



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



*Ministero dello Sviluppo Economico*

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Impatto di tecnologie *cool roof* sulle prestazioni energetiche di  
edifici residenziali in area mediterranea.

*Michele Zinzi, Emiliano Carnielo*

IMPATTO DI TECNOLOGIE COOL ROOF SULLE PRESTAZIONI ENERGETICHE DI EDIFICI  
RESIDENZIALI IN AREA MEDITERRANEA..

Michele Zinzi, Emiliano Carnielo

Settembre 2010

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Usi Finali

Tema: "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

Responsabile Tema: Gaetano Fasano, ENEA.

## Sommario

Questo rapporto riassume l'attività svolta a quantificare l'impatto di tecnologie e materiali ad elevata riflessione solare da utilizzare per le coperture degli edifici. Lo studio è focalizzato sull'area mediterranea che, per caratteristiche climatiche, è fortemente interessata a tecnologie in grado di ottimizzare le prestazioni energetiche per il raffrescamento estivo di edifici climatizzati e le condizioni di comfort termico degli utenti in edifici non climatizzati. Il problema è di grande attualità per i fenomeni di cambiamento climatico generalizzato, con l'innalzamento delle temperature che trova il picco nei grandi insediamenti abitativi, a causa del fenomeno dell'isola di calore urbana. A questo si aggiunge una espansione della climatizzazione estiva anche in quella categoria di edifici, tipicamente ad uso residenziale, fino a poco tempo fa sprovvisti di impianti di condizionamento e raffrescamento meccanici. La richiesta sempre maggiore di comfort, combinata con l'effettivo innalzamento delle temperature, ha dato il via ad una escalation dei consumi elettrici tuttora in atto. È lecito presumere che il problema, adesso tipicamente *occidentale*, avrà gravi ripercussioni nel prossimo futuro, quando la richiesta di comfort e la disponibilità finanziaria di una enorme porzione di popolazione, a tutte le latitudini, renderà questo processo estremamente pericoloso per gli obiettivi energetici ed ambientali condivisi.

Materiali ad elevata riflettanza solare possono mitigare questi aspetti senza, ovviamente, risolverli. Lo studio dimostra l'impatto di questi materiali in edifici raffrescati in modo meccanico e naturale. L'analisi è condotta per diverse tipologie abitative e per diverse zone climatiche. Sono presi in esame anche diversi livelli di isolamento termico. I risultati dimostrano l'efficacia ed i limiti della soluzione sul bilancio energetico annuale dell'edificio. I risultati risultano interessanti anche per il legislatore, dal momento che conclusa l'azione relativa al contenimento dei consumi energetici invernali, appare necessario affrontare in modo deciso l'aspetto relativo all'efficienza energetica durante la stagione estiva.

## 1. Introduzione

Il riscaldamento globale è un problema planetario monitorato indipendentemente dalla latitudine e dallo sviluppo economico anche se con intensità e conseguenze del tutto differenti in relazione a questi due fattori di influenza. Il bacino mediterraneo è una zona particolarmente a rischio, con previsioni di innalzamento delle temperature di 2°C entro il 2030, e con previsioni ben peggiori entro il 2100 (IPCC, 2007). In questo quadro si colloca la necessità di applicare nuove tecniche mirate al risparmio energetico, alla salvaguardia dell'ambiente e della salute pubblica in ogni settore dello sviluppo. Anche nel settore civile il problema ha assunto dimensioni di riguardo e in particolare è dovuto principalmente a due fattori: l'insorgere del fenomeno dell'isola di calore urbana ed il continuo incremento dei consumi elettrici per la climatizzazione estiva degli edifici, prima prevalentemente del terziario, recentemente anche nel settore residenziale. Tra le tecniche utilizzate per limitare i pericoli legati al trend attualmente in atto vi è il raffrescamento passivo degli edifici che prevede l'uso dei cool roof.

Cosa sono i *cool roof* ?

Si definiscono *cool material* (materiali *freschi*) quei materiali in grado di non innalzare in modo significativo la propria temperatura sotto la radiazione solare. I cool material sono caratterizzati da una elevata riflettanza solare (elevata capacità di riflettere la radiazione solare incidente sul materiale) e di emittanza termica (elevata capacità di emettere calore nella lunghezza d'onda dell'infrarosso). L'alto potere di riflessione è dovuto a pigmenti caratterizzati da una elevata riflettanza nella porzione infrarossa dello spettro solare, che però mantengono il profilo tipico del colore di riferimento nello spettro visibile, ciò fa sì che il materiale non si scaldi durante le ore diurne; l'elevata emittanza consente al materiale di raffreddarsi durante la notte, irradiando verso la volta celeste il calore assorbito durante il giorno. A parità di altri fattori (radiazione solare incidente, riscaldamento per convezione e/o conduzione), una superficie con queste caratteristiche rimarrà più *fresca* sotto il sole rispetto a una superficie che non presenti tali caratteristiche.

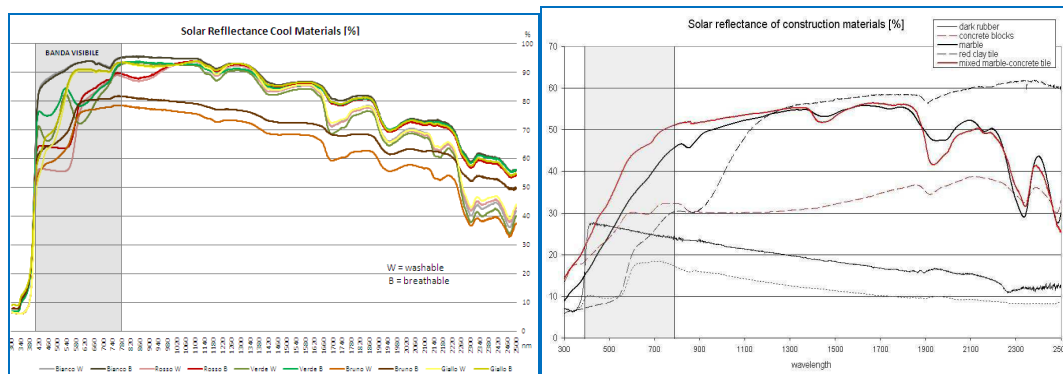
L'utilizzo dei suddetti materiali è molto utile per la realizzazione delle coperture e dei tetti, essendo i materiali da costruzione più utilizzati caratterizzati da elevato assorbimento solare (e quindi bassa riflettanza). Si parla in questi casi di *cool roof*, tecnologia in grado di realizzare un profilo di temperature superficiali più basso rispetto a un normale rivestimento, cosa che comporta una riduzione del flusso termico entrante nell'edificio contribuendo ad un'efficace diminuzione del valore medio della temperatura interna dell'aria in ambienti non climatizzati o una riduzione dei consumi per raffrescamento in ambienti dotati di impianto di climatizzazione estiva. L'uso in larga scala di materiali con queste particolarità in un'area urbana porta inoltre ad un indiretto risparmio energetico legato all'alta riflettanza solare che contribuisce alla riduzione della temperatura dell'agglomerato abitativo grazie ad un migliore bilancio energetico relativo alle superfici in gioco e favorendo la mitigazione dell'*effetto di isola di calore urbana*.

È necessario anche ricordare che i *cool roof* non sono necessariamente ottenuti con vernici; sono diverse infatti le soluzioni tecnologiche che consentono di realizzare delle coperture riflettenti: vernici, membrane, guaine, bitumi, mattonelle per lastricati solari. La seguente tabella 1 riassume alcuni dati significativi. Sulla sinistra sono elencati i valori di riflettanza solare (SR) di una vernice organica con diverse variazioni cromatiche. Sulla destra si riportano i valori misurati per alcuni materiali tipicamente utilizzati per coperture piane ed inclinate. Appare evidente la variazione in termini di riflettanza solare. I materiali da costruzione si attestano nelle tipologie più comuni tra il 20 ed il 30%, con un carico solare che diventa significativo per gli ambienti sottostanti.

La figura 1 presenta l'andamento della riflettanza in funzione della lunghezza d'onda per i materiali *cool* e per i materiali da costruzione comuni.

**Tabella 1: Riflettanza, valore integrato**

Materiali COOL	SR [%]	Materiali tipici da costruzione	SR [%]
Bianco	85	Guaina impermeabilizzante	20
Verde	72	Piastrelle in cemento	29
Rosso	66	Piastrelle in argilla rossa	27
Giallo	73	Guaina bituminosa	12
Bruno	58	Marmo	39



**Figura 1: Riflettanza solare materiali COOL e tipici materiali da costruzione**

L'emissività termica non varia sensibilmente tra i materiali da costruzione ed è generalmente compresa tra 0.8 e 0.9. Soltanto i metalli presentano valori più bassi di emittanza, cosa che limita il raffreddamento notturno. Per questo motivo *cool roof* metallici sono efficaci solo se hanno valori di riflettanza solare estremamente elevati (maggiori di 0.75-0.8). Un aspetto ancora poco esplorato è legato al mantenimento delle proprietà iniziali dei prodotti. Un depauperamento rapido delle capacità riflettenti del materiale, renderebbe inutile l'investimento realizzato.

## 2. Casi Studio

Per studiare gli effetti di un tetto che possenga caratteristiche di elevata riflettanza solare e elevata emissività nell'infrarosso si è scelto di applicare una copertura con le suddette proprietà su due diverse tipologie abitative residenziali che verranno poi schematizzate attraverso il software di simulazione. Ogni edificio è stato suddiviso in due zone in ognuna delle quali verranno valutati le temperature e i carichi energetici di climatizzazione estiva e di riscaldamento. Esse sono denominate: **zona giorno** e **zona notte**. Questa esigenza è dettata dal fatto che il carico energetico dipenderà anche da quanto la zona è "utilizzata" in termini umani, ad esempio quanto tempo una luce rimarrà accesa, il periodo di utilizzo di un personal computer o di qualsiasi altro dispositivo in grado di generare calore (internal gains).

## Configurazione dell'edificio ad un piano



**Figura 2: Visione 3D edificio ad un piano**

La prima tipologia di edificio presa in esame consiste in un'abitazione ad un solo livello con tetto piano. Essa rappresenta a pieno la tipologia standard di soluzione abitativa tipica delle località in prossimità del bacino mediterraneo. E' molto sviluppata soprattutto nel meridione italiano e nelle città del Nord-Africa considerate in questo lavoro. Questa configurazione rappresenta inoltre un caso studio molto importante per verificare le effettive prestazioni di un tetto ad alta riflettanza rispetto ad una copertura realizzata con materiali classici. Ciò è dovuto alla grande estensione delle superfici orizzontali che captano la radiazione solare rispetto alla superficie totale e al volume totale.

La scelta di un tetto piano è stata preferita ad un tetto inclinato poiché esso avrebbe inutilmente complicato la verifica prestazionale del tetto "fresco". Infatti, a causa del suo disegno, esso crea una zona di intercapedine (soffitta) che altera il livello di isolamento complessivo del tetto rendendolo difficilmente determinabile. Di seguito sono riportati i parametri geometrici dell'edificio ad un piano considerato:

$$S_{\text{totale}} = 363.7 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{tetto}} = 111.9 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{tot}} = 369.3 \text{ m}^3$$

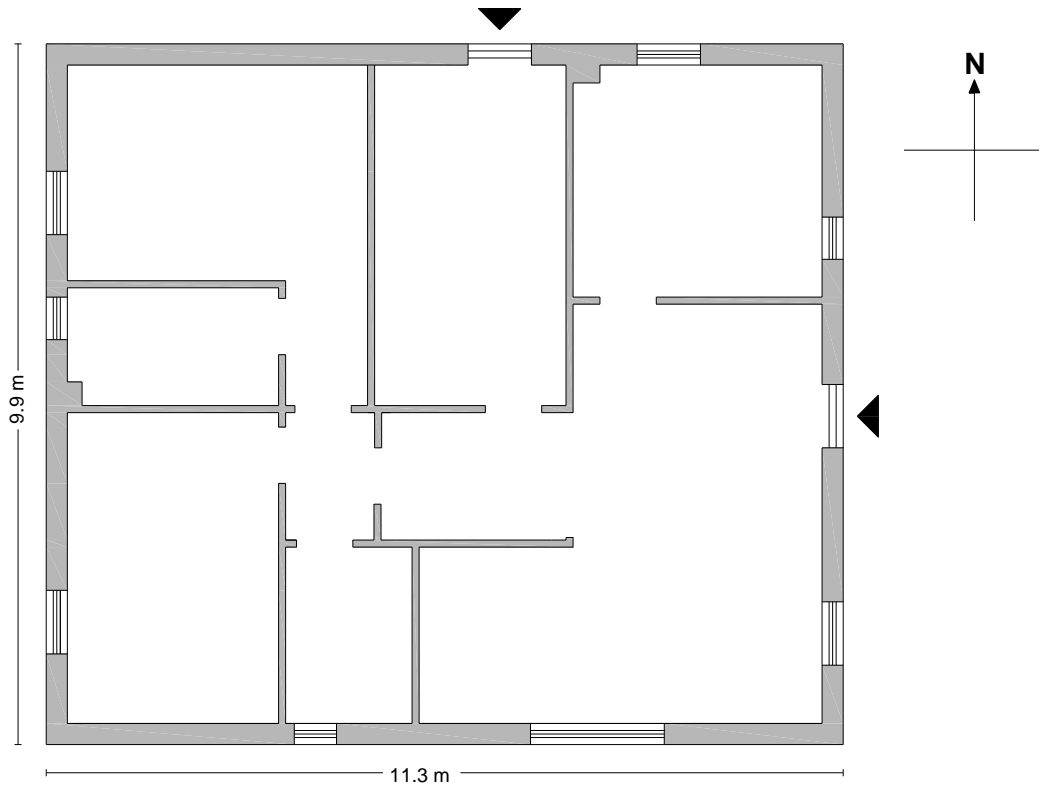
$$S_{\text{pavimento}} = 99.59 \text{ m}^2$$

$$\frac{S_{\text{totale}}}{V_{\text{totale}}} = 0.985$$

$$\frac{S_{\text{tetto}}}{S_{\text{totale}}} = 0.308$$

$$\frac{S_{\text{tetto}}}{V_{\text{totale}}} = 0.303$$

## Pianta edificio ad un piano



**Figura 3: Visione in pianta dell'edificio ad un piano**

### **2.1. Profili di occupazione dell'edificio ad un piano**

#### **Zona notte:**

E' stata considerata la presenza di 4 persone in condizioni di riposo durante le ore notturne, dalle 22 alle 8;

un carico di  $5 \text{ W/m}^2$  di luce artificiale ad incandescenza con rendimento del 10%.

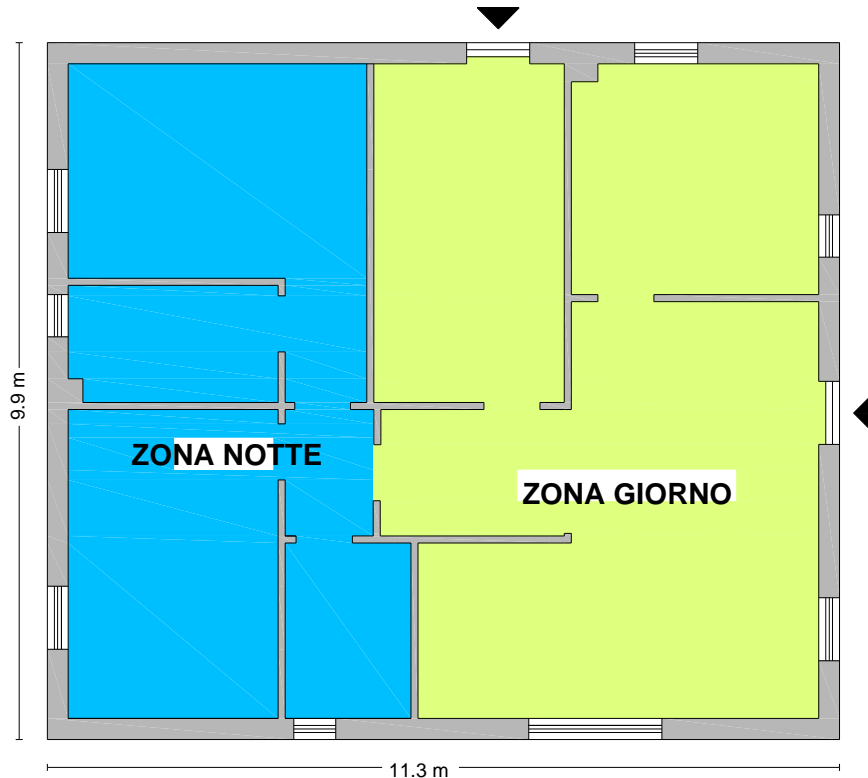
#### **Zona Giorno:**

Una persona in lavoro leggero dalle 8 alle 22;

un pc attivo tutto il giorno di media potenza 345 W;

un carico di  $5 \text{ W/m}^2$  di luce artificiale ad incandescenza con rendimento del 10%

La Figura 4 evidenzia il criterio di divisione della pianta dell'abitazione nelle due zone:



**Figura 4: Zone termiche edificio ad un piano**

## 2.2. Configurazione dell'edificio a schiera

La seconda configurazione abitativa consiste in un edificio a schiera sviluppato su due piani. Anche in questo caso si è scelto di utilizzare un tetto piano rispetto ad uno inclinato per le stesse ragioni viste prima. Il comportamento termico delle due zone di suddivisione, coincidenti ognuna con un piano della casa, evidenzierà come il piano terra sarà sempre più mite e come il primo piano risulterà essere invece molto più esposto alle variazioni climatiche. Sarà su questo piano infatti che si ripercuoteranno maggiormente gli effetti delle variazioni della riflettanza solare; in estate infatti il primo piano è quello che necessita di un maggior carico di climatizzazione e conseguentemente in inverno di un maggior carico di riscaldamento. Il piano terra risulta essere meno sensibile alle variazioni climatiche proprio per la presenza del piano superiore che crea un effetto isolante sul piano sottostante. Bisogna però considerare che questo effetto isolante è smorzato dalla presenza della tromba delle scale che mette in comunicazione i due piani. Di questo fenomeno se ne terrà conto con un opportuno valore all'interno del software che sarà utilizzato per le simulazioni. Esso misura il flusso di aria in kg/h che passa attraverso le aperture tra due zone adiacenti, in questo caso tra il piano terra e il primo piano attraverso la tromba delle scale.



Un'altra osservazione fondamentale da considerare in questa soluzione abitativa a schiera è la presenza di altri moduli abitativi confinanti, come si può notare dalla figura 5:



**Figura 5 : Visione 3D edificio a schiera**

Questo fattore determina un maggior isolamento complessivo dell'edificio rispetto all'edificio precedente, anche se i valori di trasmittanza termica delle pareti sono gli stessi. Inoltre non potendo esserci finestre nelle pareti confinanti esse si troveranno concentrate sugli altri due lati disponibili. A causa di questa particolare configurazione, verranno svolte anche delle simulazioni modificando l'orientamento della struttura e conseguentemente quello delle superfici vetrate per verificare l'entità dell'influenza dell'incidenza della radiazione solare su di esse al variare della posizione rispetto ai punti cardinali.

Anche in questo caso sono riportati i parametri geometrici relativi all' edificio:

$$S_{\text{totale}} = 353.58 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{tetto}} = 67.8 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{tot}} = 427.14 \text{ m}^3$$

$$S_{\text{pavimento}} = 115.56 \text{ m}^2$$

$$\frac{S_{\text{totale}}}{V_{\text{totale}}} = 0.83 \quad \frac{S_{\text{tetto}}}{S_{\text{totale}}} = 0.19 \quad \frac{S_{\text{tetto}}}{V_{\text{totale}}} = 0.16$$

## Pianta edificio a schiera



**Figura 6: Visione in pianta edificio a schiera**

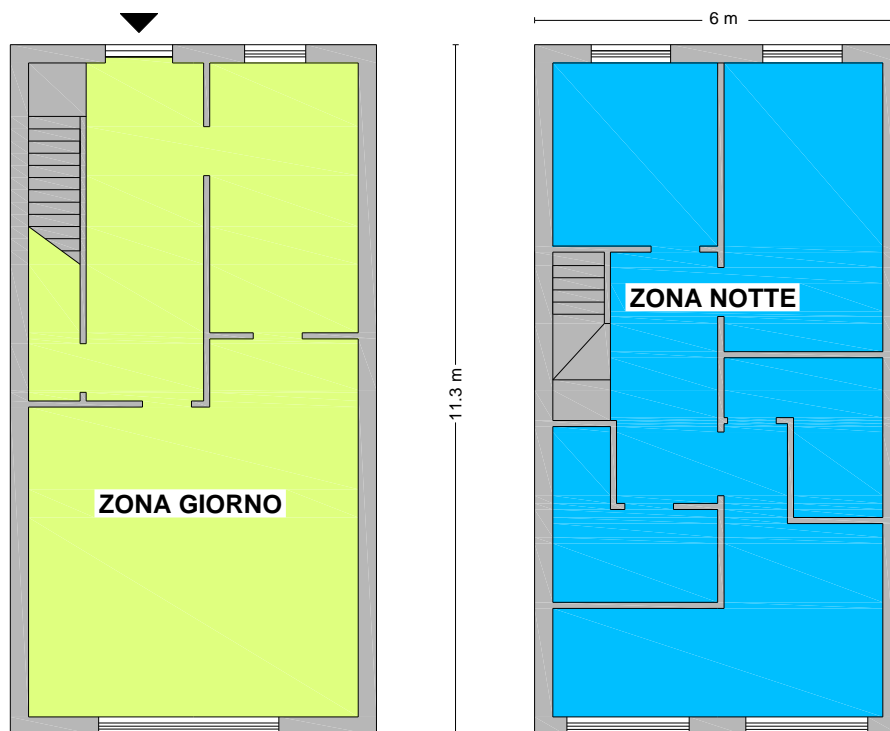
### 2.3. Profili di occupazione dell'edificio a schiera

#### **Zona notte:**

4 persone in condizioni di riposo durante le ore notturne, dalle 22 alle 8;  
un pc attivo tutto il giorno di media potenza 345 W;  
un carico di  $5 \text{ W/m}^2$  di luce artificiale ad incandescenza con rendimento del 10%.

#### **Zona giorno:**

Una persona in lavoro leggero dalle 8 alle 22;  
un pc attivo tutto il giorno di media potenza 345 W;  
un carico di  $5 \text{ W/m}^2$  di luce artificiale ad incandescenza con rendimento del 10%.



**Figura 7: Zone termiche edificio a schiera**

Anche in questo caso si è suddivisa l'abitazione in due zone termiche caratterizzate, come si può ben vedere nelle scelte dei carichi interni, da attività ben definite. A differenza del caso precedente stavolta la scelta delle due zone è stata quasi obbligata perché come già detto i due piani dell'edificio sono soggetti a comportamenti ben differenti grazie alla loro disposizione sovrapposta.

#### **2.4. Pacchetti murari**

Ogni edificio verrà simulato con tre livelli di isolamento. Essi verranno denominati per semplicità: basso livello di isolamento, medio livello di isolamento, livello di isolamento secondo la normativa italiana (per Palermo e Roma). A tal proposito verranno creati dei pacchetti murari con l'ausilio del software di simulazione, nella sezione del TRNBuild per questi tre livelli di isolamento. In ognuno dei livelli è stata fatta una distinzione tra pareti verticali, tetto e pavimento. Classificare le abitazioni anche in base al valore della trasmittanza dell'involucro che le compone servirà a studiare l'eventuale dipendenza di un alto valore di riflettanza da un buon livello di isolamento al fine di ottimizzare i vantaggi legati alla tecnologia che si sta applicando, ovvero il risparmio energetico attraverso metodi passivi (Cool Roof).

Di seguito sono riportate le tabelle degli strati dei pacchetti murari relativi a pareti, tetto e pavimento: il primo strato è il più interno e a seguire gli altri strati fino al più esterno.

➤ **Basso livello di isolamento**

**Tabella 2**

Parete		Tetto		Pavimento	
Intonaco Interno	0.015 m	Intonaco Cemento	0.020 m	Piastrelle	0.010 m
Mattoni	0.160 m	Pignatta	0.200 m	Malta	0.035 m
Aria		Conglomerato	0.040 m	Bitume	0.020 m
Mattoni	0.160 m	Bitume	0.005 m	Mattoni	0.070 m
Intonaco Esterno	0.015 m	Malta	0.055 m	Pignatta	0.150 m
		Piastrelle	0.020 m	Intonaco Cemento	0.015 m
<b>Spessore Totale</b>	<b>0.350 m</b>	<b>Spessore Totale</b>	<b>0.340 m</b>	<b>Spessore Totale</b>	<b>0.300 m</b>
<b>Trasmittanza</b>	<b>1.44 W/m<sup>2</sup>K</b>	<b>Trasmittanza</b>	<b>1.40 W/m<sup>2</sup>K</b>	<b>Trasmittanza</b>	<b>1.40 W/m<sup>2</sup>K</b>

➤ **Medio livello di isolamento**

**Tabella 3**

Parete		Tetto		Pavimento	
Intonaco Interno	0.020 m	Intonaco Cemento	0.015 m	Piastrelle	0.010 m
Foratino	0.120 m	Pignatta	0.200 m	Malta	0.050 m
Aria		Conglomerato	0.040 m	Bitume	0.010 m
Isolante	0.020 m	Bitume	0.005 m	Conglomerato	0.040 m
Foratino	0.120 m	Isolante	0.040 m	Isolante	0.025 m
Intonaco Esterno	0.020 m	Malta	0.030 m	Pignatta	0.150 m
		Piastrelle	0.020 m	Intonaco Cemento	0.015 m
<b>Spessore Totale</b>	<b>0.300 m</b>	<b>Spessore Totale</b>	<b>0.350 m</b>	<b>Spessore Totale</b>	<b>0.300 m</b>
<b>Trasmittanza</b>	<b>0.70 W/m<sup>2</sup>K</b>	<b>Trasmittanza</b>	<b>0.59 W/m<sup>2</sup>K</b>	<b>Trasmittanza</b>	<b>0.80 W/m<sup>2</sup>K</b>

➤ **Livello di isolamento secondo la normativa italiana, zona B (Palermo)**

**Tabella 4**

Parete		Tetto		Pavimento	
Intonaco Interno	0.025 m	Intonaco Cemento	0.025 m	Piastrelle	0.025 m
Foratino	0.125 m	Conglomerato	0.100 m	Malta	0.090 m
Aria		Isolante	0.090 m	Conglomerato	0.040 m
Isolante	0.045 m	Conglomerato	0.110 m	Isolante	0.060 m
Foratino	0.125 m	Piastrelle	0.025 m	Pignatta	0.110 m
Intonaco Esterno	0.045 m			Intonaco Cemento	0.025 m
<b>Spessore Totale</b>	<b>0.345 m</b>	<b>Spessore Totale</b>	<b>0.350 m</b>	<b>Spessore Totale</b>	<b>0.350 m</b>
<b>Trasmittanza</b>	<b>0.48 W/m<sup>2</sup>K</b>	<b>Trasmittanza</b>	<b>0.38 W/m<sup>2</sup>K</b>	<b>Trasmittanza</b>	<b>0.49 W/m<sup>2</sup>K</b>

➤ **Livello di isolamento secondo la normativa italiana, zona D (Roma)**

**Tabella 2**

Parete		Tetto		Pavimento	
Intonaco Interno	0.025 m	Intonaco Cemento	0.020 m	Piastrelle	0.020 m
Foratino	0.110 m	Conglomerato	0.100 m	Malta	0.055 m
Aria		Isolante	0.110 m	Conglomerato	0.045 m
Isolante	0.075 m	Conglomerato	0.100 m	Isolante	0.090 m
Foratino	0.110 m	Piastrelle	0.020 m	Pignatta	0.120 m
Intonaco Esterno	0.030 m			Intonaco Cemento	0.020 m
<b>Spessore Totale</b>	<b>0.350 m</b>	<b>Spessore Totale</b>	<b>0.350 m</b>	<b>Spessore Totale</b>	<b>0.350 m</b>
<b>Trasmittanza</b>	<b>0.36 W/m<sup>2</sup>K</b>	<b>Trasmittanza</b>	<b>0.32 W/m<sup>2</sup>K</b>	<b>Trasmittanza</b>	<b>0.36 W/m<sup>2</sup>K</b>

## 2.5. Serramenti

Gli infissi delle abitazioni considerate sono stati scelti da un database presente nel software di simulazione.

Essi hanno dei valori di trasmittanza del vetro e del telaio congrui con il livello di isolamento corrispondente a eccezione degli infissi applicati nella struttura realizzata secondo normativa italiana. In quest'ultimo caso sono stati scelti dei vetri con trasmittanza leggermente inferiore, cosa perfettamente plausibile poiché i valori indicati nella normativa risultano essere solo un limite superiore dei valori di trasmittanza per le costruzioni.

➤ **Infissi basso livello di isolamento**

**Tabella 6**

Trasmittanza vetro	<b>5.68 W/m<sup>2</sup>K</b>
Trasmittanza telaio	<b>2.27 W/m<sup>2</sup>K</b>

➤ **Infissi medio livello di isolamento**

**Tabella 6**

Trasmittanza vetro	<b>2.83 W/m<sup>2</sup>K</b>
Trasmittanza telaio	<b>2.00 W/m<sup>2</sup>K</b>

➤ **Infissi alto livello di isolamento**

**Tabella 7**

Trasmittanza vetro	<b>1.76 W/m<sup>2</sup>K</b>
Trasmittanza telaio	<b>2 W/m<sup>2</sup>K</b>

**2.6. Suddivisione in tre fasce climatiche**

Le due tipologie di edifici prese in esame sono state inserite all'interno del contesto climatico appartenente a dieci città del bacino mediterraneo. Esse sono state classificate all'interno di tre fasce climatiche. Le città che fanno parte di una stessa fascia climatica si attestano più o meno sulla stessa latitudine e hanno un clima simile.

Questa suddivisione è dettata dalla realistica esigenza di evidenziare e considerare in modo differente i risultati che si otterranno dalle simulazioni mirate ad ottenere l'andamento dei carichi energetici interni abitativi riguardanti, ad esempio le città del Nord-Africa che si affacciano sul mar mediterraneo avranno un comportamento termo-fisico diverso rispetto a città più fredde come ad esempio Marsiglia.



**Figura 8**

Con riferimento alla Figura si avranno le seguenti fasce:

**Fascia Mediterranea Settentrionale:** Barcellona, Marsiglia, Roma;

**Fascia Mediterranea Centrale:** Atene, Palermo, Siviglia;

**Fascia Mediterranea Meridionale:** Il Cairo, Larnaca, Tel-Aviv, Tripoli;

Di seguito sono riportate le tabelle ottenute con i dati ricavati dal database del software di simulazione TRNSys:

**Tabella 8: Temperature medie mensili**

	Fascia Settentrionale			Fascia Centrale			Fascia Meridionale			
	Barcellona	Marsiglia	Roma	Atene	Palermo	Siviglia	Il Cairo	Larnaca	Tel-Aviv	Tripoli
Gennaio	9.7	6.5	8.0	9.2	12.8	10.6	13.6	11.8	12.1	12.1
Febbraio	10.4	7.8	8.8	9.7	13.0	11.9	14.8	12.2	12.8	13.2
Marzo	12.1	10.2	10.8	11.8	13.8	14.0	16.9	13.5	14.8	15.4
Aprile	13.8	13.0	13.2	15.3	15.5	15.7	21.0	16.7	17.6	18.3
Maggio	17.4	17.1	17.3	20.2	18.7	19.6	24.6	20.4	20.3	22.3
Giugno	20.7	20.6	21.0	24.3	22.4	23.1	26.9	23.7	22.9	25.8
Luglio	24.2	23.9	24.1	27.0	25.6	26.8	27.7	26.6	25.1	27.1
Agosto	23.8	23.2	23.9	26.7	26.2	27.0	27.4	26.6	25.6	27.9
Settembre	21.3	20.1	20.6	23.0	23.6	24.1	25.6	24.3	23.9	25.8
Ottobre	17.7	16.2	16.9	18.3	20.7	19.5	23.3	21.3	21.5	22.4
Novembre	13.1	10.5	12.1	14.2	16.3	14.1	18.6	16.7	17.3	17.4
Dicembre	10.6	7.8	9.3	11.2	14.1	11.1	15.0	13.4	13.8	13.3

**Tabella 9: Radiazione solare totale su base mensile**

	Fascia Settentrionale			Fascia Centrale			Fascia Meridionale			
	Barcellona	Marsiglia	Roma	Atene	Palermo	Siviglia	Il Cairo	Larnaca	Tel-Aviv	Tripoli
Gennaio	193.1	199.9	207.1	237.7	227.4	279.5	370.3	335.4	314.2	394.8
Febbraio	248.9	246.2	262.0	268.1	294.6	328.9	431.7	345.3	384.1	362.8
Marzo	422.6	433.0	440.5	373.8	472.2	524.2	602.6	505.8	559.4	564.6
Aprile	510.6	554.4	554.3	525.8	605.0	577.9	695.0	661.1	657.8	749.8
Maggio	600.7	690.4	690.5	652.3	727.3	738.5	819.4	730.6	804.6	823.7
Giugno	671.7	750.9	728.8	719.5	789.0	776.8	836.8	777.2	842.5	838.8
Luglio	719.4	786.5	776.6	764.2	787.0	845.5	840.1	774.6	848.3	881.5
Agosto	628.2	679.4	680.7	717.0	690.2	725.4	778.9	698.1	784.6	775.5
Settembre	480.8	499.6	511.3	555.7	538.8	580.2	654.1	660.6	644.2	605.2
Ottobre	335.0	334.1	362.8	381.5	399.7	430.7	540.9	515.0	505.8	457.1
Novembre	212.5	206.6	226.8	238.0	254.1	269.1	390.0	368.4	364.0	375.4
Dicembre	174.2	165.5	177.9	189.9	206.3	240.5	335.2	276.1	288.5	374.8

**Tabella 10: Umidità relativa %**

	Fascia Settentrionale			Fascia Centrale			Fascia Meridionale			
	Barcellona	Marsiglia	Roma	Atene	Palermo	Siviglia	Il Cairo	Larnaca	Tel-Aviv	Tripoli
Gennaio	73.3	73.7	79.2	71.3	73.1	73.8	58.2	73.2	70.2	72.8
Febbraio	72.2	72.2	74.4	70.0	71.2	72.9	52.8	69.0	69.6	69.4
Marzo	73.9	68.0	74.8	66.5	71.6	68.3	50.0	69.4	67.0	68.8
Aprile	70.9	67.0	74.9	61.0	71.1	70.0	42.9	66.5	63.9	64.0
Maggio	74.1	65.2	78.5	55.9	77.6	66.0	41.5	66.3	65.5	62.1
Giugno	73.2	64.4	74.9	51.3	75.9	63.7	46.0	67.2	70.1	59.8
Luglio	70.1	59.5	72.7	47.1	75.3	56.5	55.2	70.3	71.3	60.2
Agosto	76.2	62.6	76.6	47.8	78.1	57.4	58.6	71.3	71.0	62.6
Settembre	70.9	69.2	74.5	56.2	74.8	61.1	58.8	66.4	71.4	68.1
Ottobre	76.5	72.0	77.9	64.7	75.7	66.9	56.9	63.9	68.3	66.9
Novembre	70.1	74.0	77.0	72.3	74.7	73.8	61.1	68.2	67.4	68.6
Dicembre	70.2	75.1	75.2	71.4	73.6	74.3	58.6	74.1	69.9	73.3

### 3. Confronti in termini energetici legati alla variazione della riflettanza di un tetto

All'interno di questo paragrafo saranno esaminati i risultati delle simulazioni, ottenuti con il software di simulazione TRNSys.

Le simulazioni sono state condotte per ognuna delle tre configurazioni abitative, edificio ad un piano, edificio a schiera e un terzo edificio identico a quello a schiera, ma ruotato di 90° in modo che le finestre puntino a Est e a Ovest. Per ognuno delle due configurazioni di edificio viste precedentemente sono stati studiati due livelli di isolamento (basso livello di isolamento, medio livello di isolamento). Nelle due città italiane (Roma e Palermo), è stato simulato un ulteriore livello di isolamento, quello relativo ai valori di trasmittanza termica a norma stabiliti nel decreto legislativo n. 192/05.

Il parametro più influente, al fine di verificare i reali benefici legati all'applicazione di un tetto realizzato con materiali "freschi", è la riflettanza solare. Per ogni tipologia di edificio sono stati considerati tre valori di riflettanza (0.2 - 0.5 - 0.8). Ciò è stato fatto per confrontare le temperature e i carichi energetici di climatizzazione estiva e di riscaldamento ottenuti simulando il tetto delle abitazioni con valori di riflettanza via via crescenti. I parametri di simulazione degli edifici tenuti invece fissi indistintamente in ogni simulazione, sono:

1. Il ricambio d'aria dovuto alla ventilazione: esso è presente nelle ore notturne tra il 15 maggio e il 15 ottobre. Il suo valore è stato posto pari a 0.5 volumi abitativi all'ora (verrà modificato solo nelle simulazioni con isolamento a norma).
2. Il ricambio d'aria dovuto alle infiltrazioni: esso ha un valore costante per tutto l'anno pari a 0.5 volumi abitativi all'ora.



3. Le condizioni iniziali: temperatura iniziale interna dell'edificio di 20°C, umidità relativa interna 50%.

Sono state condotte quattro serie di simulazioni:

1. **Variazione delle temperature interne degli edifici al variare della riflettanza solare:** in questa prima serie di simulazioni è stato calcolato il numero totale di ore in cui la temperatura operativa e la temperatura dell'aria interna degli ambienti in esame superano in ordine i 26°- 27°- 28°- 29° e 30° al variare del parametro di riflettanza solare (0.2 - 0.5 - 0.8).  
La temperatura operativa di una zona termica è quella temperatura che tiene conto sia della temperatura interna dell'aria, sia della temperatura delle superfici interne della struttura abitativa. Le simulazioni sono state eseguite senza set - point di temperatura, ovvero sono ipotizzati spenti gli organi preposti sia alla climatizzazione estiva, sia al riscaldamento invernale.
2. **Carichi energetici:** La seconda serie di simulazioni ha lo scopo di valutare la variazione dei carichi energetici di climatizzazione e di riscaldamento al variare della riflettanza del tetto. In questo modo si potrà calcolare il reale guadagno energetico dovuto ad un tetto "fresco", osservando anche come quest'ultimo influisca sul risultato in maniera diversa a seconda del livello di isolamento.  
I set - point di temperatura sono stati posti a 26°C per la climatizzazione e 20°C per il riscaldamento. La temperatura è forzata, quindi, dal climatizzatore a non superare i 26°C e dalla caldaia a non scendere sotto i 20°C.
3. **Variazione dell' isolamento del tetto:** in questa terza fase è stata verificata l'effettiva convenienza della variazione del parametro di riflettanza solare accompagnata ad un incremento dell'isolamento riguardante la sola superficie del tetto. Sono stati utilizzati gli stessi set - point della serie di simulazioni precedente.
4. **Carichi energetici per edifici a norma:** la quarta ed ultima serie di simulazioni è dedicata alle due città italiane comprese nelle 10 studiate in questa trattazione (Palermo, Roma). Si sono voluti utilizzare valori di trasmittanza delle pareti, del tetto e del pavimento attinenti alle normative vigenti in Italia incrementando così il livello di isolamento complessivo delle 3 configurazioni di edificio prese in esame rispetto ai casi precedenti. Anche in questo caso si sono mantenuti gli stessi valori di set - point della seconda e della terza serie di simulazioni.  
Nei prossimi paragrafi sono riportati i risultati di queste simulazioni, rielaborati e organizzati in tabelle.

### 3.1. Variazione delle temperature interne degli edifici al variare della riflettanza solare

**Fascia Mediterranea Settentrionale:** Barcellona, Marsiglia, Roma; 

**Tabella 11**

**BARCELLONA**

<i>Temperatura Operativa</i>						<i>Temperatura Aria Interna</i>					
	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	
<b>Rifl Tetto 0.2 Basso Isolamento</b>											
Num.ore Abitazione un piano	1559.5	1131.5	666.5	246.5	34.0	1575.0	1151.5	683.0	262.0	42.0	
Num.ore Abit. a schiera N-S	2222.5	1772.0	1375.0	939.0	406.0	2259.0	1797.0	1401.0	970.0	441.0	
Num.ore Abit. a schiera E-O	2387.5	1966.5	1608.0	1210.0	662.5	2403.0	1987.0	1627.0	1231.5	698.5	
	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>					
<b>Rifl Tetto 0.5 Basso Isolamento</b>											
Num.ore Abitazione un piano	1296.5	831.0	354.5	64.0	0.0	1314.5	845.0	370.0	74.5	1.5	
Num.ore Abit. a schiera N-S	2005.5	1594.5	1180.5	684.5	202.5	2042.0	1622.0	1208.5	719.0	226.0	
Num.ore Abit. a schiera E-O	2204.5	1805.0	1427.0	948.0	409.0	2232.0	1827.0	1462.5	982.0	444.5	
	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>					
<b>Rifl Tetto 0.8 Basso Isolamento</b>											
Num.ore Abitazione un piano	989.5	471.0	108.0	2.0	0.0	1016.5	508.5	121.0	3.5	0.0	
Num.ore Abit. a schiera N-S	1807.0	1392.5	944.0	393.0	55.0	1851.5	1429.0	975.5	438.5	76.0	
Num.ore Abit. a schiera E-O	2022.5	1632.0	1187.5	685.0	228.5	2055.5	1660.5	1223.0	726.0	254.0	
	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>					
	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>					
<b>Rifl Tetto 0.2 Medio Isolamento</b>											
Num.ore Abitazione un piano	2233.5	1734.0	1289.0	774.0	303.5	2243.5	1734.5	1288.0	771.5	310.0	
Num.ore Abit. a schiera N-S	3926.5	3155.5	2578.5	1948.5	1493.5	3948.0	3177.0	2578.0	1956.0	1498.0	
Num.ore Abit. a schiera E-O	3911.0	3272.5	2710.0	2165.5	1758.5	3921.0	3286.5	2710.5	2167.5	1753.5	
	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>					
<b>Rifl Tetto 0.5 Medio Isolamento</b>											
Num.ore Abitazione un piano	1988.0	1507.5	1061.5	549.5	132.5	2002.0	1515.5	1072.5	552.5	140.5	
Num.ore Abit. a schiera N-S	3698.0	2998.0	2446.5	1778.5	1369.0	3723.5	3015.5	2447.5	1780.5	1373.0	
Num.ore Abit. a schiera E-O	3745.0	3095.5	2607.0	2036.5	1637.0	3762.0	3109.5	2608.5	2042.5	1631.0	
	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>					
<b>Rifl Tetto 0.8 Medio Isolamento</b>											
Num.ore Abitazione un piano	1751.0	1290.5	795.5	304.0	40.5	1758.5	1295.0	793.5	319.5	47.5	
Num.ore Abit. a schiera N-S	3477.0	2862.0	2269.5	1648.5	1206.5	3499.5	2869.5	2281.0	1653.0	1215.5	
Num.ore Abit. a schiera E-O	3547.5	2937.5	2476.5	1909.5	1508.0	3559.0	2952.5	2477.5	1912.0	1511.5	

**Tabella 12**

MARSIGLIA

<i>Temperatura Operativa</i>						<i>Temperatura Aria Interna</i>					
	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	
<b>Rifl Tetto 0.2 Basso Isolamento</b>											
Num.ore Abitazione un piano	1403.5	946.5	492.5	217.5	31.0	1415.5	973.0	506.5	226.5	35.0	
Num.ore Abit. a schiera N-S	1958.5	1574.0	1168.5	699.0	291.0	1978.0	1604.5	1192.0	734.0	317.0	
Num.ore Abit. a schiera E-O	2089.5	1841.0	1449.5	1016.0	499.5	2103.5	1850.0	1472.0	1040.0	525.0	
	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>					
<b>Rifl Tetto 0.5 Basso Isolamento</b>											
Num.ore Abitazione un piano	1139.0	602.5	278.5	50.0	0.0	1154.5	629.5	286.0	57.5	0.0	
Num.ore Abit. a schiera N-S	1779.5	1375.0	946.0	428.5	170.5	1807.0	1404.5	991.0	456.5	189.5	
Num.ore Abit. a schiera E-O	1971.5	1654.5	1254.0	699.5	331.0	1985.0	1675.0	1275.5	749.0	348.0	
	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>					
<b>Rifl Tetto 0.8 Basso Isolamento</b>											
Num.ore Abitazione un piano	741.0	332.0	85.0	0.0	0.0	765.0	347.0	99.5	0.0	0.0	
Num.ore Abit. a schiera N-S	1566.5	1182.0	650.5	278.5	39.0	1599.0	1220.5	688.0	293.5	55.5	
Num.ore Abit. a schiera E-O	1814.5	1456.0	962.0	459.5	201.5	1832.5	1476.0	1004.0	492.5	224.5	
	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>					
<b>Rifl Tetto 0.2 Medio Isolamento</b>											
Num.ore Abitazione un piano	2014.0	1566.0	1061.0	572.5	242.5	2014.5	1563.0	1060.5	576.5	238.5	
Num.ore Abit. a schiera N-S	3568.0	2766.5	2203.5	1707.5	1281.5	3570.5	2784.5	2209.5	1698.0	1278.0	
Num.ore Abit. a schiera E-O	3902.0	3112.5	2415.0	1978.5	1630.0	3916.5	3110.5	2424.0	1970.0	1622.0	
	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>					
<b>Rifl Tetto 0.5 Medio Isolamento</b>											
Num.ore Abitazione un piano	1769.0	1313.0	789.5	377.0	96.0	1771.5	1312.0	798.5	386.0	105.0	
Num.ore Abit. a schiera N-S	3309.0	2574.5	2052.0	1563.5	1146.5	3313.5	2588.0	2060.0	1562.0	1137.0	
Num.ore Abit. a schiera E-O	3662.5	2847.5	2232.5	1892.0	1472.0	3668.0	2850.5	2244.5	1884.5	1478.0	
	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>					
<b>Rifl Tetto 0.8 Medio Isolamento</b>											
Num.ore Abitazione un piano	1535.0	1058.5	561.5	208.5	27.0	1541.0	1057.5	564.5	212.0	34.5	
Num.ore Abit. a schiera N-S	3055.5	2420.5	1860.0	1392.5	952.5	3075.0	2425.0	1876.0	1409.5	954.0	
Num.ore Abit. a schiera E-O	3429.5	2638.0	2095.5	1767.5	1317.0	3435.0	2652.5	2102.5	1756.0	1314.0	

**Tabella 13**

<b>ROMA</b>
-------------

	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°
<b>Rifl Tetto 0.2 Basso Isolamento</b>										
Num.ore Abitazione un piano	1738.5	1314.0	780.5	273.5	51.0	1745.0	1326.5	793.5	286.5	56.5
Num.ore Abit. a schiera N-S	2125.0	1835.0	1489.0	1024.5	458.0	2166.5	1852.0	1509.5	1047.5	504.0
Num.ore Abit. a schiera E-O	2257.0	1989.0	1743.5	1350.0	807.5	2309.0	1994.0	1758.5	1372.0	842.5
	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
<b>Rifl Tetto 0.5 Basso Isolamento</b>										
Num.ore Abitazione un piano	1414.0	943.5	396.5	96.0	0.0	1431.0	957.5	417.5	102.5	2.0
Num.ore Abit. a schiera N-S	2011.0	1678.0	1232.0	756.5	215.0	2033.0	1705.0	1266.5	791.0	239.5
Num.ore Abit. a schiera E-O	2121.0	1902.5	1550.5	1086.5	476.5	2142.5	1908.0	1575.0	1109.0	514.5
	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
<b>Rifl Tetto 0.8 Basso Isolamento</b>										
Num.ore Abitazione un piano	1073.5	524.0	143.5	8.5	0.0	1095.0	549.0	154.0	13.0	0.0
Num.ore Abit. a schiera N-S	1869.0	1420.0	991.0	454.5	67.5	1887.0	1449.0	1019.0	495.5	84.0
Num.ore Abit. a schiera E-O	2013.5	1747.0	1290.0	768.0	260.5	2035.5	1762.5	1311.5	803.0	289.0

	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°
<b>Rifl Tetto 0.2 Medio Isolamento</b>										
Num.ore Abitazione un piano	2285.0	1869.0	1425.5	888.0	372.0	2295.0	1863.5	1420.5	883.0	377.0
Num.ore Abit. a schiera N-S	3691.5	3259.5	2547.5	1949.5	1566.5	3706.5	3254.0	2554.0	1963.5	1558.5
Num.ore Abit. a schiera E-O	3945.5	3502.0	2756.5	2084.5	1825.5	3941.5	3505.0	2761.0	2089.5	1821.5
	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
<b>Rifl Tetto 0.5 Medio Isolamento</b>										
Num.ore Abitazione un piano	2065.5	1629.5	1159.0	605.5	151.5	2068.0	1627.0	1155.5	604.0	167.0
Num.ore Abit. a schiera N-S	3548.0	3015.5	2384.5	1806.5	1401.5	3549.0	3028.5	2387.5	1819.0	1403.5
Num.ore Abit. a schiera E-O	3807.5	3265.5	2511.5	2008.0	1755.0	3811.0	3272.5	2517.5	2003.0	1742.0
	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
<b>Rifl Tetto 0.8 Medio Isolamento</b>										
Num.ore Abitazione un piano	1852.5	1374.5	874.5	365.0	49.5	1854.0	1379.0	877.0	373.0	57.0
Num.ore Abit. a schiera N-S	3333.0	2835.5	2239.5	1669.0	1202.5	3356.5	2834.5	2254.0	1674.5	1214.5
Num.ore Abit. a schiera E-O	3667.5	3010.0	2350.5	1942.5	1599.0	3658.5	3022.0	2365.0	1932.0	1589.5

**Fascia Mediterranea Centrale:** Atene, Palermo, Siviglia; 

**Tabella 14**

ATENE										
<b>Rifl Tetto 0.2 Basso Isolamento</b>	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°
	2622.0	2183.0	1849.0	1503.0	1084.5	2639.5	2200.5	1865.0	1520.0	1103.0
	3316.0	2965.0	2456.0	2097.5	1706.5	3352.5	2998.5	2500.0	2111.5	1728.5
Num.ore Abit. a schiera E-O	3382.0	3103.0	2625.0	2206.5	1944.5	3404.5	3127.5	2669.0	2233.5	1957.0
<b>Rifl Tetto 0.5 Basso Isolamento</b>	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°
	2336.5	1937.0	1589.0	1257.0	568.0	2356.0	1961.5	1609.0	1274.0	605.0
	3206.5	2730.0	2255.5	1924.5	1503.5	3242.0	2775.0	2282.5	1944.0	1534.0
Num.ore Abit. a schiera E-O	3312.0	2927.5	2392.5	2083.0	1789.0	3329.0	2973.0	2415.5	2100.5	1810.5
<b>Rifl Tetto 0.8 Basso Isolamento</b>	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°
	2057.0	1672.5	1370.0	765.5	225.0	2078.5	1692.0	1383.5	806.0	247.5
	2984.0	2473.0	2082.0	1721.5	1304.0	3036.5	2502.5	2113.5	1750.5	1332.5
Num.ore Abit. a schiera E-O	3190.0	2616.0	2237.5	1948.0	1578.5	3218.0	2655.0	2259.5	1963.5	1608.5
<b>Rifl Tetto 0.2 Medio Isolamento</b>	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°
	3479.0	2931.0	2416.5	2015.5	1650.5	3476.5	2928.5	2413.5	2017.5	1650.0
	4623.0	4096.0	3750.5	3320.0	2806.5	4643.0	4116.5	3754.5	3325.0	2810.5
Num.ore Abit. a schiera E-O	4664.5	4197.5	3842.0	3474.5	2978.5	4675.5	4214.0	3847.0	3478.5	2981.0
<b>Rifl Tetto 0.5 Medio Isolamento</b>	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°
	3230.0	2660.5	2192.0	1841.0	1437.0	3242.0	2666.5	2206.5	1834.0	1441.5
	4470.5	3971.0	3654.0	3179.5	2614.0	4496.5	3982.5	3657.5	3190.0	2615.5
Num.ore Abit. a schiera E-O	4562.0	4053.0	3737.5	3344.5	2813.0	4572.0	4077.0	3742.0	3346.5	2813.0
<b>Rifl Tetto 0.8 Medio Isolamento</b>	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°
	2977.5	2444.5	2013.0	1632.0	1172.0	2989.0	2444.5	2019.0	1634.5	1167.5
	4273.0	3857.0	3549.5	2979.0	2456.5	4298.0	3867.0	3558.5	3000.5	2464.5
Num.ore Abit. a schiera E-O	4423.0	3882.0	3641.0	3215.0	2620.5	4436.5	3896.5	3649.0	3213.5	2631.5

**Tabella 15**

**PALERMO**


<b>Temperatura Operativa</b>						<b>Temperatura Aria Interna</b>					
	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°		>26°	>27°	>28°	>29°	>30°
<b>Rifl Tetto 0.2 Basso Isolamento</b>											
Num.ore Abitazione un piano	2718.0	2296.0	1881.0	1417.0	864.0	2740.5	2312.5	1895.0	1427.0	887.5	
Num.ore Abit. a schiera N-S	3560.5	3132.5	2699.0	2145.0	1593.0	3590.5	3170.5	2725.5	2189.0	1630.0	
Num.ore Abit. a schiera E-O	3717.5	3361.0	2803.5	2320.0	1861.0	3728.0	3404.5	2842.5	2358.5	1888.0	
	<b>Temperatura Operativa</b>					<b>Temperatura Aria Interna</b>					
<b>Rifl Tetto 0.5 Basso Isolamento</b>											
Num.ore Abitazione un piano	2474.5	2017.0	1547.5	1004.5	483.0	2490.0	2045.5	1568.0	1027.5	505.0	
Num.ore Abit. a schiera N-S	3294.0	2913.5	2503.0	1917.5	1319.0	3337.0	2947.5	2544.5	1967.0	1346.5	
Num.ore Abit. a schiera E-O	3586.5	3041.5	2611.5	2123.0	1704.0	3611.5	3088.5	2646.5	2162.0	1726.5	
	<b>Temperatura Operativa</b>					<b>Temperatura Aria Interna</b>					
<b>Rifl Tetto 0.8 Basso Isolamento</b>											
Num.ore Abitazione un piano	2177.5	1710.0	1133.5	587.0	214.5	2201.0	1734.0	1161.5	608.5	231.0	
Num.ore Abit. a schiera N-S	3076.0	2758.0	2265.0	1578.0	1002.5	3103.0	2786.0	2298.5	1627.5	1045.5	
Num.ore Abit. a schiera E-O	3292.5	2825.0	2392.5	1928.0	1402.5	3338.5	2859.5	2413.5	1959.0	1434.0	
	<b>Temperatura Operativa</b>					<b>Temperatura Aria Interna</b>					
<b>Rifl Tetto 0.2 Medio Isolamento</b>											
Num.ore Abitazione un piano	3860.0	3215.5	2673.0	2154.5	1597.0	3856.0	3219.5	2675.0	2159.0	1587.0	
Num.ore Abit. a schiera N-S	5461.5	4502.5	3837.5	3384.5	3102.0	5480.5	4529.0	3847.5	3387.5	3104.5	
Num.ore Abit. a schiera E-O	5166.0	4574.0	4044.5	3640.0	3285.0	5193.5	4586.5	4046.5	3638.0	3290.5	
	<b>Temperatura Operativa</b>					<b>Temperatura Aria Interna</b>					
<b>Rifl Tetto 0.5 Medio Isolamento</b>											
Num.ore Abitazione un piano	3556.5	2969.0	2411.5	1855.5	1277.5	3555.0	2980.0	2414.0	1856.5	1280.0	
Num.ore Abit. a schiera N-S	5180.5	4319.5	3702.0	3226.5	3009.5	5210.0	4334.5	3714.0	3234.5	3007.0	
Num.ore Abit. a schiera E-O	4961.0	4362.0	3898.0	3524.5	3115.5	4981.5	4382.5	3901.5	3519.5	3120.0	
	<b>Temperatura Operativa</b>					<b>Temperatura Aria Interna</b>					
<b>Rifl Tetto 0.8 Medio Isolamento</b>											
Num.ore Abitazione un piano	3273.5	2746.0	2193.0	1545.5	940.0	3289.0	2750.0	2200.0	1552.0	943.0	
Num.ore Abit. a schiera N-S	4915.5	4163.5	3492.0	3147.5	2869.5	4953.5	4179.0	3513.0	3153.5	2864.0	
Num.ore Abit. a schiera E-O	4835.5	4173.5	3800.5	3338.5	2968.0	4851.5	4200.0	3790.5	3348.0	2972.5	

**Tabella 16**

**SIVIGLIA**

<b>Rifl Tetto 0.2 Basso Isolamento</b>	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°
Num.ore Abitazione un piano	2861.0	2403.5	1998.0	1604.0	1307.0	2871.5	2418.0	2011.0	1616.0	1315.0
Num.ore Abit. a schiera N-S	3552.0	3151.0	2704.0	2238.5	1817.5	3596.0	3194.5	2740.5	2263.5	1837.5
Num.ore Abit. a schiera E-O	3692.5	3338.5	2907.5	2463.5	2104.0	3713.5	3374.5	2941.5	2487.0	2118.5
<b>Rifl Tetto 0.5 Basso Isolamento</b>	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°
Num.ore Abitazione un piano	2584.5	2097.0	1688.0	1382.0	966.0	2607.0	2110.0	1699.5	1397.5	986.5
Num.ore Abit. a schiera N-S	3384.5	2934.0	2460.5	2022.5	1551.0	3422.5	2968.5	2501.5	2049.0	1584.0
Num.ore Abit. a schiera E-O	3529.0	3146.5	2663.0	2275.5	1919.0	3561.5	3177.5	2704.0	2294.5	1935.0
<b>Rifl Tetto 0.8 Basso Isolamento</b>	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°
Num.ore Abitazione un piano	2218.5	1766.5	1450.5	1068.0	647.5	2249.0	1793.0	1459.0	1090.5	666.0
Num.ore Abit. a schiera N-S	3163.5	2698.0	2243.5	1770.0	1365.0	3198.5	2738.0	2265.5	1809.5	1394.0
Num.ore Abit. a schiera E-O	3356.5	2929.0	2447.0	2093.5	1665.5	3385.0	2971.0	2482.0	2110.0	1691.0

<b>Rifl Tetto 0.2 Medio Isolamento</b>	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°
Num.ore Abitazione un piano	3668.5	3198.0	2694.5	2237.0	1775.5	3667.0	3199.0	2696.5	2235.5	1771.0
Num.ore Abit. a schiera N-S	4944.5	4189.5	3809.5	3520.0	3138.5	4967.5	4210.5	3814.0	3523.5	3135.5
Num.ore Abit. a schiera E-O	4919.5	4275.0	3924.0	3748.0	3403.5	4946.0	4290.5	3935.5	3743.0	3404.0
<b>Rifl Tetto 0.5 Medio Isolamento</b>	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°
Num.ore Abitazione un piano	3462.0	2956.5	2442.0	1999.5	1563.0	3465.0	2966.5	2441.5	1995.5	1558.5
Num.ore Abit. a schiera N-S	4695.5	4060.5	3705.0	3398.5	2942.0	4720.5	4069.5	3711.5	3403.5	2955.0
Num.ore Abit. a schiera E-O	4708.0	4137.5	3874.5	3646.0	3229.5	4737.5	4155.0	3873.5	3645.0	3236.0
<b>Rifl Tetto 0.8 Medio Isolamento</b>	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°
Num.ore Abitazione un piano	3200.5	2697.0	2239.0	1746.5	1308.0	3210.5	2707.0	2239.5	1746.5	1314.5
Num.ore Abit. a schiera N-S	4490.5	3960.5	3609.5	3229.0	2756.5	4522.5	3966.0	3614.5	3237.0	2768.5
Num.ore Abit. a schiera E-O	4462.0	4021.5	3799.0	3509.5	3022.5	4494.0	4029.0	3794.5	3511.0	3024.0

**Fascia Mediterranea Meridionale:** Il Cairo, Larnaca, Tel-Aviv, Tripoli; 

**Tabella 17**

**IL CAIRO**

	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°
<b>Rifl Tetto 0.2 Basso Isolamento</b>										
Num.ore Abitazione un piano	4391.0	4125.5	3811.5	3328.5	2531.5	4417.5	4136.0	3838.5	3352.5	2565.0
Num.ore Abit. a schiera N-S	5248.0	4775.0	4391.0	4056.0	3759.5	5302.0	4821.5	4435.5	4083.5	3794.0
Num.ore Abit. a schiera E-O	5354.5	4881.0	4566.5	4259.0	3936.5	5400.0	4923.0	4595.5	4294.5	3971.0
	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
<b>Rifl Tetto 0.5 Basso Isolamento</b>										
Num.ore Abitazione un piano	4165.5	3912.5	3499.5	2748.0	1813.0	4178.5	3933.0	3522.0	2778.0	1851.5
Num.ore Abit. a schiera N-S	5024.0	4590.5	4187.0	3907.5	3455.0	5074.5	4637.5	4224.0	3939.0	3504.0
Num.ore Abit. a schiera E-O	5137.5	4700.0	4422.5	4062.0	3711.0	5191.5	4729.0	4453.5	4100.5	3748.5
	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
<b>Rifl Tetto 0.8 Basso Isolamento</b>										
Num.ore Abitazione un piano	4000.0	3648.5	2971.5	1992.0	1182.5	4017.0	3671.5	3014.5	2043.5	1214.5
Num.ore Abit. a schiera N-S	4820.5	4379.5	4029.0	3668.0	2962.0	4873.0	4407.5	4067.5	3704.5	3024.0
Num.ore Abit. a schiera E-O	4912.5	4556.5	4229.0	3862.0	3377.0	4965.5	4588.0	4264.5	3894.5	3419.0
	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
<b>Rifl Tetto 0.2 Medio Isolamento</b>										
Num.ore Abitazione un piano	5457.5	4877.0	4487.0	4117.0	3806.5	5472.0	4887.5	4501.5	4125.5	3804.0
Num.ore Abit. a schiera N-S	6739.5	6199.5	5909.5	5589.5	5018.5	6774.5	6208.0	5916.5	5605.0	5044.0
Num.ore Abit. a schiera E-O	6597.5	6182.0	5933.0	5593.5	5194.5	6617.0	6182.5	5944.0	5605.5	5210.5
	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
<b>Rifl Tetto 0.5 Medio Isolamento</b>										
Num.ore Abitazione un piano	5126.0	4648.5	4268.0	3966.5	3465.5	5154.0	4655.0	4280.5	3972.0	3449.0
Num.ore Abit. a schiera N-S	6553.5	6105.0	5828.0	5396.0	4877.0	6587.5	6123.0	5835.0	5412.0	4888.0
Num.ore Abit. a schiera E-O	6439.5	6148.5	5838.5	5473.0	5026.5	6468.5	6151.5	5849.5	5490.5	5042.5
	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
<b>Rifl Tetto 0.8 Medio Isolamento</b>										
Num.ore Abitazione un piano	4878.5	4438.5	4073.5	3751.0	2969.5	4900.5	4445.5	4088.0	3745.0	2966.5
Num.ore Abit. a schiera N-S	6432.0	5997.5	5663.5	5177.0	4703.5	6451.5	6015.0	5685.0	5193.5	4718.5
Num.ore Abit. a schiera E-O	6362.0	6042.0	5697.0	5358.5	4854.5	6372.5	6054.5	5709.0	5369.5	4871.0



**Tabella 18**

**LARNACA**

<i>Temperatura Operativa</i>						<i>Temperatura Aria Interna</i>					
	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	
<b>Rifl Tetto 0.2 Basso Isolamento</b>											
Num.ore Abitazione un piano	3446.5	2945.0	2459.0	1854.0	1299.5	3464.5	2977.0	2480.5	1882.0	1313.5	
Num.ore Abit. a schiera N-S	3998.5	3701.5	3263.0	2837.5	2222.0	4021.0	3727.0	3300.0	2870.0	2262.5	
Num.ore Abit. a schiera E-O	4063.0	3819.0	3500.5	3007.0	2516.0	4101.0	3846.5	3526.5	3051.5	2547.0	
	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>					
<b>Rifl Tetto 0.5 Basso Isolamento</b>	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	
Num.ore Abitazione un piano	3084.0	2607.5	2027.5	1416.0	844.5	3113.0	2630.0	2053.0	1437.0	864.0	
Num.ore Abit. a schiera N-S	3864.5	3514.5	3019.0	2563.0	1858.5	3885.0	3559.0	3052.0	2605.0	1905.0	
Num.ore Abit. a schiera E-O	3928.5	3688.0	3264.0	2763.0	2164.5	3955.0	3706.0	3309.0	2796.0	2208.0	
	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>					
<b>Rifl Tetto 0.8 Basso Isolamento</b>	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	
Num.ore Abitazione un piano	2738.5	2210.5	1538.5	1021.5	341.5	2773.5	2233.5	1569.5	1041.0	377.0	
Num.ore Abit. a schiera N-S	3732.5	3223.5	2781.0	2251.0	1442.0	3750.0	3270.0	2824.5	2296.0	1513.5	
Num.ore Abit. a schiera E-O	3810.5	3497.0	2978.0	2466.5	1904.5	3829.0	3527.5	3027.5	2512.5	1933.5	
	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>					
<b>Rifl Tetto 0.2 Medio Isolamento</b>	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	
Num.ore Abitazione un piano	4073.5	3751.0	3264.5	2797.0	2202.0	4087.0	3742.5	3267.5	2790.5	2190.5	
Num.ore Abit. a schiera N-S	6600.0	5664.0	4779.0	4091.0	3614.0	6622.5	5667.0	4804.5	4097.5	3618.0	
Num.ore Abit. a schiera E-O	6137.0	5341.0	4836.0	4287.5	3874.5	6159.5	5368.0	4846.5	4300.0	3870.5	
	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>					
<b>Rifl Tetto 0.5 Medio Isolamento</b>	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	
Num.ore Abitazione un piano	3921.5	3501.0	3048.5	2548.0	1821.5	3936.0	3501.5	3053.0	2540.5	1808.5	
Num.ore Abit. a schiera N-S	6305.0	5428.5	4528.0	3929.0	3406.5	6327.5	5447.5	4543.0	3936.5	3416.5	
Num.ore Abit. a schiera E-O	5843.5	5118.0	4673.5	4121.5	3740.5	5862.0	5139.0	4691.5	4133.5	3736.5	
	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>					
<b>Rifl Tetto 0.8 Medio Isolamento</b>	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	
Num.ore Abitazione un piano	3744.5	3248.5	2789.0	2186.5	1433.0	3745.5	3257.5	2786.5	2186.0	1446.0	
Num.ore Abit. a schiera N-S	6082.5	5098.5	4355.5	3763.5	3240.0	6100.5	5136.5	4369.5	3770.0	3253.0	
Num.ore Abit. a schiera E-O	5668.5	5006.5	4461.5	3951.0	3556.0	5699.5	5022.0	4478.5	3962.0	3555.0	

**Tabella 19**

TEL-AVIV

TEL-AVIV										
<b>Rifl Tetto 0.2 Basso Isolamento</b>	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°
	3579.5	2914.5	2229.5	1505.0	822.5	3598.0	2951.5	2254.0	1530.5	835.5
	4129.0	3743.0	3304.0	2643.0	1771.0	4160.0	3778.5	3342.5	2692.0	1832.0
4269.5	3956.5	3653.0	3048.5	2274.5	4319.0	3976.0	3673.5	3095.5	2315.0	
<b>Rifl Tetto 0.5 Basso Isolamento</b>	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°
	3082.0	2418.0	1705.5	952.0	239.0	3113.0	2443.0	1734.5	983.5	265.0
	3965.5	3499.5	2957.0	2218.0	1341.0	4001.0	3543.0	2999.5	2274.5	1401.5
4086.0	3814.0	3333.5	2639.0	1931.5	4117.0	3832.0	3388.0	2685.5	1969.5	
<b>Rifl Tetto 0.8 Basso Isolamento</b>	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°
	2602.5	1880.0	1084.5	371.0	13.0	2638.0	1909.5	1114.0	400.0	20.5
	3747.0	3133.5	2586.0	1742.0	877.5	3788.5	3178.0	2632.5	1808.0	930.5
3958.0	3557.5	2920.5	2251.0	1490.5	3982.5	3597.0	2969.5	2288.5	1543.5	
<b>Rifl Tetto 0.2 Medio Isolamento</b>	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°
	4536.5	4014.5	3402.5	2686.0	1874.0	4551.5	4012.5	3401.0	2677.0	1864.5
	5820.5	5306.0	4889.0	4217.0	3562.5	5837.0	5317.5	4904.0	4227.0	3564.5
6005.0	5535.0	5024.5	4523.5	4009.5	6015.5	5548.0	5034.5	4537.5	4007.5	
<b>Rifl Tetto 0.5 Medio Isolamento</b>	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°
	4279.0	3658.0	3007.0	2243.5	1373.0	4283.5	3655.0	3015.5	2242.5	1376.0
	5582.5	5194.5	4673.0	3998.5	3331.5	5603.5	5201.0	4683.5	4009.0	3342.5
5837.5	5321.5	4893.0	4310.0	3843.5	5856.0	5347.5	4899.5	4322.0	3833.5	
<b>Rifl Tetto 0.8 Medio Isolamento</b>	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°
	4001.5	3341.0	2646.0	1777.5	942.5	4005.5	3350.0	2644.5	1783.5	942.0
	5422.5	5015.5	4476.0	3699.5	3160.0	5442.5	5031.0	4487.0	3720.0	3164.0
5638.0	5189.0	4720.5	4141.5	3629.5	5656.0	5206.0	4735.5	4143.5	3623.0	

**Tabella 20**

**TRIPOLI**

	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°
<b>Rifl Tetto 0.2 Basso Isolamento</b>										
Num.ore Abitazione un piano	3910.0	3563.0	3202.5	2678.0	1989.0	3920.0	3585.5	3219.5	2703.5	2005.0
Num.ore Abit. a schiera N-S	4361.5	4020.5	3791.0	3513.0	3060.0	4397.5	4048.0	3817.0	3539.5	3104.0
Num.ore Abit. a schiera E-O	4525.0	4162.5	3966.5	3712.5	3325.5	4566.0	4191.0	3979.5	3743.0	3365.0
	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
<b>Rifl Tetto 0.5 Basso Isolamento</b>										
Num.ore Abitazione un piano	3664.5	3342.0	2840.0	2114.0	1582.5	3689.0	3359.5	2862.0	2132.5	1598.0
Num.ore Abit. a schiera N-S	4211.5	3903.0	3641.0	3330.0	2682.5	4240.5	3924.0	3664.5	3355.0	2742.0
Num.ore Abit. a schiera E-O	4336.0	4056.5	3842.0	3517.5	3097.5	4378.5	4070.0	3860.5	3544.5	3133.0
	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
<b>Rifl Tetto 0.8 Basso Isolamento</b>										
Num.ore Abitazione un piano	3455.5	3005.0	2240.5	1662.5	1181.5	3469.0	3032.0	2281.5	1687.0	1220.5
Num.ore Abit. a schiera N-S	4076.0	3752.5	3473.0	3000.0	2215.0	4107.5	3777.5	3503.5	3046.0	2270.0
Num.ore Abit. a schiera E-O	4193.5	3933.0	3655.5	3308.0	2785.5	4228.5	3954.5	3689.5	3339.5	2825.0

	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°	>26°	>27°	>28°	>29°	>30°
<b>Rifl Tetto 0.2 Medio Isolamento</b>										
Num.ore Abitazione un piano	4496.0	4102.0	3848.0	3563.0	3108.0	4507.0	4112.0	3852.5	3565.0	3097.0
Num.ore Abit. a schiera N-S	6286.5	5695.0	5094.0	4565.5	4073.5	6296.5	5711.0	5108.0	4588.5	4084.5
Num.ore Abit. a schiera E-O	6185.0	5824.0	5399.0	4776.0	4329.5	6193.5	5839.5	5412.5	4794.0	4326.0
	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
<b>Rifl Tetto 0.5 Medio Isolamento</b>										
Num.ore Abitazione un piano	4288.5	3957.0	3704.0	3374.0	2707.5	4303.5	3960.5	3707.0	3363.5	2696.0
Num.ore Abit. a schiera N-S	6121.5	5444.0	4897.5	4403.0	3944.0	6144.5	5460.0	4917.5	4410.0	3961.5
Num.ore Abit. a schiera E-O	6058.0	5629.5	5188.5	4594.5	4206.0	6072.5	5650.5	5204.5	4606.0	4210.5
	<i>Temperatura Operativa</i>					<i>Temperatura Aria Interna</i>				
<b>Rifl Tetto 0.8 Medio Isolamento</b>										
Num.ore Abitazione un piano	4111.5	3814.0	3548.5	3065.5	2207.5	4125.0	3821.0	3551.5	3058.0	2221.0
Num.ore Abit. a schiera N-S	5864.5	5198.0	4746.5	4239.0	3821.0	5901.5	5220.0	4763.5	4252.0	3835.0
Num.ore Abit. a schiera E-O	5955.0	5505.0	4978.0	4431.0	4093.5	5968.5	5522.5	4995.0	4446.5	4100.0

Le città scelte come campioni in queste simulazioni presentano, in questa prima serie, lo stesso comportamento legato ad un aumento della riflettanza della superficie orizzontale del tetto.

In particolare si può notare come il numero delle ore in cui la temperatura supera i valori 26°C, 27°C, 28°C, 29°C, 30°C vada a diminuire all'aumentare del potere di riflessione del tetto. Questo comportamento è comune sia all'abitazione con basso livello di isolamento sia a quella con un livello di isolamento più alto.

Nelle simulazioni condotte si evince che l'utilizzo di un materiale ad alta riflettanza è un fattore che contribuisce ad incrementare il numero di ore in cui si rispettano le condizioni di comfort termico. D'altra parte dalle figure precedenti si può notare come all'aumentare dell'isolamento il decremento del numero di ore in cui la temperatura si attesta al di sopra di un valore prestabilito, a seguito di un aumento di riflettanza del tetto, sia di entità minore. Inoltre a parità di riflettanza il caso con isolamento dell'intera struttura a norma presenta delle temperature interne maggiori rispetto al caso reale. Questo fenomeno si manifesta nella fascia climatica del mediterraneo centrale, in edifici caratterizzati da elevati apporti solari attraverso le superfici trasparenti. La temperatura all'interno dell'involucro aumenta a causa della potenza termica associata alla radiazione solare che attraversa le finestre raggiungendo valori anche sensibilmente più alti rispetto alla temperatura esterna. A quel punto il basso valore di trasmittanza, determina un flusso di calore uscente scarso anche nelle ore notturne. Il calore rimane intrappolato all'interno creando una sorta di effetto serra.

Nelle fasce climatiche più calde il divario tra temperature interna ed esterna è in genere inferiore e il fenomeno sopra descritto si presenta in maniera meno accentuata.

### 3.2. Carichi energetici

Sono riportati in seguito solo i risultati di una città per fascia di suddivisione climatica. Questa scelta è motivata dal fatto che città appartenenti alla stessa fascia climatica si comportano in modo del tutto analogo per quanto riguarda le considerazioni sull'entità del risparmio energetico legato ad un cool roof.

**Fascia Mediterranea Settentrionale:** Barcellona, Marsiglia, Roma; 

#### Edificio ad un piano

**Tabella 21**

ROMA

Abitazione ad un piano

	$Q_{cool}/m^2(kWh/m^2)$	$Q_{heat}/m^2(kWh/m^2)$	$Q_{tot}(kWh/m^2)$	
riflettanza $\rho=0.2$	30.6	108.0	138.6	<b>Basso liv. Isolamento</b> u tetto=1.402 W/ m <sup>2</sup> K u pareti=1.444W/ m <sup>2</sup> K u pavimento=1.409W/ m <sup>2</sup> K
riflettanza $\rho=0.5$	22.8	115.0	137.8	
riflettanza $\rho=0.8$	15.5	122.7	138.2	
	$Q_{cool}/m^2(kWh/m^2)$	$Q_{heat}/m^2(kWh/m^2)$	$Q_{tot}(kWh/m^2)$	
riflettanza $\rho=0.2$	32.5	28.6	61.1	<b>Medio liv. Isolamento</b> u tetto=0.595 W/ m <sup>2</sup> K u pareti=0.699W/ m <sup>2</sup> K u pavimento=0.8W/ m <sup>2</sup> K
riflettanza $\rho=0.5$	28.2	30.5	58.7	
riflettanza $\rho=0.8$	24.0	32.5	56.5	

Nella tabella 21, considerando sempre i soliti tre valori di riflettanza nella colonna a sinistra, sono riportati rispettivamente, nelle altre tre colonne, il valore del carico energetico di climatizzazione annuo per metro quadro (calore sensibile + calore latente), il carico energetico di riscaldamento annuo per metro quadro e la somma di questi due carichi.

Nella colonna a destra è anche indicato il livello di isolamento e i corrispondenti valori di trasmittanza del tetto, delle pareti e del pavimento.

Regolati i set - point in modo che la temperatura sia compresa tra i 20° e i 26°C tutto l'anno, si può notare come all'aumentare del valore della riflettanza il carico di climatizzazione estiva diminuisca a causa della conseguente diminuzione del valore del coefficiente di assorbimento del tetto e come, in maniera tendenzialmente opposta, il carico di riscaldamento aumenti. Affinché ci sia un reale risparmio energetico, la diminuzione del carico di climatizzazione estiva deve essere di entità superiore rispetto all'aumento del carico di riscaldamento determinando così un decremento del carico totale.

Confrontando il carico di climatizzazione estiva a parità di riflettanza per i due livelli di isolamento considerati, si nota come esso aumenti all'aumentare dell'isolamento. Infatti come detto precedentemente all'interno delle abitazioni di questa fascia climatica si genera una sorta di effetto serra.

**Tabella 22**

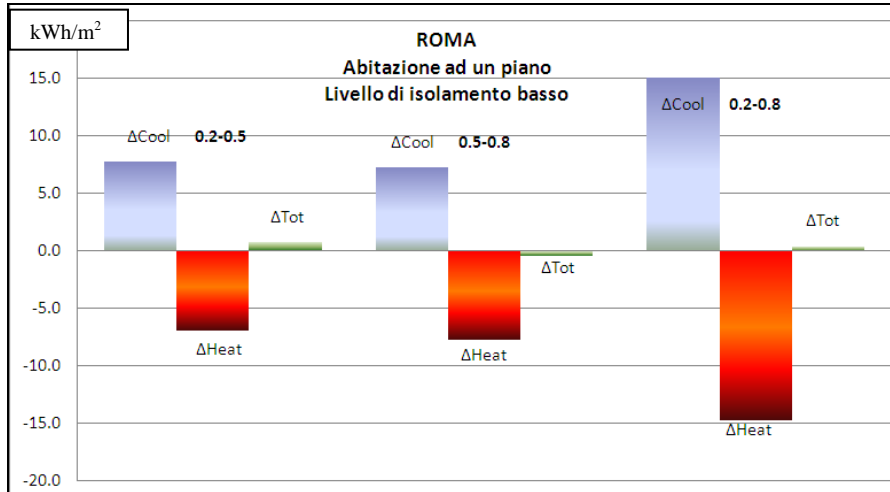
**ROMA**

**Abitazione ad un piano**

	$\Delta Q_{cool}/m^2(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{heat}/m^2(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$	
(0.2-0.5)	7.8	-7.0	0.8	<b>Basso liv. Isolamento</b> u tetto=1.402 W/ m <sup>2</sup> K u pareti=1.444W/ m <sup>2</sup> K u pavimento=1.409W/ m <sup>2</sup> K
(0.5-0.8)	7.3	-7.7	-0.5	
(0.2-0.8)	15.1	-14.7	0.4	
(0.2-0.5)	4.3	-1.9	2.5	<b>Medio liv. Isolamento</b> u tetto=0.595 W/ m <sup>2</sup> K u pareti=0.699W/ m <sup>2</sup> K u pavimento=0.8W/ m <sup>2</sup> K
(0.5-0.8)	4.2	-2.0	2.2	
(0.2-0.8)	8.5	-3.9	4.6	

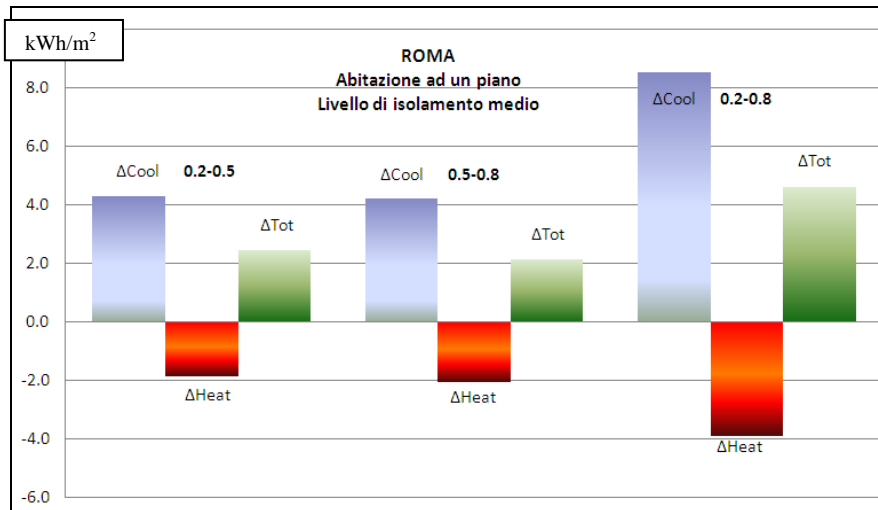
La tabella 22 è stata ricavata calcolando le variazioni dei carichi energetici (climatizzazione estiva, riscaldamento e totale) a seguito di un aumento di riflettanza, in particolare nella prima riga, si è ottenuta la variazione di carico passando da un tetto con riflettanza solare 0.2 ad uno con riflettanza solare 0.5 (0.2-0.5) e a seguire nelle righe successive le altre variazioni, considerando un passaggio da una riflettanza 0.5 a una riflettanza 0.8 e da una riflettanza 0.2 ad una 0.8.

I dati in tabella sono stati riportati in grafici ad istogrammi che evidenziano meglio le variazioni delle grandezze in gioco espresse in kWh/m<sup>2</sup>.



**TRASMITTANZA PARETI**  
 u-tetto=1.402 W/m²k  
 u-pareti=1.444 W/m²k  
 u-pavimento=1.409 W/m²k

**Figura 9**



**TRASMITTANZA PARETI**  
 u-tetto=0.595 W/m²k  
 u-pareti=0.699 W/m²k  
 u-pavimento=0.8 W/m²k

**Figura 10**

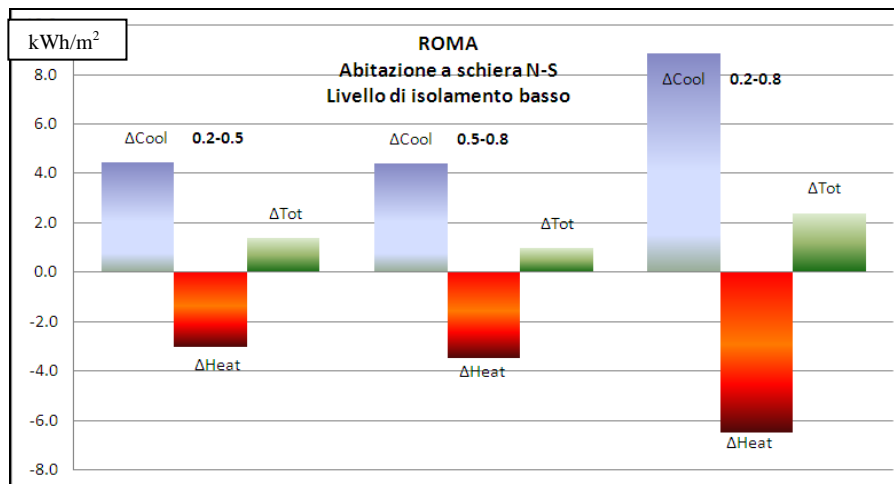
**Edificio a schiera con orientamento N-S**

**Tabella 23**

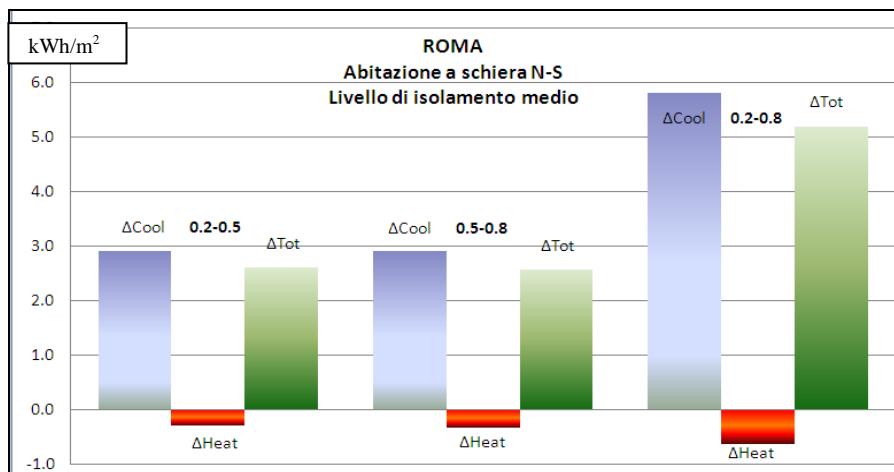
ROMA

Abitazione a schiera orientamento N-S

	$\Delta Q_{cool}/m^2(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{heat}/m^2(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$	
(0.2-0.5)	4.5	-3.0	1.4	<b>Basso liv. Isolamento</b> u tetto=1.402 W/ m <sup>2</sup> K u pareti=1.444W/ m <sup>2</sup> K u pavimento=1.409W/ m <sup>2</sup> K
(0.5-0.8)	4.4	-3.5	1.0	
(0.2-0.8)	8.9	-6.5	2.4	
(0.2-0.5)	2.9	-0.3	2.6	<b>Medio liv. Isolamento</b> u tetto=0.595 W/ m <sup>2</sup> K u pareti=0.699W/ m <sup>2</sup> K u pavimento=0.8W/ m <sup>2</sup> K
(0.5-0.8)	2.9	-0.3	2.6	
(0.2-0.8)	5.8	-0.6	5.2	



**Figura 11**



**Figura 12**

## Edificio a schiera con orientamento E-O

Tabella 24

ROMA

Abitazione a schiera orientamento E-O

	$\Delta Q_{cool}/m^2$ (kWh/m <sup>2</sup> )	$\Delta Q_{heat}/m^2$ (kWh/m <sup>2</sup> )	$\Delta Q_{tot}$ (kWh/m <sup>2</sup> )	
(0.2-0.5)	4.8	-3.0	1.8	<b>Basso liv. Isolamento</b> u tetto=1.402 W/ m <sup>2</sup> K u pareti=1.444W/ m <sup>2</sup> K u pavimento=1.409W/ m <sup>2</sup> K
(0.5-0.8)	4.5	-3.4	1.1	
(0.2-0.8)	9.3	-6.4	2.9	
(0.2-0.5)	3.0	-0.4	2.6	<b>Medio liv. Isolamento</b> u tetto=0.595 W/ m <sup>2</sup> K u pareti=0.699W/ m <sup>2</sup> K u pavimento=0.8W/ m <sup>2</sup> K
(0.5-0.8)	3.0	-0.5	2.5	
(0.2-0.8)	6.0	-0.9	5.1	

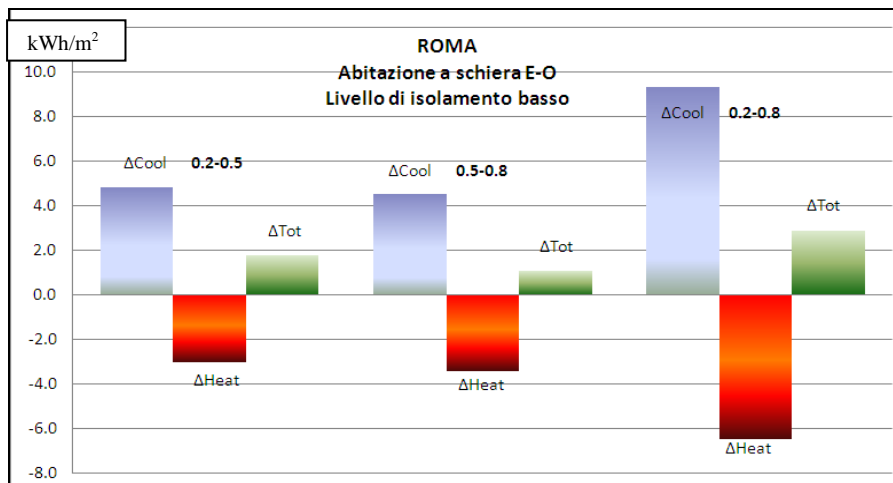


Figura 13

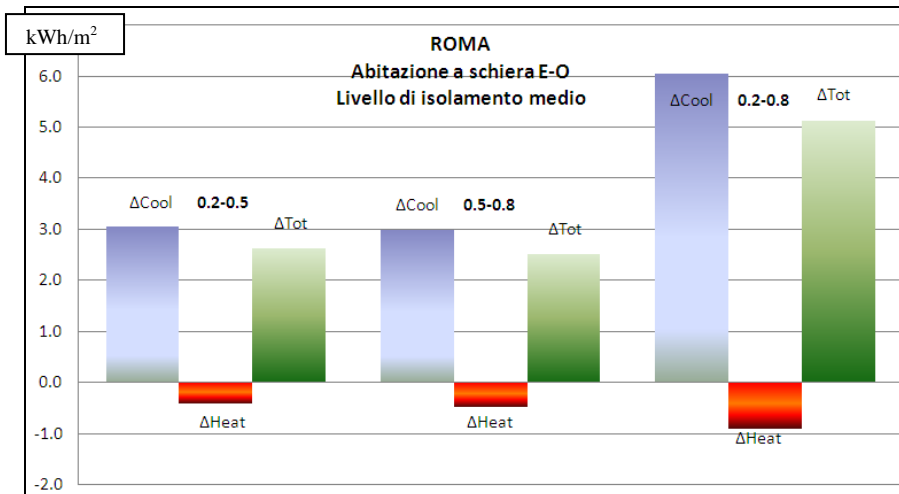


Figura 14



Leggendo gli istogrammi nella figure 9 e 10, si nota come nell'abitazione a basso livello di isolamento, la variazione di carico energetico totale assuma valore nullo e in alcuni casi negativo. Ciò significa che aumentando la riflettanza del tetto, la diminuzione del carico di climatizzazione estiva è uguale se non inferiore rispetto all'incremento del carico di riscaldamento (il tetto ad alta riflettanza ovviamente riflette i raggi solari anche in inverno e l'abitazione risulta essere più fredda, come conseguenza di questo fenomeno il simulatore fa registrare un incremento del riscaldamento). Si è quindi riscontrata una reale convenienza ad usare un cool roof solo se accompagnato ad una struttura isolata.

L'entità del risparmio energetico per un'abitazione di questa fascia è limitata, infatti considerando l'edificio a medio livello di isolamento e un tetto con riflettanza 0.8 si ottiene come risultato una diminuzione annua del carico totale rispetto ad un edificio a pari isolamento, ma con tetto a riflettanza 0.2, di circa 5 kWh/m<sup>2</sup>. Essi equivalgono in un abitazione di 100 m<sup>2</sup> a 500 kWh risparmiati in un anno. Risulta quindi evidente come, per le città facenti parte della fascia climatica settentrionale, questa tecnologia, per generare un consistente risparmio energetico, andrebbe pensata per interi quartieri o centri residenziali.

**Fascia Mediterranea Centrale:** Atene, Palermo, Siviglia; 

## Edificio ad un piano

**Tabella 25**

ATENE

Abitazione ad un piano

	$Q_{cool}/m^2(kWh/m^2)$	$Q_{heat}/m^2(kWh/m^2)$	$Q_{tot}(kWh/m^2)$	
<b>riflettanza <math>\rho=0.2</math></b>	51.3	87.2	138.5	<b>Basso liv. Isolamento</b> u tetto=1.402 W/ m <sup>2</sup> K u pareti=1.444W/ m <sup>2</sup> K u pavimento=1.409W/ m <sup>2</sup> K
<b>riflettanza <math>\rho=0.5</math></b>	41.6	93.0	134.7	
<b>riflettanza <math>\rho=0.8</math></b>	32.9	99.6	132.5	
	$Q_{cool}/m^2(kWh/m^2)$	$Q_{heat}/m^2(kWh/m^2)$	$Q_{tot}(kWh/m^2)$	
<b>riflettanza <math>\rho=0.2</math></b>	45.5	20.6	66.0	<b>Medio liv. Isolamento</b> u tetto=0.595 W/ m <sup>2</sup> K u pareti=0.699W/ m <sup>2</sup> K u pavimento=0.8W/ m <sup>2</sup> K
<b>riflettanza <math>\rho=0.5</math></b>	40.3	22.2	62.4	
<b>riflettanza <math>\rho=0.8</math></b>	35.2	23.9	59.1	

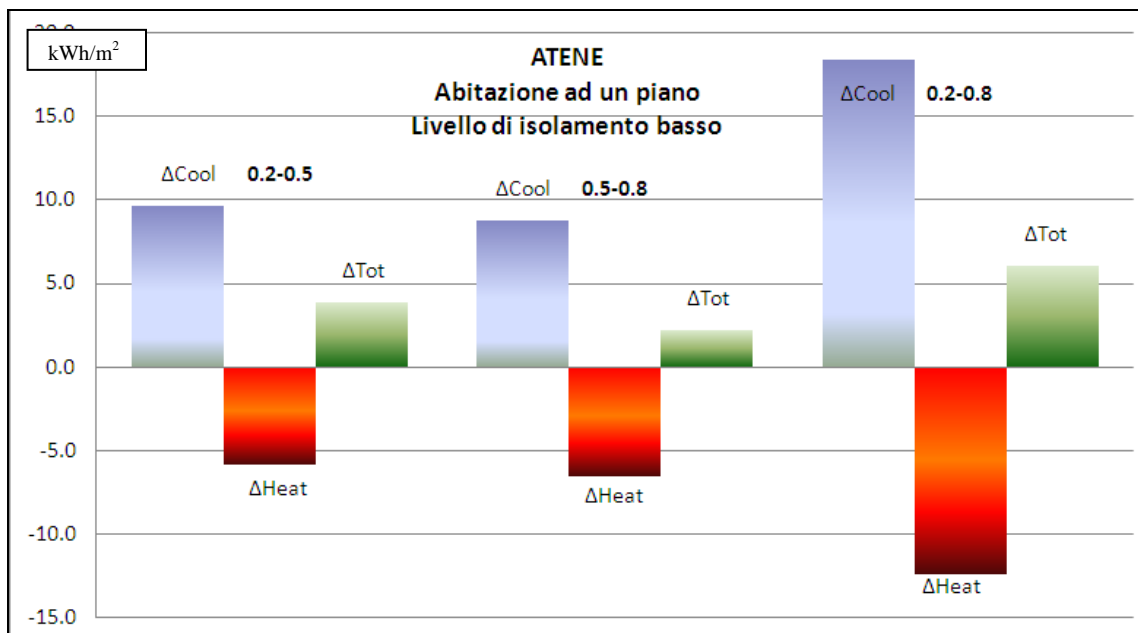
Ricavati i carichi energetici netti si è ottenuta la seguente tabella con le variazioni dei carichi dovuti all' aumento di riflettanza solare del tetto (tabella 26) e i relativi grafici (in kWh/m<sup>2</sup>).

**Tabella 26**

ATENE

Abitazione ad un piano

	$\Delta Q_{cool}/m^2(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{heat}/m^2(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$	
(0.2-0.5)	9.7	-5.8	3.8	<b>Basso liv. Isolamento</b> u tetto=1.402 W/ m <sup>2</sup> K u pareti=1.444W/ m <sup>2</sup> K u pavimento=1.409W/ m <sup>2</sup> K
(0.5-0.8)	8.8	-6.6	2.2	
(0.2-0.8)	18.4	-12.4	6.0	
(0.2-0.5)	5.2	-1.6	3.6	<b>Medio liv. Isolamento</b> u tetto=0.595 W/ m <sup>2</sup> K u pareti=0.699W/ m <sup>2</sup> K u pavimento=0.8W/ m <sup>2</sup> K
(0.5-0.8)	5.0	-1.7	3.3	
(0.2-0.8)	10.2	-3.3	6.9	



**Figura 15**

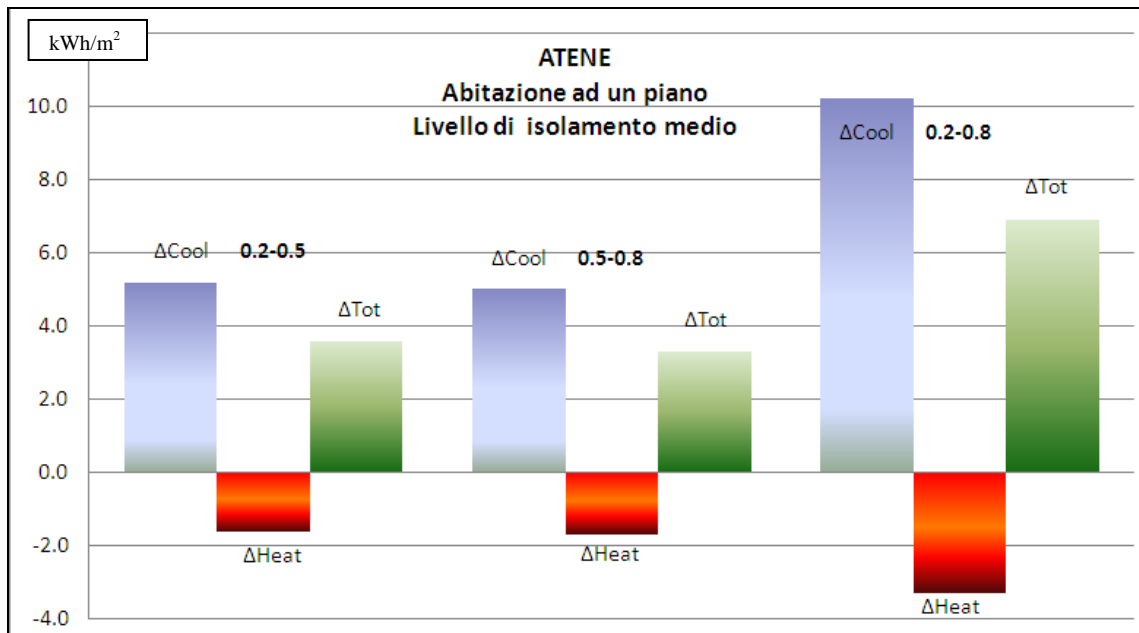


Figura 16

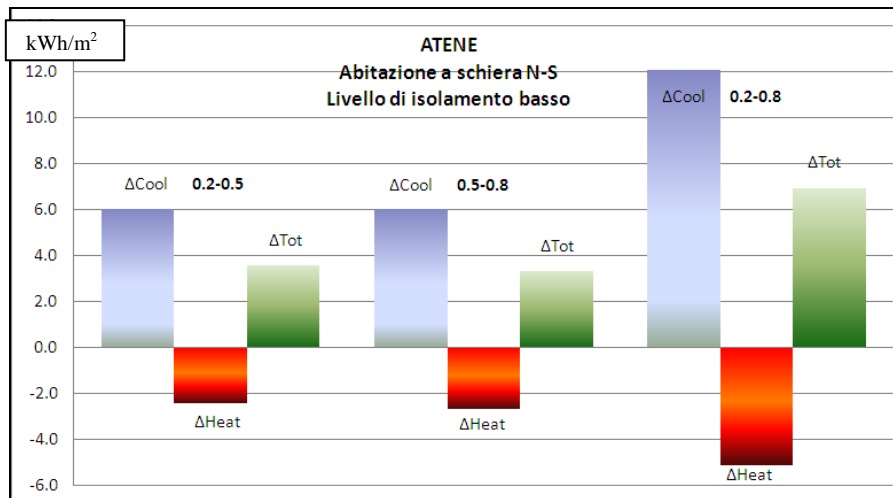
## Edificio a schiera con orientamento N-S

Tabella 27

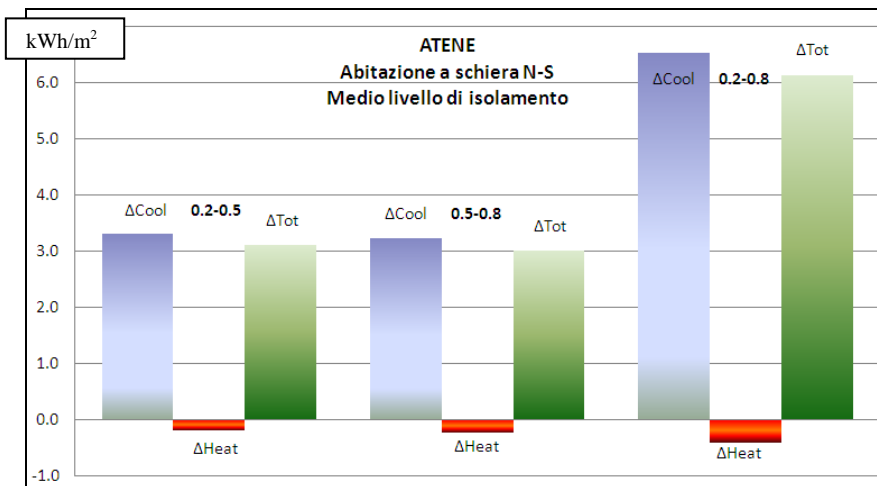
ATENE

Abitazione a schiera orientamento N-S

	$\Delta Q_{cool}/m^2$ (kWh/m <sup>2</sup> )	$\Delta Q_{heat}/m^2$ (kWh/m <sup>2</sup> )	$\Delta Q_{tot}$ (kWh/m <sup>2</sup> )	
(0.2-0.5)	6.0	-2.4	3.6	<b>Basso liv. Isolamento</b> u tetto=1.402 W/ m <sup>2</sup> K u pareti=1.444W/ m <sup>2</sup> K u pavimento=1.409W/ m <sup>2</sup> K
(0.5-0.8)	6.0	-2.7	3.4	
(0.2-0.8)	12.1	-5.1	7.0	
(0.2-0.5)	3.3	-0.2	3.1	<b>Medio liv. Isolamento</b> u tetto=0.595 W/ m <sup>2</sup> K u pareti=0.699W/ m <sup>2</sup> K u pavimento=0.8W/ m <sup>2</sup> K
(0.5-0.8)	3.2	-0.2	3.0	
(0.2-0.8)	6.5	-0.4	6.1	



**Figura 17**



**Figura 18**

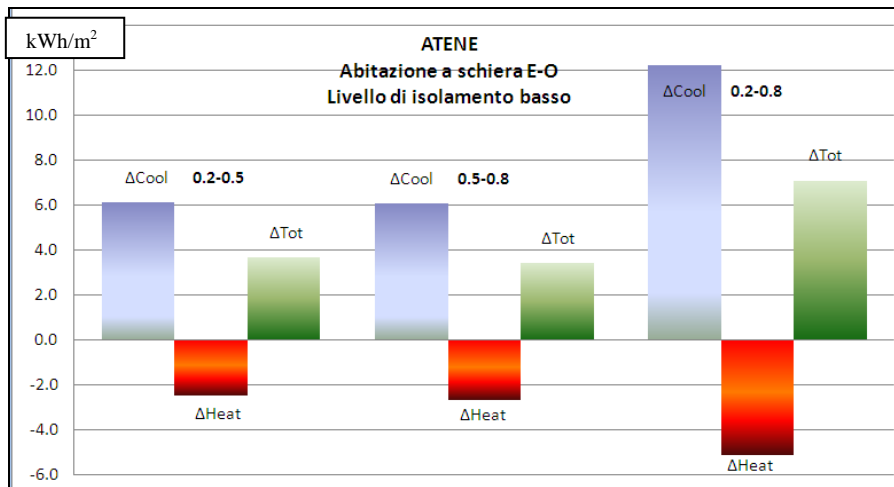
**Edificio a schiera con orientamento E-O**

**Tabella 28**

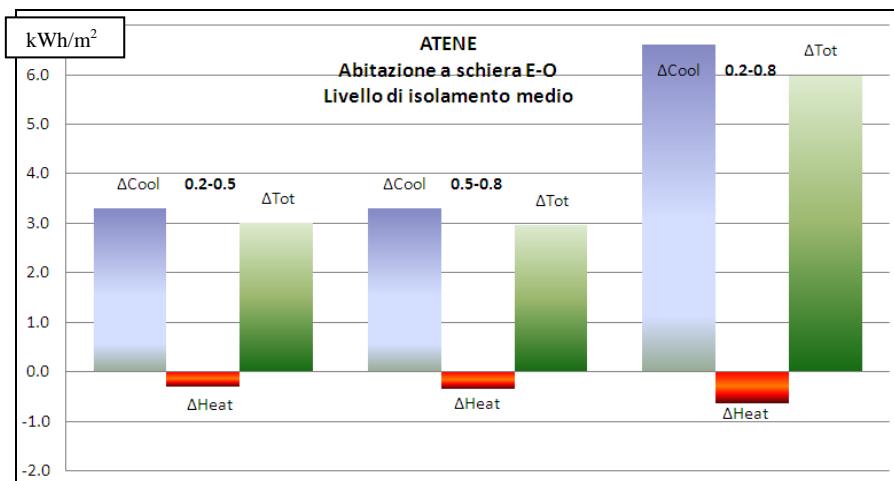
ATENE

Abitazione a schiera orientamento E-O

	$\Delta Q_{cool}/m^2(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{heat}/m^2(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$	
(0.2-0.5)	6.1	-2.5	3.7	<b>Basso liv. Isolamento</b> u tetto=1.402 W/ m²K u pareti=1.444W/ m²K u pavimento=1.409W/ m²K
(0.5-0.8)	6.1	-2.7	3.4	
(0.2-0.8)	12.2	-5.1	7.1	
(0.2-0.5)	3.3	-0.3	3.0	<b>Medio liv. Isolamento</b> u tetto=0.595 W/ m²K u pareti=0.699W/ m²K u pavimento=0.8W/ m²K
(0.5-0.8)	3.3	-0.3	3.0	
(0.2-0.8)	6.6	-0.6	6.0	




**Figura 19**



**Figura 20**

In questa zona il fenomeno dell'effetto serra, presente nella fascia più settentrionale, assume un'importanza nettamente minore. Essendo questa fascia climaticamente più calda della precedente, si avrà una diminuzione del carico di riscaldamento. La diminuzione di temperatura interna legata all'applicazione del cool roof si ripercuote meno pesantemente in inverno grazie al clima più favorevole e ciò determinerà una maggiore diminuzione del carico energetico totale, ottenuta aumentando la riflettanza, che dipenderà quasi interamente dalla diminuzione del carico di climatizzazione estiva. La variazione di carico totale è positiva sia nel caso di basso livello di isolamento, sia in quello di medio livello di isolamento.

Vi è una notevole convenienza ad aumentare il valore di riflettanza del tetto a prescindere dal livello di isolamento. Ciò denota come si possa adottare un copertura ad alta riflettanza, sia nel caso di un intervento di manutenzione ordinaria di un vecchio abitato scarsamente isolato termicamente, sia nello sviluppo di nuovi quartieri e centri residenziali in regola con le certificazioni di isolamento.

**Fascia Mediterranea Meridionale:** Il Cairo, Larnaca, Tel-Aviv, Tripoli; 

**Edificio ad un piano**

**Tabella 29**

TRIPOLI

Abitazione ad un piano

	$Q_{cool}/m^2(kWh/m^2)$	$Q_{heat}/m^2(kWh/m^2)$	$Q_{tot}(kWh/m^2)$	
riflettanza $\rho=0.2$	114.7	19.0	133.7	<b>Basso liv. Isolamento</b> u tetto=1.402 W/ m <sup>2</sup> K u pareti=1.444W/ m <sup>2</sup> K u pavimento=1.409W/ m <sup>2</sup> K
riflettanza $\rho=0.5$	99.4	23.8	123.2	
riflettanza $\rho=0.8$	84.6	29.8	114.3	
	$Q_{cool}/m^2(kWh/m^2)$	$Q_{heat}/m^2(kWh/m^2)$	$Q_{tot}(kWh/m^2)$	
riflettanza $\rho=0.2$	95.6	0.8	96.4	<b>Medio liv. Isolamento</b> u tetto=0.595 W/ m <sup>2</sup> K u pareti=0.699W/ m <sup>2</sup> K u pavimento=0.8W/ m <sup>2</sup> K
riflettanza $\rho=0.5$	88.3	1.1	89.4	
riflettanza $\rho=0.8$	80.8	1.5	82.4	

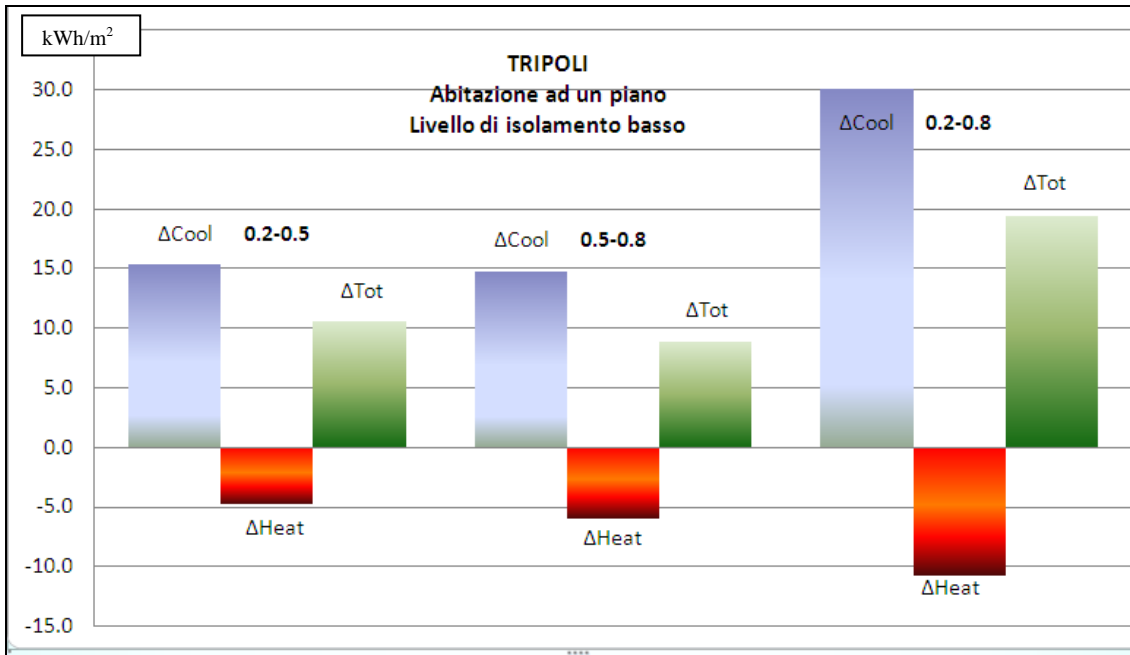
Anche in questo caso, di seguito è riportata la tabella delle variazioni dei carichi energetici ricavata dalla tabella precedente e i relativi grafici (variazioni in kWh/m<sup>2</sup>).

**Tabella 30**

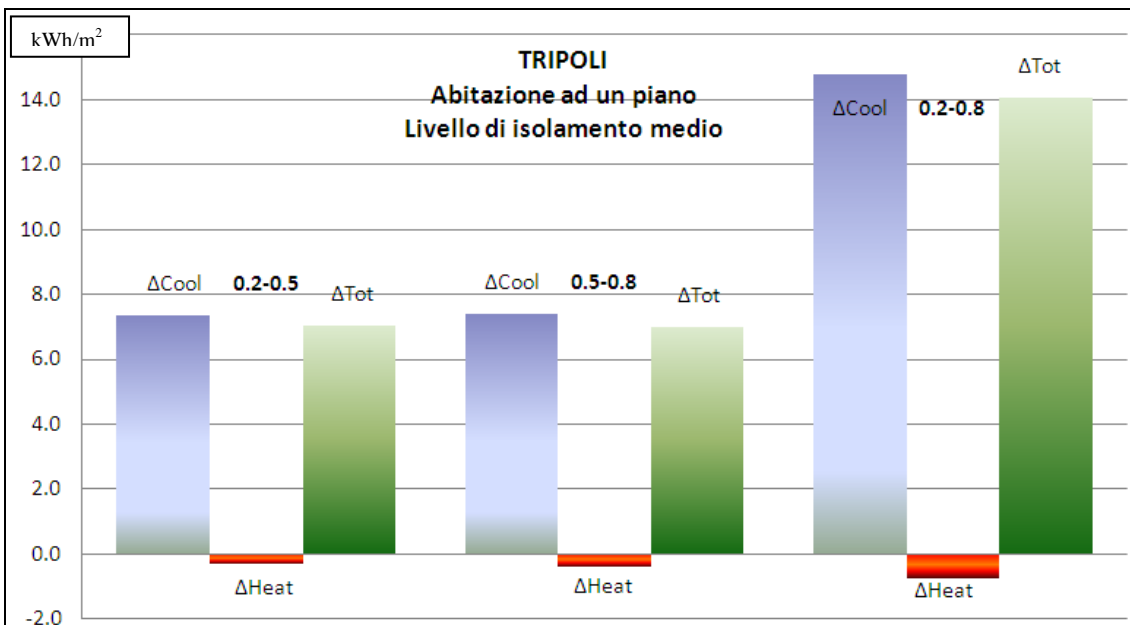
TRIPOLI

Abitazione ad un piano

	$\Delta Q_{cool}/m^2(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{heat}/m^2(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$	
(0.2-0.5)	15.3	-4.8	10.6	<b>Basso liv. Isolamento</b> u tetto=1.402 W/ m <sup>2</sup> K u pareti=1.444W/ m <sup>2</sup> K u pavimento=1.409W/ m <sup>2</sup> K
(0.5-0.8)	14.8	-6.0	8.8	
(0.2-0.8)	30.1	-10.8	19.4	
	$\Delta Q_{cool}/m^2(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{heat}/m^2(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$	
(0.2-0.5)	7.4	-0.3	7.0	<b>Medio liv. Isolamento</b> u tetto=0.595 W/ m <sup>2</sup> K u pareti=0.699W/ m <sup>2</sup> K u pavimento=0.8W/ m <sup>2</sup> K
(0.5-0.8)	7.4	-0.4	7.0	
(0.2-0.8)	14.8	-0.7	14.0	



**Figura 21**



**Figura 22**

## Edificio a schiera con orientamento N-S

### Tabella 31

TRIPOLI

Abitazione a schiera orientamento N-S

	$\Delta Q_{cool}/m^2$ (kWh/m <sup>2</sup> )	$\Delta Q_{heat}/m^2$ (kWh/m <sup>2</sup> )	$\Delta Q_{tot}$ (kWh/m <sup>2</sup> )	
(0.2-0.5)	8.6	-2.0	6.6	<b>Basso liv. Isolamento</b> u tetto=1.402 W/ m <sup>2</sup> K u pareti=1.444W/ m <sup>2</sup> K u pavimento=1.409W/ m <sup>2</sup> K
(0.5-0.8)	8.4	-2.3	6.0	
(0.2-0.8)	17.0	-4.4	12.6	
(0.2-0.5)	4.6	0.0	4.5	<b>Medio liv. Isolamento</b> u tetto=0.595 W/ m <sup>2</sup> K u pareti=0.699W/ m <sup>2</sup> K u pavimento=0.8W/ m <sup>2</sup> K
(0.5-0.8)	4.6	-0.1	4.5	
(0.2-0.8)	9.1	-0.1	9.0	

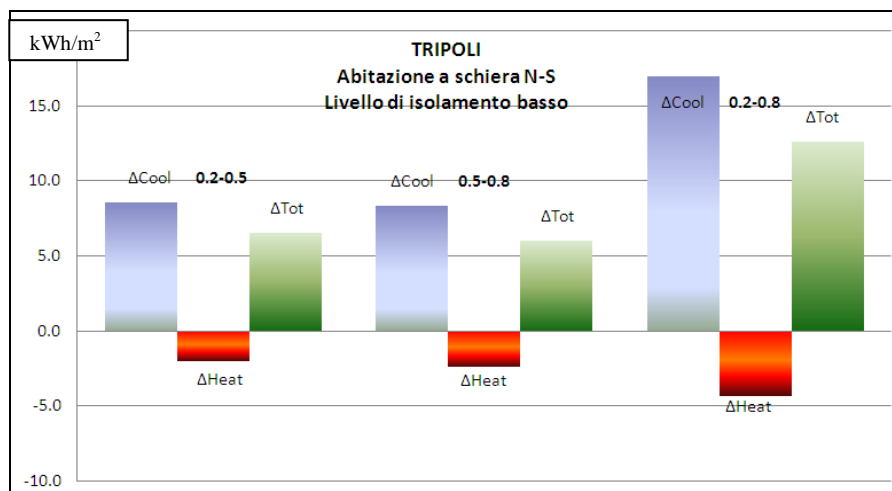


Figura 23

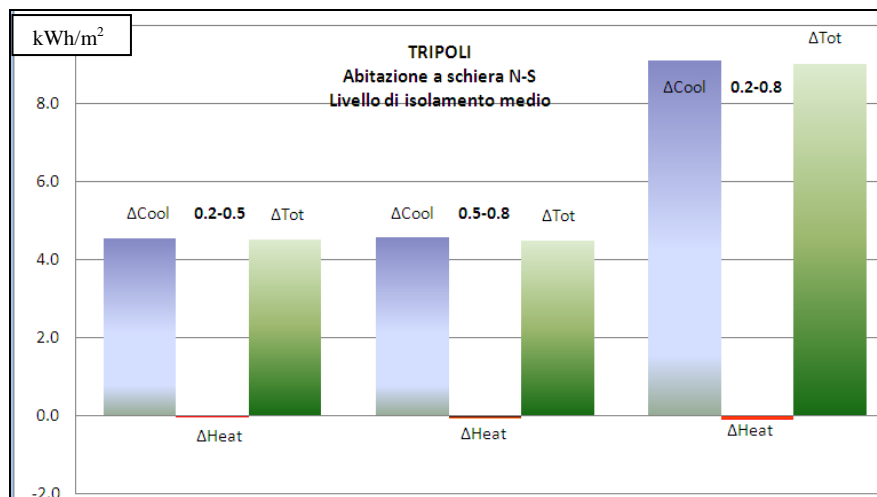


Figura 24



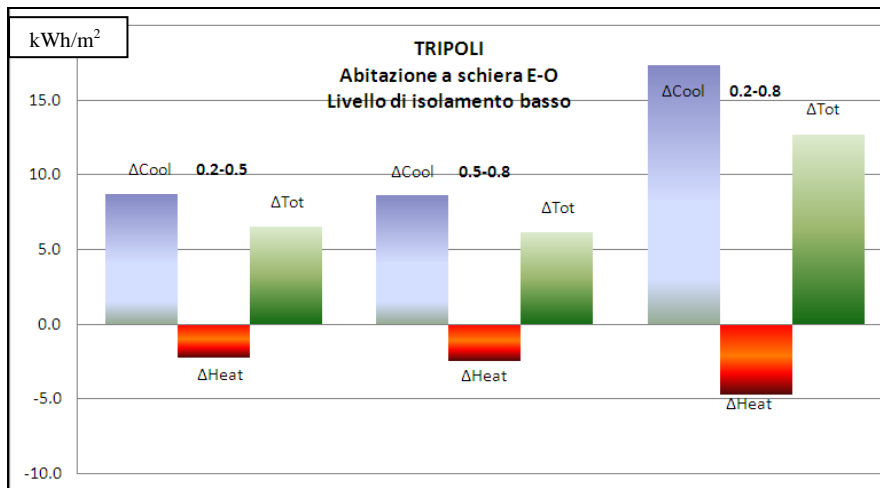
**Edificio a schiera con orientamento E-O**

**Tabella 32**

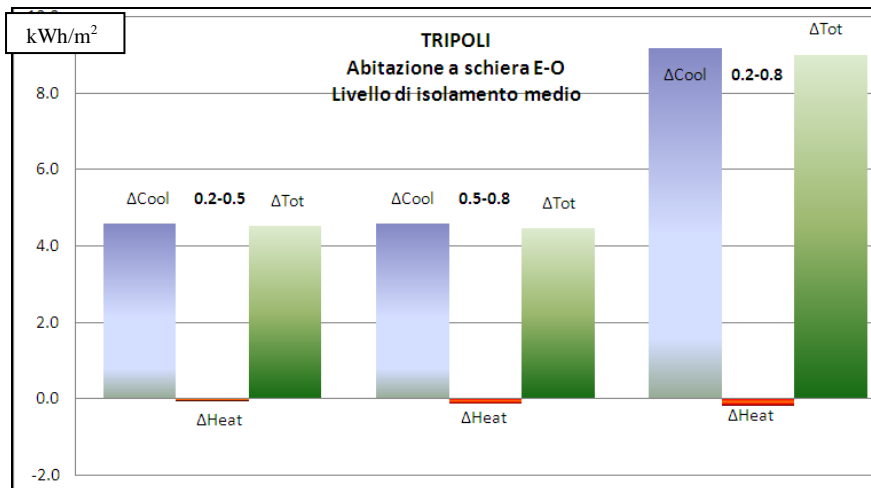
**TRIPOLI**

**Abitazione a schiera orientamento E-O**

	$\Delta Q_{cool}/m^2(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{heat}/m^2(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$	
(0.2-0.5)	8.8	-2.2	6.6	<b>Basso liv. Isolamento</b> u tetto=1.402 W/ m <sup>2</sup> K u pareti=1.444W/ m <sup>2</sup> K u pavimento=1.409W/ m <sup>2</sup> K
(0.5-0.8)	8.6	-2.5	6.1	
(0.2-0.8)	17.4	-4.7	12.7	
(0.2-0.5)	4.6	-0.1	4.5	<b>Medio liv. Isolamento</b> u tetto=0.595 W/ m <sup>2</sup> K u pareti=0.699W/ m <sup>2</sup> K u pavimento=0.8W/ m <sup>2</sup> K
(0.5-0.8)	4.6	-0.1	4.5	
(0.2-0.8)	9.2	-0.2	9.0	



**Figura 25**



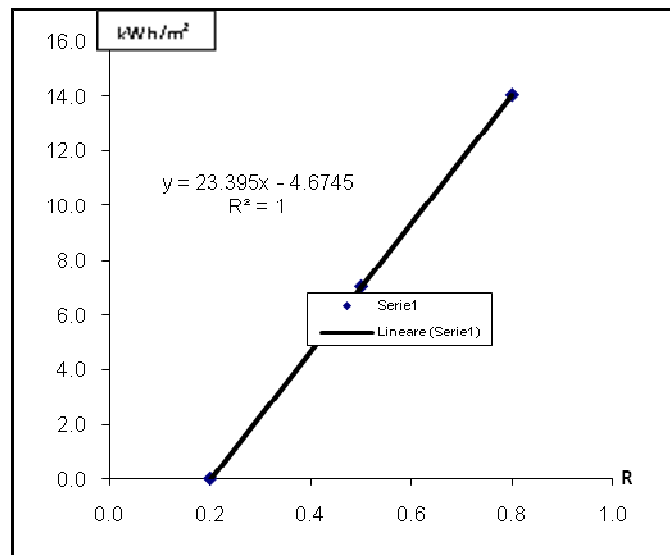
**Figura 26**

L'analisi dei risultati delle simulazioni per le città della fascia mediterranea più calda ha evidenziato i massimi vantaggi nell'applicazione dei cool roof. Questo è dovuto alla bassissima entità del carico di riscaldamento quasi totalmente azzerato nella configurazione abitativa più isolata.

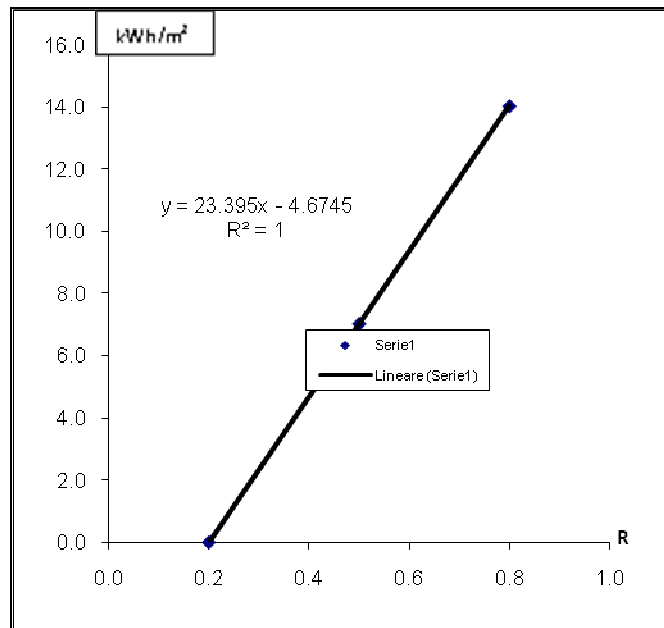
Il risparmio energetico in termini di variazione di carico totale è più marcato nella configurazione abitativa a basso livello di isolamento. Questa inversione di tendenza rispetto alle fasce climatiche precedenti è facilmente spiegabile poiché, in un clima molto caldo, con una temperatura media esterna dell'aria molto elevata, una struttura termicamente più isolata si oppone in modo più efficace al flusso di calore dall'ambiente esterno all'interno dell'edificio durante il giorno.

La variazione di carico energetico totale raggiunge valori superiori a  $26 \text{ kWh/m}^2$ . Come deriva dall'osservazione precedente risulta molto conveniente equipaggiare anche un vecchio abitato poco isolato con un "tetto fresco" in fase di manutenzione periodica, non perdendo di vista il fatto che il livello di isolamento più alto delle nuove abitazioni determina comunque un valore del carico energetico totale inferiore.

La variazioni dei carichi energetici dovute all'aumento di riflettanza (0.2-0.5 e 0.2-0.8) poste in funzione delle riflettanze stesse hanno un andamento quasi perfettamente lineare. Ciò è evidenziato nei grafici seguenti (figura 27 e Figura 28) realizzati per Tripoli, in cui è stato calcolato anche l' $R^2$  per evidenziarne l'effettiva linearità.



**Figura 27: Livello di isolamento medio**



**Figura 28: Livello di isolamento basso**

Questa linearità tra la variazione del carico energetico totale, che poi costituisce proprio il risparmio energetico netto annuo e la riflettanza ha una notevolissima importanza. Infatti conoscendo la legge che li lega è possibile conoscere il risparmio energetico annuo per qualsiasi valore di riflettanza del tetto.

Un'ultima considerazione generale riguarda le configurazioni abitative a schiera: questa configurazione abitativa, pur presentando gli stessi valori di isolamento della configurazione ad un piano, restituisce dei valori che risultano influenzati dalla posizione a schiera dell'edificio.

Confrontando i risultati con i corrispettivi risultati dell'abitazione ad un piano a parità di fascia di appartenenza, si nota subito come il carico di riscaldamento sia di entità nettamente inferiore, sia nella configurazione meno isolata, sia in quella più isolata. Questo risultato è frutto del posizionamento dell'abitazione che si trova a contatto su due lati con altri edifici appartenenti alla schiera facendo aumentare l'isolamento complessivo.

Per quanto riguarda la variazione di carico energetico totale dovuta all'aumento del parametro riflettanza, essa risulta in genere superiore alla configurazione abitativa ad un piano, solo nella fascia settentrionale (Barcellona, Marsiglia, Roma) in virtù del maggior isolamento.

Questo non significa che i valori ricavati dalle simulazioni per le altre fasce rendano meno conveniente l'utilizzo di un tetto fresco per questa configurazione abitativa, avendo ottenuto valori interessanti in tutti i livelli di isolamento, validi sia per applicazioni relative a manutenzioni ordinarie (vecchi edifici poco isolati), sia per nuovi agglomerati urbani.

Il cambio di orientamento, da Nord - Sud a Est - Ovest, non ha fatto registrare nelle simulazioni vantaggi o svantaggi sensibili essendo la variazione di carico energetico totale sostanzialmente identica alla configurazione Nord - Sud, indipendentemente dalla fascia climatica e dal livello di isolamento.

### Variazione dell' isolamento del tetto

Pensando ad un' opera di rifacimento del tetto di un edificio, in cui è previsto un miglioramento delle caratteristiche superficiali di riflettanza solare, si è pensato di effettuare una sessione di simulazioni mirata a valutare i benefici energetici apportati da un tetto con trasmittanza più bassa (più isolato) e riflettanza più alta (0.8) confrontandolo con uno scarsamente isolato e con riflettanza bassissima (0.2).

Considerando le stesse città e gli stessi raggruppamenti utilizzati nelle precedenti serie di simulazioni, sono state analizzate due configurazioni degli edifici, quella ad un piano e quella a schiera con orientamento E-O, ritenuta un caso più penalizzante rispetto all'abitazione a schiera con orientamento N-S, nonostante abbiano un comportamento in termini di carichi energetici del tutto simile. Per ogni edificio è stato studiato solo il livello di isolamento basso, mantenendo fissa la trasmittanza delle pareti e del pavimento e variando esclusivamente quella del tetto (tabella 33).

**Tabella 33**

u-tetto 1=2 W/m <sup>2</sup> k
u-tetto 2=1.4 W/m <sup>2</sup> k
u-tetto 3=0.9 W/m <sup>2</sup> k
u-tetto 4=0.4 W/m <sup>2</sup> k

La suddivisione in zone climatiche rimarrà valida anche nell'esposizione di questi risultati e verrà calcolata attraverso tabelle, la variazione di carico energetico totale (somma del carico di climatizzazione estiva e carico di riscaldamento) come differenza tra il carico energetico relativo al tetto con trasmittanza più alta e condizioni di riflettanza minime e il carico energetico ottenuto dagli altri risultati delle simulazioni per ogni singolo caso.

**Fascia Mediterranea Settentrionale:** Barcellona, Marsiglia, Roma; 

### Edificio ad un piano

**Tabella 34**

BARCELONA (abitazione ad un piano)				
	Q <sub>tot</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	ΔQ <sub>tot</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )		ΔQ <sub>tot</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )
Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	142.4	-5.1	0.2-0.8	rispetto a Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K
Rifl 0.8 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	147.5			
	Q <sub>tot</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )			
Rifl 0.2 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	114.9	-1.7	0.2-0.8	27.5
Rifl 0.8 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	116.6			25.8
	Q <sub>tot</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )			
Rifl 0.2 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	93.6	0.2	0.2-0.8	48.8
Rifl 0.8 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	93.3			49.1
	Q <sub>tot</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )			
Rifl 0.2 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	74.0	0.8	0.2-0.8	68.4
Rifl 0.8 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	73.2			69.2

**Tabella 35**

MARSIGLIA (abitazione ad un piano)

	$Q_{tot}(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$		$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$ rispetto a Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K
Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	188.4	-9.3	0.2-0.8	
Rifl 0.8 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	197.7			
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	154.2	-5.9	0.2-0.8	34.2
Rifl 0.8 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	160.0			28.4
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	125.8	-1.7	0.2-0.8	62.6
Rifl 0.8 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	127.5			60.9
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	100.5	-0.3	0.2-0.8	87.9
Rifl 0.8 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	100.8			87.6

**Tabella 36**

ROMA (abitazione ad un piano)

	$Q_{tot}(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$		$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$ rispetto a Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K
Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	170.1	-2.4	0.2-0.8	
Rifl 0.8 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	172.5			
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	138.6	0.4	0.2-0.8	31.5
Rifl 0.8 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	138.2			31.8
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	114.0	1.4	0.2-0.8	56.1
Rifl 0.8 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	112.5			57.6
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	91.3	1.2	0.2-0.8	78.8
Rifl 0.8 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	90.0			80.0

**Edificio a schiera con orientamento E-O**

**Tabella 37**

<b>BARCELONA</b> (abitazione a schiera E-O)			
---	--	--	--

	$Q_{tot}(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$		$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$ rispetto a Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K
Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	78.4	2.7	0.2-0.8	
Rifl 0.8 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	75.7			
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	66.7	3.3	0.2-0.8	11.7
Rifl 0.8 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	63.4			15.0
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	57.9	2.9	0.2-0.8	20.5
Rifl 0.8 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	55.0			23.4
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	50.7	1.9	0.2-0.8	27.7
Rifl 0.8 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	48.8			29.6

**Tabella 38**

<b>MARSIGLIA</b> (abitazione a schiera E-O)			
---	--	--	--

	$Q_{tot}(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$		$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$ rispetto a Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K
Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	99.2	1.2	0.2-0.8	
Rifl 0.8 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	98.0			
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	83.0	1.7	0.2-0.8	16.1
Rifl 0.8 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	81.3			17.9
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	70.6	1.7	0.2-0.8	28.6
Rifl 0.8 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	68.9			30.3
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	59.8	1.3	0.2-0.8	39.4
Rifl 0.8 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	58.5			40.7

**Tabella 39**

ROMA (abitazione a schiera E-O)			
---------------------------------	--	--	--

	$Q_{tot}(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$		$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$
Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	96.6	2.6	0.2-0.8	rispetto a Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K
Rifl 0.8 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	94.0			
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	82.4	2.9	0.2-0.8	14.3
Rifl 0.8 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	79.5			17.2
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	71.5	2.8	0.2-0.8	25.1
Rifl 0.8 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	68.8			27.9
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	62.2	2.0	0.2-0.8	34.4
Rifl 0.8 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	60.2			36.5

**Fascia Mediterranea Centrale:** Atene, Palermo, Siviglia;

**Edificio ad piano**

**Tabella 40**

ATENE (abitazione ad un piano)			
--------------------------------	--	--	--

	$Q_{tot}(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$		$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$
Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	169.2	6.6	0.2-0.8	rispetto a Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K
Rifl 0.8 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	162.6			
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	138.5	6.0	0.2-0.8	30.7
Rifl 0.8 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	132.5			36.7
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	114.2	4.6	0.2-0.8	55.0
Rifl 0.8 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	109.6			59.6
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	92.3	2.5	0.2-0.8	76.9
Rifl 0.8 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	89.8			79.4

**Tabella 41**

**PALERMO** (abitazione ad un piano)

	$Q_{tot}(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$		$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$ <b>rispetto a Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m<sup>2</sup>K</b>
<b>Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m<sup>2</sup>K</b>	123.8	10.6	0.2-0.8	
<b>Rifl 0.8 u-tetto=2 W/m<sup>2</sup>K</b>	113.2			
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
<b>Rifl 0.2 u-tetto=1.4 W/m<sup>2</sup>K</b>	103.3	9.4	0.2-0.8	20.4
<b>Rifl 0.8 u-tetto=1.4 W/m<sup>2</sup>K</b>	93.9			29.8
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
<b>Rifl 0.2 u-tetto=0.9 W/m<sup>2</sup>K</b>	87.5	7.5	0.2-0.8	36.3
<b>Rifl 0.8 u-tetto=0.9 W/m<sup>2</sup>K</b>	80.0			43.8
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
<b>Rifl 0.2 u-tetto=0.4 W/m<sup>2</sup>K</b>	73.9	4.2	0.2-0.8	49.8
<b>Rifl 0.8 u-tetto=0.4 W/m<sup>2</sup>K</b>	69.7			54.0

**Tabella 42**

**SIVIGLIA** (abitazione ad un piano)

	$Q_{tot}(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$		$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$ <b>rispetto a Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m<sup>2</sup>K</b>
<b>Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m<sup>2</sup>K</b>	147.9	7.6	0.2-0.8	
<b>Rifl 0.8 u-tetto=2 W/m<sup>2</sup>K</b>	140.4			
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
<b>Rifl 0.2 u-tetto=1.4 W/m<sup>2</sup>K</b>	121.7	7.2	0.2-0.8	26.2
<b>Rifl 0.8 u-tetto=1.4 W/m<sup>2</sup>K</b>	114.5			33.4
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
<b>Rifl 0.2 u-tetto=0.9 W/m<sup>2</sup>K</b>	100.9	5.7	0.2-0.8	47.0
<b>Rifl 0.8 u-tetto=0.9 W/m<sup>2</sup>K</b>	95.2			52.7
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
<b>Rifl 0.2 u-tetto=0.4 W/m<sup>2</sup>K</b>	82.9	3.3	0.2-0.8	65.0
<b>Rifl 0.8 u-tetto=0.4 W/m<sup>2</sup>K</b>	79.6			68.4



**Edificio a schiera con orientamento E-O**

**Tabella 43**


ATENE (abitazione a schiera E-O)				
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$		$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$ rispetto a Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K
Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	102.2	9.4	0.2-0.8	
Rifl 0.8 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	92.8			
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	87.5	7.1	0.2-0.8	14.7
Rifl 0.8 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	80.4			21.8
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	76.3	4.9	0.2-0.8	25.9
Rifl 0.8 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	71.3			30.9
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	66.5	2.5	0.2-0.8	35.7
Rifl 0.8 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	64.0			38.2

**Tabella 44**

PALERMO (abitazione a schiera E-O)				
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$		$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$ rispetto a Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K
Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	95.4	13.2	0.2-0.8	
Rifl 0.8 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	82.2			
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	86.6	10.6	0.2-0.8	8.8
Rifl 0.8 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	76.0			19.4
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	80.2	7.5	0.2-0.8	15.2
Rifl 0.8 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	72.6			22.7
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	74.8	3.6	0.2-0.8	20.6
Rifl 0.8 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	71.2			24.2

**Tabella 45**

SIVIGLIA (abitazione a schiera E-O)				
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$		$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$
Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	102.1	10.9	0.2-0.8	<b>rispetto a Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m<sup>2</sup>K</b>
Rifl 0.8 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	91.1			
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	89.7	8.5	0.2-0.8	12.3
Rifl 0.8 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	81.2			20.8
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	80.5	6.2	0.2-0.8	21.6
Rifl 0.8 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	74.3			27.8
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	72.6	3.2	0.2-0.8	29.4
Rifl 0.8 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	69.5			32.6

**Fascia Mediterranea Meridionale:** Il Cairo, Larnaca, Tel-Aviv, Tripoli; 

**Edificio ad un piano**

**Tabella 46**

IL CAIRO (abitazione ad un piano)				
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$		$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$
Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	139.0	36.3	0.2-0.8	<b>rispetto a Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m<sup>2</sup>K</b>
Rifl 0.8 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	102.8			
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	119.4	26.8	0.2-0.8	19.7
Rifl 0.8 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	92.6			46.5
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	104.8	18.4	0.2-0.8	34.2
Rifl 0.8 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	86.4			52.7
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	92.8	9.0	0.2-0.8	46.3
Rifl 0.8 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	83.7			55.3

**Tabella 47**

LARNACA (abitazione ad un piano)

	$Q_{tot}(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$		$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$
Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	133.1	16.6	0.2-0.8	<b>rispetto a Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m<sup>2</sup>K</b>
Rifl 0.8 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	116.5			
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	111.9	13.8	0.2-0.8	21.2
Rifl 0.8 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	98.1			35.0
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	95.6	10.4	0.2-0.8	37.5
Rifl 0.8 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	85.3			47.8
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	81.3	5.3	0.2-0.8	51.8
Rifl 0.8 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	75.9			57.2

**Tabella 48**

TEL-AVIV (abitazione ad un piano)

	$Q_{tot}(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$		$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$
Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	113.5	22.3	0.2-0.8	<b>rispetto a Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m<sup>2</sup>K</b>
Rifl 0.8 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	91.1			
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	94.9	17.8	0.2-0.8	18.6
Rifl 0.8 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	77.0			36.4
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	80.7	13.2	0.2-0.8	32.8
Rifl 0.8 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	67.5			46.0
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	68.5	6.8	0.2-0.8	45.0
Rifl 0.8 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	61.7			51.8

**Tabella 49**

TRIPOLI (abitazione ad un piano)				
----------------------------------	--	--	--	--

	$Q_{tot}(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$		$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$ rispetto a Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K
Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	156.6	25.1	0.2-0.8	
Rifl 0.8 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	131.5			
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	133.7	19.4	0.2-0.8	22.8
Rifl 0.8 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	114.3			42.2
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	116.2	14.1	0.2-0.8	40.4
Rifl 0.8 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	102.1			54.4
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	101.2	7.1	0.2-0.8	55.4
Rifl 0.8 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	94.1			62.4

**Edificio a schiera con orientamento E-O**

**Tabella 50**

IL CAIRO (abitazione a schiera orientamento E-O)				
--	--	--	--	--

	$Q_{tot}(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$		$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$ rispetto a Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K
Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	126.2	22.5	0.2-0.8	
Rifl 0.8 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	103.7			
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	115.4	16.6	0.2-0.8	10.8
Rifl 0.8 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	98.8			27.4
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	107.4	11.4	0.2-0.8	18.8
Rifl 0.8 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	96.0			30.2
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	100.5	5.5	0.2-0.8	25.7
Rifl 0.8 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	95.0			31.2

**Tabella 51**

LARNACA (abitazione a schiera orientamento E-O)

	$Q_{tot}(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$		$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$ rispetto a Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K
Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	104.9	14.8	0.2-0.8	
Rifl 0.8 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	90.1			
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	95.1	11.3	0.2-0.8	9.8
Rifl 0.8 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	83.8			21.1
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	87.8	7.9	0.2-0.8	17.1
Rifl 0.8 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	79.9			25.0
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	81.9	4.0	0.2-0.8	23.1
Rifl 0.8 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	77.9			27.0

**Tabella 52**

TEL-AVIV (abitazione a schiera orientamento E-O)

	$Q_{tot}(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$		$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$ rispetto a Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K
Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	102.7	17.2	0.2-0.8	
Rifl 0.8 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	85.4			
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	93.2	12.3	0.2-0.8	9.5
Rifl 0.8 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	80.9			21.8
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	86.0	8.4	0.2-0.8	16.6
Rifl 0.8 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	77.6			25.0
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	79.8	4.1	0.2-0.8	22.9
Rifl 0.8 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	75.7			27.0

**Tabella 23**

TRIPOLI (abitazione a schiera orientamento E-O)				
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$		$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$
Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	135.3	17.7	0.2-0.8	<b>rispetto a Rifl 0.2 u-tetto=2 W/m<sup>2</sup>K</b>
Rifl 0.8 u-tetto=2 W/m <sup>2</sup> K	117.6			
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	123.3	12.7	0.2-0.8	12.0
Rifl 0.8 u-tetto=1.4 W/m <sup>2</sup> K	110.6			24.7
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	114.1	8.6	0.2-0.8	21.1
Rifl 0.8 u-tetto=0.9 W/m <sup>2</sup> K	105.5			29.7
	$Q_{tot}(kWh/m^2)$			
Rifl 0.2 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	106.2	4.3	0.2-0.8	29.1
Rifl 0.8 u-tetto=0.4 W/m <sup>2</sup> K	102.0			33.3

I risultati di queste simulazioni ci permettono di fare delle considerazioni molto significative:

Osservando la colonna che rappresenta la variazione del carico energetico totale a seguito del solo aumento della riflettanza da 0.2 a 0.8 a parità di livello di isolamento del tetto, si nota come i risultati si allineino perfettamente con quelli della serie di simulazioni precedente. Infatti nella fascia climatica più fredda per avere un risparmio energetico sensibile, è necessario incrementare contemporaneamente sia il livello di riflettanza sia quello di isolamento del tetto, mentre nelle città appartenenti alle fasce più calde l'entità del risparmio è molto alta anche solo aumentando la riflettanza. In sostanza, per città come Roma, Barcellona e Marsiglia, la tecnica passiva dei Cool Roof ha una validità solo nel caso in cui ci sia un rifacimento totale del tetto che comprenda anche un aumento dell'isolamento, nelle altre fasce invece è sufficiente usare una copertura costituita da materiali "freschi" per beneficiare di un buon risparmio energetico annuo indipendentemente dall'isolamento.

Considerando invece la colonna (a destra) in cui sono indicate le variazioni di carico totale ottenute mediante confronto con la configurazione abitativa più sfavorevole (riflettanza 0.2, trasmittanza 2 kWh/m<sup>2</sup>) si nota come il risparmio energetico sia decisamente più elevato rispetto al caso precedente andando a diminuire mano a mano che l'isolamento del tetto assume un'importanza minore, ovvero nelle città più calde. C'è comunque da ricordare nuovamente che, nelle fasce climatiche più calde, anche se un edificio termicamente isolato ha una variazione di carico totale legata all'aumento della riflettanza minore rispetto ad uno meno isolato, l'isolamento fa comunque diminuire il carico netto totale in un anno azzerando quasi il carico di riscaldamento.

L'ultima osservazione riguarda le abitazioni con configurazione a schiera: a parità di isolamento del tetto presentano dei risparmi energetici più alti al variare della riflettanza, soprattutto nella fascia settentrionale e ciò è dovuto dal più alto livello di isolamento complessivo dovuto agli edifici confinanti; variando, invece, parallelamente l'isolamento e la riflettanza e confrontando col caso più sfavorevole (colonna a destra), si nota in ogni città di ogni fascia una netta diminuzione della

variazione di carico totale e quindi del risparmio energetico rispetto alla corrispettiva abitazione ad un piano. Ciò è dovuto al fatto che l'abitazione a schiera si sviluppa su due piani e il tetto ha una superficie molto minore rispetto alla configurazione ad un piano, avendo quindi un peso più basso sul bilancio termico dell'involucro edilizio.

### Carichi energetici per edifici a norma

L'ultima serie di simulazioni è volta a calcolare l'entità del risparmio energetico relativa all'applicazione di un tetto "fresco" su un edificio realizzato secondo la norma di isolamento italiano. Per queste simulazioni si sono scelte le città di Palermo e Roma, appartenenti rispettivamente alle zone B e D secondo la suddivisione effettuata all'interno del decreto legislativo n° 192/05

Le simulazioni sono state svolte solo sull'edificio residenziale con configurazione ad un piano, confrontando i risultati ottenuti utilizzando un valore del ricambio d'aria dovuto alla ventilazione estiva notturna pari a quello delle simulazioni precedenti (0,5 volumi abitativi all'ora), con i risultati ottenuti con un valore di ricambio d'aria più alto (pari a 2 volumi abitativi all'ora).

### Caso Roma (ventilazione 0.5 volumi abitativi per ora) a norma

**Tabella 24: Carichi energetici**

ROMA

Abitazione ad un piano vent. 0.5

	$Q_{cool}/m^2(kWh/m^2)$	$Q_{heat}/m^2(kWh/m^2)$	$Q_{tot}(kWh/m^2)$	
riflettanza $\rho=0.2$	38.9	7.3	46.2	Liv. Isolamento norma u tetto=0.322 W/ m <sup>2</sup> K u pareti=0.360 W/ m <sup>2</sup> K u pavimento=0.360 W/ m <sup>2</sup> K
riflettanza $\rho=0.5$	35.6	7.8	43.4	
riflettanza $\rho=0.8$	32.3	8.4	40.7	

In base a questa tabella, come già calcolato nella seconda serie di simulazioni, si ottengono le variazioni di carico di climatizzazione estiva, del carico di riscaldamento e del carico totale al variare del parametro di riflettanza solare (tabella seguente).

**Tabella 25: Variazione dei carichi energetici**

ROMA

Abitazione ad un piano vent. 0.5

	$\Delta Q_{cool}/m^2(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{heat}/m^2(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$	
(0.2-0.5)	3.4	-0.5	2.8	Liv. Isolamento norma u tetto=0.322 W/ m <sup>2</sup> K u pareti=0.360 W/ m <sup>2</sup> K u pavimento=0.360 W/ m <sup>2</sup> K
(0.5-0.8)	3.2	-0.6	2.6	
(0.2-0.8)	6.6	-1.1	5.5	

**Caso Roma (ventilazione 2 volumi abitativi all'ora) a norma**

**Tabella 56: Carichi energetici**

ROMA

Abitazione ad un piano vent. 2

	$Q_{cool}/m^2(kWh/m^2)$	$Q_{heat}/m^2(kWh/m^2)$	$Q_{tot}(kWh/m^2)$	
riflettanza $\rho=0.2$	33.2	7.3	40.5	Liv. Isolamento norma u tetto=0.322 W/ m <sup>2</sup> K u pareti=0.360 W/ m <sup>2</sup> K u pavimento=0.360 W/ m <sup>2</sup> K
riflettanza $\rho=0.5$	29.8	7.8	37.7	
riflettanza $\rho=0.8$	26.7	8.4	35.1	

**Tabella 57: Variazione dei carichi energetici**

ROMA

Abitazione ad un piano vent. 2

	$\Delta Q_{cool}/m^2(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{heat}/m^2(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$	
(0.2-0.5)	3.3	-0.5	2.8	Liv. Isolamento norma u tetto=0.322 W/ m <sup>2</sup> K u pareti=0.360 W/ m <sup>2</sup> K u pavimento=0.360 W/ m <sup>2</sup> K
(0.5-0.8)	3.1	-0.6	2.6	
(0.2-0.8)	6.5	-1.1	5.4	

Come si nota confrontando la tabella 55 con la

Tabella 57, al variare della portata di ricambio d'aria in estate nelle ore notturne, le variazioni dei carichi non subisce rilevanti cambiamenti.

I carichi energetici netti di climatizzazione estiva, invece, risultano essere minori nell'abitazione con portata di ricambio d'aria maggiore come si desume dal confronto della Tabella 2 54 con la tabella 56.

Di seguito è riportata una tabella in cui sono confrontati i carichi energetici di Roma nella configurazione abitativa ad un piano con livello di isolamento medio (ottenuti dalla seconda serie di simulazioni) con i carichi energetici della configurazione con livello di isolamento a norma (si sono scelti i risultati ottenuti con ventilazione 0.5 poiché è lo stesso parametro utilizzato nella seconda serie di simulazioni).

**Tabella 58**

ROMA

Abitazione ad un piano-medio livello di isolamento

	$Q_{cool}/m^2(kWh/m^2)$	$Q_{heat}/m^2(kWh/m^2)$	$Q_{tot}(kWh/m^2)$
riflettanza $\rho=0.2$	32.5	28.6	61.1
riflettanza $\rho=0.5$	28.2	30.5	58.7
riflettanza $\rho=0.8$	24.0	32.5	56.5

ROMA

Abitazione ad un piano livello di isolamento norma

$Q_{cool}/m^2(kWh/m^2)$	$Q_{heat}/m^2(kWh/m^2)$	$Q_{tot}(kWh/m^2)$
38.9	7.3	46.2
35.6	7.8	43.4
32.3	8.4	40.7



Nell'abitazione con livello di isolamento superiore, ovvero quella a norma, sono decisamente inferiori i carichi netti di riscaldamento, mentre quelli di climatizzazione estiva sono leggermente superiori, con ogni probabilità a causa di un intensificarsi dell'effetto serra di cui si è discusso in precedenza.

**Tabella 59**

ROMA				ROMA			
Abitazione ad un piano-medio livello di isolamento				Abitazione ad un piano livello di isolamento norma			
	$\Delta Q_{cool}/m^2(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{heat}/m^2(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{cool}/m^2(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{heat}/m^2(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$	
(0.2-0.5)	4.3	-1.9	2.5	3.4	-0.5	2.8	
(0.5-0.8)	4.2	-2	2.2	3.2	-0.6	2.6	
(0.2-0.8)	8.5	-3.9	4.6	6.6	-1.1	5.5	

Dal confronto delle variazioni dei carichi energetici dovuti ad una variazione di riflettanza solare si evince un leggero vantaggio in termini di risparmio energetico (variazione del carico energetico totale) a favore della configurazione con isolamento a norma. Quindi la reale miglioria apportata da un isolamento a norma per Roma è legata soprattutto ad una diminuzione dei carichi netti di riscaldamento pensando al fatto che in questo modo l'effetto negativo in inverno di un tetto ad alta riflettanza (che diminuisce l'apporto di calore all'abitazione quando servirebbe) va ad incidere in percentuale su dei carichi di riscaldamento molto minori.

**Caso Palermo (ventilazione 0.5 volumi abitativi per ora) a norma**

**Tabella 60: Carichi energetici**

PALERMO			
Abitazione ad un piano vent. 0.5			
	$Q_{cool}/m^2(kWh/m^2)$	$Q_{heat}/m^2(kWh/m^2)$	$Q_{tot}(kWh/m^2)$
riflettanza $\rho=0.2$	67.9	0.4	68.3
riflettanza $\rho=0.5$	63.3	0.5	63.8
riflettanza $\rho=0.8$	58.8	0.6	59.4

Liv. Isolamento norma  
u tetto=0.381 W/ m<sup>2</sup>K  
u pareti=0.479 W/ m<sup>2</sup>K  
u pavimento=0.49 W/ m<sup>2</sup>K

**Tabella 61: Variazione dei carichi energetici**

PALERMO			
Abitazione ad un piano vent. 0.5			
	$\Delta Q_{cool}/m^2(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{heat}/m^2(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$
(0.2-0.5)	4.6	-0.1	4.6
(0.5-0.8)	4.5	-0.1	4.4
(0.2-0.8)	9.2	-0.2	9.0

Liv. Isolamento norma  
u tetto=0.381 W/ m<sup>2</sup>K  
u pareti=0.479 W/ m<sup>2</sup>K  
u pavimento=0.49 W/ m<sup>2</sup>K

**Caso Palermo (ventilazione 2 volumi abitativi per ora) a norma**

**Tabella 62: Carichi energetici**

PALERMO

Abitazione ad un piano vent. 2

	$Q_{cool}/m^2(kWh/m^2)$	$Q_{heat}/m^2(kWh/m^2)$	$Q_{tot}(kWh/m^2)$	
riflettanza $\rho=0.2$	75.0	0.4	75.4	Liv. Isolamento norma u tetto=0.381 W/ m <sup>2</sup> K u pareti=0.479 W/ m <sup>2</sup> K u pavimento=0.49 W/ m <sup>2</sup> K
riflettanza $\rho=0.5$	70.1	0.5	70.6	
riflettanza $\rho=0.8$	65.0	0.6	65.6	

**Tabella 63: Variazione dei carichi energetici**

PALERMO

Abitazione ad un piano vent. 2

	$\Delta Q_{cool}/m^2(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{heat}/m^2(kWh/m^2)$	$\Delta Q_{tot}(kWh/m^2)$	
(0.2-0.5)	4.9	-0.1	4.8	Liv. Isolamento norma u tetto=0.381 W/ m <sup>2</sup> K u pareti=0.479 W/ m <sup>2</sup> K u pavimento=0.49 W/ m <sup>2</sup> K
(0.5-0.8)	5.1	-0.1	5.0	
(0.2-0.8)	9.9	-0.2	9.7	

Si può notare dalle tabelle Tabella e 62 come l'aumento di portata d'aria dovuta alla ventilazione determini un leggero aumento del carico di climatizzazione estiva dovuto probabilmente all'alta temperatura (compresa nell'intervallo di set - point) del volume d'aria che circola dall'esterno verso l'interno dell'abitazione.

Anche in questo caso, come per Roma, variando le portate di ventilazione, vi è solo un leggerissimo aumento della variazione del carico energetico totale che non comporta un vero e proprio vantaggio di una soluzione rispetto ad un'altra relativamente al risparmio energetico annuo.