante ricordare che l'ultimo aspetto è cruciale ai fini della caratterizzazione del prodotto e che i risultati ottenuti con il presente studio sono validi per pitture aventi tale spessore.

I campioni con relativo codice identificativo sono presentati in **Grafico 1**, dalla quale emerge che sono state individuate due tipologie di prodotto: una serie di colori chiari e brillanti; una serie di colori scuri.

**Grafico 1 - Paletta dei colori caratterizzati**



# Misure ottiche

Il parametro principale che caratterizza il comportamento dei materiali in presenza della radiazione solare è la riflettanza definita come la quantità di radiazione riflessa da un materiale rispetto a quella incidente sul materiale stesso.

La sorgente che emette le radiazioni è nel caso specifico il sole, che ha convenzionalmente uno spettro di emissione che va da 300 a 2500 nanometri.

All'interno di questo spettro ricadono i campi: UV-A (300-380nm); visibile (380-780nm); infrarosso vicino NIR (780-2500nm).

Ai fini della caratterizzazione del prodotto sono eseguite misure di riflettanza  $\rho$  su tutto lo spettro solare.

**I dati spettrali sono poi integrati nei tre spettri di riferimento: visibile (pedice v), vicino infrarosso (pedice nir) e solare (pedice e). La riflettanza solare è anche indicata come TSR (Total Solar Reflection), ossia riflettanza solare totale.**

La riflettanza può essere espressa in termini assoluti, con valori compresi tra 0 e 1, oppure in percentuale, con valori compresi tra 0 e 100.

Facendo riferimento al comportamento su tutto lo spettro solare, elevata riflettanza impli-

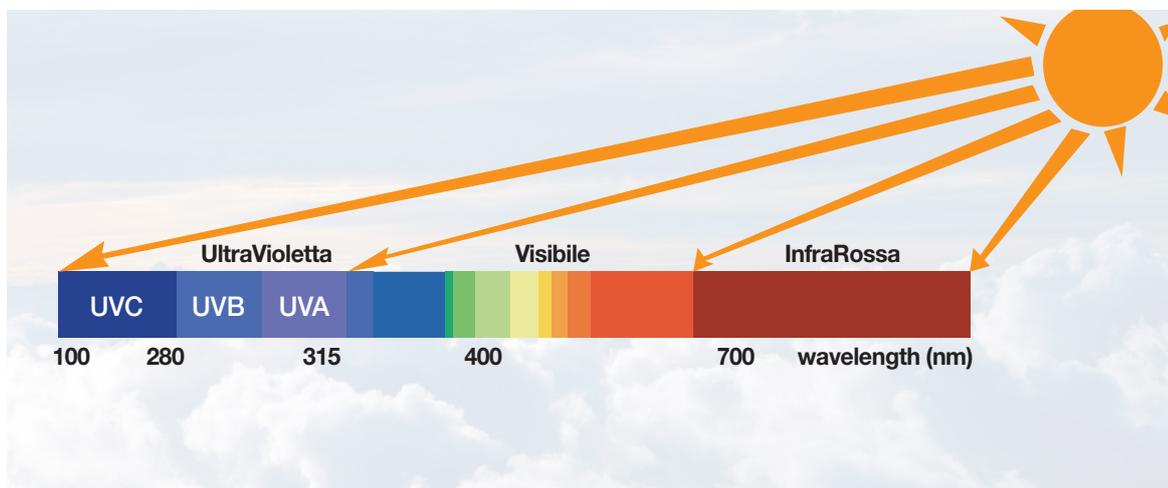
ca ridotto assorbimento dei raggi solari da parte del materiale e, conseguentemente, minor surriscaldamento in presenza di radiazione solare.

Lo strumento utilizzato è uno spettrofotometro Perkin Elmer Lambda 950 a doppio raggio equipaggiato con una sfera integratrice con diametro di 15 centimetri e con rivestimento in Spectralon, accessorio necessario per misure su material diffusivi come quelli in esame. Le misure sono eseguite con campione di riferimento da due pollici, realizzato in Spectralon e provvisto di certificato di calibrazione.

Lo spettro di scansione è, come detto, 300-2500 nm; la risoluzione spettrale 5 nm; l'apertura delle slitte, che determinano la suddivisione in spettri monocromatici, è 2nm nello spettro visibile e modalità servo assistita nell'infrarosso vicino.

Quest'ultima modalità consente di variare la larghezza della slitta in modo da avere per ogni lunghezza d'onda il massimo dell'energia disponibile, la dimensione massima non può essere comunque superiore a 20nm.

Le procedure e le attrezzature di misura, nonché i calcoli e le integrazioni, sono conformi alle norme di riferimento, in particolare:



- ISO 9050. Glass in building-determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance, ultraviolet transmittance and related glazing factors, 2003.
- EN 410. Glass in building - Determination of luminous and solar characteristics of glazing, 201.1

- ASTM E903 – 12. Standard Test Method for Solar Absorbance, Reflectance, and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres, 2012.
- EN 14500. Blinds and shutters - Thermal and visual comfort - Test and calculation methods, 2008.

Grafico 2.a - Riflettanza spettrale dei campioni: 133, 141, 142, 147, 148, 302, 308, 324 nella versione convenzionale e cool.

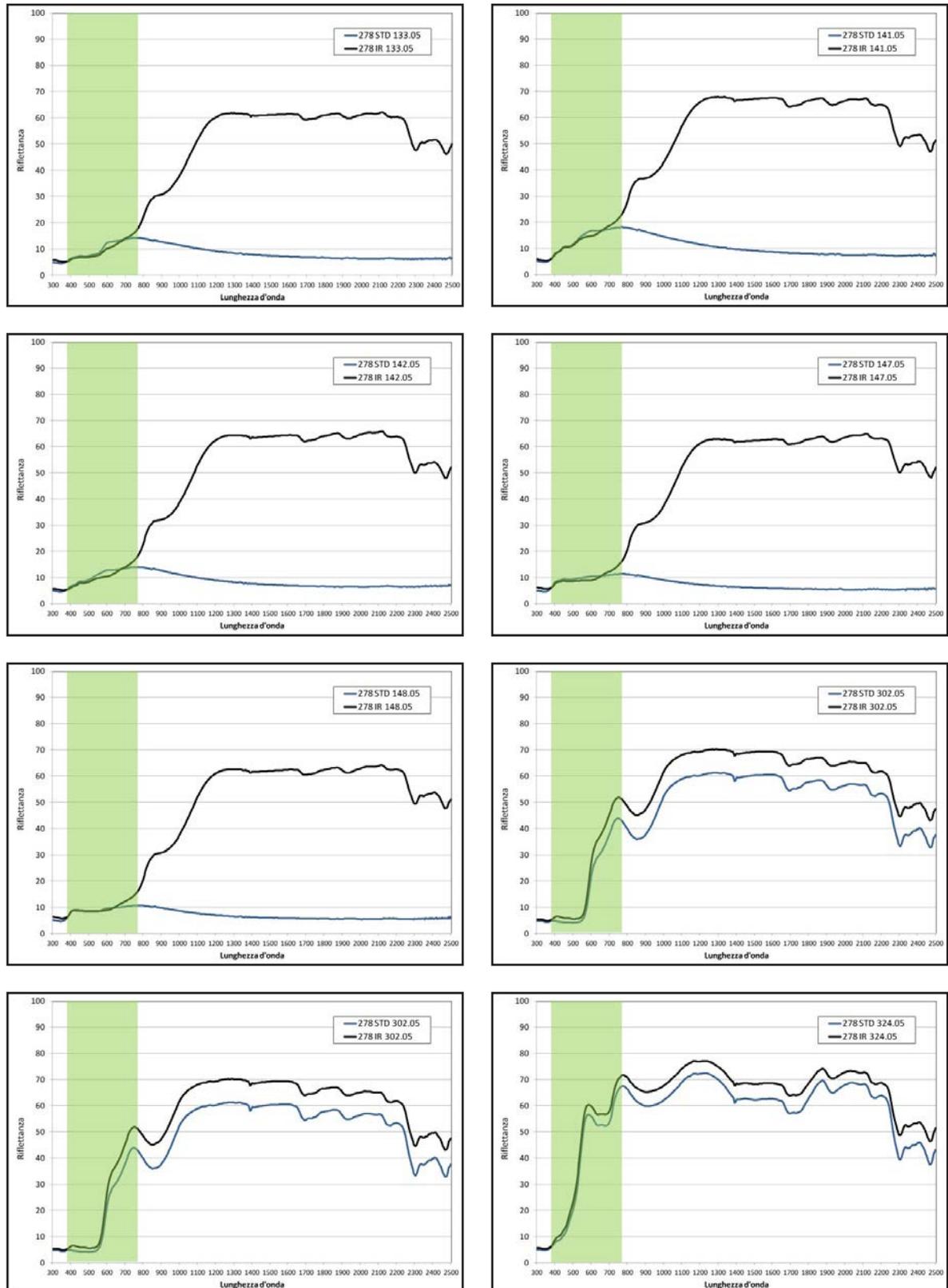
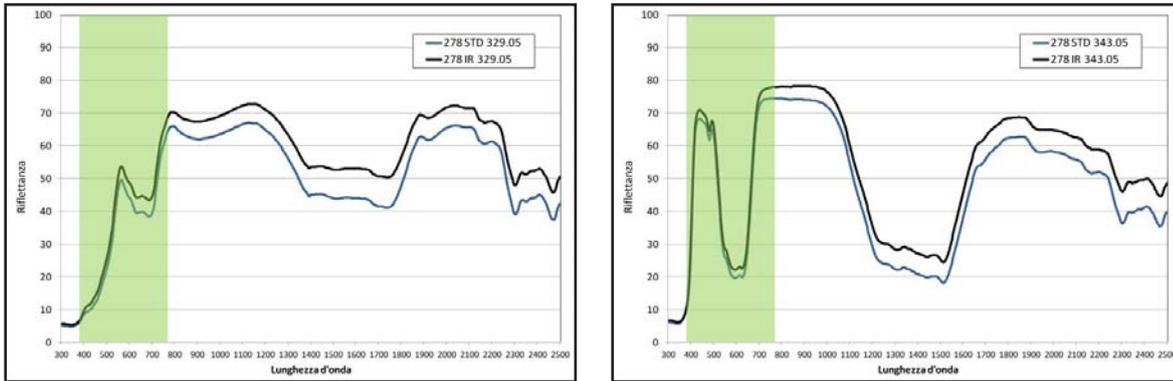


Grafico 2.b - Riflettanza spettrale dei campioni: 329 e 343 nella versione convenzionale e cool.



I risultati spettrali sono presentati nei **Grafici 2.a e 2.b**. In ogni grafico sono tracciati gli spettri di riflettanza di ogni campione nella versione convenzionale e in quella cool.

Su ogni grafico è inoltre evidenziata la porzione spettrale corrispondente al range visibile.

I valori integrati sulle diverse **bande spettrali**, secondo le norme di riferimento, sono presentati in **Tabella 1**.

Nell'ultima colonna della stessa sono riportati anche i valori di emissività, commentati al paragrafo successivo.

I dati di riflettanza sono espressi in percentuale [0-100], quelli di emissività in valore assoluto [0-1].

Tabella 1 - Valori integrati delle misure di riflettanza ed emissività dei campioni analizzati, secondo le diverse norme

Campioni	$\rho_e$ (9050) [%]	$\rho_v$ (9050) [%]	$\rho_{nir}$ (9050) [%]	$\rho_e$ (410) [%]	$\rho_v$ (410) [%]	$\epsilon$ [-]
278 STD 133.05	10	10	10	10	10	0.90
278 IR 133.05	25	8	46	24	8	0.87
278 STD 141.05	14	15	13	13	15	0.90
278 IR 141.05	30	14	51	29	14	0.87
278 STD 142.05	11	11	10	10	11	0.89
278 IR 142.05	26	10	47	25	10	0.88
278 STD 147.05	9	10	8	9	10	0.90
278 IR 147.05	25	9	46	24	9	0.87
278 STD 148.05	9	9	8	8	9	0.90
278 IR 148.05	25	9	46	24	9	0.88
278 STD 302.05	32	10	51	30	10	0.89
278 IR 302.05	38	13	60	36	13	0.87
278 STD 308.05	54	30	73	52	30	0.90
278 IR 308.05	59	33	79	56	33	0.87
278 STD 324.05	49	44	64	48	44	0.89
278 IR 324.05	53	47	69	52	47	0.88
278 STD 329.05	45	40	59	43	40	0.88
278 IR 329.05	49	44	66	48	44	0.88
278 STD 343.05	50	31	56	50	31	0.88
278 IR 343.05	54	34	61	53	34	0.88



Nella **Tabella 2** sono presentate alcune elaborazioni delle misure eseguite sui campioni.

In particolare per ogni colore è calcolato l'incremento della TSR e quella nel vicino infrarosso, dovuto alla tecnologia IRS.

Essendo il prodotto sostanzialmente inva-

riante rispetto alla riflettanza visibile, questa non è stata presa in considerazione nella tabella.

L'incremento della riflettanza è espresso in termini assoluti e percentuali, al fine di verificare i benefici per le diverse gradazioni di colore.

**Tabella 2 - Incremento assoluto e percentuale della TSR e al vicino infrarosso con le pitture cool.**

Colore	$\Delta\rho_e$ (9050) [-]	$\Delta\rho_e$ (9050) [%]	$\Delta\rho_{nir}$ (9050) [-]	$\Delta\rho_{nir}$ (9050) [%]
278 133.05	15	149	36	364
278 141.05	16	114	38	307
278 142.05	15	136	37	388
278 147.05	16	175	38	464
278 148.05	16	191	38	482
278 302.05	6	19	9	18
278 308.05	5	9	6	8
278 324.05	4	8	5	8
278 329.05	5	11	6	11
278 343.05	4	7	5	10

I risultati evidenziano due ben differenziate categorie di prodotto, i chiari e gli scuri.

Questi ultimi sono quei colori che hanno una componente di nero e sono, quindi, più scuri: 133, 141, 142, 147, 148.

In questi colori la tecnologia IRS mostra le migliori prestazioni e quello che ne discende è un deciso incremento della riflettanza rispetto alle pitture convenzionali, come ben evidenziato dai grafici spettrali in **Grafico 2**.

Le tinte di questa categoria, realizzate con sistemi convenzionali, mostrano una curva di riflettanza visibile e solare molto simile e molto bassa, compresa tra 8 e 15%.

L'effetto della tecnologia riflettente porta ad alzare la curva di riflettanza nel vicino infrarosso fra valori compresi tra il 36 e il 38%.

Questo incremento determina un aumento della TSR in termini assoluti compreso tra il 15 e il 16%.

Decisamente diversi sono i risultati per i colori chiari.

Si tratta di cromie esenti dalla componente "nera" e dove domina la componente bianca a base di biossido di titanio.

La caratteristica di questo materiale, universalmente utilizzato per le pitture edili, è di avere di per sé una elevata riflettanza all'infrarosso e, di conseguenza, il beneficio della tecnologia IRS è ridimensionato, in quanto si trova ad opera con qualcosa che è prestazionale sin dall'inizio.

Colori con queste caratteristiche sono: 302, 308, 324, 329, 343.

A parte il rosso, che ha riflettanza di poco superiore al 30%, tutti gli altri si attestano tra il 45 e il 55% per la riflettanza solare totale e decisamente sopra il 50% per la riflettanza all'infrarosso.

Gli incrementi assoluti dovuti ai materiali cool risultano di conseguenza limitati e si attestano tra il 4 e il 6% sia per la TSR sia per l'infrarosso vicino; soltanto per il rosso l'incremento al vicino infrarosso raggiunge il 9% assoluto.

# Misure radiative

La seconda proprietà superficiale dei materiali che determina lo scambio termico tra involucro e ambiente esterno è l'emissività, ovvero la tendenza dei corpi a scambiare calore sotto forma di onde elettromagnetiche con corpi a temperatura differente.

L'emissività di un qualsiasi corpo, funzione della temperatura e della lunghezza d'onda, è espressa come rapporto rispetto a quella del corpo nero, considerato come emettitore perfetto.

Per tale motivo l'emissività è compresa tra 0 e 1. Maggiore è l'emissività, maggiore sarà la tendenza del materiale a smaltire il calore accumulato dalla struttura.

Le misure sono state eseguite con l'emissometro Device & Services AE1/RD1, che opera secondo le specifiche dello standard: ASTM C1371 - 2010 Standard Test Method for Determination of Emittance of Materials Near Room Temperature Using Portable Emitters.

Si tratta di una misura che determina direttamente il valore integrato della grandezza, senza eseguire misure di tipo spettrale.

I risultati sono elencati all'ultima colonna della **Tabella 1**. I valori sono sempre molto alti, essendo materiali tipicamente non metallici.

L'unico dato significativo è una minore emissività dei materiali cool, esclusi i campioni 329 e 343.

Il fenomeno è spiegabile con l'incremento della riflettanza nella regione remota del vicino infrarosso che rimane elevata nella regione più vicina del medio infrarosso (4-5 micron) a discapito della emissività di cui è il completo a 1, per materiali opachi.

La riduzione di emissività è comunque contenuta in valori  $\pm 0.02/3$ , che possono essere considerati trascurabili per quanto attiene alla risposta termica del materiale nei meccanismi di scambio termico che hanno luogo a temperature ambiente.



# Applicazioni di pitture cool in edilizia

Obiettivo di questa parte del contratto è valutare, tramite un consolidato modello matematico, le prestazioni di edifici residenziali in funzione della riflettanza solare delle facciate.

L'attenzione è stata focalizzata sul colore 141 che, grazie alla tecnologia IRS Covema, ha aumentato la riflettanza solare da 0.14 a 0.30 nell'infrarosso vicino.

Su specifica indicazione del committente, tale colore è stato "applicato" sull'involucro esterno di due tipologie edilizie: un edificio residenziale e un edificio misto commerciale/industriale,

L'analisi numerica è stata eseguita con il codice EnergyPlus, sviluppato dal Lawrence Berkeley National Laboratory in California, accoppiato all'interfaccia grafica Design Builder.

Gli strumenti utilizzati consentono l'analisi termica in regime dinamico con elevata accuratezza in termini di input ed output.

Le analisi sono state eseguite per 4 diverse località: tre italiane, rappresentative di aree geografiche differenti - Milano, Roma e Palermo, e Abu Dhabi, rappresentativa di un clima più estremo e dominata dal carico per climatizzazione estiva.

I principali dati climatici sono riassunti in **Tabella 3**. Sono stati inoltre considerati due livelli di isolamento termico: valori a norma di legge (edifici di nuova costruzione o ristrutturati secondo le norme vigenti) e assenza di isolamento (edifici esistenti).

Le analisi sono state eseguite ipotizzando un impianto di climatizzazione estiva (set point: 26°C di temperatura dell'aria e 60% di umidità relativa) oppure l'assenza di impianto e analisi delle temperature in regime termico fluttuante.

Il set-point di temperatura dell'impianto di riscaldamento è stato fissato in 20 e 18°C per l'edificio residenziale e l'edificio industriale rispettivamente.

Il calcolo fa riferimento all'energia netta sia per l'estate che per l'inverno.

Per energia netta si intende l'energia da fornire per mantenere gli ambienti alle condizioni di set-point al netto degli impianti o, in altri termini, si ipotizza un sistema impiantistico ideale, privo di perdite.

Per il funzionamento si ipotizza, altresì, un ciclo di funzionamento continuo, 24 ore al giorno, in accordo con l'attuale quadro normativo.





Tabella 3 - Dati climatici delle località selezionate

	Radiazione solare mensile [kWh/m2]				Temperatura media mensile [°C]			
	Milano	Roma	Palermo	Abu D.	Milano	Roma	Palermo	Abu D.
1	31.1	54.9	73.1	208.8	0.6	7.0	12.1	18.0
2	51.7	68.2	89.1	223.5	2.9	8.3	13.0	19.9
3	95.8	115.5	139.9	223.9	8.5	10.4	13.4	22.2
4	137.9	157.0	180.7	238.5	12.8	13.1	15.8	26.5
5	177.9	205.7	227.6	285.5	16.8	16.9	19.2	30.8
6	189.9	217.2	234.6	278.6	19.9	20.5	21.9	32.8
7	205.2	229.6	254.7	268.9	23.1	23.4	24.8	34.4
8	170.8	199.5	231.9	267.5	22.0	23.2	25.8	34.8
9	123.1	146.4	172.0	249.3	19.0	20.7	23.7	32.6
10	74.3	101	128.9	244.9	13.0	16.8	19.9	28.6
11	33.4	57.8	85.9	213.1	7.5	13.3	17.4	24.4
12	25.6	45.3	65.9	199.3	2.4	9.0	13.4	20.1

## 5.1. Edificio residenziale

L'edificio simulato è una palazzina di 3 piani con due appartamenti a piano, scelta in quanto tra le tipologie edilizie più ricorrenti in Italia.

Il fattore di forma dell'edificio (rapporto tra superficie disperdente e volume climatizzato) è 0.54, buon valore intermedio tra forme eccessivamente aperte e compatte.

Ogni appartamento ha le seguenti caratteristiche geometriche: area netta 80.41 m<sup>2</sup>, volume lordo 274 m<sup>3</sup>, superfici finestrate 10.50 m<sup>2</sup>, altezza interpiano 2.7 m.

L'appartamento tipo ha tre esposizioni esterne ed è anche esso rappresentativo delle dimensioni medie degli alloggi.

Ogni appartamento è suddiviso dal punto di vista termico in due zone: notte e giorno, uno schema dell'edificio è proposto in **Grafico 3**.

Una serie di calcoli iniziali si sono resi necessari per determinare l'orientamento dell'edificio: si sono eseguite simulazioni annuali (carico di riscaldamento e di raffrescamento) con orientamenti secondo gli otto punti cardinali principali e si è scelto quello il cui risultato più si avvicinava alla media degli otto risultati.

Come detto sono state definite due configurazioni di involucro, una isolata e una priva di isolamento termico.

I dati dei vari componenti di involucro sono presentati in **Tabella 4**.

Per Abu Dhabi sono stati ipotizzati gli stessi valori individuati per Palermo.

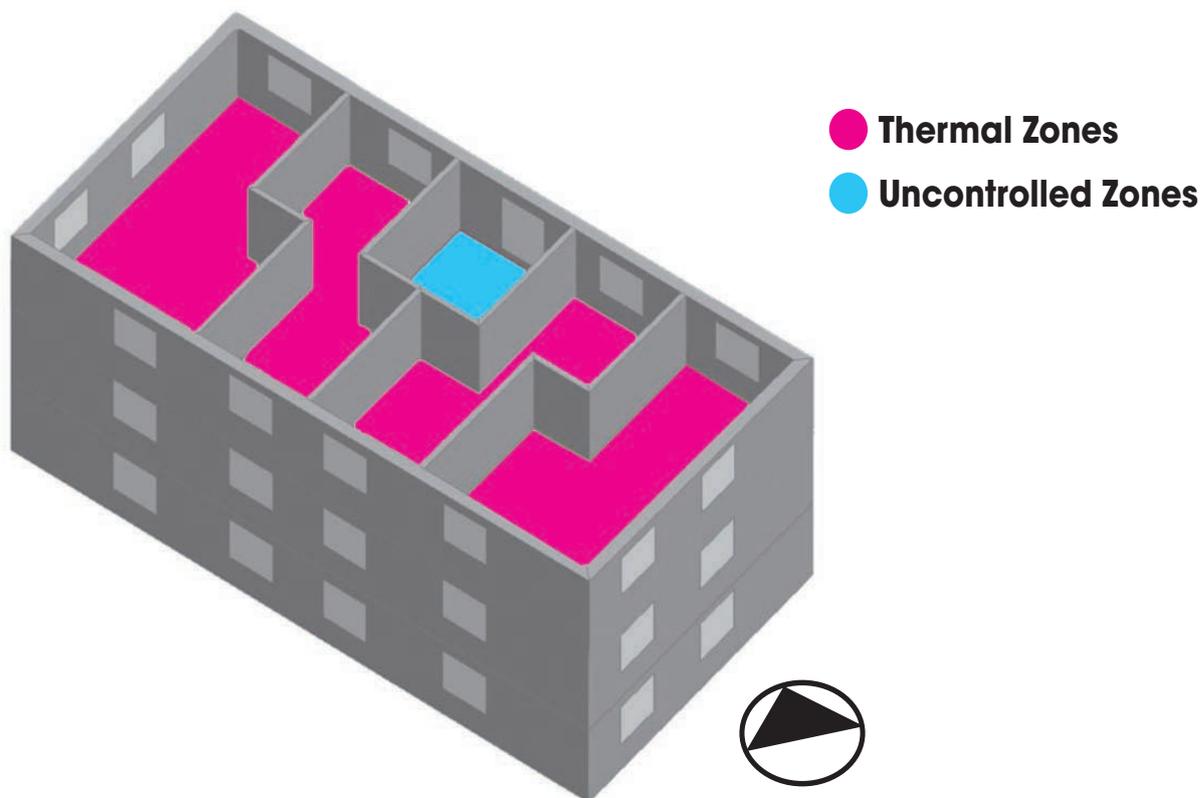
I ricambi orari di aria di ventilazione esterna sono fissati in 0.3 volumi/ora, nel caso di edificio climatizzato, per l'edificio senza impianto il valore sale a 3 volumi/ora.

Gli apporti interni sono fissati in 4 W/m<sup>2</sup>, con una frazione di scambio radiativo fissata a 0.8.

Per quanto riguarda gli apporti solari si ipotizza l'installazione di schermature solari esterne che portano il fattore solare a 0.2 durante le ore diurne della stagione estiva.

Tutti questi dati di input sono ottenuti attraverso l'applicazione della norma tecnica di riferimento nazionale: UNI TS 11300 parte 1 - Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.

Grafico 3 - Spaccato assonometrico dell'edificio di riferimento



I calcoli sono eseguiti per i due valori di riflettanza solare del prodotto 141, come specificato ad inizio paragrafo.

I risultati delle simulazioni, espressi in kilowattora, sono riportati in **Tabella 5**.

Risparmi e penalità fanno riferimento alle differenze tra prodotto convenzionale e soluzione a riflettanza solare incrementata.

La tabella è strutturata per colonne che forniscono le seguenti informazioni:

1. Dati generali: località, configurazione dell'edificio e tipo di pittura
2. Energia netta per riscaldamento
3. Energia netta per raffreddamento
4. Energia netta totale (3+4)
5. Penalità energetica in riscaldamento con tecnologia IRS
6. Risparmi energetici in raffreddamento **con tecnologia IRS**
7. Risparmi/penalità totali **con tecnologia IRS**

Tabella 4 - **Trasmittanza termica dei vari componenti di involucro**

Località		Facciata U [W/m <sup>2</sup> K]	Tetto U [W/m <sup>2</sup> K]	Solaio terra U [W/m <sup>2</sup> K]	Finestra U [W/m <sup>2</sup> K]
Milano	Isolata	0.40	0.36	0.39	1.92
	No isolata	1.21	1.25	1.28	3.28
Roma	Isolata	0.42	0.36	0.43	2.20
	No isolata	1.21	1.25	1.28	5.58
Palermo / Abu Dhabi	Isolata	0.73	0.43	0.69	3.33
	No isolata	1.21	1.25	1.28	5.58

Tabella 5 - Dati di consumo e risparmi dell'edificio residenziale

Località e configurazione	Risc. [kWh]	Raffresc. [kWh]	Tot. energia [kWh]	Penalità invern. [kWh]	Risp. estivo [kWh]	Bilancio totale [kWh]
Milano isolata STD	18839	3480	22319	-359	415	56
Milano isolata IR	19198	3065	22263			
Milano no isol. STD	42465	3976	46441	-1029	753	-276
Milano no isol. IR	43494	3223	46717			
Roma isolata STD	8804	3672	12476	-318	402	84
Roma isolata IR	9122	3270	12392			
Roma no isol. STD	23851	4097	27948	-991	694	-297
Roma no isol. IR	24842	3403	28245			
Palermo isolata STD	3626	8676	12302	-333	932	599
Palermo isolata IR	3959	7744	11703			
Palermo no isol. STD	9220	8197	17417	-678	1110	432
Palermo no isol. IR	9898	7087	16985			
Abu Dhabi isol. STD	0	43245	43245	0	2100	2100
Abu Dhabi isol. IR	0	41145	41145			
Abu Dhabi no isol. STD	0	49755	49755	0	2923	2923
Abu Dhabi no isol. IR	0	46832	46832			

I risparmi sono presentati anche in **Grafico 4** per una visualizzazione immediata dei risultati in forma grafica.

In **Grafico 5** sono invece presentati i risultati in termini di incrementi e riduzioni percentuali rispetto alle configurazioni con pitture standard.

In **Grafico 8** e in quelle simili a seguire, le barre e i punti rossi rappresentano le perdite per riscaldamento, le barre e i punti azzurri i risparmi in raffrescamento e le barre e i punti verdi i risparmi/

perdite globali (riscaldamento+raffrescamento).

Osservando i dati delle simulazioni, emerge in modo evidente, e soprattutto per le località italiane, il valore assoluto piuttosto dei carichi per raffrescamento, compreso tra circa 7 e 20 kWh/m<sup>2</sup> per anno.

Il risultato dipende dalle schermature solari esterne altamente performanti, avendo ipotizzato come strategia di efficienza energetica la protezione solare delle superfici trasparenti.

Grafico 4 - Risparmi e penalità energetici per edificio residenziale

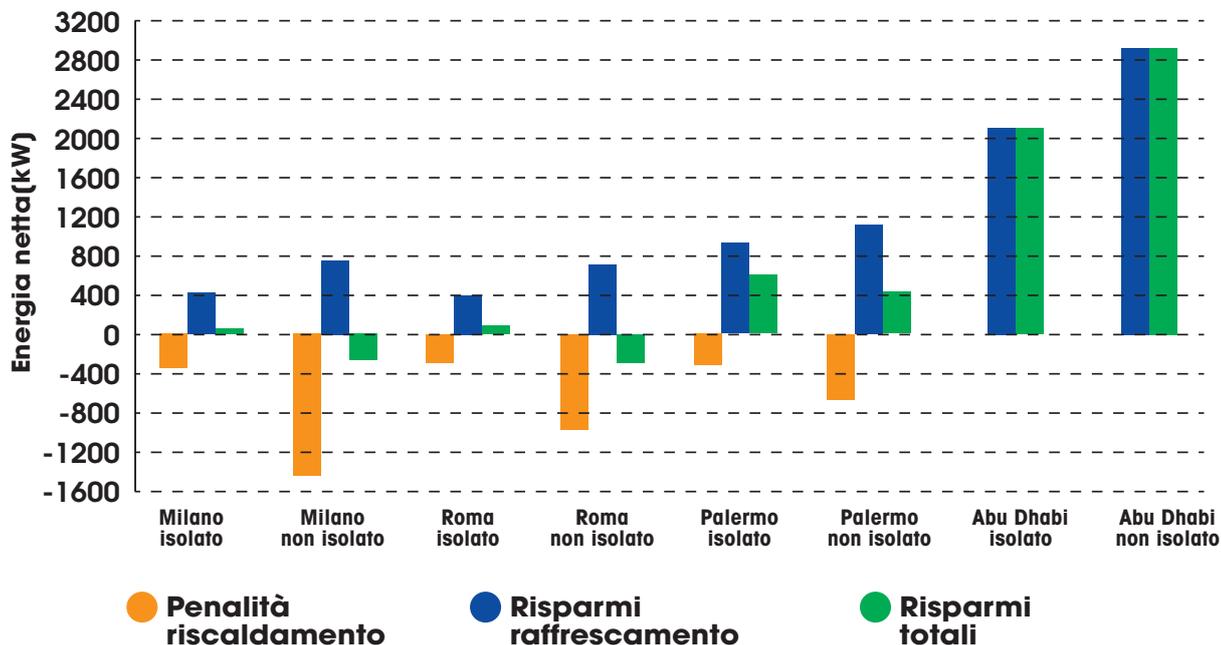
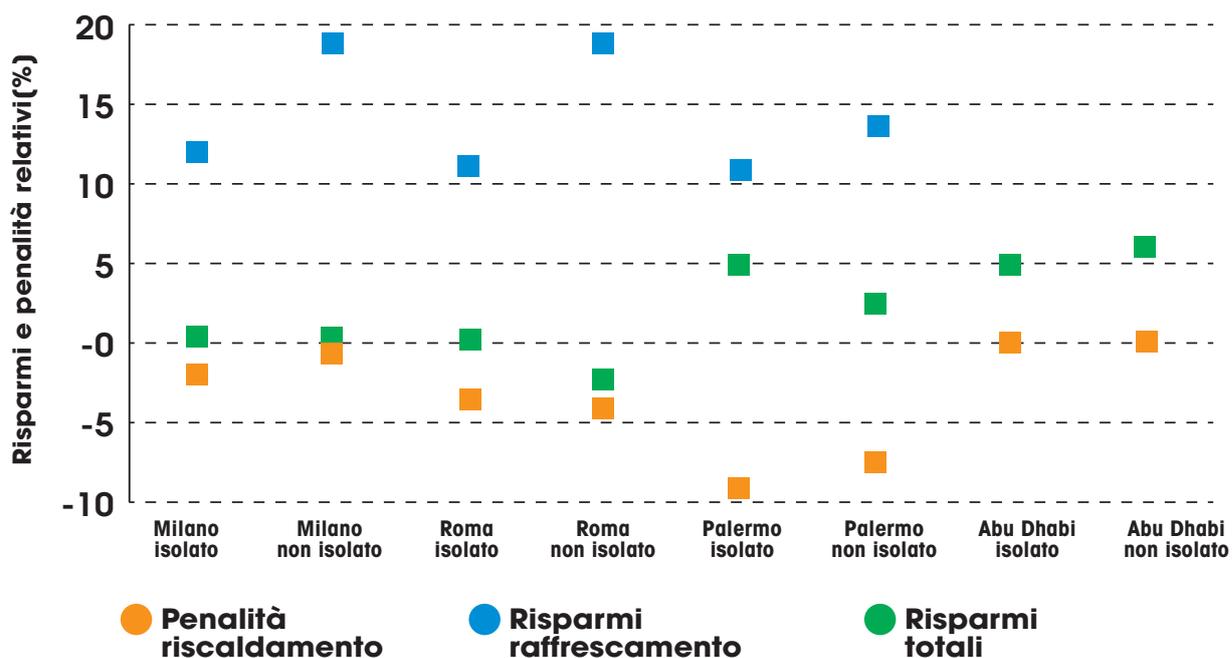


Grafico 5 - Risparmi e penalità percentuali per edificio residenziale



I risultati evidenziano i limiti della tecnologia ai fini del risparmio energetico complessivo nelle zone centrali e settentrionali della penisola.

Nel caso di edifici isolati, il bilancio energetico globale derivante dell'utilizzo di pitture riflettenti rimane sostanzialmente invariato a Roma e Milano, e diventa leggermente negativo per le configurazioni non isolate termicamente.

Diversi sono i risultati per i climi più caldi: a Palermo il risparmio complessivo varia tra il 3 e il 5%, ad Abu Dhabi risparmi per raffrescamento e

totali sono praticamente coincidenti e si attestano tra intorno al 5-6%.

Per quanto riguarda i carichi di raffrescamento, il valore di risparmio relativo è compreso tra il 10 e il 20% per tutte le zone climatiche della penisola.

Il dato è particolarmente interessante per le abitazioni stagionali, utilizzate soltanto durante la stagione estiva, per le quali non sussiste il problema delle penalità invernali.

Il secondo set di misure è stato eseguito



sull'edificio sprovvisto di impianto di climatizzazione e quindi con temperature oscillanti nell'arco della stagione estiva.

L'attenzione è stata posta su due aspetti fondamentali: andamento delle temperature interne ai fini del comfort termico e andamento delle temperature superficiali ai fini della durabilità delle pitture in opera e dei supporti trattati.

Le simulazioni sono state eseguite da maggio a settembre per le località italiane e per tutto l'anno ad Abu Dhabi.

I risultati complessivi dei calcoli delle temperature superficiali sono tabellati in appendice A. Nella relazione sono commentati alcuni risultati significativi, concentrandosi sulle esposizioni più critiche, ovvero sud-est (SE) e sud-ovest (SO), e sulla configurazione di edificio isolata.

A seguire si comparano i risultati ottenuti dalle due pitture in termini di ore con temperature superiori a determinati valori di soglia; le percentuali tra parentesi sono calcolate rispetto al totale delle ore diurne del periodo.

La facciata esposta a SE a Milano raggiunge temperature superficiali superiori a 30°C in 1343 ore, ossia il 59 percento delle ore diurne del periodo.

Valori superiori a 40 e 50°C sono raggiunti in 608 (27%) e 168 (7%) ore. Significativo è l'effetto del trattamento con tecnologia cool: infatti le percentuali relative ai tre valori di soglia si riducono rispettivamente a 53, 18 e 2%.

Risultati simili sono registrati per l'esposizione a sud-ovest: le ore con temperature superiori a 30°C passano da 1266 a 1136 (da 56 a 51%); le ore con temperature superiori a 40°C passano da 765 a 613 (da 34 a 27%); le ore con temperature superiori a 50°C passano da 359 a 178 (da 16 a 8%).

Va anche notato che la facciata con pittura convenzionale raggiunge i 60°C in 48 ore, ma tale soglia non è mai raggiunta nel caso della facciata con il trattamento IRS.

L'applicazione della pittura IR sulla facciata

a sud-est a Roma determina una riduzione delle ore con temperatura superficiale superiore a 30°C da 1355 a 1169 (da 60 a 52%).

Questa esposizione raggiunge 50°C per 88 ore con la pittura convenzionale, ma le ore si riducono a 3 nel caso di pittura riflettente.

Come per Milano, stress termici più elevate sono calcolati sulla facciata SO: le ore con temperature superiori a 30°C passano da 1333 a 1202 (da 59 a 53%); le ore con temperature superiori a 40°C passano da 696 a 506 (da 34 a 23%); le ore con temperature superiori a 50°C passano da 170 a 18 (da 8 a 1%).

Palermo ha un carico termico decisamente più elevato, per la facciate SE sono registrati i seguenti risultati: le ore con temperature superiori a 30°C passano da 1414 a 1271 (da 63 a 57%); le ore con temperature superiori a 40°C passano da 546 a 386 (da 24 a 17%); le ore con temperature superiori a 50°C passano da 159 a 41 (da 7 a 2%).

Temperature superficiali superiori a 55°C sono calcolate per 44 ore, ma il valore scende a 2 quando è applicata la pittura IR.

Per quanto riguarda l'esposizione sud-ovest si osservano le seguenti riduzioni: da 1427 a 1282 ore (da 64 a 57%) con temperature superiori a 30°C; da 741 a 541 (da 33 a 24%) ore con temperature superiori a 40°C; da 239 a 86 (da 11 a 4%) ore con temperature superiori a 50°C; da 19 a 0 ore con temperature superiori a 60°C.

Ad Abu Dhabi le ore diurne con temperatura superficiale superiore a 40°C si riducono da 2611 a 2332 (dal 57 al 51%) per effetto della pittura cool per esposizione SE; il numero di ore passa dal 26 al 16% per temperature superiori a 50°C; infine è praticamente azzerato il numero di ore con temperature superficiali superiori a 60°C, che risultavano essere 235 con pittura standard.

Nel caso di facciate a sud-ovest si hanno risultati identici al SE per temperature di soglia a 40°C. Le ore sopra 50°C passano da 1611 a 1208 (da 35 a 26%) e le ore sopra 60°C da 637 a 215 (da 14 a 5%).

Grafico 6 - Riduzione delle ore con temperature superficiali superiori a diversi valori di soglia per l'edificio con configurazione isolata nelle 4 località selezionate.

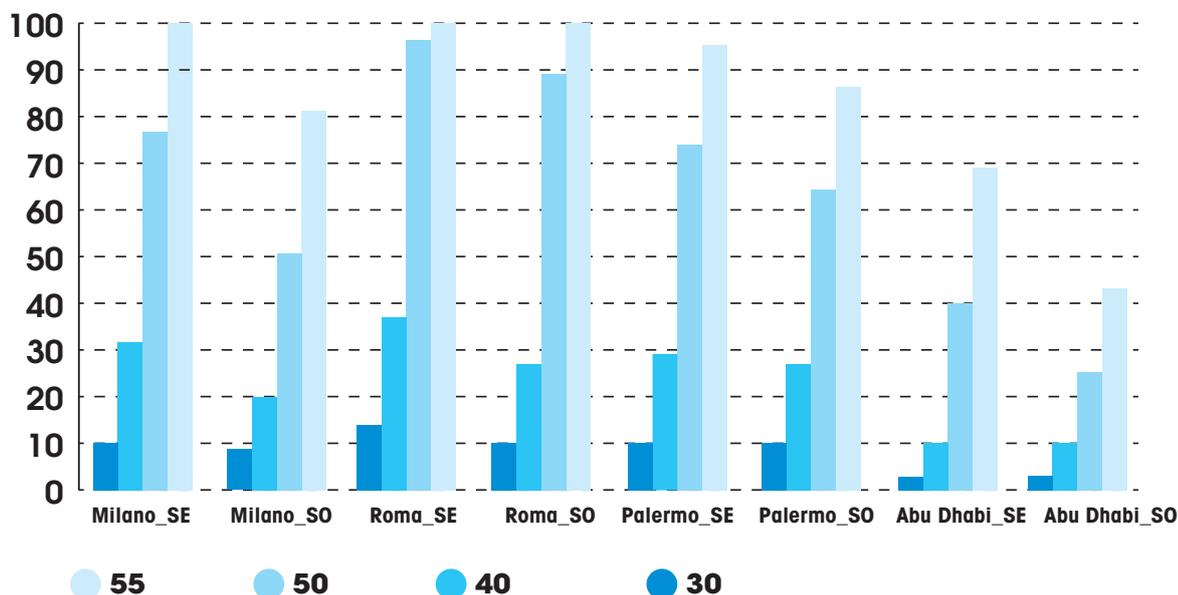


Tabella 7 - Ore con temperature operative superiori ai livelli di soglia, zona notte edificio non isolato

	Milano		Roma		Palermo		Abu Dhabi	
T soglia	non is_st	non is_ir						
T>26	1230	1095	1584	1429	2512	2385	6516	6355
T>27 (30)	825	681	1083	950	2005	1839	4902	4777
T>28 (34)	497	411	635	486	1478	1326	3172	2968
T>29 (38)	263	203	230	146	928	729	534	442
T>30 (40)	117	80	45	26	378	263	90	59

Un ultimo aspetto analizzato è il miglioramento del comfort termico all'interno degli ambienti per effetto dell'applicazioni di pitture IR.

In **Tabella 7** sono riportati i valori di riduzione della temperatura operativa mediati sul periodo di calcolo, ossia maggio-settembre per le località italiane e l'intero anno per Abu Dhabi.

La temperatura operativa è il parametro principale per valutare il comfort in ambienti non climatizzati ed è definita come media aritmetica della temperatura dell'aria e della temperatura media radiante, essendo quest'ultima la temperatura media delle superfici della zona.

I risultati sono allegati al report come foglio di lavoro elettronico.

Nella **Tabella 7** sono indicati i valori riferiti alla sola zona notte dell'appartamento in quanto, avendo tre esposizioni esterne, è quella che più beneficia della riduzione dell'apporto solare.

I 3 ricambi d'aria e l'efficiente schermatura solare consentono di moderare in modo signi-

ficativo le temperature indoor e l'incremento della riflettanza solare dell'involucro ha l'effetto di un ulteriore decremento della temperatura operativa anche se con valori limitati tra 0.1 e 0.3.

Dai risultati seguenti emerge, però, che anche queste modeste variazioni hanno un impatto non trascurabile sulla distribuzione cumulata delle temperature.

I dati in **Tabella 8** indicano le ore con temperature operative superiori rispetto a determinati valori di soglia, mentre in **Grafico 8** è indicata la riduzione percentuale di tali ore per effetto dell'applicazione della pittura IR.

I dati esemplificativi fanno riferimento alla zona notte dell'appartamento ed alla configurazione non isolata di involucro, che riceve i maggiori benefici dall'applicazione del prodotto riflettente all'infrarosso vicino.

Nei fogli di calcolo allegati sono presenti tutti i risultati.

Grafico 8 - Distribuzione cumulata delle temperature operative nella zona notte, edificio non isolato

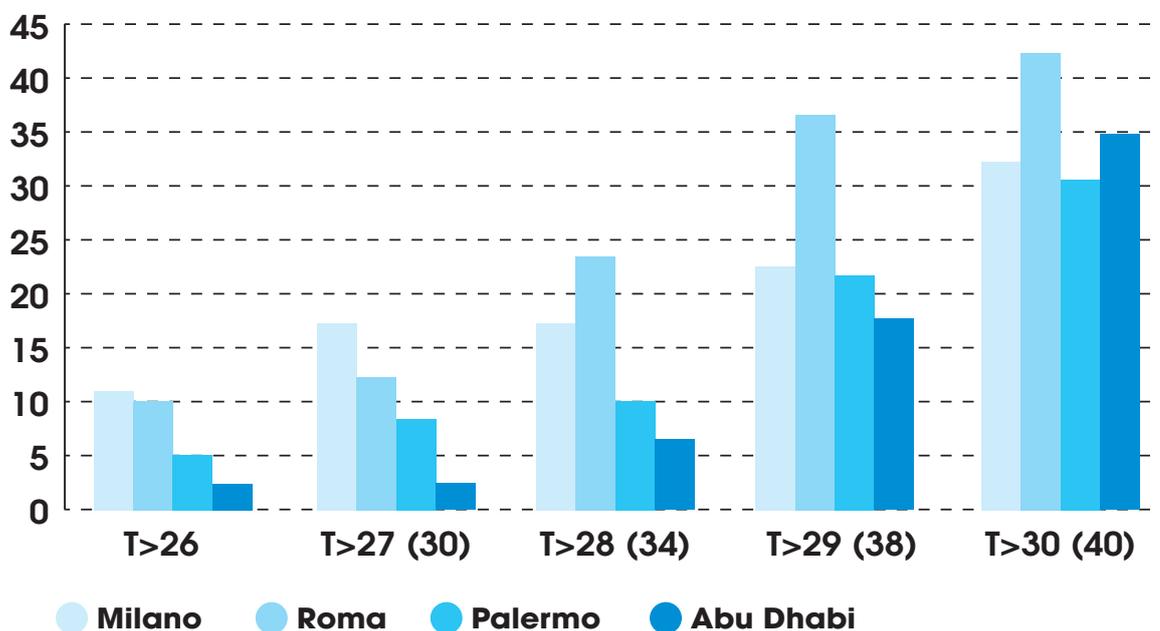






Tabella 6 - Differenze medie della temperatura indoor nell'edificio per effetto delle pitture IR

Località Configurazione	$\Delta T$ Milano [°C]	$\Delta T$ Roma [°C]	$\Delta T$ Palermo [°C]	$\Delta T$ Abu Dhabi [°C]
Isolata	0.1	0.1	0.2	0.2
Non isolata	0.3	0.3	0.3	0.3

Si è anche calcolato l'andamento orario delle temperature superficiali durante cinque giorni nel mese di luglio **Grafico 7**.

I dati puntuali per le varie esposizioni sono allegati al presente documento come foglio di lavoro informatico.

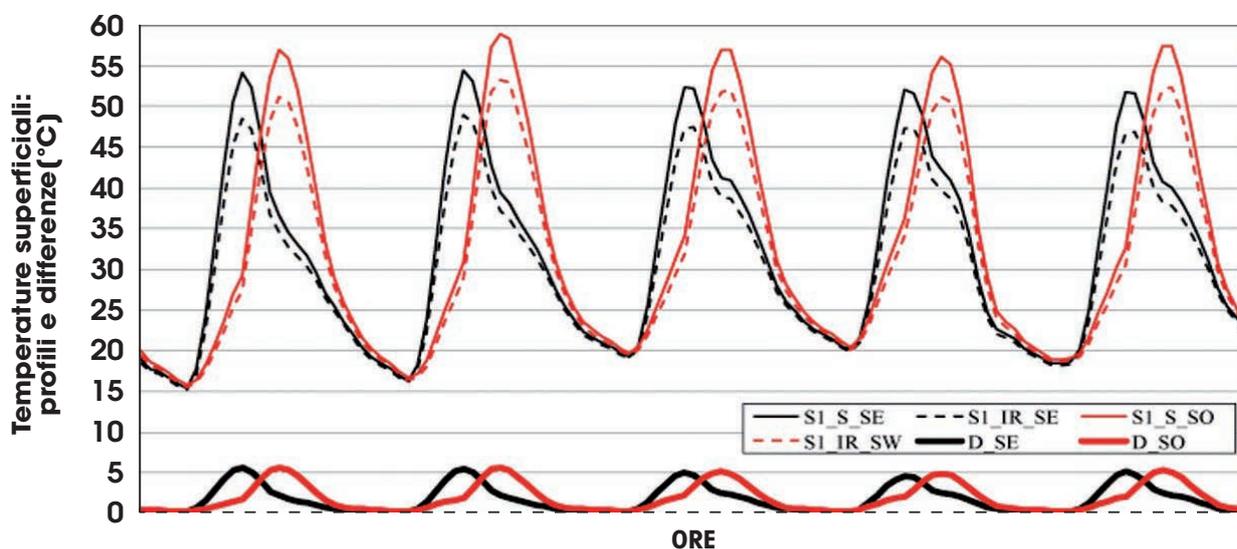
Il grafico confronta gli andamenti a sud-est e sud-ovest per le due tipologie di pitture selezio-

nate, nonché l'andamento orario della differenza di temperatura tra standard e cool per le due esposizioni.

Dai profili emerge chiaramente l'impatto della tecnologia IRS, con temperature di picco costantemente ridotte dai 5 ai 6°C.

Differenze nulle sono ovviamente calcolate durante le ore notturne.

Grafico 7 - Temperature superficiali a Milano, facciate SO e SE, calcolate per la versione standard e IR. Sono presentate anche le curve di differenza di temperatura per i due orientamenti.



## 5.2. Edificio industriale

La seconda tipologia di edificio è significativa di uno stock edilizio non trascurabile, ovvero edifici di taglio tipicamente industriale che nel tempo hanno almeno parzialmente modificato la loro destinazione d'uso e oggi sono essenzialmente usati come magazzini con annessa zona commerciale. Questa tipologia è investigata su richiesta del committente.

L'edificio è schematizzato in **Grafico 9**, dalla quale si evince la distinzione in diverse zone fisiche che sono però raggruppate in un unico ambiente monozona ai fini del calcolo energetico.

Le principali caratteristiche geometriche sono: il fattore di forma dell'edificio (rapporto tra superficie disperdente e volume climatizzato) è 0.46, buon valore intermedio tra forme eccessivamente aperte e compatte.

L'edificio industriale ha le seguenti caratteristiche geometriche: area netta 961.36 m<sup>2</sup>, volume lordo 5600 m<sup>3</sup>, superfici finestrate 96 m<sup>2</sup>, altezza interpiano 5.00 m.

La distribuzione delle vetrate è omogenea sulle diverse facciate.

Per differenziare questo studio dal precedente, si ipotizza per l'edificio un classico orientamento sud/est/ovest/nord.

Dal punto di vista delle caratteristiche termofisiche, la struttura ha valori presentati nella **Tabella 9**.

Variano, rispetto all'edificio residenziale, i valori della configurazione non isolata.

La modifica è soltanto nei materiali: là dove nel residenziale si usa essenzialmente il laterizio, nel commerciale prevale il calcestruzzo nella doppia configurazione con e senza isolamento termico.

Per questo edificio non sono ipotizzate schermature mobili ma dei frangisole fissi in acciaio su tutte le aperture, con sporgenza sia verticale che orizzontale e una profondità della palette di 0.20 m.

I ricambi orari di aria di ventilazione esterna sono fissati in 1 volume/ora, sia nel caso di edificio climatizzato sia per l'edificio senza impianto. Gli apporti interni sono stati fissati in 10 W/m<sup>2</sup>, con una frazione di scambio radiativo fissata a 0.7.

Tabella 8 - **Trasmittanza termica dei vari componenti di involucro**

Località		Facciata U [W/m <sup>2</sup> K]	Tetto U [W/m <sup>2</sup> K]	Solaio terra U [W/m <sup>2</sup> K]	Finestra U [W/m <sup>2</sup> K]
Milano	Isolata	0.36	0.32	0.35	1.92
	No isolata	1.41	2.10	2.10	3.24
Roma	Isolata	0.42	0.34	0.41	2.20
	No isolata	1.41	2.10	2.10	5.49
Palermo / Abu Dhabi	Isolata	0.65	0.41	0.65	3.33
	No isolata	1.41	2.10	2.10	5.49



Grafico 9 - Vista assonometrica dell'edificio commerciale

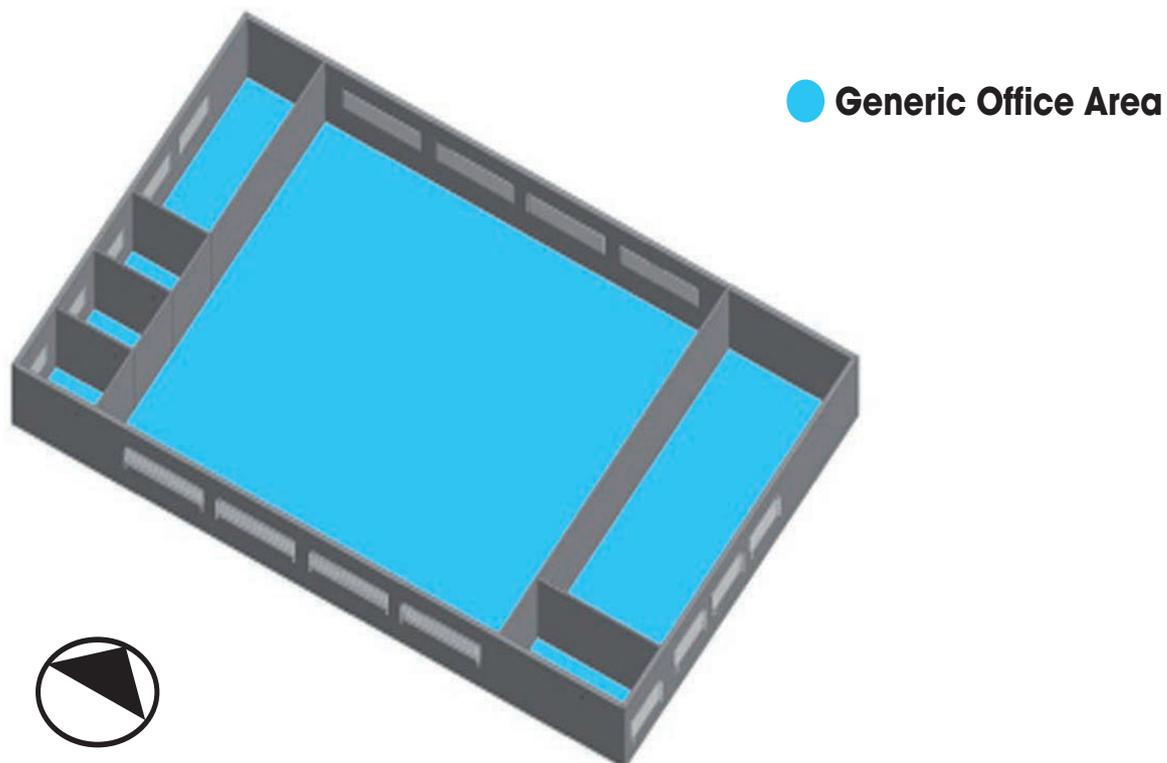
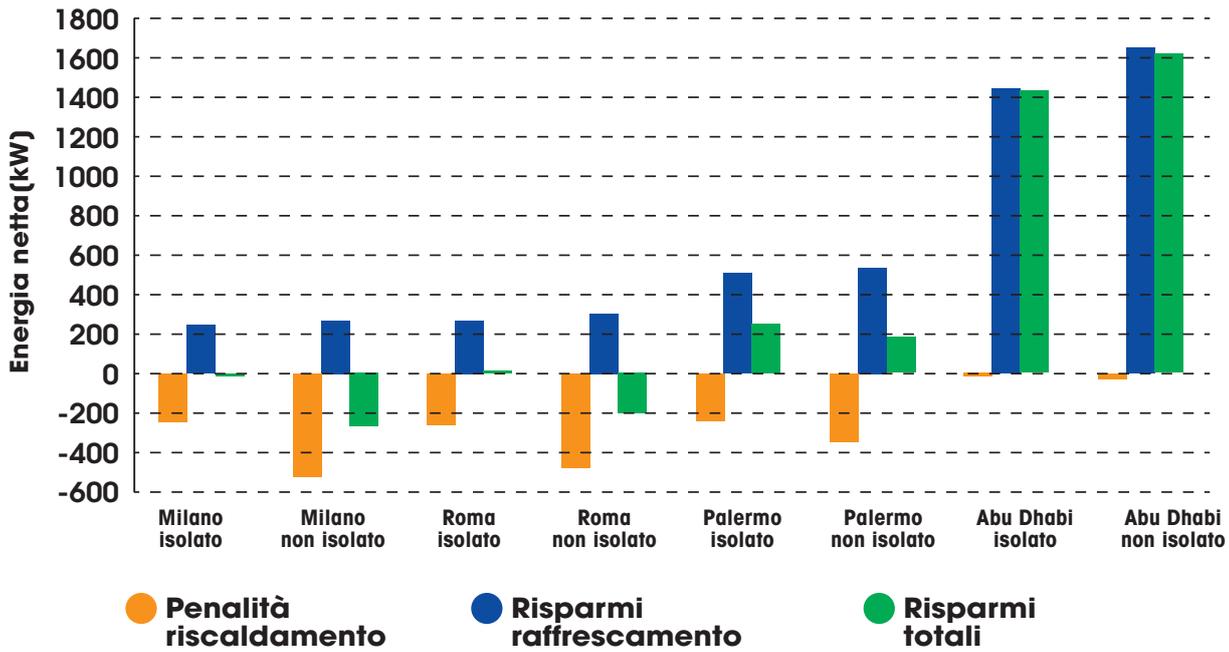


Tabella 9 - Dati di consumo e risparmi dell'edificio residenziale

Località e configurazione	Risc. [kWh]	Raffresc. [kWh]	Tot. energia [kWh]	Penalità invern. [kWh]	Risp. estivo [kWh]	Bilancio totale [kWh]
Milano isolata STD	18839	3480	22319	-243	238	-5
Milano isolata IR	19198	3065	22263			
Milan no isol. STD	42465	3976	46441	-526	263	-263
Milan no isol. IR	43494	3223	46717			
Roma isolata STD	8804	3672	12476	-263	277	14
Roma isolata IR	9122	3270	12392			
Roma no isol. STD	23851	4097	27948	-486	293	-193
Roma no isol. IR	24842	3403	28245			
Palermo isolata STD	3626	8676	12302	-252	502	250
Palermo isolata IR	3959	7744	11703			
Palermo no isol. STD	9220	8197	17417	-344	528	184
Palermo no isol. IR	9898	7087	16985			
Abu Dhabi isol. STD	55	81464	81519	-8	1448	1440
Abu Dhabi isol. IR	63	80016	80079			
Abu Dhabi no isol. STD	422	83354	83776	-26	1656	1630
Abu Dhabi no isol. IR	448	81698	82146			

Grafico 10 - Risparmi e penalità assoluti energetici per edificio commerciale



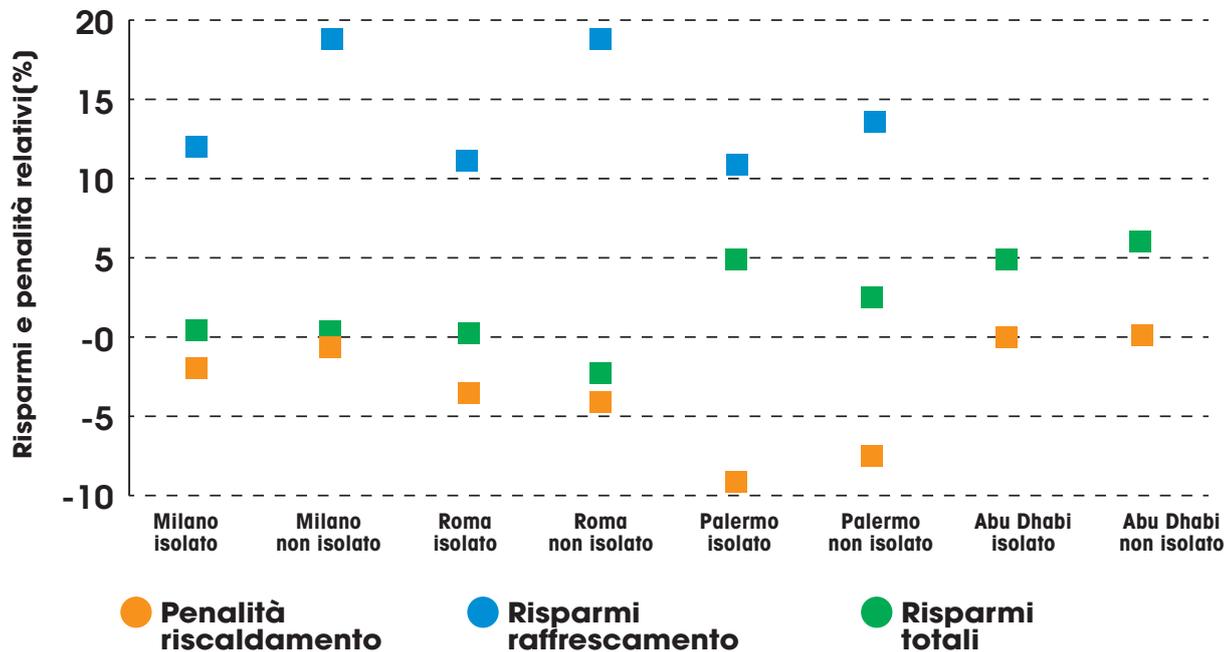
I risultati delle simulazioni sono riportati in **Tabella 10**, strutturata in modo analogo alla **Tabella 5**.

I risparmi assoluti sono presentati in **Grafico 10**, mentre in **Grafico 11** si riportano i risparmi e le penalità percentuali conseguite nelle varie stagioni.

Il primo dato che emerge con chiarezza è che i consumi specifici per la climatizzazione estiva sono molto bassi, si tratta di strutture voluminose con poche superfici vetrate e con apporti interni, dovuti a occupanti e macchinari, anch'essi molto bassi.

Il fabbisogno specifico di raffrescamento è inferiore a 5 kWh/m<sup>2</sup> anno a Milano e Roma, inferiore a 10 kWh/m<sup>2</sup> a Palermo ma sale fino a oltre 80 kWh/m<sup>2</sup> ad Abu Dhabi.

Grafico 11 - Risparmi e penalità percentuali per edificio commerciale



I risultati conseguiti evidenziano che la tecnologia è sostanzialmente invariante rispetto alle prestazioni energetiche complessive dell'edificio nelle località Italiane, dove il risparmio complessivo è sempre inferiore al 2%.

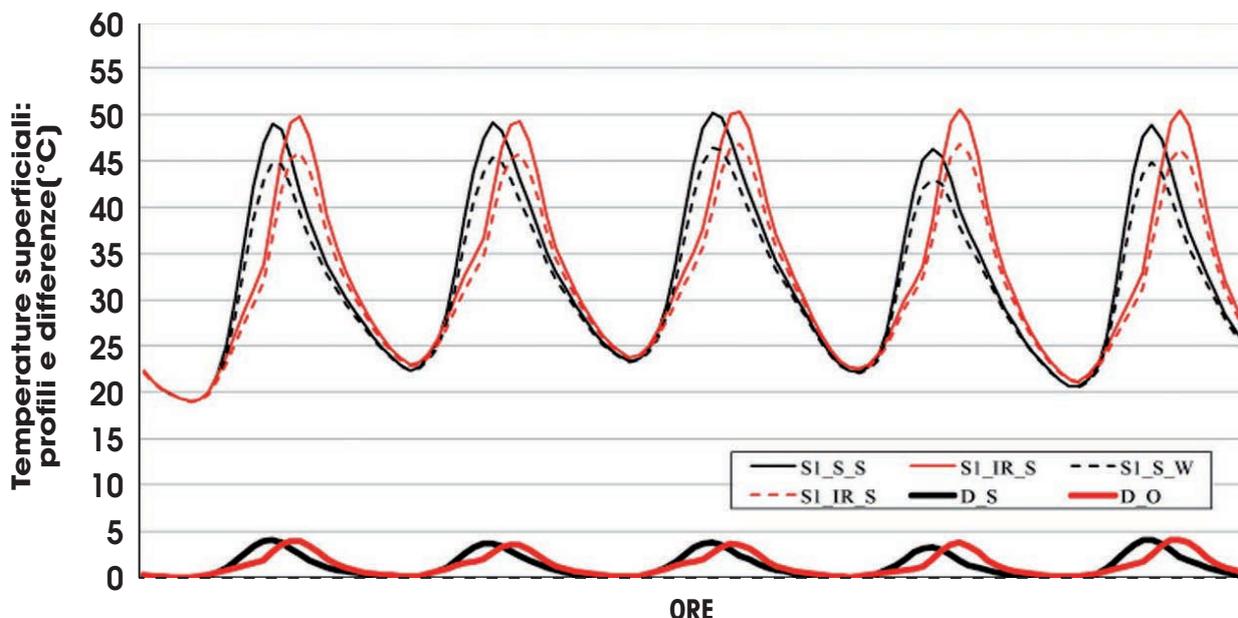
La percentuale è la stessa anche per la zona Emirati Arabi, ma in questo caso i valori assoluti sono decisamente più elevati e il risparmio è stimato in circa 1.5 megawattora, grazie

all'assenza di penalità termiche durante la stagione invernale.

Limitandosi alla stagione estiva, i risparmi conseguibili variano tra i 5 e 8% nelle località italiane.

Questo dato non è trascurabile in tutte quelle applicazioni che non prevedano la climatizzazione degli ambienti durante la stagione invernale.

Grafico 12 - Risparmi e penalità percentuali per edificio commerciale



I calcoli, analogamente al caso residenziale, sono stati eseguiti anche in assenza di impianto termico per lo studio dell'evoluzione delle temperature superficiali esterne e delle condizioni di comfort ambiente.

Il **Grafico 12** dimostra l'impatto delle pitture IR sull'andamento delle temperature superficiali delle facciate con esposizione sud ed ovest, le più critiche, dell'edificio isolato nella zona climatica di Milano.

Il grafico evidenzia la differenza di comportamento tra i due tipi di pittura in cinque giorni di luglio.

Gli andamenti sono smorzati rispetto al caso precedente sia in valore assoluto sia nella differenza, essendo le esposizioni sud-est e sud-ovest le più gravose in assoluto.

Tuttavia le differenze di picco durante la stagione estiva sono comprese tra 4 e 5°C, valore non trascurabile in quanto abbassa di quasi il 10% il valore di picco sulla facciata.

Un altro aspetto da analizzare è l'impatto delle pitture sulla distribuzione cumulata delle ore con elevate temperature superficiali: di seguito si elencano alcuni risultati esemplificativi riferiti alla configurazione isolata di edificio.

Nella città di Milano l'effetto delle pitture IR sulla configurazione di involucro isolato riduce da 730 a 583 (da 32 a 26% delle ore diurne) le

ore con temperature superficiali superiori a 40°C sulla facciata sud.

Inoltre la temperatura non raggiunge mai 50°C sulla pittura IR, ma tale soglia è superata in 283 ore (13%) nel caso di pittura standard.

La facciata ovest è più sollecitata della precedente ed è interessante osservare il comportamento sulle temperature estreme: le ore con valori superiori a 55°C passano da 83 a 8 (da 4 a 0%); si annullano le ore con temperatura superficiale superiore a 60°C che prima era raggiunta per 9 ore.

Risultati molto simili sono ottenuti per Roma, dove l'effetto della pittura riflettente è l'azzeramento delle ore con temperature superiori a 55°C.

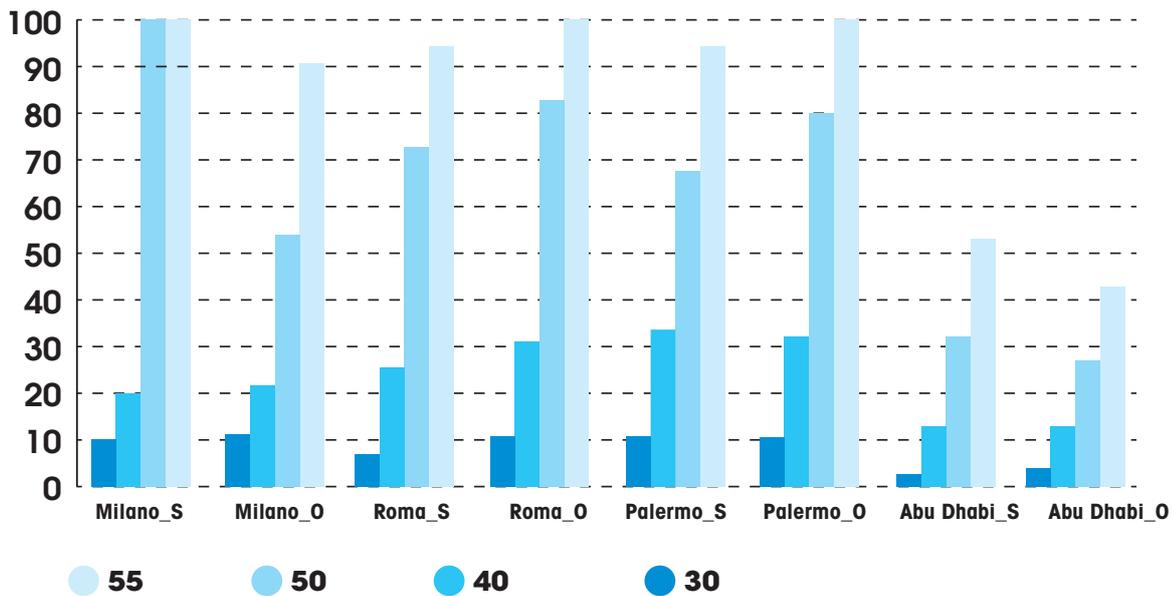
A Palermo sulla facciata sud le ore con temperatura superiore a 40°C passano da 438 a 290, con un'incidenza rispetto alle ore diurne che decresce dal 20 al 13%.

Sono praticamente azzerate le ore con temperatura superiore a 55°C rispetto alle oltre 30 calcolate con la pittura standard.

Sia ad ovest che a sud le ore con temperature superiori a 50°C scendono da 4 a 1%.

Ad Abu Dhabi l'effetto cool si manifesta con la forte riduzione delle ore con temperature oltre i 60°C: a sud si passa da 350 a 57 ore (da 8 a 1%); a ovest da 304 a 82 (da 7 a 2%).

Grafico 13 - Riduzione delle ore con temperature superficiali superiori a diversi valori di soglia per l'edificio commerciale con configurazione isolata nelle 4 località selezionate.



Il **Grafico 13** si riporta, per i vari orientamenti e località, e per configurazione isolata, l'effetto delle pitture IR nella riduzione percentuale delle ore con temperature superficiali soglia rispetto a quelle standard.

In Italia, le facciate cool hanno una diminuzione delle ore con temperature superficiali di circa il 10% ma il valore sale intorno al 20-30% rispetto alla soglia dei 40°C.

Riduzioni molto forti dal 70 fino al 100% si registrano per temperature elevate, oltre i 50°C.

La situazione è molto simile sia per il fronte sud che per quello est.

Riduzioni più contenute sono calcolate per Abu Dhabi, dove è interessante notare una riduzione intorno al 30% delle ore con temperatura superficiale di soglia superiore a 50°C.

L'impatto è praticamente trascurabile per quanto riguarda i valori medi di temperatura operativa all'interno dell'edificio, stimati in 0,1°C per le quattro località.

I risultati sono legati alle caratteristiche dell'edificio e del suo utilizzo e risultano quindi meno apprezzabili rispetto all'edificio residenziale.

Ancora una volta è bene ricordare che l'effetto positivo si manifesta soprattutto nell'aumentare il numero di ore con temperature di comfort all'interno dell'edificio. In Italia le ore con temperatura operativa superiore a 30°C sono drasticamente ridotte per effetto delle pitture IR, con riduzioni comprese tra il 20 e il 40%.

In area Emirati Arabi le temperature sono molto più elevate e l'impatto IR comincia a sentirsi in modo significativo solo con temperature indoor molto elevate, tipicamente oltre i 35°C, le cui ore diminuiscono nell'ordine del 10%.

### File allegati

01 Misure ottiche.xlsx

02 Fabbisogni energetici.xlsx

03 Simulazioni orarie resid- no impianti.xlsx

04 Simulazioni orarie comm - no impianti.xlsx





**COVEMA Vernici S.p.A.**

Strada della Barra, 5

10040 Druento • TO

0119941800

[www.covemavernici.com](http://www.covemavernici.com)