



Ente per le Nuove tecnologie,
l'Energia e l'Ambiente

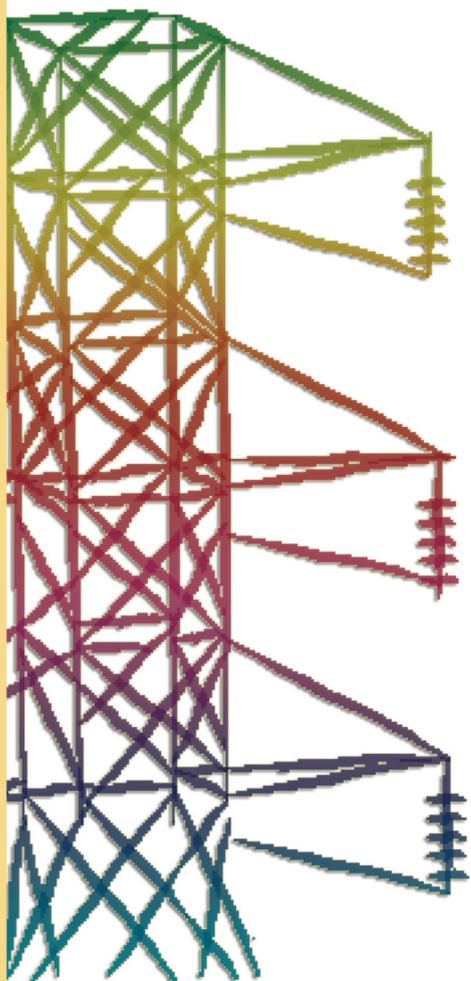


Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA SISTEMA ELETTRICO

Definizione degli indici e livelli di fabbisogno dei vari centri di consumo energetico degli edifici adibiti a uffici - usi termici - analisi del potenziale di risparmio energetico

L. Pagliano, M. Pietrobon, P. Zangheri





Ente per le Nuove tecnologie,
l'Energia e l'Ambiente



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA SISTEMA ELETTRICO

Definizione degli indici e livelli di fabbisogno dei vari centri di consumo energetico degli edifici adibiti a uffici - usi termici - analisi del potenziale di risparmio energetico

L. Pagliano, M. Pietrobon, P. Zangheri

DEFINIZIONE DEGLI INDICI E LIVELLI DI FABBISOGNO DEI VARI CENTRI DI CONSUMO
ENERGETICO DEGLI EDIFICI ADIBITI A UFFICI - USI TERMICI - ANALISI DEL POTENZIALE DI
RISPARMIO ENERGETICO

L. Pagliano, M. Pietrobon, P. Zangheri (Dipartimento di Energia del Politecnico di Milano)

Marzo 2009

Report Ricerca Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Area: Usi finali

Tema: Sviluppo di linee guide e indici di riferimento per il legislatore

Responsabile Tema: Gaetano Fasano, ENEA

Questo è un documento della attività "Analisi della normativa vigente in ambito nazionale ed europeo" alla quale ha contribuito il Gruppo di ricerca sull'efficienza negli usi finali dell'energia - eERG - attivo presso il Dipartimento di Energia del Politecnico di Milano. Hanno collaborato l'Ing. S. Carlucci e l'Ing. T. Toppi

Indice

1	Introduzione	4
2	Contesti climatici	5
3	Edifici base considerati	5
3.1	Geometria	6
3.1.1	Edificio A: edificio di grandi dimensioni	6
3.1.2	Edificio B: edificio di medie dimensioni	7
3.2	Elementi costruttivi	8
3.3	Apporti termici interni	11
3.3.1	Occupazione delle persone	11
3.3.2	Illuminazione artificiale	12
3.3.3	Apparecchiature elettriche	12
3.3.4	Riepilogo degli apporti termici interni	13
3.4	Protezioni solari	13
3.5	Flussi d'aria	15
3.5.1	Ventilazione meccanica	15
3.5.2	Infiltrazioni d'aria	15
3.6	Impianto di climatizzazione	15
3.7	Prestazioni energetiche degli edifici base	16
4	Azioni di miglioramento delle prestazioni energetiche	17
5	Risultati	23
6	Analisi dei risultati	36
7	Riferimenti bibliografici	39
7.1	Publicazioni	39
7.2	Norme tecniche	39
Allegato A: risultati numerici		40
A.1	Edificio A	40
A.2	Edificio B	41

1 Introduzione

Nel presente studio si è analizzato il fabbisogno energetico per riscaldamento e raffrescamento nell'ambito del settore edilizio degli uffici.

In particolare, la analisi si sono sviluppate attraverso i seguenti passi metodologici:

- Si è individuato e caratterizzato un limitato pacchetto di edifici in grado di rappresentare qualitativamente una parte rappresentativa dello stock edilizio in oggetto: 2 edifici adibiti a uffici con diversa organizzazione degli spazi e differenti carichi interni.
- Si è svolta un'analisi approfondita attraverso simulazioni dinamiche di modelli d'edificio, utilizzando il software DOE2-EnergyPlus.

In particolare, per ciascun modello e per tre diversi contesti climatici italiani (Milano, Roma e Palermo) sono state svolte delle analisi di sensitività "bottom" atte a stimare il potenziale di risparmio delle principali tecnologie impiegabili.

Le azioni di risparmio energetico valutate e il numero delle loro variazioni sono indicate nella tabella seguente.

Tab. 1-1. Analisi bottom di stima del potenziale di risparmio.

Categoria energetica	Funzione obiettivo	Casi Base	Tecnologia	Numero variazioni (compreso caso base)	Contesti climatici
Riscaldamento	Fabbisogni energetici di riscaldamento (con Temperatura di Setpoint)	1 Ufficio con alti carichi 1 Ufficio con bassi carichi	Isolamento termico sup. opache	3	3 (Milano, Roma e Palermo)
			Isolamento termico sup. trasparenti	3	
			Permeabilità dell'involucro	3	
			Recupero del calore	3	
Raffrescamento	Fabbisogni energetici di raffrescamento (con Temperatura di Setpoint)	1 Ufficio con alti carichi 1 Ufficio con bassi carichi	Controllo solare	3	3 (Milano, Roma e Palermo)
			Riflettanza involucro	3	
			Massa termica	3	
			Permeabilità dell'involucro e Ventilazione Naturale	3	
			Isolamento termico sup. opache	3	

2 Contesti climatici

Nelle simulazioni del presente studio, si sono considerate le località climatiche di Milano, Roma e Palermo, come rappresentative in modo medio delle principali condizioni climatiche del territorio italiano.

Di seguito si riportano alcuni parametri sintetici caratteristici dei tre climi.

Tab. 2-1. Principali parametri climatici – Periodo invernale.

Periodo INVERNALE (Novembre - Dicembre - Gennaio - Febbraio)							
Climi	Zona Climatica	Gradi Giorno Invernali ^I	Temperatura media [°C]	Temperatura minima [°C]	Velocità media del vento [m/s]	Umidità relativa media [%]	Irradiazione solare diretta media [Wh/m ²]
Milano	E	2404	2.8	-11.0	0.7	79%	1263
Roma	D	1415	9.9	-4.0	4.1	79%	2048
Palermo	B	751	13.9	4.8	4.3	73%	2143

Tab. 2-2. Principali parametri climatici – Periodo estivo.

Periodo ESTIVO (Giugno - Luglio - Agosto)							
Climi	Zona Climatica (CNR)	Gradi Ora Estivi ^{II} (base 27°C)	Temperatura media [°C]	Temperatura massima [°C]	Velocità media del vento [m/s]	Umidità relativa media [%]	Irradiazione solare diretta media [Wh/m ²]
Milano	7	482	21.7	32.6	1.0	71%	4855
Roma	3	568	23.3	31.8	3.3	75%	4918
Palermo	1	842	25.1	34.0	3.3	74%	6471

3 Edifici base considerati

Si sono considerati due edifici, i quali come tipologia e forma, caratteristiche costruttive e modelli d'uso possono rappresentare, da un punto di vista medio, dei tipici edifici ad uso ufficio, dello scenario edilizio italiano.

Di seguito indicheremo i due edifici rispettivamente come “edificio A” ed “edificio B”.

La geometria dei due organismi edilizi è differente, secondo quanto descritto in seguito.

In generale i modelli d'uso dei due edifici (periodi di occupazione, livelli di affollamento, utilizzo dell'illuminazione artificiale, etc.) sono uguali.

Fanno eccezione i carichi termici interni (dovuti agli apparecchi illuminanti e alle apparecchiature elettriche d'ufficio), per i quali all'edificio A ne sono stato assegnato un valore alto, all'edificio B uno basso.

Per i due edifici, per lo stesso clima, le caratteristiche costruttive degli elementi tecnici sono uguali.

Di seguito, vengono descritte nel dettaglio le caratteristiche dei due modelli di base.

^I Valori riportati dal Decreto Legge n. 412/1993.

^{II} Valori riportati dal riepilogo del file climatico “Energyplus Weather File (epw)” della località considerata.

3.1 Geometria

3.1.1 Edificio A: edificio di grandi dimensioni

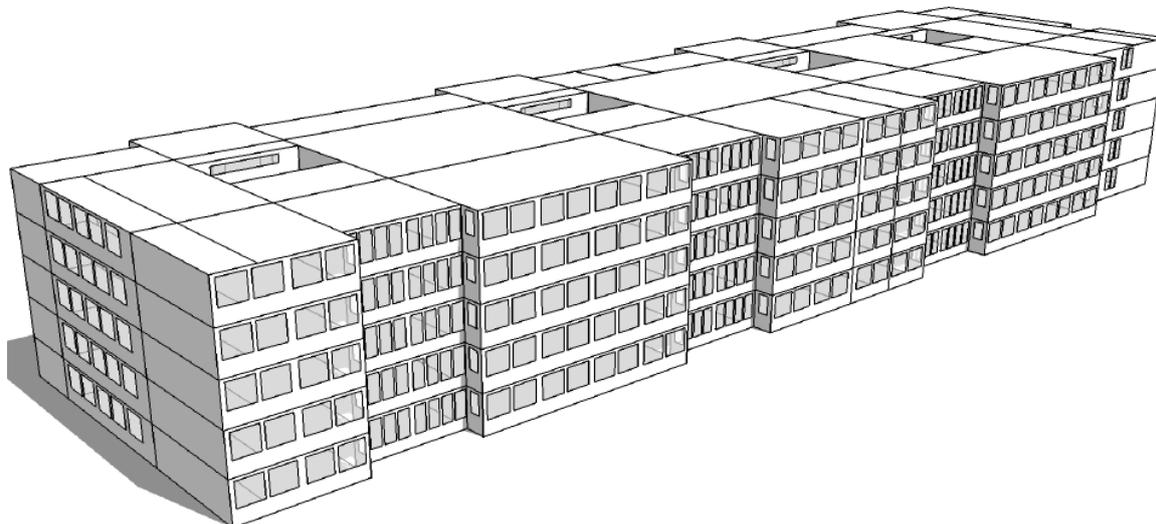


Fig. 3-1. Vista prospettica dell'edificio A (facciate Sud-Est e Sud-Ovest).

Tab. 3-1. Edificio A: principali caratteristiche geometriche.

Edificio A	
Destinazione d'uso:	Ufficio
Disposizione interna:	Uffici di dimensioni medie (20÷40 m ²)
Numero di piani fuori terra:	5
Esposizione principale:	Sud-Est / Nord-Ovest
Dimensioni globali:	97 x 27 x 14 (h) m
Superficie totale in pianta:	11 681 m ²
Volume totale:	32 707 m ³
Superficie disperdente totale:	9 953.2 m ²
Superficie disperdente / Volume climatizzato:	0.30

L'edificio A è un fabbricato di grandi dimensioni, adibito ad uso ufficio.

In pianta ha forma rettangolare allungata. Le superfici verticali più estese sono orientate rispettivamente a Sud-Est e Nord-Ovest.

L'edificio ha un'ampia copertura piana.

Le facciate sono regolari, con delle rientranze. Presentano delle ampie superfici finestrate, molto diffuse.

Il volume dell'edificio è interrotto da 4 vani verticali, aperti alla sommità. Questi si sviluppano dalla base del fabbricato fino al livello della copertura. In ciascuno dei vani si affacciano 2 finestre per ogni piano dell'edificio, consentendo l'illuminazione e l'eventuale ventilazione naturali di alcuni ambienti più interni.

Per controllare i tempi di simulazione, piuttosto onerosi in un modello di questa complessità, i solai interni tra i piani si sono assunti adiabatici.

3.1.2 Edificio B: edificio di medie dimensioni



Fig. 3-2. Vista prospettica dell'edificio B (-a- facciate Nord ed Ovest, -b- facciate Sud ed Est).

Tab. 3-2. Edificio B: principali caratteristiche geometriche.

Edificio B	
Destinazione d'uso:	Ufficio
Disposizione interna:	Uffici open space
Numero di piani fuori terra:	4
Esposizione principale:	Est / Ovest
Dimensioni globali:	21.8 x 10.7 x 12 (h) m
Superficie totale in pianta:	908 m ²
Volume totale:	2 724 m ³
Superficie disperdente totale:	1 288.7 m ²
Superficie disperdente / Volume climatizzato:	0.47

L'edificio B è di medie dimensioni. Ha destinazione d'uso ad uffici, con una suddivisione degli spazi interni meno fitta rispetto all'edificio A.

In pianta ha forma rettangolare. Le superfici verticali con lunghezza di base maggiore sono orientate rispettivamente a Est e Ovest.

L'edificio presenta una copertura a doppia falda, con colmo sfalsato da un elemento verticale. La falda più estesa ha orientamento Ovest, l'altra è orientata a Est.

Le facciate sono regolari con la presenza di rientranze solo in corrispondenza degli ambienti nella zona delle scale.

Le superfici finestrate sono distribuite in modo uniforme sulle superfici esterne verticali. Sono presenti in percentuale minore rispetto all'edificio A.

3.2 Elementi costruttivi

I componenti edilizi degli edifici base, quali pareti, coperture, solai, sono stati scelti in modo da essere rappresentativi di alcune delle soluzioni tecniche più comunemente utilizzate negli ultimi decenni nel contesto edilizio italiano.

I materiali adottati, l'ordine di posa, gli ingombri degli elementi costruttivi sono comuni in molti edifici in Italia. Anche le loro prestazioni termiche, in particolare i valori di trasmittanza termica (U) e di capacità termica per unità di superficie possono rappresentare situazioni tipiche in edifici costruiti nei decenni passati.

Di seguito, nelle tabelle sono indicate le caratteristiche degli elementi costruttivi degli edifici base. Gli elementi di partizione interna (pareti, solai e porte interne) non cambiano in funzione del contesto climatico. I componenti dell'involucro edilizio sono gli stessi per Roma e Palermo, quelli adottati a Milano presentano, in modo leggero, un isolamento termico migliore. Questo vuole tenere conto del concreto adattamento della produzione edilizia tipica degli ultimi decenni, al contesto climatico del Nord Italia.

Tab. 3-3. Caratteristiche termiche delle partizioni interne dell'edificio base – per tutti i climi considerati

MILANO	ROMA	PALERMO
Componente		U [W/m ² K]
PARETE INTERNA		1.98
Stratigrafia		Spessore [cm]
Intonaco cementizio		1
Mattoni forati in laterizio		8
Intonaco cementizio		1
TOT.		10
Componente		U [W/m ² K]
SOLAIO INTERNO		1.74
Stratigrafia		Spessore [cm]
Rivestimento in linoleum		0.5
Massetto cementizio		5
Solaio latero-cementizio		20
Intonaco cementizio		1
TOT.		
Componente		U [W/m ² K]
PORTA INTERNA		1.69
Descrizione		
Porta in legno di pino – spessore 5 cm		

Tab. 3-4. Caratteristiche termiche dell'involucro edilizio dell'edificio base – clima di Milano.

MILANO	
Componente	U [W/m ² K]
PARETE ESTERNA “-”	0.80
Stratigrafia	Spessore [cm]
ESTERNO	
Piastrelle ceramiche	1
Mattoni forati in laterizio	12
Polistirene espanso	1
Intercapedine d'aria non ventilata	9
Mattoni forati in laterizio	12
Intonaco cementizio	10
INTERNO	
TOT.	36
Componente	U [W/m ² K]
COPERTURA “-”	1.38
Stratigrafia	Spessore [cm]
ESTERNO	
Massetto cementizio	5
Polistirene espanso	1
Solaio latero-cementizio	20
Intonaco cementizio	1
INTERNO	
TOT.	27
Componente	U [W/m ² K]
SOLAIO SU TERRENO “-”	2.10^{III}
Stratigrafia	Spessore [cm]
ESTERNO	
Massetto in calcestruzzo	20
Massetto cementizio	5
Rivestimento in linoleum	0.5
INTERNO	
TOT.	26
Componente	U [W/m ² K]
INFISSI ESTERNI“-”	3.00
Descrizione	
Doppio vetro 4-9-4 mm, vetro normale con emissività normale di 0.89, con aria + Telaio metallico con taglio termico.	

^{III} Il valore riportato si riferisce alla trasmittanza termica U del solo componente edilizio, senza considerare l'effetto termico del terreno sottostante. Nelle simulazioni eseguite in seguito il presente componente edilizio viene correttamente accoppiato con il terreno.

Tab. 3-5. Caratteristiche termiche dell'involucro edilizio dell'edificio base – climi di Roma e Palermo

ROMA	PALERMO
PARETE ESTERNA “-”	
U [W/m ² K] 0.98	
Stratigrafia	
ESTERNO	
Piastrelle ceramiche	1
Mattoni forati	12
Intercapedine d'aria non ventilata	10
Mattoni forati	12
Intonaco cementizio	1
INTERNO	
TOT. 36	
COPERTURA “-”	
U [W/m ² K] 2.11	
Stratigrafia	
ESTERNO	
Massetto cementizio	5
Solaio latero-cementizio	20
Intonaco cementizio	1
INTERNO	
TOT. 26	
SOLAIO SU TERRENO “-”	
U [W/m ² K] 2.10^{IV}	
Stratigrafia	
ESTERNO	
Massetto in calcestruzzo	20
Massetto cementizio	5
Rivestimento in linoleum	0.5
INTERNO	
TOT. 26	
INFISSI ESTERNI“-”	
U [W/m ² K] 5.80	
Descrizione	
Vetro singolo 4 mm, vetro normale con emissività normale di 0.89 + Telaio metallico senza taglio termico.	

^{IV} Il valore riportato si riferisce alla trasmittanza termica U del solo componente edilizio, senza considerare l'effetto termico del terreno sottostante. Nelle simulazioni eseguite in seguito il presente componente edilizio viene correttamente accoppiato con il terreno.

3.3 Apporti termici interni

3.3.1 Occupazione delle persone

Per il livello di occupazione degli ambienti interni si sono considerati i valori seguenti

- per gli uffici 12.0 m²/persona,
- per le sale riunioni 3.5 m²/persona.

Per le zone di comunicazione (scale e corridoi) e dei locali di servizio non si è considerata una presenza fissa di persone, poiché questi ambienti sono occupati per periodi di tempo molto brevi.

Il flusso termico totale rilasciato da una singola persona si è assunto pari a 105 W/persona. Pertanto, considerati i parametri di occupazione di sopra, si hanno degli apporti termici interni, dovuti alle persone, pari a

- per gli uffici 8.75 W/m²,
- per le sale riunioni 30.00 W/m².

Per determinare gli apporti termici dovuti alle persone, tali valori vengono moltiplicati per il livello di occupazione medio nelle diverse ore della giornata, rappresentati nei grafici seguenti.

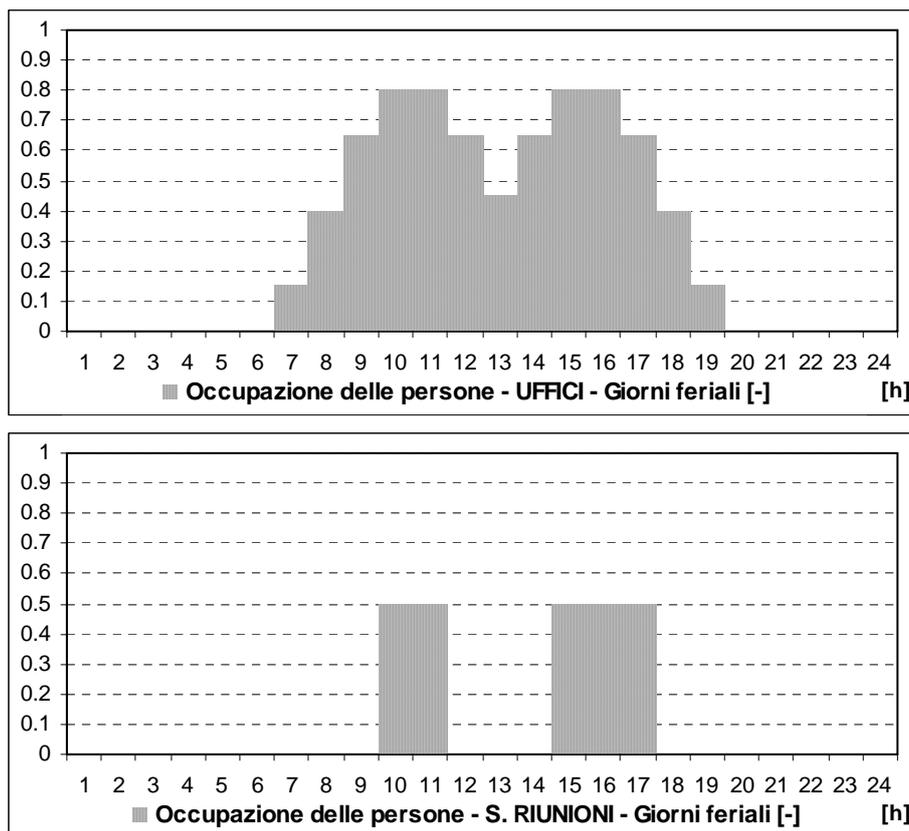


Fig. 3-3. Livelli medi di occupazione nei giorni feriali, per gli uffici e le sale riunioni.

Si è considerata nulla l'occupazione nei giorni di Sabato e di Domenica e nelle festività, quali Capodanno, Epifania, Pasqua (dal 10 al 16 Aprile), Festa dei Lavoratori (1 Maggio), Ferragosto (15 Agosto), Immacolata (8 Dicembre), Natale.

Si sono moltiplicati i livelli di occupazione di cui sopra per 1/3, nei periodi delle ferie estive (dall'1 al 31 Agosto) e di quelle natalizie (dal 24 Dicembre al 5 Gennaio), considerando lo svolgersi delle ferie in diversi scaglioni, da parte degli occupanti degli edifici.

3.3.2 Illuminazione artificiale

Per determinare gli apporti termici dovuti all'uso dell'impianto di illuminazione si sono considerati i valori massimi di potenza elettrica installata riportati nella tabella seguente, rispettivamente per l'Edificio A, con carichi termici più elevati, e l'Edificio B.

Tab. 3-6. Potenza di illuminazione installata per Edificio A ed Edificio B.

Potenza di illuminazione [W/m ²]		
	Edificio A - alti carichi termici -	Edificio B - bassi carichi termici -
Uffici – Sale Riunioni	18	10
Zone di Circolazione	12	7

In generale, l'illuminazione si considera in funzione nei periodi di occupazione degli ambienti dell'edificio, e per le zone di comunicazione e servizio (corridoi, scale, servizi igienici, etc.) dalle ore 7 alle ore 20, nei giorni di lavoro.

Nelle simulazioni svolte, si è considerato che la potenza per l'illuminazione, effettivamente utilizzata dagli occupanti degli edifici, varia in funzione del livello di illuminazione naturale negli ambienti interni. Pertanto, nei modelli, la percentuale di potenza di illuminazione in uso varia in funzione dell'illuminanza degli ambienti interni, per illuminazione naturale, secondo la funzione "Potenza di illuminazione artificiale" nella figura seguente, che, nel software di simulazione, approssima la curva di riferimento, ricavata da studi di misure ed osservazioni sul campo, condotti su edifici ad uso uffici in Francia [ALESSANDRINI.2006].

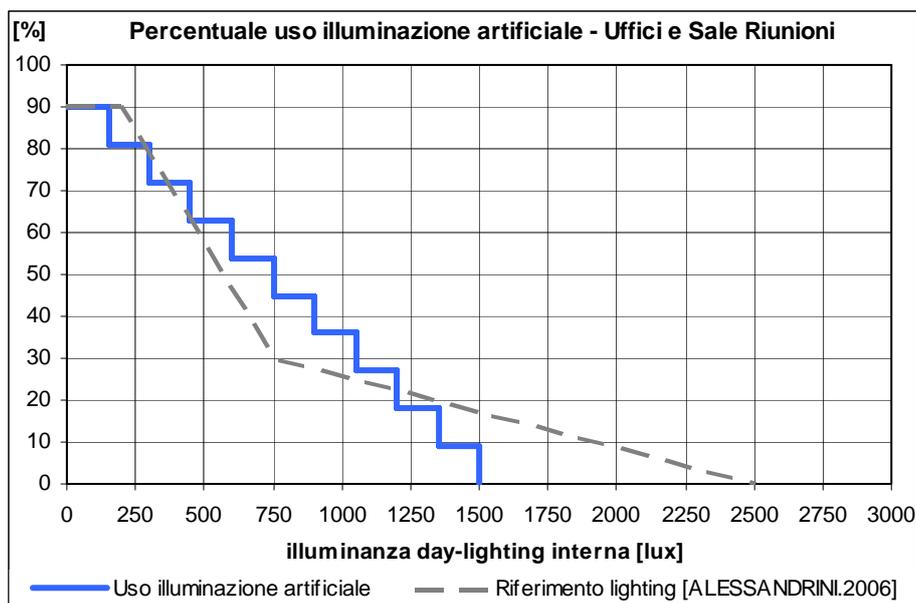


Fig. 3-4. Percentuale di potenza di illuminazione artificiale impiegata, in funzione dell'illuminanza per illuminazione naturale degli ambienti interni.

Per mezzo di questo algoritmo di controllo, nelle simulazioni, vengono valutati anche gli effetti termici di un eventuale uso maggiore dell'illuminazione artificiale, dovuto all'adozione di sistemi di controllo solare o alla sostituzione degli infissi esterni.

3.3.3 Apparecchiature elettriche

Per gli apporti termici dovuti all'uso delle apparecchiature elettriche (computer, stampanti, macchinari fotocopiatrici, etc.) si sono considerati i valori massimi riportati nella tabella seguente, rispettivamente per l'Edificio A, con carichi termici più elevati, e l'Edificio B.

Tab. 3-7. Apporti termici massimi per apparecchiature elettriche per Edificio A ed Edificio B.

Apporti termici massimi per apparecchiature elettriche [W/m ²]		
	Edificio A - alti carichi termici -	Edificio B - bassi carichi termici -
Uffici	15	7
Sale Riunioni	10	(non presente)
Zone di Circolazione	0	0

I valori massimi di potenza termica rilasciata vengono moltiplicati per i valori espressi nella figura seguente, che rappresentano la frazione d'uso delle apparecchiature elettriche nelle diverse ore della giornata, tenuto conto delle variazioni nelle attività e nell'occupazione degli ambienti.

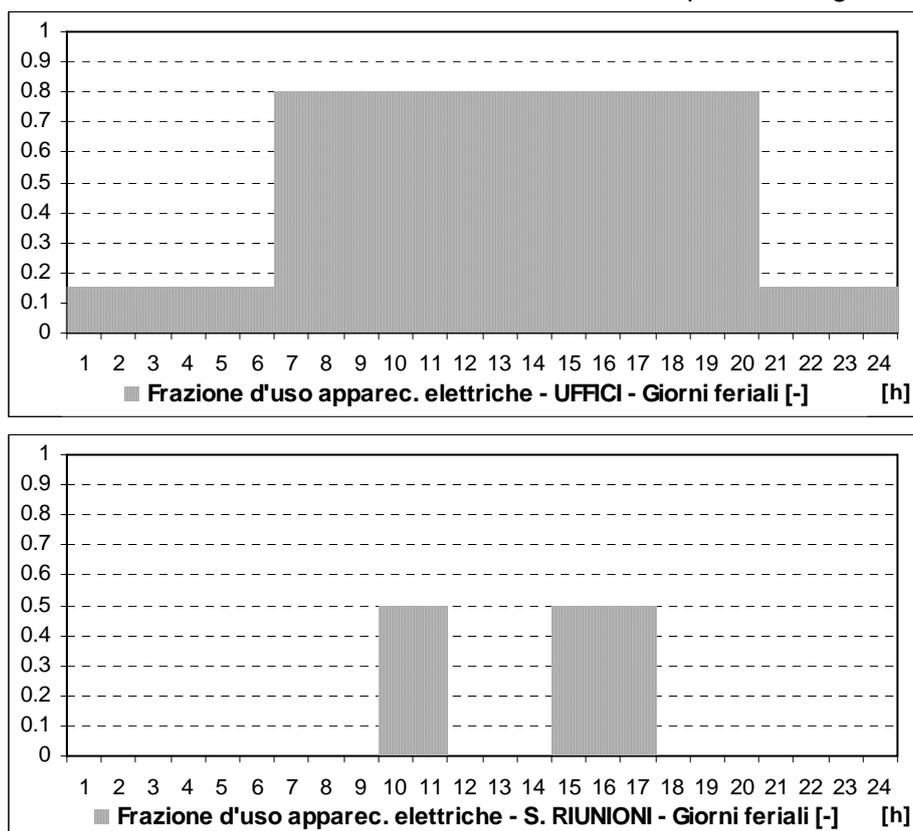


Fig. 3-5. Frazioni d'uso delle apparecchiature elettriche nei giorni feriali, per gli uffici e le sale riunioni.

3.3.4 Riepilogo degli apporti termici interni

Tab. 3-8. Riepilogo dei valori massimi degli apporti termici interni.

Apporti termici interni – Valori massimi – Riepilogo [W/m ²]						
	Edificio A - alti carichi termici -			Edificio B - bassi carichi termici -		
	Uffici	Sale Riunioni	Zone di Circolazione	Uffici	Sale Riunioni	Zone di Circolazione
persone	8.75	30.00	0.00	8.75	non presente	0.00
illuminazione	16.20	16.20	10.80	9.00	non presente	6.30
apparecchiature	15.00	10.00	0.00	7.00	non presente	0.00
TOTALE	39.95	56.20	10.80	24.75	-	6.30

3.4 Protezioni solari

Per i modelli base di riferimento, degli edifici A e B, si sono applicate delle schermature solari costituite da tende alla veneziana, completamente opache, di colore mediamente scuro, posizionate in corrispondenza delle finestre, verso l'ambiente interno.

Dispositivi di controllo solare con queste caratteristiche fisiche portano ad un fattore solare circa pari a 0.6, calcolato secondo il metodo indicato nella norma [UNI EN 13363-1:2004].

Questa tipologia di tenda può essere rappresentativa dei più comuni sistemi di schermatura adottati negli edifici ad uffici in Italia.

Nelle simulazioni svolte, si è scelto di rappresentare un controllo realistico dei sistemi di schermatura solare. Pertanto le tende sono controllate manualmente dagli utenti dell'edificio per proteggersi da un eccessivo livello di illuminazione o da fenomeni di abbagliamento visivo dovute all'illuminazione naturale.

Nelle simulazioni la percentuale di schermature solari attive varia secondo la funzione "Uso di sistemi di controllo solare", rappresentata di seguito, che, nel software di simulazione, approssima la curva di riferimento, ricavata da studi di misure ed osservazioni sul campo, condotti su edifici ad uso uffici in Francia [ALESSANDRINI.2006], per l'uso delle schermature solari da parte degli utenti.

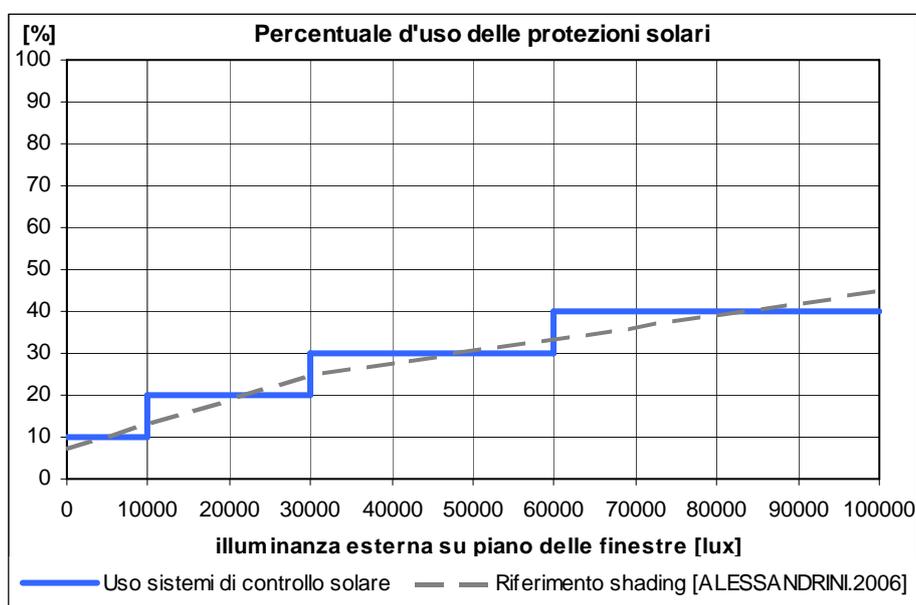


Fig. 3-6. Percentuale di impiego delle tende a veneziana, in funzione dell'illuminanza esterna, calcolata in corrispondenza della superficie esterna della singola finestra corrispondente.

Le tende vengono utilizzate secondo la funzione di cui sopra, solo durante le ore in cui c'è occupazione nell'edificio.

3.5 Flussi d'aria

3.5.1 Ventilazione meccanica

Gli edifici considerati sono dotato di impianto di ventilazione meccanica in funzione nelle ore di occupazione dell'edificio, nei giorni lavorativi, dalle ore 7 alle ore 21.

L'impianto fornisce le portate riportate di seguito, allo scopo di garantire le condizioni di igiene dell'aria interna.

- per gli uffici 39.6 m³/h persona,
- per le sale riunioni 36.0 m³/h persona.

Per i livelli di affollamento considerati, questi valori portano ai seguenti valori di numero di ricambi d'aria all'ora.

- per gli uffici 1.14 1/h,
- per le zone di servizio 1.14 1/h,
- per le sale riunioni 3.67 1/h.

Questi valori delle portate di ventilazioni sono in linea con i valori medi per uffici e sale riunioni, indicati nello Standard Europeo [EN 15251:2007-08], per edifici appartenenti alla Categoria III di comfort, categoria tipica per edifici esistenti.

3.5.2 Infiltrazioni d'aria

Negli edifici base, di riferimento, le infiltrazioni d'aria attraverso l'involucro edilizio sono state mediamente assunte pari a 2.5 volumi all'ora per una differenza di pressione pari a 50 Pa, che corrispondono a circa 0.6 volumi all'ora in condizioni medie (per una differenza di pressioni di riferimento di 4 Pa).

Questi valori di infiltrazione d'aria corrispondono ad una classe di tenuta all'aria media dell'involucro edilizio secondo dallo Standard Europeo [prEN 12831-2000-08 E].

3.6 Impianto di climatizzazione

Nei modelli di edifici simulati si è rappresentato un impianto di climatizzazione ad aria, il quale controlla la temperatura degli ambienti climatizzati. L'impianto funziona con completo ricircolo dell'aria (il rinnovo dell'aria interna viene simulato per mezzo del sistema di ventilazione meccanica di cui sopra).

L'impianto di climatizzazione immette o asporta energia dagli ambienti interni nei periodi e con le temperature dell'aria di set-point degli ambienti interni indicati nella tabella di seguito.

Tab. 3-9. Impianto di climatizzazione: orari di funzionamento e temperature di set-point.

IMPIANTO DI CLIMATIZZAZIONE: TEMPERATURE DI SET POINT [°C]		
	in ore con occupazione	in ore senza occupazione
riscaldamento	20	10
raffrescamento	26	free floating

Al fine di valutare la richiesta di energia utile (energy need) per riscaldamento e raffrescamento complessiva di tutto l'anno, tenendo conto anche di eventuali periodi di sovra riscaldamento degli ambienti interni in periodo invernale, con conseguente necessità di raffrescare, si è simulato un impianto che consente il riscaldamento e il raffrescamento durante tutto l'anno. Impianti di questo tipo possono essere utilizzati comunemente negli edifici ad uso uffici.

3.7 Prestazioni energetiche degli edifici base

Si presentano i risultati relativi agli edifici base di riferimento (Edificio A ed Edificio B), in termini di fabbisogni di energia utile (energy need)^V per il riscaldamento e il raffrescamento.

Tab. 3-10. Fabbisogni di energia utile dell'Edificio A.

FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE (ENERGY NEED)			
Edificio:	Edificio A: Grandi Dimensioni - Alti Carichi Termici		
Clima:	MILANO	ROMA	PALERMO
	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]
RISCALDAMENTO	51.91	26.32	9.13
RAFFRESCAMENTO	17.94	26.76	38.78

Tab. 3-11. Fabbisogni di energia utile dell'Edificio B.

FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE (ENERGY NEED)			
Edificio:	Edificio B: Medie Dimensioni - Bassi Carichi Termici		
Clima:	MILANO	ROMA	PALERMO
	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]
RISCALDAMENTO	67.01	32.30	10.43
RAFFRESCAMENTO	8.07	14.01	24.06

^V "energy need for heating or cooling: heat to be delivered to or extracted from a conditioned space to maintain the intended temperature conditions during a given period of time" come definito in [prEN 15603:2007: E]

4 Azioni di miglioramento delle prestazioni energetiche

Nelle tabelle riportate di seguito, nel presente paragrafo, vengono descritte le variazioni apportate rispettivamente agli edifici base, di riferimento (Edificio A ed Edificio B).

Ciascuna famiglia di variazioni, indicata di seguito con il termine "AZIONE" (ad es. "Isolamento termico sup. opache", "Recupero del calore", etc.) sono state applicate singolarmente agli edifici base. Si è valutato così l'effetto termico che ciascuna azione, attuata singolarmente, ha sull'edificio base considerato.

Nelle tabelle seguenti, la capacità termica realmente utile ai fini energetici dell'edificio è espressa per unità di superficie calpestabile, in pianta, dell'edificio, con la grandezza Wh/m²K.

I valori di permeabilità all'aria dell'involucro sono espressi per una differenza di pressione tra ambiente interno ed esterno di 50 Pa (valore di riferimento).

Tab. 4-1. Variazioni applicate singolarmente ad Edificio A – clima di Milano.

Clima: **MILANO**

Modello: **Edificio A: Grandi dimensioni - Ufficio con alti carichi termici interni**

Codice: MIN

AZIONE		VARIAZIONI			
CODICE	DESCRIZIONE	CODICE	NOTE	VALORI	U.M.
1	Isolamento termico sup. opache	-	pareti esterne	0.80	W/m ² K
		-	copertura	1.40	W/m ² K
		-	solaio su terreno	2.00	W/m ² K
		o	pareti esterne	0.34	W/m ² K
		o	copertura	0.30	W/m ² K
		o	solaio su terreno	0.33	W/m ² K
		+	pareti esterne	0.20	W/m ² K
		+	copertura	0.20	W/m ² K
		+	solaio su terreno	0.20	W/m ² K
2	Isolamento termico sup. trasparenti	-	finestre	3.00	W/m ² K
		o	finestre	2.20	W/m ² K
		+	finestre	1.09	W/m ² K
3	Permeabilità dell'involucro	-	n ₅₀	2.50	1/h
		o	n ₅₀	1.00	1/h
		+	n ₅₀	0.60	1/h
4	Recupero del calore	-	efficienza recuperatore	0	%
		o	efficienza recuperatore	60	%
		+	efficienza recuperatore	80	%
5	Controllo solare (manuale)	-	SF	0.60	-
		o	SF	0.30	-
		+	SF	0.10	-
6	Riflettanza involucro	-	-	0.10	-
		o	-	0.50	-
		+	-	0.70	-
7	Massa termica	-	capacità termica efficace	52.36	Wh/m ² K
		o	capacità termica efficace	58.59	Wh/m ² K
		+	capacità termica efficace	63.24	Wh/m ² K
8	Ventilazione naturale (night-cooling)	-	-	0.00	1/h
		o	-	1.75	1/h
		+	-	6.00	1/h

Tab. 4-2. Variazioni applicate singolarmente ad Edificio A – clima di Roma.

Clima: ROMA

Modello: Edificio A: Grandi dimensioni - Ufficio con alti carichi termici interni

Codice: MIN

AZIONE		VARIAZIONI			
CODICE	DESCRIZIONE	CODICE	NOTE	VALORI	U.M.
1	Isolamento termico sup. opache	-	pareti esterne	0.90	W/m ² K
		-	copertura	2.10	W/m ² K
		-	solaio su terreno	2.00	W/m ² K
		o	pareti esterne	0.36	W/m ² K
		o	copertura	0.32	W/m ² K
		o	solaio su terreno	0.36	W/m ² K
		+	pareti esterne	0.20	W/m ² K
		+	copertura	0.20	W/m ² K
		+	solaio su terreno	0.20	W/m ² K
2	Isolamento termico sup. trasparenti	-	finestre	5.80	W/m ² K
		o	finestre	2.40	W/m ² K
		+	finestre	1.09	W/m ² K
3	Permeabilità dell'involucro	-	n ₅₀	2.50	1/h
		o	n ₅₀	1.00	1/h
		+	n ₅₀	0.60	1/h
4	Recupero del calore	-	efficienza recuperatore	0	%
		o	efficienza recuperatore	60	%
		+	efficienza recuperatore	80	%
5	Controllo solare (manuale)	-	SF	0.60	-
		o	SF	0.30	-
		+	SF	0.10	-
6	Riflettanza involucro	-	-	0.10	-
		o	-	0.50	-
		+	-	0.70	-
7	Massa termica	-	capacità termica efficace	51.99	Wh/m ² K
		o	capacità termica efficace	58.22	Wh/m ² K
		+	capacità termica efficace	62.86	Wh/m ² K
8	Ventilazione naturale (night-cooling)	-	-	0.00	1/h
		o	-	1.75	1/h
		+	-	6.00	1/h

Tab. 4-3. Variazioni applicate singolarmente ad Edificio A – clima di Palermo.

Clima: **PALERMO**

Modello: **Edificio A: Grandi dimensioni - Ufficio con alti carichi termici interni**

Codice: MIN

AZIONE		VARIAZIONI			
CODICE	DESCRIZIONE	CODICE	NOTE	VALORI	U.M.
1	Isolamento termico sup. opache	-	pareti esterne	0.90	W/m ² K
		-	copertura	2.10	W/m ² K
		-	solaio su terreno	2.00	W/m ² K
		o	pareti esterne	0.48	W/m ² K
		o	copertura	0.38	W/m ² K
		o	solaio su terreno	0.49	W/m ² K
		+	pareti esterne	0.20	W/m ² K
		+	copertura	0.20	W/m ² K
		+	solaio su terreno	0.20	W/m ² K
2	Isolamento termico sup. trasparenti	-	finestre	5.80	W/m ² K
		o	finestre	3.00	W/m ² K
		+	finestre	1.09	W/m ² K
3	Permeabilità dell'involucro	-	n ₅₀	2.50	1/h
		o	n ₅₀	1.00	1/h
		+	n ₅₀	0.60	1/h
4	Recupero del calore	-	efficienza recuperatore	0	%
		o	efficienza recuperatore	60	%
		+	efficienza recuperatore	80	%
5	Controllo solare (manuale)	-	SF	0.60	-
		o	SF	0.30	-
		+	SF	0.10	-
6	Riflettanza involucro	-	-	0.10	-
		o	-	0.50	-
		+	-	0.70	-
7	Massa termica	-	capacità termica efficace	51.99	Wh/m ² K
		o	capacità termica efficace	58.22	Wh/m ² K
		+	capacità termica efficace	62.86	Wh/m ² K
8	Ventilazione naturale (night-cooling)	-	-	0.00	1/h
		o	-	1.75	1/h
		+	-	6.00	1/h

Tab. 4-4. Variazioni applicate singolarmente ad Edificio B – clima di Milano.

Clima: **MILANO**

Modello: **Edificio B: Medie dimensioni - Ufficio con bassi carichi termici interni**

Codice: **PORLL**

AZIONE		VARIAZIONI			
CODICE	DESCRIZIONE	CODICE	NOTE	VALORI	U.M.
1	Isolamento termico sup. opache	-	pareti esterne	0.80	W/m ² K
		-	copertura	1.40	W/m ² K
		-	solaio su terreno	2.00	W/m ² K
		o	pareti esterne	0.34	W/m ² K
		o	copertura	0.30	W/m ² K
		o	solaio su terreno	0.33	W/m ² K
		+	pareti esterne	0.20	W/m ² K
		+	copertura	0.20	W/m ² K
		+	solaio su terreno	0.20	W/m ² K
2	Isolamento termico sup. trasparenti	-	finestre	3.00	W/m ² K
		o	finestre	2.20	W/m ² K
		+	finestre	1.09	W/m ² K
3	Permeabilità dell'involucro	-	n ₅₀	2.50	1/h
		o	n ₅₀	1.00	1/h
		+	n ₅₀	0.60	1/h
4	Recupero del calore	-	efficienza recuperatore	0	%
		o	efficienza recuperatore	60	%
		+	efficienza recuperatore	80	%
5	Controllo solare (manuale)	-	SF	0.60	-
		o	SF	0.30	-
		+	SF	0.10	-
6	Riflettanza involucro	-	-	0.10	-
		o	-	0.50	-
		+	-	0.70	-
7	Massa termica	-	capacità termica efficace	46.40	Wh/m ² K
		o	capacità termica efficace	50.91	Wh/m ² K
		+	capacità termica efficace	54.77	Wh/m ² K
8	Ventilazione naturale (night-cooling)	-	-	0.00	1/h
		o	-	1.75	1/h
		+	-	6.00	1/h

Tab. 4-5. Variazioni applicate singolarmente ad Edificio B – clima di Roma.

Clima: ROMA

Modello: Edificio B: Medie dimensioni - Ufficio con bassi carichi termici interni

Codice: PORLL

AZIONE		VARIAZIONI			
CODICE	DESCRIZIONE	CODICE	NOTE	VALORI	U.M.
1	Isolamento termico sup. opache	-	pareti esterne	0.90	W/m ² K
		-	copertura	2.10	W/m ² K
		-	solaio su terreno	2.00	W/m ² K
		o	pareti esterne	0.36	W/m ² K
		o	copertura	0.32	W/m ² K
		o	solaio su terreno	0.36	W/m ² K
		+	pareti esterne	0.20	W/m ² K
		+	copertura	0.20	W/m ² K
		+	solaio su terreno	0.20	W/m ² K
2	Isolamento termico sup. trasparenti	-	finestre	5.80	W/m ² K
		o	finestre	2.40	W/m ² K
		+	finestre	1.09	W/m ² K
3	Permeabilità dell'involucro	-	n ₅₀	2.50	1/h
		o	n ₅₀	1.00	1/h
		+	n ₅₀	0.60	1/h
4	Recupero del calore	-	efficienza recuperatore	0	%
		o	efficienza recuperatore	60	%
		+	efficienza recuperatore	80	%
5	Controllo solare (manuale)	-	SF	0.60	-
		o	SF	0.30	-
		+	SF	0.10	-
6	Riflettanza involucro	-	-	0.10	-
		o	-	0.50	-
		+	-	0.70	-
7	Massa termica	-	capacità termica efficace	46.38	Wh/m ² K
		o	capacità termica efficace	50.89	Wh/m ² K
		+	capacità termica efficace	54.79	Wh/m ² K
8	Ventilazione naturale (night-cooling)	-	-	0.00	1/h
		o	-	1.75	1/h
		+	-	6.00	1/h

Tab. 4-6. Variazioni applicate singolarmente ad Edificio B – clima di Palermo.

Clima: **PALERMO**

Modello: **Edificio B: Medie dimensioni - Ufficio con bassi carichi termici interni**

Codice: **PORLL**

AZIONE		VARIAZIONI			
CODICE	DESCRIZIONE	CODICE	NOTE	VALORI	U.M.
1	Isolamento termico sup. opache	-	pareti esterne	0.90	W/m ² K
		-	copertura	2.10	W/m ² K
		-	solaio su terreno	2.00	W/m ² K
		o	pareti esterne	0.48	W/m ² K
		o	copertura	0.38	W/m ² K
		o	solaio su terreno	0.49	W/m ² K
		+	pareti esterne	0.20	W/m ² K
		+	copertura	0.20	W/m ² K
		+	solaio su terreno	0.20	W/m ² K
2	Isolamento termico sup. trasparenti	-	finestre	5.80	W/m ² K
		o	finestre	3.00	W/m ² K
		+	finestre	1.09	W/m ² K
3	Permeabilità dell'involucro	-	n ₅₀	2.50	1/h
		o	n ₅₀	1.00	1/h
		+	n ₅₀	0.60	1/h
4	Recupero del calore	-	efficienza recuperatore	0	%
		o	efficienza recuperatore	60	%
		+	efficienza recuperatore	80	%
5	Controllo solare (manuale)	-	SF	0.60	-
		o	SF	0.30	-
		+	SF	0.10	-
6	Riflettanza involucro	-	-	0.10	-
		o	-	0.50	-
		+	-	0.70	-
7	Massa termica	-	capacità termica efficace	46.38	Wh/m ² K
		o	capacità termica efficace	50.89	Wh/m ² K
		+	capacità termica efficace	54.79	Wh/m ² K
8	Ventilazione naturale (night-cooling)	-	-	0.00	1/h
		o	-	1.75	1/h
		+	-	6.00	1/h

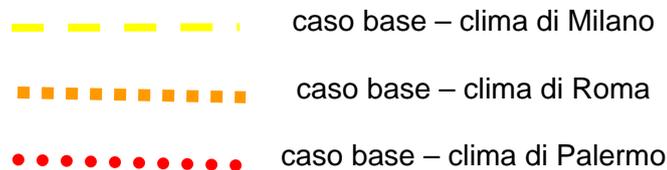
5 Risultati

Nelle pagine seguenti del presente paragrafo, si riportano i principali risultati ottenuti, in termini di stima del fabbisogno di energia utile e del potenziale di risparmio energetico rispetto ai casi di riferimento, applicando singolarmente le diverse azioni di miglioramento energetico.

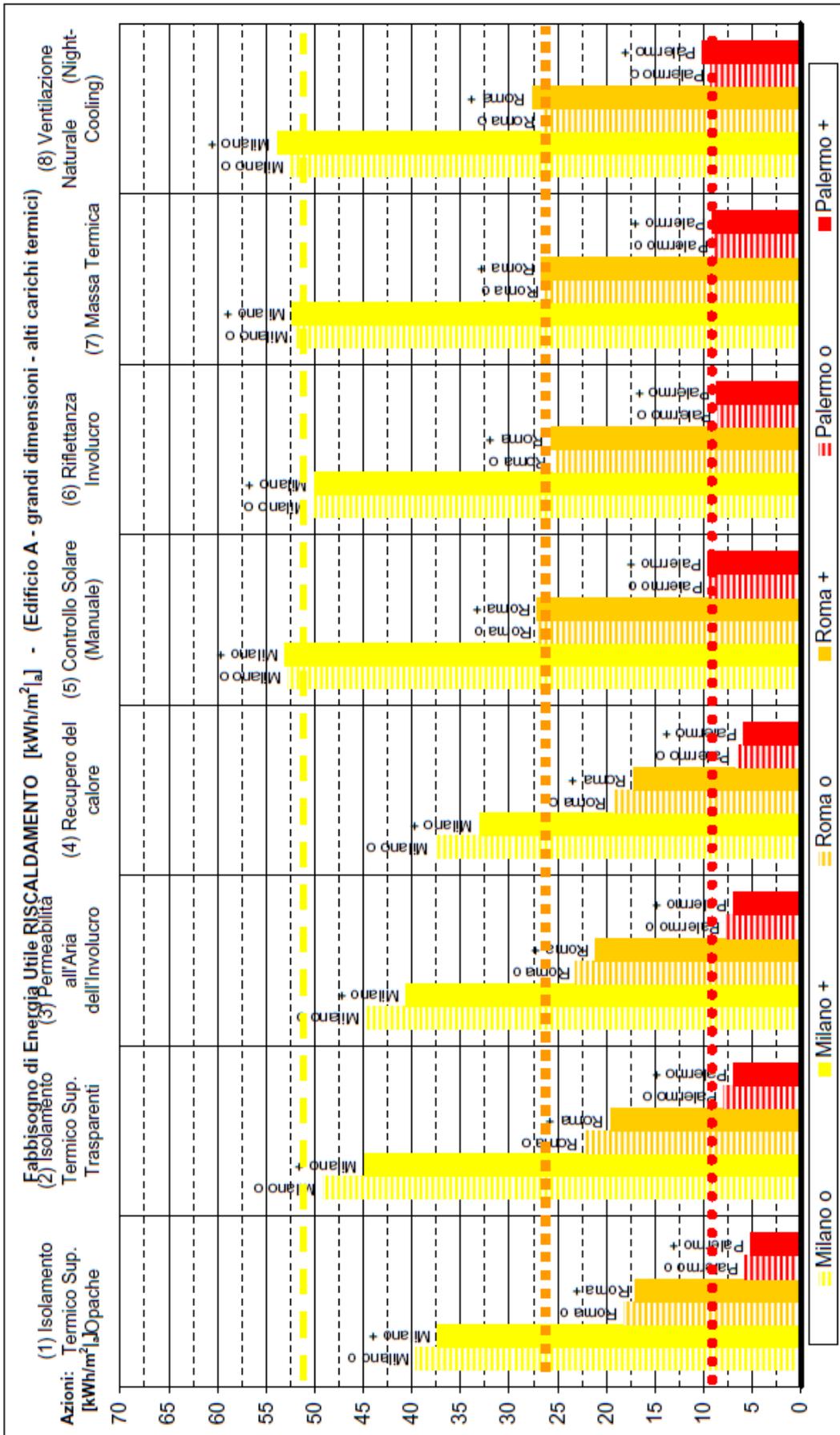
Rispettivamente, per l'Edificio A e l'Edificio B, in termini di

- fabbisogno di energia utile (energy need) – riscaldamento e raffrescamento [$\text{kWh/m}^2|_a$],
- risparmio di energia utile rispetto al caso base corrispondente – riscaldamento e raffrescamento [$\text{kWh/m}^2|_a$],
- risparmio percentuale di energia utile rispetto al caso base corrispondente – riscaldamento e raffrescamento [%]

Nei grafici che presentano i fabbisogni di energia utile in termini assoluti, vengono individuati i valori relativi ai casi base, nei tre diversi climi, secondo la simbologia individuata di seguito.



Successivamente, nell' "Allegato A: risultati numerici", si presentano i risultati in formato di numeri.



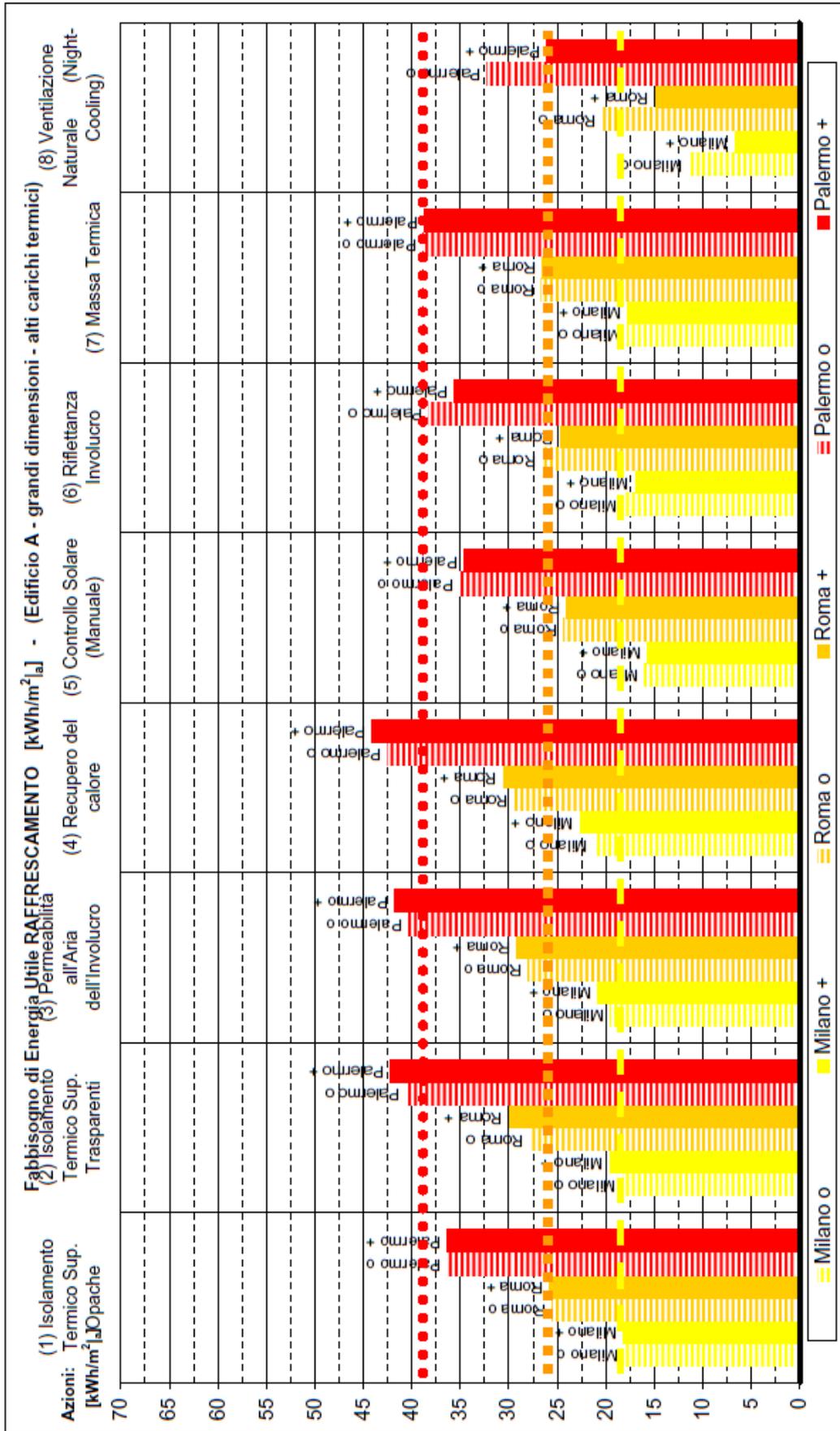


Fig. 5-2.

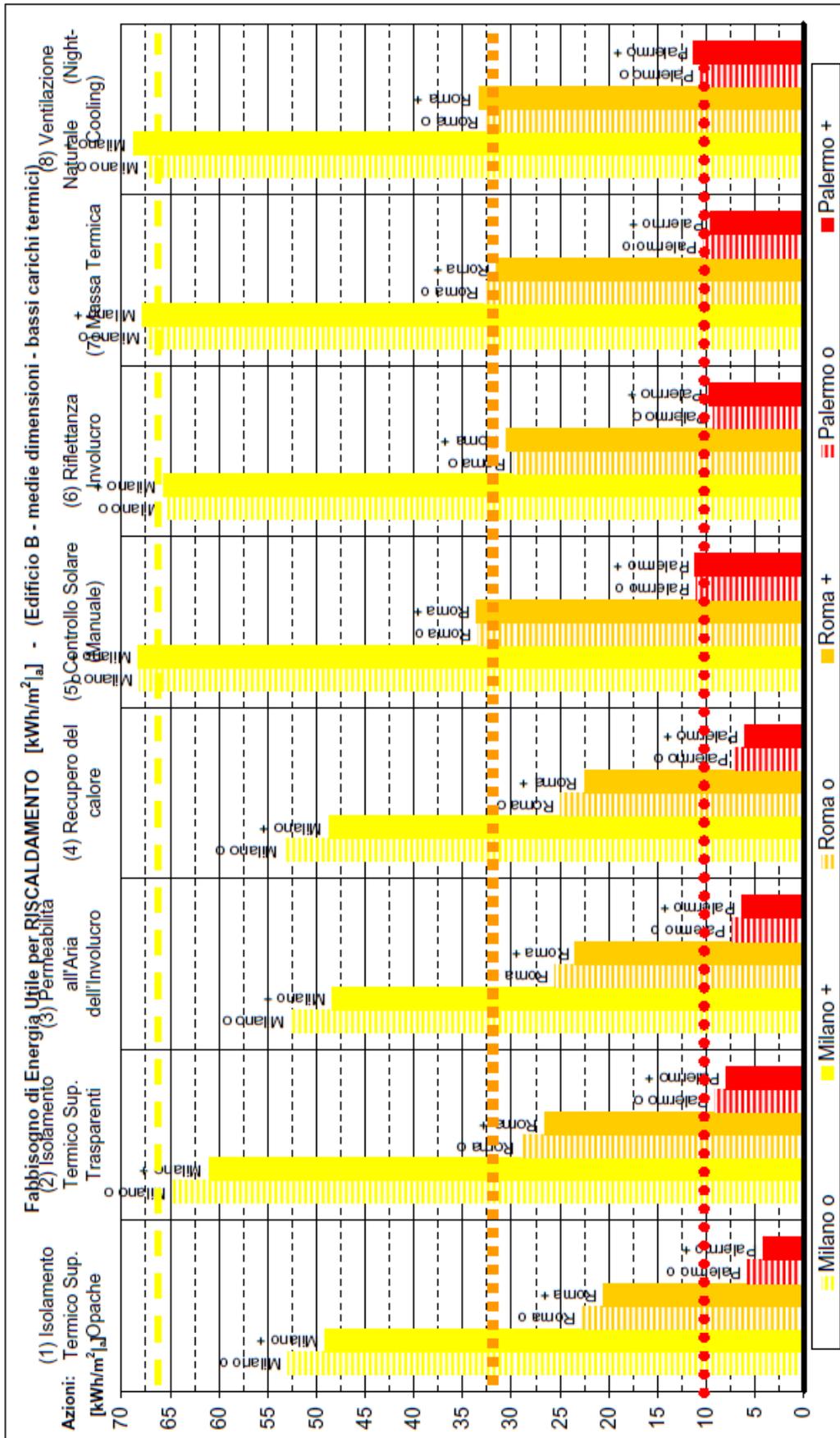


Fig. 5-3.

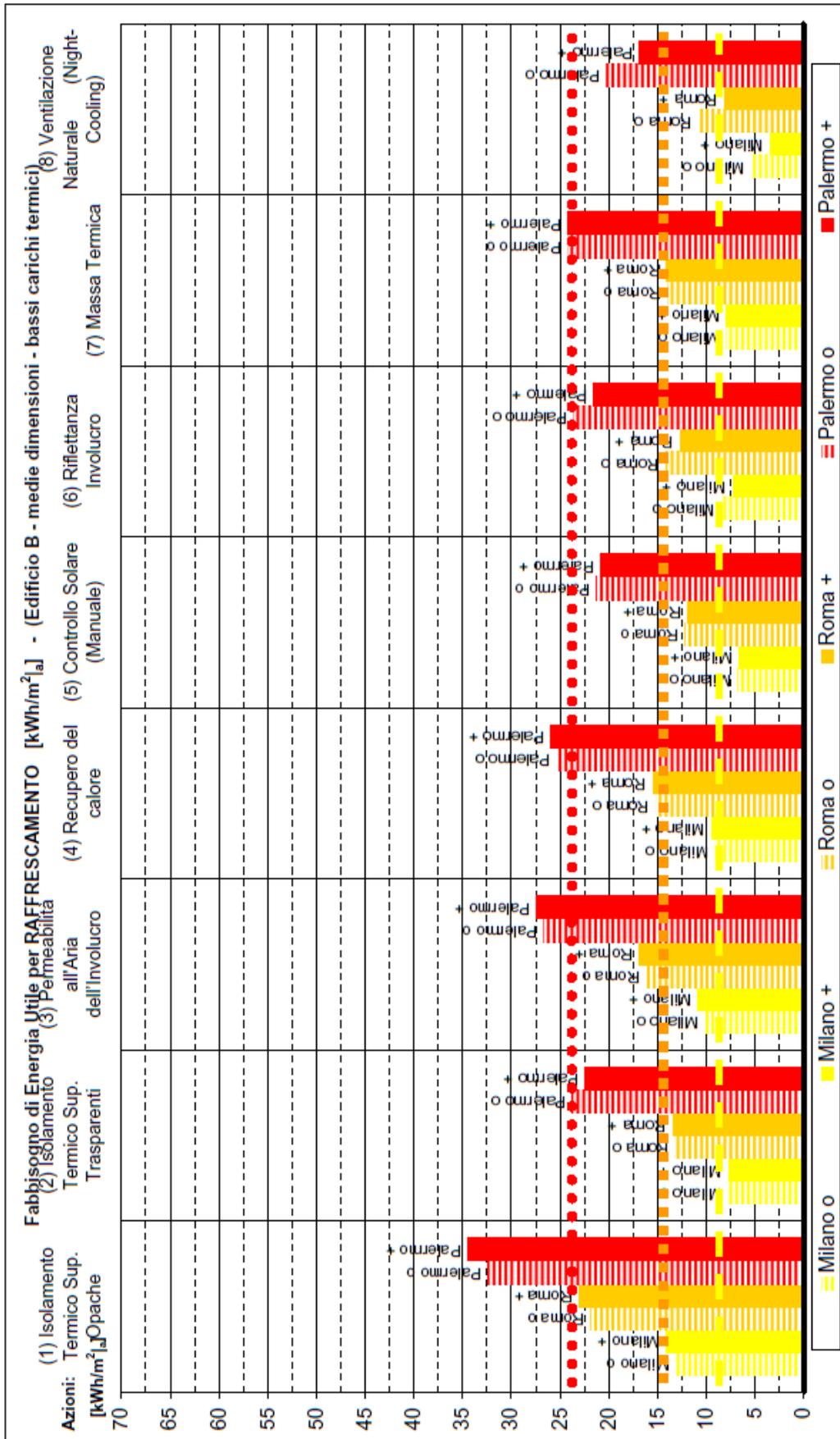


Fig. 5-4.

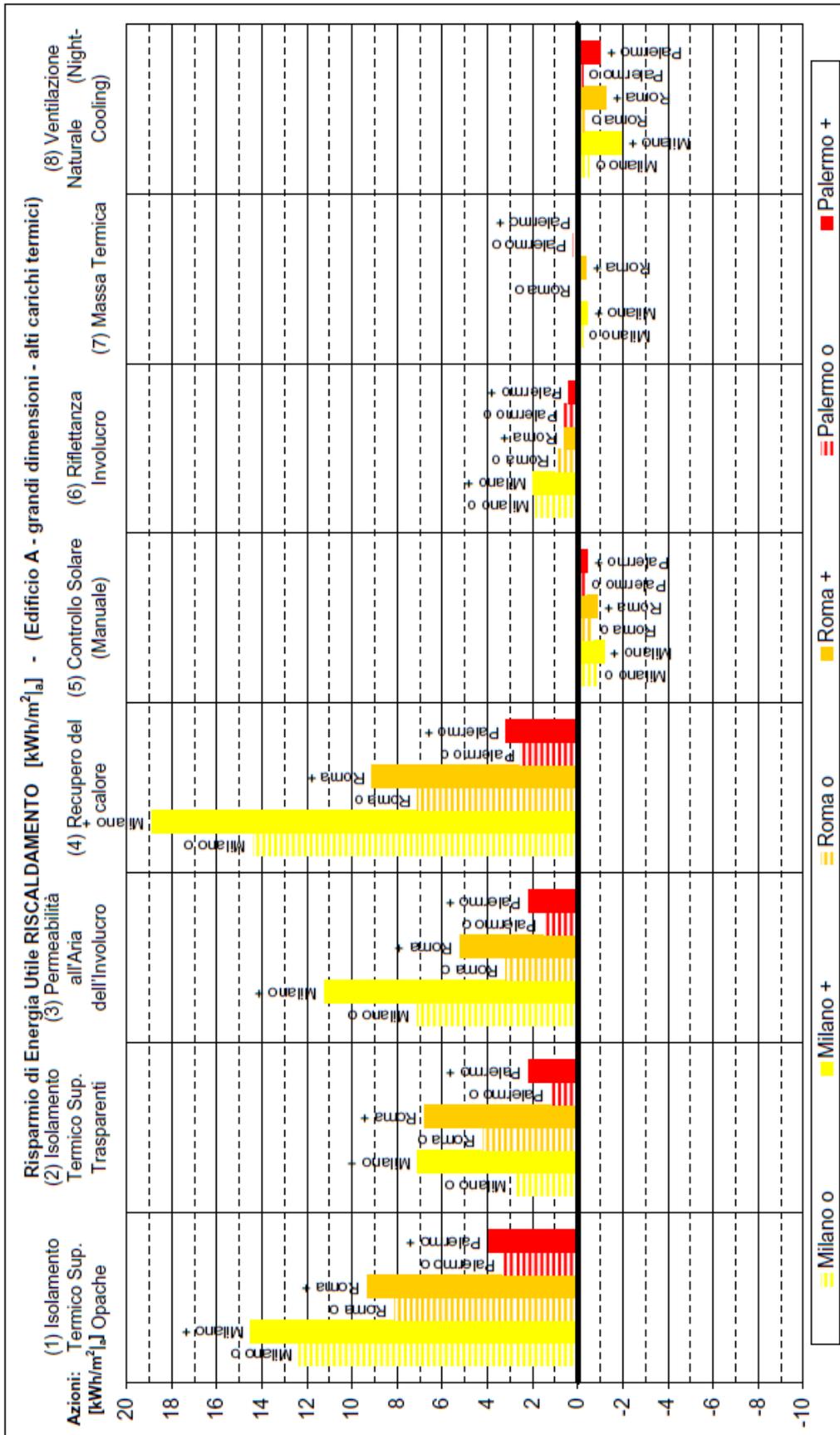


Fig. 5-5.

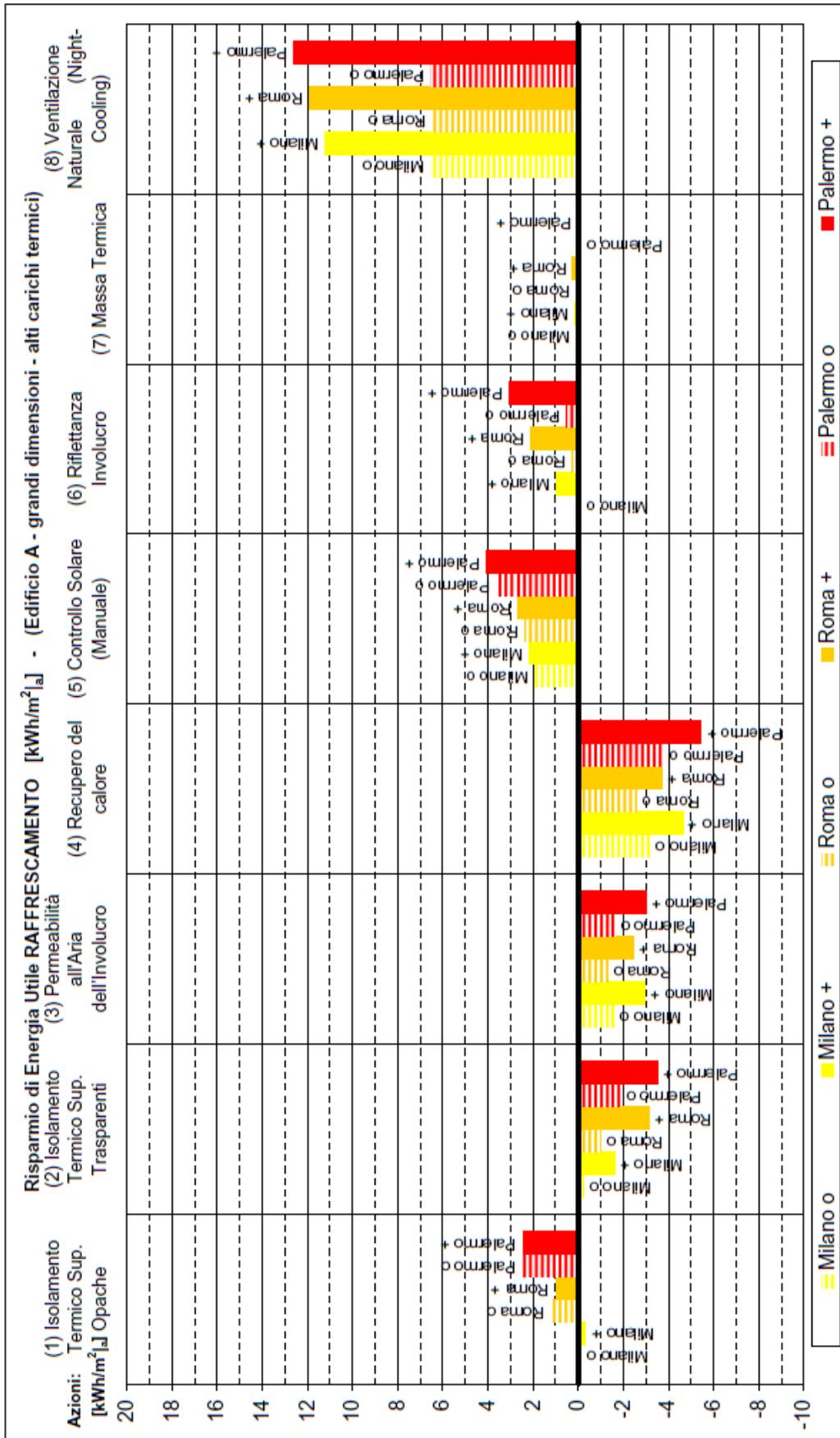


Fig. 5-6.

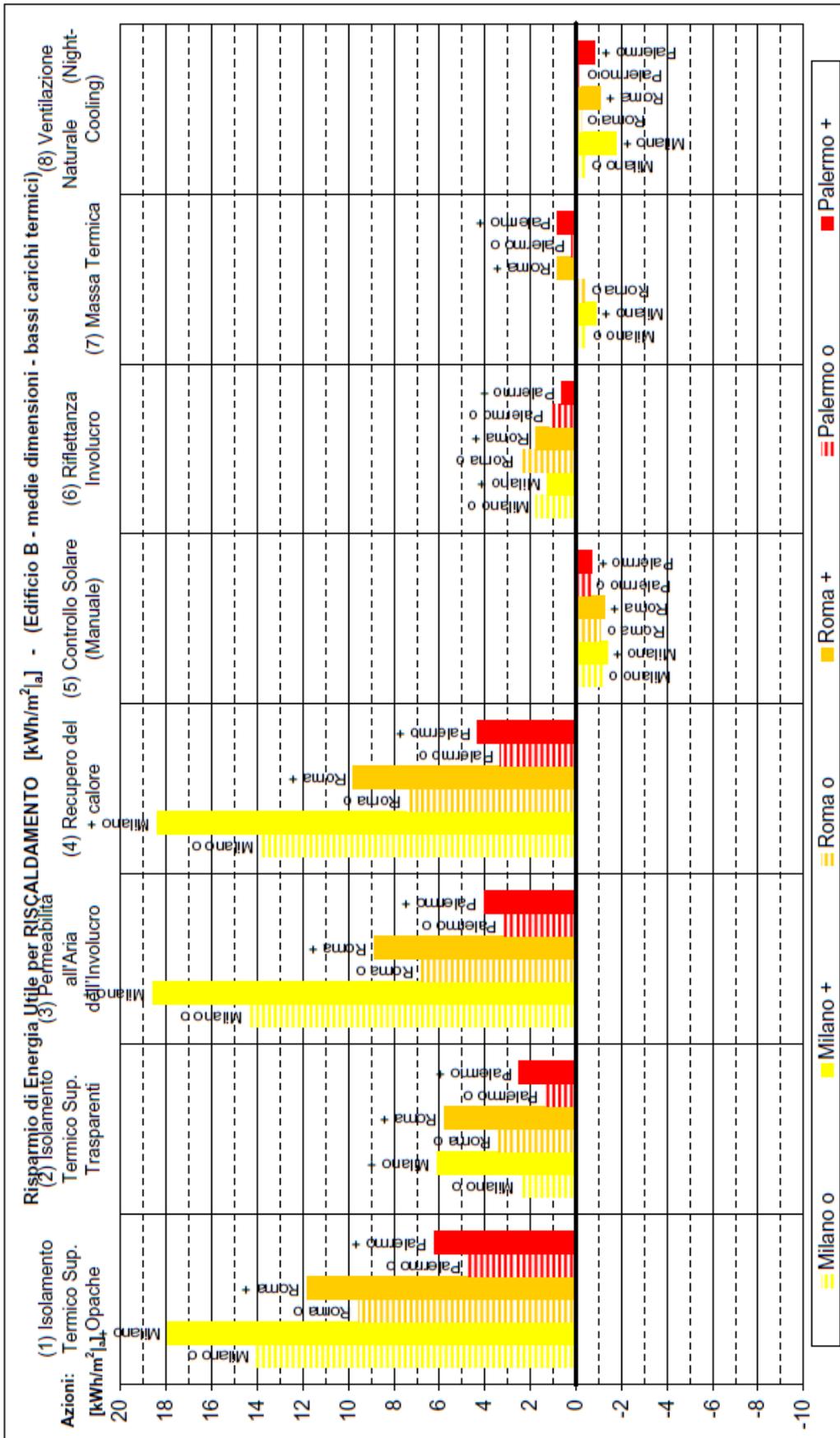


Fig. 5-7.

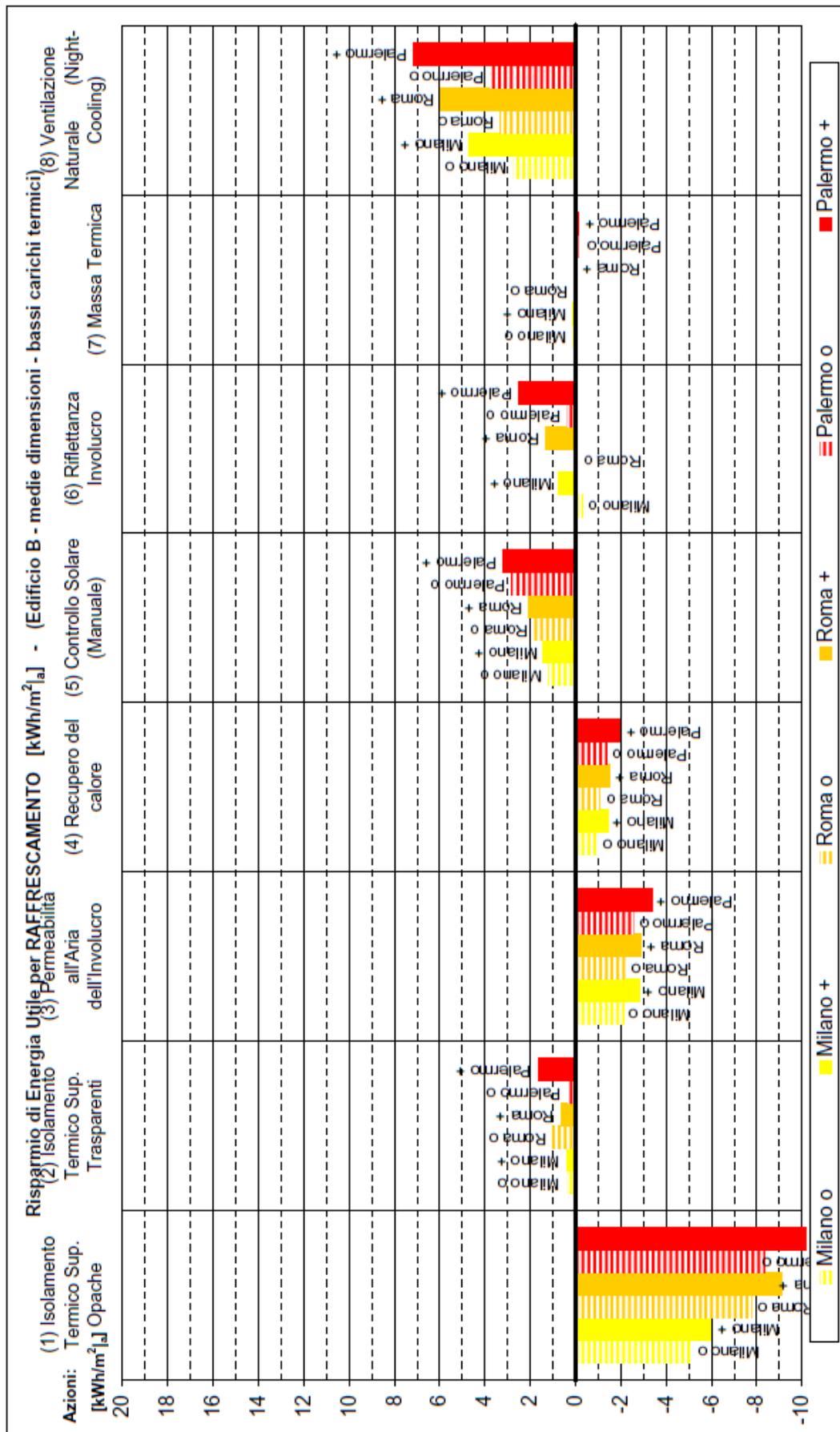


Fig. 5-8.

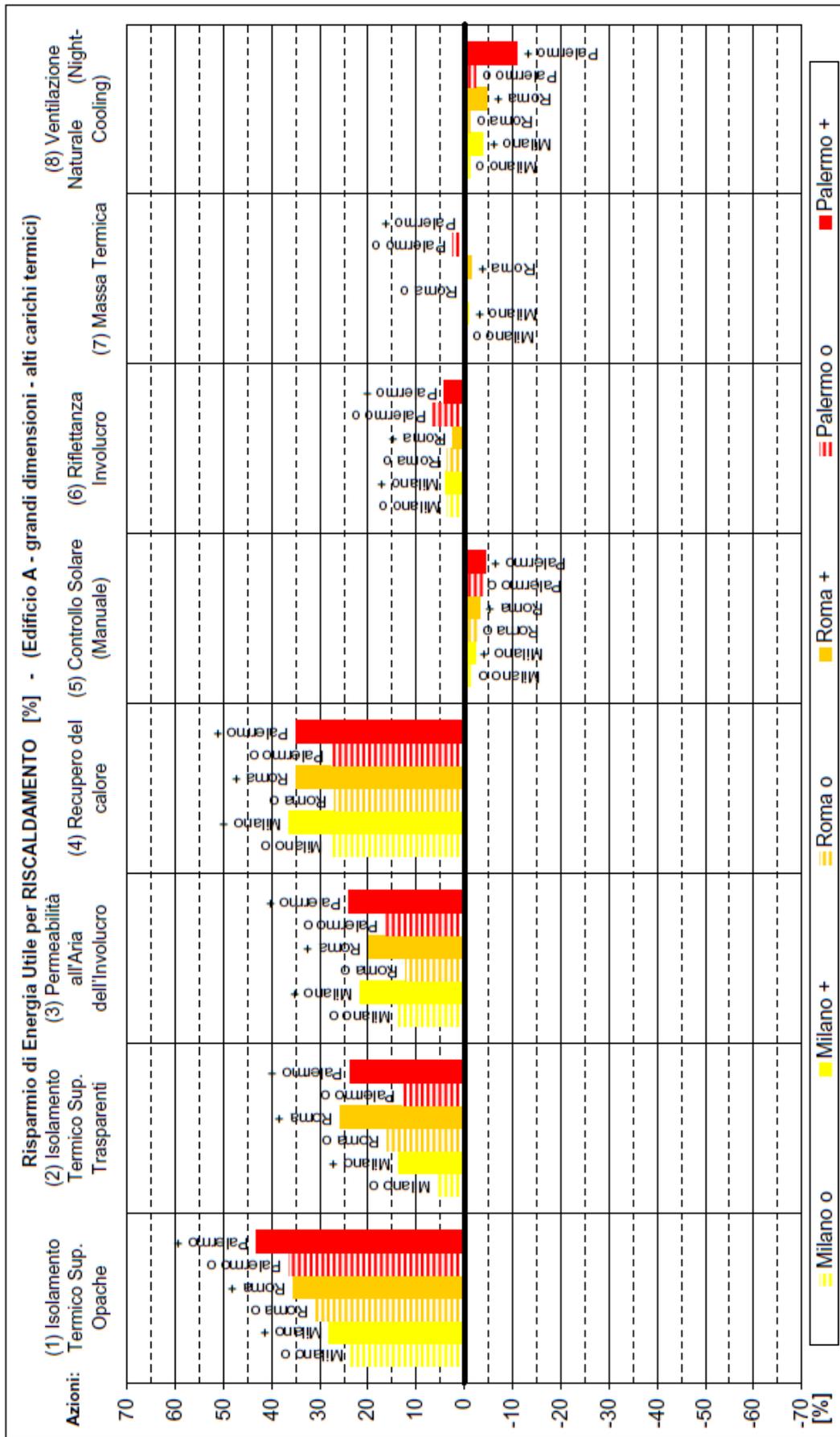


Fig. 5-9.

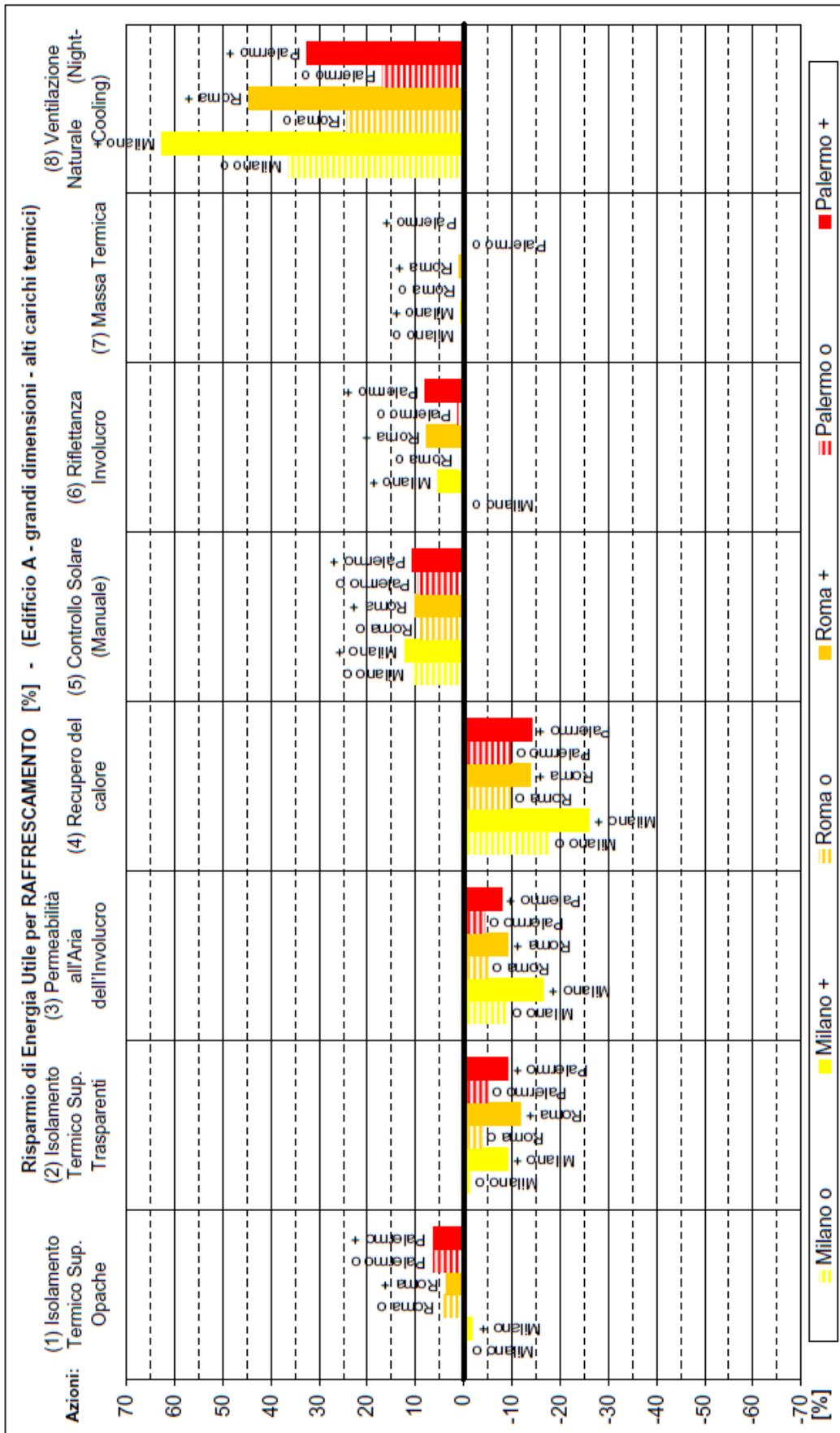


Fig. 5-10.

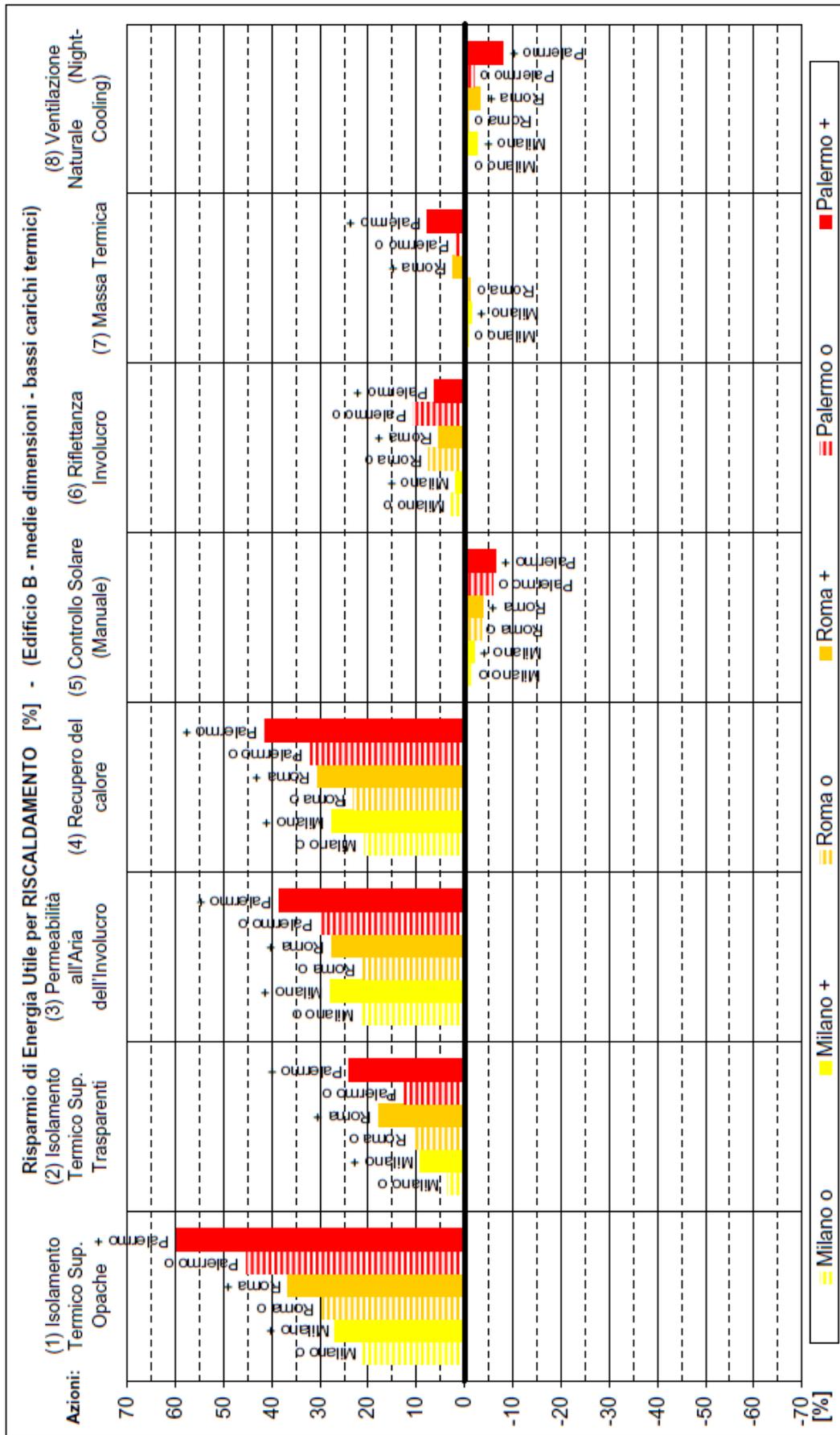


Fig. 5-11.

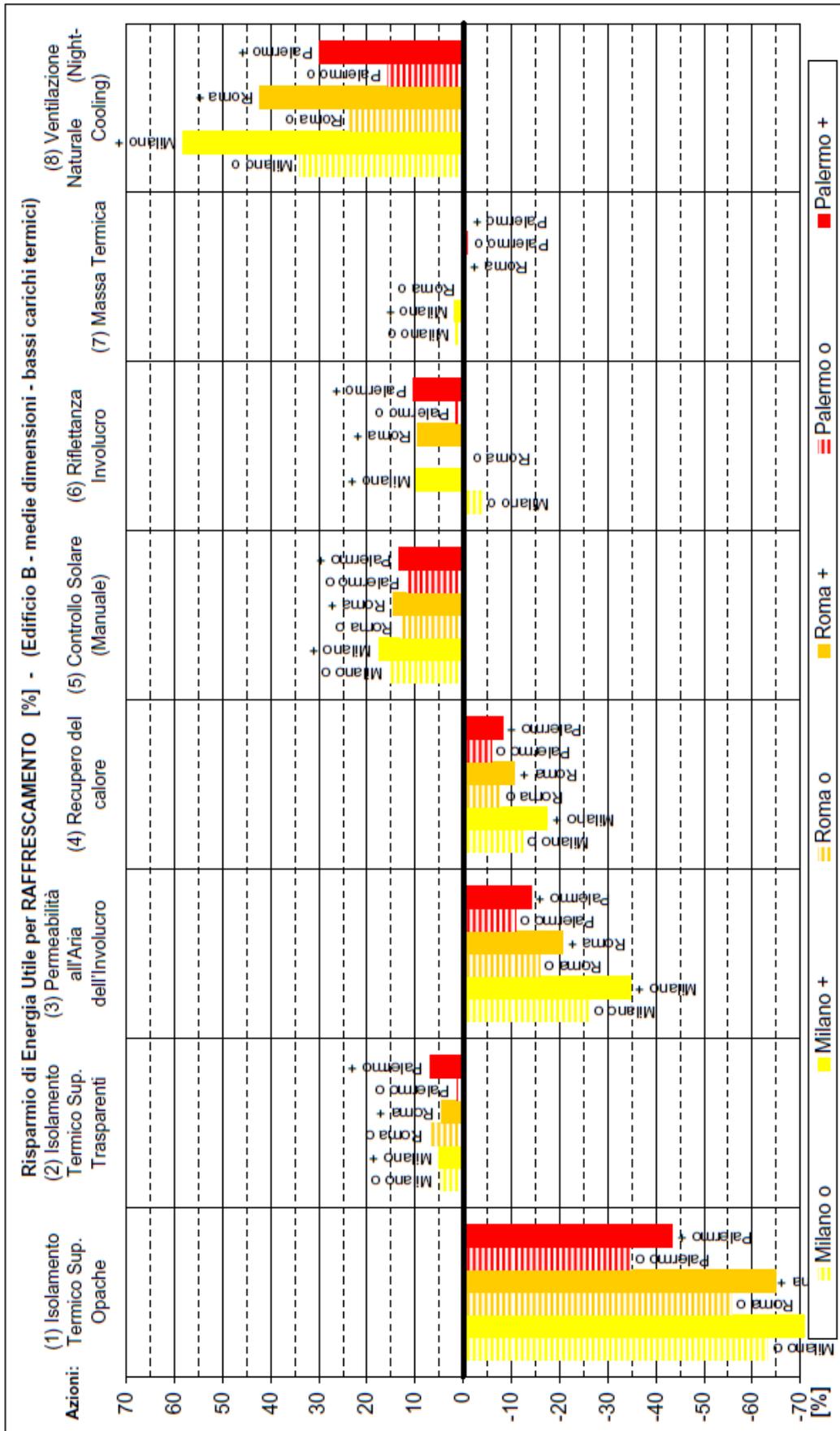


Fig. 5-12.

6 Analisi dei risultati

In generale, dai risultati si vede che il maggiore potenziale di risparmio per riscaldamento è dato dall'aumento dell'isolamento termico delle superfici opache e dell'introduzione del recupero del calore dall'aria di ventilazione (con risparmi di energia utile per il riscaldamento maggiori del 25%, rispetto ai corrispondenti casi base).

Per quanto riguarda il raffrescamento, i potenziali di risparmio più elevati sono dati dall'introduzione della ventilazione notturna e dalle misure di controllo solare. Introducendo la ventilazione notturna nel periodo di raffrescamento si può ridurre la richiesta di energia utile in percentuali che vanno dal 15 al 35%, con il livello medio ("o") di ventilazione notturna, e dal 30 al 65 % con il livello alto ("+"). Che corrispondono a risparmi che vanno da 3 a quasi 7 kWh/m²_a, con il livello medio ("o"), e da 5 a quasi 13 kWh/m²_a con il livello alto ("+").

Si può osservare come un maggiore isolamento delle pareti opache porti a innegabili benefici sul fabbisogno invernale, mentre sembrerebbe avere un'effetto non univoco sull'andamento del fabbisogno estivo.

In entrambi gli edifici e per tutti i climi analizzati, il fabbisogno invernale può essere ridotto di molto attraverso un maggiore isolamento dell'involucro opaco, anche in edifici con un rapporto superficie disperdente su volume climatizzato relativamente basso come quelli considerati. Il valore di trasmittanza del caso base è piuttosto elevato e in linea con quello del parco edilizio italiano. Il primo miglioramento porta il valore della trasmittanza ai limiti recentemente imposti attraverso il Dlgs 311, che saranno in vigore a partire dal 2010 per gli edifici di nuova realizzazione. Con questo miglioramento si ottengono risparmi che vanno dal 20% fino al 35%, corrispondenti a riduzioni di energia utile per il riscaldamento compresi tra 3 e 14 kWh/m²_a.

Questi risparmi possono essere incrementati portando la trasmittanza a 0,2 W/m²K, valore 4-5 volte inferiore a quello di partenza, raggiungendo risparmi percentuali che variano tra il 25 e il 60%, corrispondenti a riduzioni di energia utile per il riscaldamento compresi tra 4 e 18 kWh/m²_a.

Per quanto riguarda, invece, il periodo estivo, si osserva che nel caso dell'edificio con alti carichi termici (Edificio A) un incremento del livello di isolamento porta, per i climi di Roma e Palermo, ad una limitata variazione del fabbisogno per il raffrescamento, mentre per il clima di Milano il fabbisogno rimane circa costante. I risultati mostrano, per l'edificio con bassi carichi termici (Edificio B), un andamento diverso: l'aumento dell'isolamento porta ad un aumento sensibile del fabbisogno per il raffrescamento.

Questa differenza di andamento può in parte essere spiegato con le differenze esistenti tra i due edifici in termini di frazione vetrata, massa termica efficace, carichi interni.

Al di là di queste differenze, il risultato sulla relazione tra livello di isolamento e carichi di raffrescamento va però valutato con attenzione, considerando tutte le ipotesi in cui è ricavato. In particolare, mezzi di smaltimento dei carichi interni e solari comunemente disponibili sono esclusi nella simulazione del caso base e della sua variazione con maggiore isolamento.

In particolare, nel caso base che stiamo discutendo, la ventilazione meccanica viene interrotta di notte (tra le 21 e le 7) e non viene attuato nessun tipo di ventilazione naturale notturna (le finestre sono mantenute chiuse sia di giorno che di notte).

Gli obiettivi di una strategia di contenimento del fabbisogno energetico di raffrescamento (contenimento dei guadagni attraverso l'involucro e scarico di quelli residui e dei guadagni interni verso pozzi freddi esterni) non possono che essere ottenuti con una strategia integrata che metta in gioco tutti gli elementi.

L'isolamento delle parti opache durante il giorno rallenta la penetrazione di energia termica dovuta a differenza tra la temperatura aria-sole delle superfici esterne e la temperatura dell'aria di setpoint interna.

Ovviamente durante la notte se la temperatura dell'aria si abbassa sotto il set point risulta favorevole mettere in contatto l'aria esterna con quella interna e la zona interna delle pareti che ha accumulato energia durante il giorno. Questo contatto potrebbe certo essere ottenuto con una riduzione di isolamento delle pareti (che però peggiorerebbe la loro prestazione diurna), ma può essere molto più efficacemente ottenuto portando aria fresca esterna nell'interno dell'edificio, attraverso ventilazione naturale se si sono predisposte le condizioni di sicurezza e controllo adeguate, o attraverso l'azionamento della ventilazione meccanica.

In generale, i risultati che in taluni casi mostrano un aumento del fabbisogno di energia utile per il raffrescamento in corrispondenza di un incremento dell'isolamento termico dell'involucro opaco, confermano semplicemente l'utilità di adottare l'aumento di isolamento termico dell'involucro edilizio (parti opache e trasparenti), congiuntamente all'adozione di strategie di controllo degli apporti solari ("controllo solare") o di controllo e dissipazione dei carichi termici interni ("ventilazione diurna", "ventilazione notturna"). In questo rapporto le singole tecnologie sono considerate una ad una per consentire l'analisi dei loro effetti singoli, tipologia di analisi concordata nel piano di lavoro.

Il risultato conferma che è vantaggioso considerare pacchetti di azioni migliorative delle prestazioni energetiche che agiscano complessivamente e in modo completare per riscaldamento e raffrescamento.

I risultati mostrano che l'applicazione di trattamenti superficiali, come pitture o rivestimenti, atti all'aumento della riflessione della radiazione solare dalla superficie esterna dell'involucro edilizio produce alcuni benefici nella stagione di raffrescamento. Benefici quantificabili dal 5% al 10%. Tali risparmi non sono molto marcati tuttavia si può considerare che adottare diverse azioni migliorative nello stesso intervento di riqualificazione, per motivi di opportunità da un punto di vista tecnico-operativo può agevolare non solo l'applicazione di più di un'azione nello stesso intervento, ma anche può completare un'azione più efficace con azioni che danno meno benefici, ma comunque utili: ad esempio quando si realizza l'aumento dell'isolamento termico delle superfici opache dell'involucro edilizio, intervenendo sulle pareti perimetrali, con cappotto esterno, e/o sulla copertura con il rifacimento del manto, può essere comodo completare questi interventi con i trattamenti superficiali che aumentano la riflessione della radiazione termica dalla superficie esterna dell'involucro.

Si nota una maggiore efficacia e potenzialità della ventilazione notturna in climi "più freddi". Risalendo l'Italia, da Sud a Nord, aumenta il potenziale di risparmio di energia per raffrescamento della ventilazione notturna. Questo andamento è più marcato per l'edificio con carichi termici più bassi (Edificio A)

Necessità di adottare strategie di controllo per la ventilazione notturna, adatte per i diversi contesti climatici, allo scopo di massimizzarne i benefici energetici e di comfort, minimizzare il consumo elettrico e di evitare un eventuale impatto negativo sulla richiesta energetica per il riscaldamento. A tal fine si può agire sul periodo di attivazione della ventilazione notturna durante l'anno in modo da consentirle soltanto nel periodo di raffrescamento, e predisporre un controllo in funzione delle temperature all'esterno e negli ambienti confinati.

Per quanto riguarda l'utilizzo di un recuperatore di calore, il suo impatto è sicuramente positivo in inverno, dove può portare a riduzioni del fabbisogno superiori al 20% e con punte di 40%, mentre in estate appare, a prima vista, sfavorevole. In realtà durante l'estate l'uso del recuperatore è corretto (dal punto di vista termico, ma andrebbe confortato col suo costo meccanico) durante il giorno, quando consente di ridurre la temperatura di immissione dell'aria esterna, mentre durante la notte e le prime ore del mattino, in generale quando l'aria esterna è più fresca, il recuperatore è dannoso perché riduce l'energia rimossa dall'edificio dall'aria di ricambio.

Pertanto, in presenza di un recuperatore di calore nel sistema impiantistico, per ovviare l'aumento di consumo in periodo estivo, è ovviamente opportuno predisporre componenti per bypassare i componenti di recupero di calore nell'impianto di ventilazione, per alcuni periodi di raffrescamento, in funzione di controlli di temperatura sull'aria esterna ed interna.

L'incremento della capacità termica degli elementi costruttivi (solai e pareti) non produce grandi benefici. Tuttavia, si deve considerare che sono state applicate variazioni di massa areica degli elementi realizzabili con interventi di ristrutturazione, pertanto le variazioni di capacità termica dell'intero edificio non è risultata molto ampia. Inoltre gli elementi costruttivi degli edifici base presentano già in partenza un valore di capacità termica effettiva medio, e non basso.

Si deve anche considerare che la presenza di pareti e solai più massivi, può portare a benefici maggiori se il calore accumulato nelle masse dei componenti edilizi può essere rimosso con un adeguata strategia di ventilazione.

Pertanto per sfruttare al meglio i benefici energetici per il raffrescamento apportati da un incremento di capacità termica dell'edificio, si deve associare ad un incremento di massa termicamente efficace un incremento della ventilazione (nelle ore in cui la temperatura dell'aria esterna è sufficientemente bassa per asportare parte del calore accumulato nelle masse dell'edificio).

7 Riferimenti bibliografici

7.1 Pubblicazioni

[ALESSANDRINI.2006] – Jean-Marie Alessandrini, Emmanuel Fleury, Sila Filfli, Dominique Marchio – Impact de la gestion de l'éclairage et des protections solaires sur la consommation d'énergie de bâtiments de bureaux climatisés – 2006.

[CNR.1982] – Consiglio Nazionale delle Ricerche – Progetto Finalizzato Energetica – Repertorio delle caratteristiche termofisiche dei componenti edilizi opachi e trasparenti.
– 1982 – Roma.

[ENERGYPLUS.2008] – EnergyPlus Manual, Version 2.2 – 2008.

[PAGLIANO.2005] – L. Pagliano, P. Zangheri – Climate optimised building parameters for low energy summer comfort under a discomfort index – PALENC 2005

7.2 Norme tecniche

[EN 15251:2007-08] – European Committee for Standardization – Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics – 2007.

[prEN 12831–2000-08 E] – European Committee for Standardization – Valori e parametri nazionali per il calcolo del carico termico di progetto – 2000.

[SIA V382/1] – Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein – Technical performances for installation of fans and air-conditioners – 1992

[UNI EN 13363-1:2004] – Ente Nazionale Italiano di Unificazione – Dispositivi di protezione solare in combinazione con vetrate, Calcolo della trasmittanza solare e luminosa, Metodo semplificato – 2004.

[UNI EN ISO 13786:2001] – Ente Nazionale Italiano di Unificazione – Prestazione termica dei componenti per edilizia - Caratteristiche termiche dinamiche, Metodi di calcolo – 2001.

[prEN 15603:2007: E] European Standard prEN 15603 “ Energy performance of buildings - Overall energy use and definition of energy ratings”

Allegato A: risultati numerici

A.1 Edificio A

Tab. A.1. Edificio A: risultati numerici

Modello: **Edificio A: Grandi dimensioni - Ufficio con alti carichi termici interni**

Codice: MIN

			MILANO		ROMA		PALERMO	
AZIONE			q _H	q _C	q _H	q _C	q _H	q _C
CODICE	DESCRIZIONE	CODICE	[kWh/m ²] _a					
1	Isolamento termico sup. opache	-	51.91	17.94	26.32	26.76	9.13	38.78
		o	39.55	18.02	18.20	25.58	5.81	36.33
		+	37.39	18.26	16.97	25.78	5.19	36.34
2	Isolamento termico sup. trasparenti	-	51.91	17.94	26.32	26.76	9.13	38.78
		o	49.12	18.19	22.10	27.76	7.98	40.67
		+	44.83	19.56	19.56	29.90	6.98	42.29
3	Permeabilità dell'involucro	-	51.91	17.94	26.32	26.76	9.13	38.78
		o	44.80	19.55	23.12	28.09	7.64	40.42
		+	40.67	20.91	21.12	29.21	6.93	41.79
4	Recupero del calore	-	51.91	17.94	26.32	26.76	9.13	38.78
		o	37.54	21.14	19.24	29.33	6.61	42.54
		+	33.06	22.57	17.16	30.46	5.94	44.18
5	Controllo solare (manuale)	-	51.91	17.94	26.32	26.76	9.13	38.78
		o	52.82	16.00	27.01	24.38	9.47	35.13
		+	53.06	15.74	27.19	24.07	9.54	34.68
6	Riflettanza involucro	-	51.91	17.94	26.32	26.76	9.13	38.78
		o	50.07	18.02	25.36	26.50	8.52	38.26
		+	49.94	16.96	25.71	24.67	8.74	35.70
7	Massa termica	-	51.91	17.94	26.32	26.76	9.13	38.78
		o	52.11	17.84	26.32	26.69	8.91	38.88
		+	52.33	17.81	26.69	26.52	9.09	38.75
8	Ventilazione naturale (night-cooling)	-	51.91	17.94	26.32	26.76	9.13	38.78
		o	52.42	11.40	26.63	20.29	9.35	32.23
		+	53.84	6.69	27.57	14.82	10.13	26.17

q_H Riscaldamento - Fabbisogno di energia utile (energy need)

q_C Raffrescamento - Fabbisogno di energia utile (energy need)

A.2 Edificio B

Tab. A.2. Edificio B: risultati numerici

Modello: **Edificio B: Medie dimensioni - Ufficio con bassi carichi termici interni**

Codice: PORLL

			MILANO		ROMA		PALERMO	
AZIONE			q _H	q _C	q _H	q _C	q _H	q _C
CODICE	DESCRIZIONE	CODICE	[kWh/m ²] _a					
1	Isolamento termico sup. opache	-	67.01	8.07	32.30	14.01	10.43	24.06
		o	52.94	13.17	22.74	21.81	5.72	32.40
		+	49.06	14.06	20.50	23.10	4.21	34.50
2	Isolamento termico sup. trasparenti	-	67.01	8.07	32.30	14.01	10.43	24.06
		o	64.63	7.69	28.90	13.04	9.14	23.76
		+	60.93	7.68	26.54	13.38	7.95	22.44
3	Permeabilità dell'involucro	-	67.01	8.07	32.30	14.01	10.43	24.06
		o	52.69	10.18	25.50	16.23	7.31	26.65
		+	48.42	10.87	23.42	16.90	6.41	27.43
4	Recupero del calore	-	67.01	8.07	32.30	14.01	10.43	24.06
		o	53.17	9.07	24.88	15.09	7.09	25.44
		+	48.64	9.48	22.49	15.50	6.10	26.00
5	Controllo solare (manuale)	-	67.01	8.07	32.30	14.01	10.43	24.06
		o	68.18	6.85	33.39	12.19	11.04	21.25
		+	68.37	6.66	33.54	11.96	11.11	20.86
6	Riflettanza involucro	-	67.01	8.07	32.30	14.01	10.43	24.06
		o	65.26	8.37	29.85	14.10	9.31	23.71
		+	65.72	7.29	30.54	12.69	9.79	21.54
7	Massa termica	-	67.01	8.07	32.30	14.01	10.43	24.06
		o	67.46	7.95	32.69	13.97	10.24	24.28
		+	67.85	7.92	31.49	14.04	9.64	24.18
8	Ventilazione naturale (night-cooling)	-	67.01	8.07	32.30	14.01	10.43	24.06
		o	67.44	5.34	32.56	10.70	10.63	20.26
		+	68.75	3.38	33.33	8.07	11.26	16.88

q_H Riscaldamento - Fabbisogno di energia utile (energy need)

q_C Raffrescamento - Fabbisogno di energia utile (energy need)