



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

***CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA EDILE - IMPIANTI E
SISTEMI DI CONTROLLO***

**ANALISI ENERGETICA DI UN EDIFICIO CON E SENZA PARTE
MASSIVA**

**ENERGY ANALYSIS OF A BUILDING WITH AND WITHOUT
MASSIVE PART**

Relatore:
Prof. Ing. Costanzo Di Perna

Tesi di laurea di:
Arianna Zingaretti

Correlatore:
Ing. Serena Summa

A.A. 2020/2021

Sommario

1. INTRODUZIONE	5
2. METODI	7
2.1. Algoritmo di calcolo	7
2.2. Dati di input	8
3. MODELLO	9
3.1. Casi di studio	9
3.1.1. <i>Caratteristiche geometriche</i>	9
3.1.2. <i>Finestre</i>	14
3.1.3. <i>Zone termiche</i>	16
3.1.4. <i>Località considerate per le analisi</i>	16
3.2. Caratteristiche dell'involucro	17
3.2.1. <i>Strutture opache verticali</i>	17
3.2.2. <i>Strutture opache orizzontali e inclinate</i>	20
3.2.3. <i>Strutture trasparenti</i>	21
3.2.4. <i>Strutture opache fisse utilizzate per il caso di studio 1 (villetta senza sottotetto)</i>	22
3.2.5. <i>Strutture opache fisse utilizzate per il caso di studio 2 (villetta con sottotetto isolato-copertura non isolata)</i>	23
3.2.6. <i>Strutture opache fisse utilizzate per il caso di studio 3 (villetta con sottotetto non isolato-copertura isolata)</i>	23
3.2.7. <i>Strutture opache utilizzate per l'edificio massivo</i>	24
3.2.8. <i>Strutture opache utilizzate per l'edificio leggero</i>	26
3.3. Impianti e ventilazione	27
3.3.1. <i>Impianto di riscaldamento</i>	27

3.3.2. Ventilazione	28
3.3.3. Apporti interni	30
4. CENNI DI MODELLAZIONE CON DESIGN BUILDER.....	32
4.1. Modellazione della struttura	32
4.2. File meteo	33
4.3. Simulazione	33
5. ANALISI DEI RISULTATI.....	34
5.1. Valutazione del fabbisogno di energia utile per il caso di studio 1 (Villetta unifamiliare senza sottotetto).....	34
5.1.1. Milano	34
5.1.2. Roma	41
5.1.3. Palermo	48
5.2. Valutazione del fabbisogno di energia utile per il caso di studio 2 (Villetta con solaio di sottotetto isolato e copertura non isolata).....	55
5.2.1. Milano	55
5.2.2. Roma	62
5.2.3. Palermo	69
5.3. Confronto tra villetta unifamiliare senza sottotetto (caso di studio 1) e villetta con solaio di sottotetto isolato e copertura non isolata (caso di studio 2).....	76
5.3.1. Milano	77
5.3.2. Roma	80
5.3.3. Palermo	85
5.4. Valutazione del fabbisogno di energia utile in funzione dell'isolamento del solaio di sottotetto o della copertura (caso di studio 2 e caso di studio 3)	89
5.4.1. Milano	91

5.4.2. Roma	94
5.4.3. Palermo	97
5.5. Valutazione del fabbisogno di energia utile in funzione del tipo di struttura (massiva o leggera)	100
5.5.1. Milano	100
5.5.2. Roma	104
5.5.3. Palermo	108
6. CONCLUSIONI.....	112

1. INTRODUZIONE

Il presente lavoro di tesi ha come scopo quello di analizzare un edificio in relazione alla tipologia di parete al fine di ottenere una stima della migliore tipologia di struttura che riduca al minimo il fabbisogno energetico. In particolare, l'edificio preso in esame è una villetta unifamiliare, e di questa sono stati studiati due casi: villetta senza sottotetto e villetta con sottotetto. In quest'ultimo caso si è voluto valutare quale fosse più conveniente a livello di fabbisogni energetici tra una villetta con sottotetto isolato e copertura non isolata ed una villetta con sottotetto non isolato e copertura isolata. La suddetta analisi è stata effettuata per tre differenti località: Milano, Roma e Palermo che corrispondono a tre zone climatiche differenti, E, D e B. L'obiettivo principale di questi test comparati è quello di stimare il comportamento termico in questi due casi di studio, al fine di valutare quale edificio presenti un fabbisogno energetico inferiore.

Per poter procedere, sono state considerati i solai di contro-terra, di sottotetto (relativamente a ciascuna località), di interpiano, la copertura e le partizioni come strutture fisse; sono state poi variate le tipologie di pareti esterne, ciascuna con dati parametri termo-fisici.

La seconda tipologia di analisi riguarda lo studio della sopracitata villetta dotata di struttura massiva e struttura leggera. In questa fase è stato considerato il caso di studio della villetta con sottotetto, valutando i risultati per il caso in cui quest'ultimo presenti isolamento (con copertura non isolata) o ne sia privo (con copertura isolata). Lo scopo è quello di valutare anche in questo caso il comportamento dell'edificio dal punto di vista energetico e quindi in quale caso il fabbisogno necessario sia inferiore.

L'analisi di tale comportamento termico riguarda: valutazione dell'influenza dei parametri termo-fisici sui fabbisogni di energia utile dell'edificio, attraverso un metodo orario e la valutazione dell'influenza della tipologia di struttura (massiva o leggera) sui fabbisogni di energia.

Per poter effettuare tale tipologia di analisi è stato utilizzato il software Design Builder che attraverso il metodo di calcolo dinamico orario fornito da Energy+ genera i risultati

necessari a questa tipologia di analisi, che in questo caso saranno il riscaldamento e il raffrescamento sensibile, generati con intervallo orario.

2. METODI

2.1. *Algoritmo di calcolo*

Per eseguire le simulazioni di bilancio termico complessivo dell'edificio utili alla costruzione di un modello realistico del caso di studio, il programma utilizzato è Design Builder. Esso sfrutta il metodo di calcolo dinamico, che consente di effettuare delle simulazioni del comportamento dell'edificio su base oraria o sub-oraria considerando anche l'accumulo e il rilascio di energia termica da parte della struttura. Design Builder è in grado di eseguire calcoli di carichi di riscaldamento e raffrescamento, dell'illuminazione naturale, simulazioni dello stato di fatto di edifici e del costo. Dati e risultati possono essere visualizzati in formato grafico esportabile in .png o in griglie esportabili in .csv (comma-separated values). Il formato .csv utilizza come carattere separatore tra i campi la virgola ed è facilmente gestibile da numerosi programmi tra cui Microsoft Excel. Design Builder utilizza algoritmi e metodi di calcolo di un software open source, EnergyPlus, con il vantaggio di una significativa semplificazione di interazione per l'utente, consentendo di confrontare con facilità differenti soluzioni progettuali.

Poiché è necessario considerare l'edificio nella sua interezza, per effettuare valutazioni corrette su di esso, sono state definite anche le zone dell'edificio non occupate o non condizionate: Design Builder, come già detto; si basa infatti sul metodo di calcolo dinamico di EnergyPlus ed effettua i calcoli di bilancio energetico per ogni ora.

Una volta definiti pareti e pavimenti, sono state disegnate le aperture: il software riconosce automaticamente le figure disegnate sulle pareti come aperture, in particolare attribuisce le caratteristiche di finestra a quelle rialzate rispetto al terreno e di porta a quelle a filo del piano del pavimento.

2.2. Dati di input

Il software di calcolo “Energy+” necessita come dati di input, dei file climatici in formato “epw” all’interno dei quali vengono appunto riportati i dati climatici su base oraria di ciascuna località analizzata. In particolare vengono riportati:

- Temperatura oraria dell’aria esterna;
- Contenuto di umidità dell’aria esterna;
- L’irradianza solare diretta e diffusa su piano orizzontale e su superficie inclinata e orientata nelle quattro direzioni, nord, sud, est, ovest;
- La velocità del vento.

Gli altri parametri necessari sono quelli relativi alle condizioni di utilizzo ed agli impianti tecnici, inseriti per ciascuna zona termica, ovvero:

- gli apporti interni;
- il flusso di ventilazione entrante
- Il set point di riscaldamento e raffrescamento;
- La potenza dell’impianto.

Infine, vengono definite sia le caratteristiche geometriche dell’edificio e delle varie zone termiche sia i parametri termo-fisici che li caratterizzano.

3. MODELLO

3.1. Casi di studio

3.1.1. Caratteristiche geometriche

Il caso di studio preso in considerazione è una villetta unifamiliare di nuova costruzione costruita su due piani, per la quale si considerano tre diverse configurazioni:

1. Villetta senza sottotetto: l'edificio è privo del solaio del sottotetto e il locale non risulta non riscaldato;
2. Villetta con sottotetto isolato e copertura non isolata;
3. Villetta con sottotetto non isolato e copertura isolata.

L'obiettivo principale nell'analizzare questi tre casi è quello di andare a verificare il comportamento dal punto di vista termico dell'edificio nel caso in cui si vada a considerare nel caso 1 un unico locale riscaldato, mentre nei casi 2 e 3 il locale sottotetto non fa parte del volume riscaldato.

Come già specificato, la villetta è costituita da due piani, che risultano così divisi:

- Piano terra: cucina, zona giorno, bagno e ripostiglio;
- Piano primo: camera matrimoniale, due camere singole, un bagno e un disimpegno.

Sia al piano terra che al piano primo è presente il vano scala che viene considerato come locale termico non riscaldato.

Nelle figure seguenti (*Fig. 3.1. e Fig. 3.2.*) vengono rappresentate rispettivamente le piante del piano terra e primo piano e le sezioni nel caso villetta con sottotetto e senza sottotetto.

Section A-A'

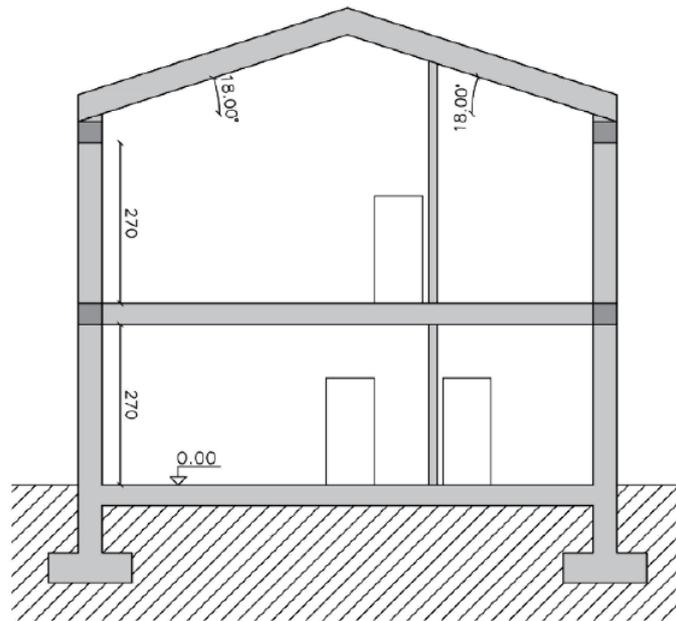


Fig:3: Sezione A-A' del caso di studio 1 (villetta senza sottotetto).

Section A-A' (Sub-Roofing)

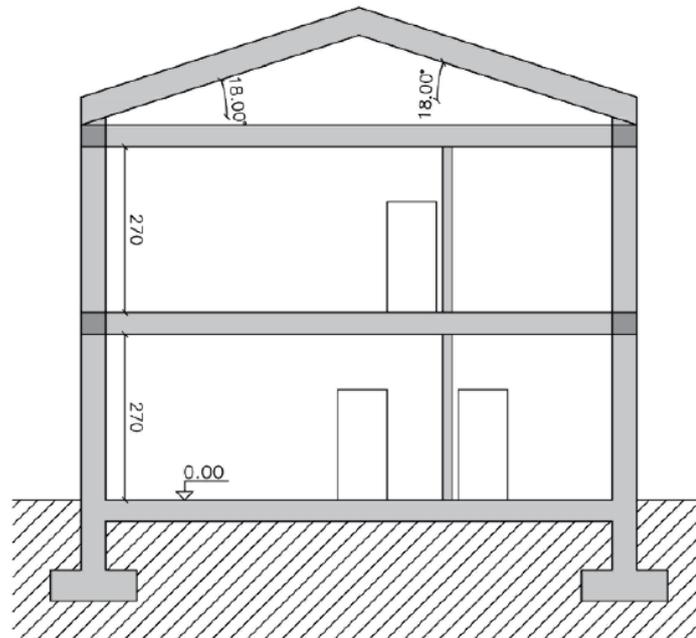


Fig. 4: Sezione A-A' del secondo e terzo caso di studio (villetta con sottotetto).

Per quanto riguarda invece le dimensioni interne e i volumi si può fare riferimento alla seguente tabella (*Tab.1*), nella quale vengono riportati tutti i dati geometrici necessari ai

nostri calcoli, sia per il caso di studio 1, sia per il 2 e 3. L'altezza di interpiano è sempre la stessa ed è considerata pari a 2,70 m.

Room	Case Study 1			Case Study 2, Case Study 3		
	Net Area	Net Volume	Net Average Height	Net Area	Net Volume	Net Average Height
[-]	[m ²]	[m ³]	[m]	[m ²]	[m ³]	[m]
Bathroom 1	7.50	20.25	2.70	7.50	20.25	2.70
Utility Room	2.60	7.02	2.70	2.60	7.02	2.70
Kitchen	16.35	44.15	2.70	16.35	44.15	2.70
Living Room	32.43	87.55	2.70	32.43	87.55	2.70
Bathroom 2	10.79	33.69	3.12	10.79	29.13	2.70
Hallway	4.73	18.11	3.83	4.73	12.76	2.70
Single Bedroom 1	11.97	39.71	3.32	11.97	32.32	2.70
Single Bedroom 2	12.54	43.58	3.48	12.54	33.84	2.70
Double Bedroom	18.26	63.47	3.48	18.26	49.30	2.70
Stairwell	12.48	72.66	5.82	12.48	67.39	5.40
Sub-Roofing	0.00	0.00	0.00	74.62	49.67	0.67

Tab.1: Caratteristiche geometriche interne della villetta nei tre casi di studio

Come si può notare, i volumi interni e le altezze medie nel primo caso risultano maggiori in quanto non è presente il solaio di sottotetto.

Nella figura seguente, invece viene riportato il modello tridimensionale costruito attraverso il software Design Builder (Fig. 5) nel quale sono rappresentati a titolo esemplificativo i prospetti sud ed est.

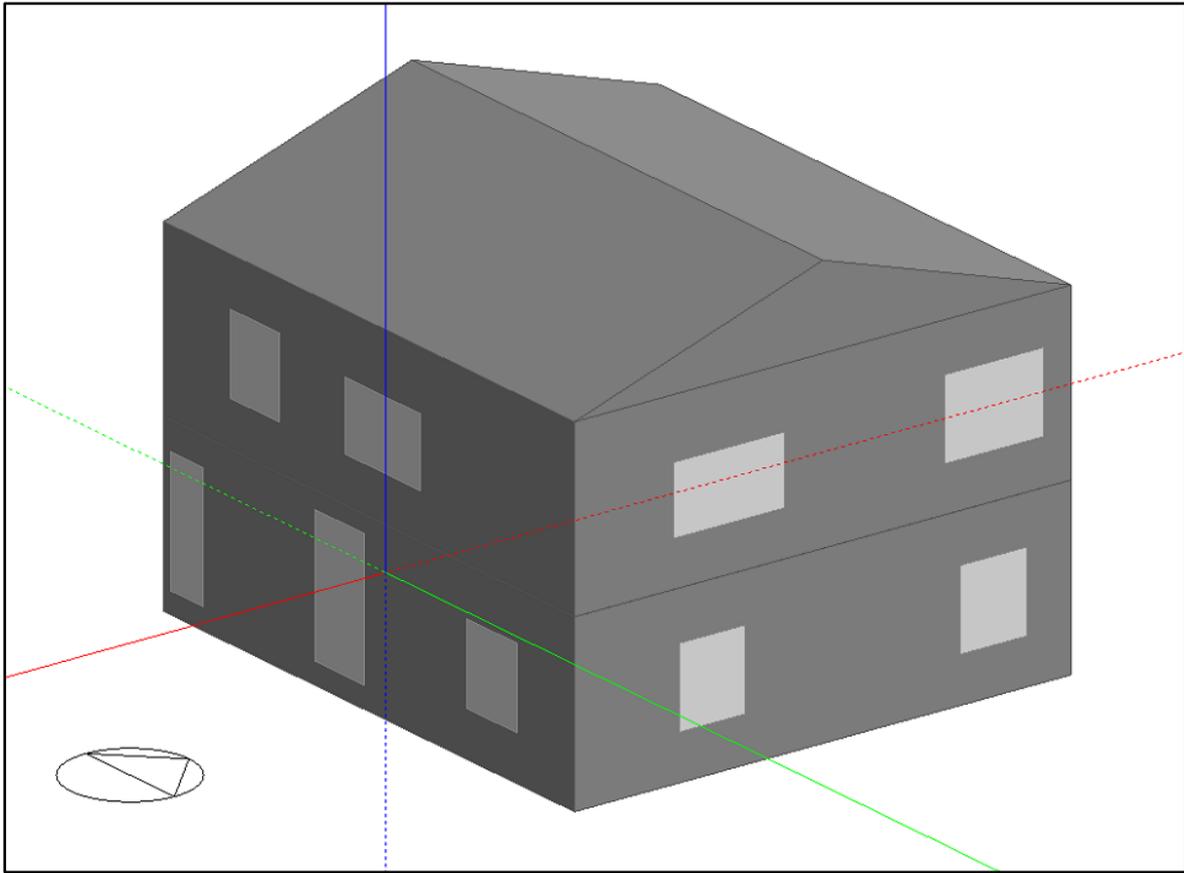


Fig.5: Rappresentazione del modello caso di studio attraverso il software Design Builder

3.1.2. Finestre

Secondo il DM 05/07/1975, tutti i locali devono poter fruire di un'adeguata luce naturale, ad eccezione dei ripostigli e dei vani scala. Si può quindi calcolare la superficie minima delle aperture attraverso il metodo del fattore di luce diurna che non deve essere inferiore al 2% e la superficie non deve essere inferiore ad 1/8 della superficie del locale.

Applicando tale metodo si ottengono le seguenti superfici minime:

Room	Width	Lenght	Height	Area Walls	Area Ceiling	Area Floor	Total Area	τ	ϵ	ρ_m	Ψ	FLD _{m,min}	A _{g,min}
[-]	[m]	[m]	[m]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[m ²]
Bathroom 1	2.00	2.60	2.70	24.84	5.20	5.20	35.24	0.35	0.50	0.76	1.00	0.02	1.00
Living Room	5.45	5.95	2.70	61.56	32.43	32.43	126.42	0.35	0.50	0.72	1.00	0.02	4.06
Kitchen	3.00	5.45	2.70	45.63	16.35	16.35	78.33	0.35	0.50	0.74	1.00	0.02	2.40
Bathroom 2	4.15	2.60	2.70	36.45	10.79	10.79	58.03	0.35	0.50	0.74	1.00	0.02	1.74
Double Bedroom	5.45	3.35	2.70	47.52	18.26	18.26	84.04	0.35	0.50	0.73	1.00	0.02	2.59
Single Bedroom 1	3.80	3.15	2.70	37.53	11.97	11.97	61.47	0.35	0.50	0.74	1.00	0.02	1.83
Single Bedroom 2	2.30	5.45	2.70	41.85	12.54	12.54	66.92	0.35	0.50	0.74	1.00	0.02	2.00

Tab.2: Area minima delle vetrate per ciascun ambiente in funzione del Fattore di Luce Diurna

Nel caso di studio si va' ad utilizzare una finestra costituita da due vetri, tra i quali è presente un'intercapedine di argon di 4 mm.

Nelle due tabelle seguenti vengono indicati rispettivamente le dimensioni delle basi e dell'altezza delle finestre, gli spessori dei vetri, dell'intercapedine di argon e delle trasmittanze effettive e da requisiti minimi (Tab.3) e le dimensioni geometriche delle finestre scelte con le relative dimensioni dei vetri e le superfici del vetro A_g, del telaio A_f e della finestra A_w (Tab.4).

Finestre Villetta									
Milano (Zona Climatica E) Telaio in PVC, Intercapedite con Gas Argon									
$b_{Finestra}$	$h_{Finestra}$	Spessore Vetro 1	Spessore Intercapedine	Spessore Vetro 2	U_f	U_g	U Requisiti Minimi	U Superbonus	U_w
[m]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[W/m ² K]				
1,20	1,40	4,00	14,00	4,00	1,20	1,03	1,40	1,30	1,29
1,80	1,40	4,00	14,00	4,00	1,20	1,03	1,40	1,30	1,26
2,00	1,40	4,00	14,00	4,00	1,20	1,03	1,40	1,30	1,25
1,20	2,40	4,00	14,00	4,00	1,20	1,03	1,40	1,30	1,27
Roma (Zona Climatica D) Telaio in PVC, Intercapedite con Aria									
$b_{Finestra}$	$h_{Finestra}$	Spessore Vetro 1	Spessore Intercapedine	Spessore Vetro 2	U_f	U_g	U Requisiti Minimi	U Superbonus	U_w
[m]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[W/m ² K]				
1,20	1,40	4,00	12,00	4,00	1,20	1,56	1,80	1,67	1,67
1,80	1,40	4,00	12,00	4,00	1,20	1,56	1,80	1,67	1,67
2,00	1,40	4,00	12,00	4,00	1,20	1,56	1,80	1,67	1,64
1,20	2,40	4,00	12,00	4,00	1,20	1,56	1,80	1,67	1,67
Palermo (Zona Climatica B) Telaio in PVC, Intercapedite con Aria									
$b_{Finestra}$	$h_{Finestra}$	Spessore Vetro 1	Spessore Intercapedine	Spessore Vetro 2	U_f	U_g	U Requisiti Minimi	U Superbonus	U_w
[m]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[W/m ² K]				
1,20	1,40	4,00	6,00	4,00	2,10	2,06	3,00	2,60	2,56
1,80	1,40	4,00	6,00	4,00	2,10	2,06	3,00	2,60	2,54
2,00	1,40	4,00	6,00	4,00	2,10	2,06	3,00	2,60	2,53
1,20	2,40	4,00	6,00	4,00	2,10	2,06	3,00	2,60	2,56

Tab.3: Spessori finestre e valori delle trasmittanze minime ed effettive

Window Width	Window Height	Glass Width	Glass Height	A_g	A_f	A_w
[m]	[m]	[m]	[m]	[m ²]	[m ²]	[m ²]
1.20	1.40	0.48	1.26	1.21	0.47	1.68
1.80	1.40	0.78	1.26	1.97	0.55	2.52
2.00	1.40	0.88	1.26	2.22	0.58	2.80
1.20	2.40	0.48	2.26	2.17	0.71	2.88

Tab.4: Dimensioni geometriche delle finestre

3.1.3. Zone termiche

Per effettuare l'analisi, sono state considerate zone termiche riscaldate, ovvero ogni ambiente presente nella villetta, mentre come zone termiche non riscaldate sono stati considerati il vano scala, il disimpegno e il sottotetto.

Utilizzando il metodo dinamico oltre ai consumi energetici, si vanno a considerare le temperature operative di ogni ambiente.

3.1.4. Località considerate per le analisi

L'analisi relativa a questo caso di studio è stata svolta per tre differenti località, Milano Roma e Palermo, corrispondenti rispettivamente alle zone climatiche E, D e B, secondo il DPR 412/93. Quindi l'obiettivo è quello di valutare quale involucro risulti il migliore dal punto di vista termico ed energetico, anche in relazione alle condizioni climatiche esterne.

3.2. Caratteristiche dell'involucro

Gli elementi dell'involucro sono stati realizzati in modo tale da andare a valutare quale di essi sia il migliore dal punto di vista energetico. Le strutture sono state progettate rispettando i valori di trasmittanza termica limite presenti nell'allegato E, Tab.1 del Decreto 6 Agosto 2020, in modo tale da poter usufruire dei bonus fiscali (bonus 110%).

3.2.1. Strutture opache verticali

Per le simulazioni sono stati considerati 32 pacchetti murari e una parete in acciaio con variazioni in base alla zona climatica. Di questi, 23 vengono utilizzati per le simulazioni nelle località di Roma e Milano, mentre per la località di Palermo vengono considerati tutti i pacchetti murari (in aggiunta a questi la parete in acciaio). Di seguito vengono riportate le tabelle con le caratteristiche termo-fisiche delle strutture opache verticali, per le località di Milano, Roma e Palermo (*Tab.5, Tab 6, Tab. 7*).

n	Simulated on	Thermal Transmittance U	Surface Mass	Total Internal Heat Capacity	Periodic Thermal Transmittance Y_{ie}	Attenuation f_a	Time Shift ϕ	Areal Internal Heat Capacity k_j
-	-	[W/(m ² K)]	[kg/m ²]	[kJ/m ² K]	[W/(m ² K)]	[-]	[h]	[kJ/(m ² K)]
Walls								
1	Milan	0.208	253.50	301.70	0.004	0.020	21.68	37.76
2	Milan	0.228	315.00	350.40	0.004	0.019	23.10	44.12
3	Milan	0.214	373.50	421.50	0.001	0.006	28.78	37.91
4	Milan	0.207	230.40	270.50	0.007	0.033	18.35	39.18
5	Milan	0.197	355.60	395.70	0.002	0.009	23.60	41.90
6	Milan	0.230	432.00	480.00	0.001	0.005	29.93	39.57
7	Milan	0.218	227.80	275.80	0.007	0.031	21.92	34.56
8	Milan	0.231	278.64	327.10	0.056	0.241	10.70	42.74
9	Milan	0.163	292.99	341.00	0.001	0.006	29.22	34.36
10	Milan	0.211	385.06	364.30	0.003	0.014	22.55	41.41
11	Milan	0.208	444.15	408.50	0.001	0.004	29.08	38.86
12	Milan	0.206	288.24	310.30	0.079	0.383	7.68	49.84
13	Milan	0.214	239.80	262.40	0.023	0.109	12.88	45.83
14	Milan	0.209	360.00	402.40	0.001	0.005	28.72	41.93
15	Milan	0.215	287.00	351.00	0.003	0.015	25.35	39.77
16	Milan	0.169	369.00	433.00	0.000	0.003	32.77	39.80
17	Milan	0.192	328.00	392.00	0.001	0.007	28.88	39.87
18	Milan	0.227	405.30	453.80	0.001	0.005	26.85	41.52
19	Milan	0.216	52.13	71.50	0.12	0.554	6.67	21.63

Tab.5: Parametri termo-fisici delle strutture opache verticali utilizzati per le simulazioni nella zona di Milano

n	Simulated on	Thermal Transmittance U	Surface Mass	Total Internal Heat Capacity	Periodic Thermal Transmittance Y_{ie}	Attenuation f_a	Time Shift ϕ	Areal Internal Heat Capacity k_j
-	-	[W/(m ² K)]	[kg/m ²]	[kJ/m ² K]	[W/(m ² K)]	[-]	[h]	[kJ/(m ² K)]
Walls								
1	Rome	0.208	253.50	301.70	0.004	0.020	21.68	37.76
2	Rome	0.228	315.00	350.40	0.004	0.019	23.10	44.12
3	Rome	0.214	373.50	421.50	0.001	0.006	28.78	37.91
4	Rome	0.207	230.40	270.50	0.007	0.033	18.35	39.18
5	Rome	0.197	355.60	395.70	0.002	0.009	23.60	41.90
6	Rome	0.230	432.00	480.00	0.001	0.005	29.93	39.57
7	Rome	0.239	228.86	257.10	0.007	0.031	21.10	35.77
8	Rome	0.218	227.80	275.80	0.007	0.031	21.92	34.56
9	Rome	0.231	278.64	327.10	0.056	0.241	10.70	42.74
10	Rome	0.163	292.99	341.00	0.001	0.006	29.22	34.36
11	Rome	0.238	265.09	313.10	0.006	0.026	22.70	36.17
12	Rome	0.211	385.06	364.30	0.003	0.014	22.55	41.41
13	Rome	0.243	444.15	421.10	0.002	0.010	26.95	38.85
14	Rome	0.208	444.15	408.50	0.001	0.004	29.08	38.86
15	Rome	0.206	288.24	310.30	0.079	0.383	7.68	49.84
16	Rome	0.214	239.80	262.40	0.023	0.109	12.88	45.83
17	Rome	0.209	360.00	402.40	0.001	0.005	28.72	41.93
18	Rome	0.215	287.00	351.00	0.003	0.015	25.35	39.77
19	Rome	0.169	369.00	433.00	0.000	0.003	32.77	39.80
20	Rome	0.192	328.00	392.00	0.001	0.007	28.88	39.87
21	Rome	0.227	405.30	453.80	0.001	0.005	26.85	41.52
22	Rome	0.239	308.25	356.30	0.004	0.017	24.57	37.29
23	Rome	0.245	49.63	68.90	0.154	0.631	5.87	22.12

Tab.6: Parametri termo-fisici delle strutture opache verticali utilizzati per le simulazioni nella zona di Roma

n	Simulated on	Thermal Transmittance U	Surface Mass	Total Internal Heat Capacity	Periodic Thermal Transmittance Y_{ie}	Attenuation f_a	Time Shift ϕ	Areal Internal Heat Capacity k_j
-	-	[W/(m ² K)]	[kg/m ²]	[kJ/m ² K]	[W/(m ² K)]	[-]	[h]	[kJ/(m ² K)]
Walls								
1	Palermo	0.208	253.50	301.70	0.004	0.020	21.68	37.76
2	Palermo	0.228	315.00	350.40	0.004	0.019	23.10	44.12
3	Palermo	0.214	373.50	421.50	0.001	0.006	28.78	37.91
4	Palermo	0.315	246.00	294.00	0.019	0.060	18.75	37.60
5	Palermo	0.343	294.00	342.00	0.018	0.052	18.18	44.02
6	Palermo	0.207	230.40	270.50	0.007	0.033	18.35	39.18
7	Palermo	0.197	355.60	395.70	0.002	0.009	23.60	41.90
8	Palermo	0.230	432.00	480.00	0.001	0.005	29.93	39.57
9	Palermo	0.355	228.00	256.20	0.026	0.074	16.83	39.10
10	Palermo	0.368	353.20	392.20	0.013	0.036	20.83	41.74
11	Palermo	0.356	274.85	303.00	0.018	0.050	18.55	40.55
12	Palermo	0.239	228.86	257.10	0.007	0.031	21.10	35.77
13	Palermo	0.218	227.80	275.80	0.007	0.031	21.92	34.56
14	Palermo	0.231	278.64	327.10	0.056	0.241	10.70	42.74
15	Palermo	0.163	292.99	341.00	0.001	0.006	29.22	34.36
16	Palermo	0.238	265.09	313.10	0.006	0.026	22.70	36.17
17	Palermo	0.370	271.14	319.30	0.115	0.310	8.68	43.64
18	Palermo	0.211	385.06	364.30	0.003	0.014	22.55	41.41
19	Palermo	0.243	444.15	421.10	0.002	0.010	26.95	38.85
20	Palermo	0.208	444.15	408.50	0.001	0.004	29.08	38.86
21	Palermo	0.343	375.06	343.30	0.011	0.033	20.35	41.30
22	Palermo	0.206	288.24	310.30	0.079	0.383	7.68	49.84
23	Palermo	0.214	239.80	262.40	0.023	0.109	12.88	45.83
24	Palermo	0.324	286.44	307.70	0.135	0.418	6.73	50.13
25	Palermo	0.345	238.00	259.80	0.045	0.131	12.03	46.14
26	Palermo	0.209	360.00	402.40	0.001	0.005	28.72	41.93
27	Palermo	0.215	287.00	351.00	0.003	0.015	25.35	39.77
28	Palermo	0.169	369.00	433.00	0.000	0.003	32.77	39.80
29	Palermo	0.192	328.00	392.00	0.001	0.007	28.88	39.87
30	Palermo	0.227	405.30	453.80	0.001	0.005	26.85	41.52
31	Palermo	0.239	308.25	356.30	0.004	0.017	24.57	37.29
32	Palermo	0.310	404.10	452.10	0.005	0.016	24.70	41.48
33	Palermo	0.333	44.63	63.80	0.261	0.785	4.27	22.74

Tab.7: Parametri termo-fisici delle strutture opache verticali utilizzati per le simulazioni nella zona di Palermo

3.2.2. Strutture opache orizzontali e inclinate

Di seguito (Tab.8, Tab.9; Tab.10) vengono riportate le caratteristiche termo-fisiche degli elementi orizzontali (solai) ed inclinati (copertura) per le tre zone climatiche. Vengono indicati i parametri per ciascun caso di studio: nel caso della villetta senza sottotetto si avrà una copertura isolata, mentre nel caso della villetta con sottotetto saranno presenti le caratteristiche sia del caso di sottotetto isolato-copertura non isolata, sia del caso di sottotetto non isolato-copertura isolata. In particolare vengono indicati la trasmittanza termica $[W/m^2K]$, la massa superficiale $[kg/m^2]$, la capacità interna totale $[kJ/m^2K]$, la trasmittanza termica periodica Y_{ie} $[W/m^2K]$, il fattore di attenuazione f_a , lo sfasamento ϕ [h] e la capacità termica interna areale $[kJ/m^2K]$.

n	Simulated on	Thermal Transmittance U	Surface Mass	Total Internal Heat Capacity	Periodic Thermal Transmittance Y_{ie}	Attenuation f_a	Time Shift ϕ	Areal Internal Heat Capacity k_j
-	-	$[W/(m^2K)]$	$[kg/m^2]$	$[kJ/m^2K]$	$[W/(m^2K)]$	[-]	[h]	$[kJ/(m^2K)]$
Roofs (Isolated)								
21	Milan	0.203	316.87	329.60	0.028	0.140	13.02	63.42
22	Milan	0.198	56.85	72.20	0.186	0.939	2.50	19.64
23	Milan	0.202	402.80	433.00	0.045	0.222	8.33	91.36
24	Milan	0.200	278.16	279.50	0.067	0.333	9.97	82.72
25	Milan	0.190	46.68	53.20	0.135	0.707	5.23	6.38
Roofs (Not Isolated)								
26	Milan	0.700	399.20	427.70	0.176	0.252	6.47	91.71
27	Milan	0.678	29.18	35.20	0.671	0.991	0.46	2.44
Ground Floor								
1	Milan	0.249	1370.60	1372.20	0.007	0.027	18.37	62.66
Internal Floor								
1	Milan	0.354	403.80	390.70	0.039	0.111	12.17	77.36
2	Milan	0.479	339.20	305.70	0.156	0.326	7.59	78.48
Sub-Roofing Floor (Isolated)								
1	Milan	0.245	363.60	351.40	0.038	0.155	11.24	58.05
2	Milan	0.244	70.50	71.20	0.195	0.798	4.25	5.96
Sub-Roofing Floor (Not Isolated)								
3	Milan	1.239	360.00	337.50	0.413	0.333	8.40	32.52
4	Milan	1.242	57.50	57.60	1.16	0.934	1.28	7.54

Tab.8: Parametri termo-fisici delle strutture opache orizzontali ed inclinate per la zona di Milano

n	Simulated on	Thermal Transmittance U	Surface Mass	Total Internal Heat Capacity	Periodic Thermal Transmittance Y_{ie}	Attenuation f_a	Time Shift ϕ	Areal Internal Heat Capacity k_j
-	-	[W/(m ² K)]	[kg/m ²]	[kJ/m ² K]	[W/(m ² K)]	[-]	[h]	[kJ/(m ² K)]
Roofs (Isolated)								
25	Rome	0.203	316.87	329.60	0.028	0.140	13.02	63.42
26	Rome	0.198	56.85	72.20	0.186	0.939	2.50	19.64
27	Rome	0.202	402.80	433.00	0.045	0.222	8.33	91.36
28	Rome	0.200	278.16	279.50	0.067	0.333	9.97	82.72
29	Rome	0.212	44.18	506.00	0.167	0.786	4.31	6.08
Roofs (Not Isolated)								
30	Rome	0.700	399.20	427.70	0.176	0.252	6.47	91.71
31	Rome	0.678	29.18	35.20	0.671	0.991	0.46	2.44
Ground Floor								
1	Rome	0.269	1370.30	1371.80	0.007	0.027	18.29	62.56
Internal Floor								
1	Rome	0.354	403.80	390.70	0.039	0.111	12.17	77.36
2	Rome	0.479	339.20	305.70	0.156	0.326	7.59	78.48
Sub-Roofing Floor (Isolated)								
1	Rome	0.273	363.00	340.10	0.029	0.107	11.35	34.40
2	Rome	0.265	68.25	68.90	0.217	0.836	3.49	5.24
Sub-Roofing Floor (Not Isolated)								
3	Rome	1.239	360.00	337.50	0.413	0.333	8.04	32.52
4	Rome	1.242	57.50	57.60	1.16	0.934	1.28	7.54

Tab.9: Parametri termo-fisici delle strutture opache orizzontali ed inclinate per la zona di Roma

n	Simulated on	Thermal Transmittance U	Surface Mass	Total Internal Heat Capacity	Periodic Thermal Transmittance Y_{ie}	Attenuation f_a	Time Shift ϕ	Areal Internal Heat Capacity k_j
-	-	[W/(m ² K)]	[kg/m ²]	[kJ/m ² K]	[W/(m ² K)]	[-]	[h]	[kJ/(m ² K)]
Roofs (Isolated)								
35	Palermo	0.203	316.87	329.60	0.028	0.140	13.02	63.42
36	Palermo	0.198	56.85	72.20	0.186	0.939	2.50	19.64
37	Palermo	0.202	402.80	433.00	0.045	0.222	8.33	91.36
38	Palermo	0.260	311.87	324.50	0.043	0.166	11.40	63.71
39	Palermo	0.258	55.65	70.40	0.249	0.966	1.78	18.83
40	Palermo	0.264	401.60	431.20	0.061	0.229	7.67	91.41
41	Palermo	0.200	278.16	279.50	0.067	0.333	9.97	82.72
42	Palermo	0.262	276.96	277.80	0.090	0.345	6.28	82.66
43	Palermo	0.254	39.43	45.80	0.229	0.899	3.06	4.79
Roofs (Not Isolated)								
44	Palermo	0.700	399.20	427.70	0.176	0.252	6.47	91.71
45	Palermo	0.678	29.18	35.20	0.671	0.991	0.46	2.44
Ground Floor								
1	Palermo	0.353	1369.40	1370.50	0.01	0.028	18.05	62.15
Internal Floor								
1	Palermo	0.354	403.80	390.70	0.039	0.111	12.17	77.36
2	Palermo	0.479	339.20	305.70	0.156	0.326	7.59	78.48
Sub-Roofing Floor (Isolated)								
1	Palermo	0.362	362.10	349.20	0.064	0.169	10.43	58.45
2	Palermo	0.361	63.25	63.80	0.325	0.901	2.34	4.20
Sub-Roofing Floor (Not Isolated)								
3	Palermo	1.239	360.00	337.50	0.413	0.333	8.40	32.52
4	Palermo	1.242	57.50	57.60	1.16	0.934	1.28	7.54

Tab.10: Parametri termo-fisici delle strutture opache orizzontali ed inclinate per la zona di Palermo

3.2.3. Strutture trasparenti

Oltre alle strutture opache, vengono descritte anche le caratteristiche delle strutture trasparenti, ovvero delle finestre. Le caratteristiche geometriche di queste sono state

definite nel *Paragrafo 3.1.2*. Di seguito, invece, vengono riportate le principali caratteristiche termo-fisiche. Per quanto riguarda la zona climatica E, ovvero quella relativa a Milano, è stato utilizzato al fine delle simulazioni un doppio vetro con spessore 4mm e intercapedine in argon, mentre per le zone D e B l'intercapedine è stata realizzata con l'aria. Di seguito, viene riportata la tabella con le principali caratteristiche termo-fisiche (*Tab. 11*).

Window Width	Window Height	Milan (Argon)				Rome (Air)				Palermo (Air)			
		U _f	U _g	U _{max}	U _w	U _f	U _g	U _{max}	U _w	U _f	U _g	U _{max}	U _w
[m]	[m]	[W/m ² K]				[W/m ² K]				[W/m ² K]			
1.20	1.40	1.20	1.03	1.30	1.29	1.20	1.56	1.67	1.67	2.10	2.06	2.60	2.56
1.80	1.40	1.20	1.03	1.30	1.26	1.20	1.56	1.67	1.67	2.10	2.06	2.60	2.54
2.00	1.40	1.20	1.03	1.30	1.25	1.20	1.56	1.67	1.64	2.10	2.06	2.60	2.53
1.20	2.40	1.20	1.03	1.30	1.27	1.20	1.56	1.67	1.67	2.10	2.06	2.60	2.56

Tab. 11: Parametri termo-fisici delle strutture trasparenti

3.2.4. Strutture opache fisse utilizzate per il caso di studio 1 (villetta senza sottotetto)

Le strutture opache fisse sono i solai contro-terra, il solaio di interpiano e le coperture. Durante le simulazioni vengono fatte variare le strutture opache verticali. Di seguito viene riportata la tabella con le caratteristiche termofisiche di queste strutture nel caso di studio in cui la villetta risulta essere senza sottotetto, quindi nel caso di studio 1 (*Tab. 12*).

n	Simulated on	Thermal Transmittance U	Surface Mass	Total Internal Heat Capacity	Periodic Thermal Transmittance Y _{ie}	Attenuation f _s	Time Shift φ	Areal Internal Heat Capacity k _j
-	-	[W/(m ² K)]	[kg/m ²]	[kJ/m ² K]	[W/(m ² K)]	[-]	[h]	[kJ/(m ² K)]
Roofs (Isolated)								
24	Milan	0.200	278.16	279.50	0.067	0.333	9.97	82.72
28	Rome	0.200	278.16	279.50	0.067	0.333	9.97	82.72
40	Palermo	0.264	401.60	431.20	0.061	0.229	7.67	91.41
Ground Floor								
1	Milan	0.249	1370.60	1372.20	0.007	0.027	18.37	62.66
1	Rome	0.269	1370.30	1371.80	0.007	0.027	18.29	62.56
1	Palermo	0.353	1369.40	1370.50	0.01	0.028	18.05	62.15
Internal Floor								
1	Milan	0.354	403.80	390.70	0.039	0.111	12.17	77.36
1	Rome	0.354	403.80	390.70	0.039	0.111	12.17	77.36
1	Palermo	0.354	403.80	390.70	0.039	0.111	12.17	77.36

Tab. 12. Parametri termo-fisici delle strutture fisse utilizzate per le simulazioni nel caso di studio 1 (villetta senza sottotetto)

3.2.5. Strutture opache fisse utilizzate per il caso di studio 2 (villetta con sottotetto isolato-copertura non isolata)

Anche per il secondo caso di studio, vengono utilizzate delle strutture fisse per effettuare le simulazioni che sono il solaio contro-terra per ciascuna località, la copertura e il solaio di interpiano che non variano nelle tre zone climatiche. Durante le simulazioni varieranno solamente le strutture opache verticali. Di seguito viene riportata la tabella con i parametri fissi per il secondo caso di studio (Tab. 13).

n	Simulated on	Thermal Transmittance U	Surface Mass	Total Internal Heat Capacity	Periodic Thermal Transmittance Y_{ie}	Attenuation f_a	Time Shift ϕ	Areal Internal Heat Capacity k_j
-	-	[W/(m ² K)]	[kg/m ²]	[kJ/m ² K]	[W/(m ² K)]	[-]	[h]	[kJ/(m ² K)]
Roofs (Not Isolated)								
26	Milan	0.700	399.20	427.70	0.176	0.252	6.47	91.71
30	Rome	0.700	399.20	427.70	0.176	0.252	6.47	91.71
44	Palermo	0.700	399.20	427.70	0.176	0.252	6.47	91.71
Ground Floor								
1	Milan	0.249	1370.60	1372.20	0.007	0.027	18.37	62.66
1	Rome	0.269	1370.30	1371.80	0.007	0.027	18.29	62.56
1	Palermo	0.353	1369.40	1370.50	0.01	0.028	18.05	62.15
Internal Floor								
1	Milan	0.354	403.80	390.70	0.039	0.111	12.17	77.36
1	Rome	0.354	403.80	390.70	0.039	0.111	12.17	77.36
1	Palermo	0.354	403.80	390.70	0.039	0.111	12.17	77.36
Sub-Roofing Floor (Isolated)								
1	Milan	0.245	363.60	351.40	0.038	0.155	11.24	58.05
1	Rome	0.273	363.00	340.10	0.029	0.107	11.35	34.40
1	Palermo	0.362	362.10	349.20	0.064	0.169	10.43	58.45

Tab.13: Parametri termo-fisici delle strutture fisse utilizzate per le simulazioni nel caso di studio 2 (villetta con sottotetto isolato-copertura non isolata)

3.2.6. Strutture opache fisse utilizzate per il caso di studio 3 (villetta con sottotetto non isolato-copertura isolata)

Per il caso di studio 3, come per i precedenti, saranno presenti delle strutture fisse, ovvero i solai contro-terra che variano per ogni località, la copertura e il solaio di interpiano che rimangono fissi per tutte le zone climatiche. Anche in questo caso, nelle simulazioni varieranno solamente le strutture opache verticali. Di seguito viene riportata la tabella con i parametri termo-fisici di tali strutture fisse (Tab.14).

n	Simulated on	Thermal Transmittance U	Surface Mass	Total Internal Heat Capacity	Periodic Thermal Transmittance Y_{ie}	Attenuation f_a	Time Shift ϕ	Areal Internal Heat Capacity k_j
-	-	[W/(m ² K)]	[kg/m ²]	[kJ/m ² K]	[W/(m ² K)]	[-]	[h]	[kJ/(m ² K)]
Roofs (Isolated)								
24	Milan	0.200	278.16	279.50	0.067	0.333	9.97	82.72
28	Rome	0.200	278.16	279.50	0.067	0.333	9.97	82.72
40	Palermo	0.264	401.60	431.20	0.061	0.229	7.67	91.41
Ground Floor								
1	Milan	0.249	1370.60	1372.20	0.007	0.027	18.37	62.66
1	Rome	0.269	1370.30	1371.80	0.007	0.027	18.29	62.56
1	Palermo	0.353	1369.40	1370.50	0.01	0.028	18.05	62.15
Internal Floor								
1	Milan	0.354	403.80	390.70	0.039	0.111	12.17	77.36
1	Rome	0.354	403.80	390.70	0.039	0.111	12.17	77.36
1	Palermo	0.354	403.80	390.70	0.039	0.111	12.17	77.36
Sub-Roofing Floor (Not Isolated)								
3	Milan	1.239	360.00	337.50	0.413	0.333	8.40	32.52
3	Rome	1.239	360.00	337.50	0.413	0.333	8.40	32.52
3	Palermo	1.239	360.00	337.50	0.413	0.333	8.40	32.52

Tab.14: Parametri termo-fisici delle strutture fisse utilizzate per le simulazioni nel caso di studio 3 (villetta con sottotetto non isolato-copertura isolata)

3.2.7. Strutture opache utilizzate per l'edificio massivo

Le simulazioni che si andranno ad effettuare si distinguono per il tipo di struttura, massiva, ovvero una struttura dotata di un'elevata massa superficiale ed un'elevata capacità termica K_j e struttura leggera, ovvero dotata di una ridotta massa superficiale un valore più basso di K_j . Di seguito viene riportata la tabella con i parametri termo-fisici delle strutture opache per l'edificio massivo (Tab. 15). In questa tabella vengono riportate anche le caratteristiche dell'elemento sottotetto, quindi è chiaro che si fa riferimento ai casi di studio 2 e 3 (rispettivamente villetta con sottotetto isolato-copertura non isolata e sottotetto non isolato-copertura isolata). Le strutture opache in questione sono valide per tutte le località.

n	Simulated on	Thermal Transmittance U	Surface Mass	Total Internal Heat Capacity	Periodic Thermal Transmittance Y_{ie}	Attenuation f_a	Time Shift ϕ	Areal Internal Heat Capacity k_j
-	-	[W/(m ² K)]	[kg/m ²]	[kJ/m ² K]	[W/(m ² K)]	[-]	[h]	[kJ/(m ² K)]
Roofs (Isolated)								
24	Milan	0.200	278.16	279.50	0.067	0.333	9.97	82.72
28	Rome	0.200	278.16	279.50	0.067	0.333	9.97	82.72
40	Palermo	0.264	401.60	431.20	0.061	0.229	7.67	91.41
Roofs (Not Isolated)								
26	Milan	0.700	399.20	427.70	0.176	0.252	6.47	91.71
30	Rome	0.700	399.20	427.70	0.176	0.252	6.47	91.71
44	Palermo	0.700	399.20	427.70	0.176	0.252	6.47	91.71
Ground Floor								
1	Milan	0.249	1370.60	1372.20	0.007	0.027	18.37	62.66
1	Rome	0.269	1370.30	1371.80	0.007	0.027	18.29	62.56
1	Palermo	0.353	1369.40	1370.50	0.01	0.028	18.05	62.15
Internal Floor								
1	Milan	0.354	403.80	390.70	0.039	0.111	12.17	77.36
1	Rome	0.354	403.80	390.70	0.039	0.111	12.17	77.36
1	Palermo	0.354	403.80	390.70	0.039	0.111	12.17	77.36
Sub-Roofing Floor (Isolated)								
1	Milan	0.245	363.60	351.40	0.038	0.155	11.24	58.05
1	Rome	0.273	363.00	340.10	0.029	0.107	11.35	34.40
1	Palermo	0.362	362.10	349.20	0.064	0.169	10.43	58.45
Sub-Roofing Floor (Not Isolated)								
3	Milan	1.239	360.00	337.50	0.413	0.333	8.40	32.52
3	Rome	1.239	360.00	337.50	0.413	0.333	8.40	32.52
3	Palermo	1.239	360.00	337.50	0.413	0.333	8.40	32.52
Walls								
7	Milan	0.218	227.80	275.80	0.007	0.031	21.92	34.56
7	Rome	0.239	228.86	257.10	0.007	0.031	21.10	35.77
11	Palermo	0.356	274.85	303.00	0.018	0.050	18.55	40.55

Tab.15: Parametri termo-fisici utilizzati per la struttura massiva per ogni località per i casi di studio 2 e 3

3.2.8. Strutture opache utilizzate per l'edificio leggero

Di seguito viene riportata la tabella (Tab.16) con i parametri utilizzati per la simulazione degli edifici “leggeri”. Anche in questo caso si fa riferimento a tutte le località.

n	Simulated on	Thermal Transmittance U	Surface Mass	Total Internal Heat Capacity	Periodic Thermal Transmittance Y_{ie}	Attenuation f_a	Time Shift ϕ	Areal Internal Heat Capacity k_j
-	-	[W/(m ² K)]	[kg/m ²]	[kJ/m ² K]	[W/(m ² K)]	[-]	[h]	[kJ/(m ² K)]
Roofs (Isolated)								
25	Milan	0.190	46.68	53.20	0.135	0.707	5.23	6.38
29	Rome	0.212	44.18	506.00	0.167	0.786	4.31	6.08
43	Palermo	0.254	39.43	45.80	0.229	0.899	3.06	4.79
Roofs (Not Isolated)								
27	Milan	0.678	29.18	35.20	0.671	0.991	0.46	2.44
31	Rome	0.678	29.18	35.20	0.671	0.991	0.46	2.44
45	Palermo	0.678	29.18	35.20	0.671	0.991	0.46	2.44
Ground Floor								
1	Milan	0.249	1370.60	1372.20	0.007	0.027	18.37	62.66
1	Rome	0.269	1370.30	1371.80	0.007	0.027	18.29	62.56
1	Palermo	0.353	1369.40	1370.50	0.01	0.028	18.05	62.15
Internal Floor								
2	Milan	0.479	339.20	305.70	0.156	0.326	7.59	78.48
2	Rome	0.479	339.20	305.70	0.156	0.326	7.59	78.48
2	Palermo	0.479	339.20	305.70	0.156	0.326	7.59	78.48
Sub-Roofing Floor (Isolated)								
2	Milan	0.244	70.50	71.20	0.195	0.798	4.25	5.96
2	Rome	0.265	68.25	68.90	0.217	0.836	3.49	5.24
2	Palermo	0.361	63.25	63.80	0.325	0.901	2.34	4.20
Sub-Roofing Floor (Not Isolated)								
4	Milan	1.242	57.50	57.60	1.16	0.934	1.28	7.54
4	Rome	1.242	57.50	57.60	1.16	0.934	1.28	7.54
4	Palermo	1.242	57.50	57.60	1.16	0.934	1.28	7.54
Walls								
19	Milan	0.216	52.13	71.50	0.12	0.554	6.67	21.63
23	Rome	0.245	49.63	68.90	0.154	0.631	5.87	22.12
33	Palermo	0.333	44.63	63.80	0.261	0.785	4.27	22.74

Tab16: Parametri termo-fisici strutture leggere per ogni località climatica per i casi di studio 2 e 3

3.3. Impianti e ventilazione

Un altro aspetto importante per la valutazione del comfort termico all'interno dell'edificio è quello di andare a definire il funzionamento degli impianti.

3.3.1. Impianto di riscaldamento

Il profilo di accensione dell'impianto di riscaldamento varia in base alla zona climatica che si sta analizzando. Di seguito vengono riportate 3 tabelle con i profili di utilizzo di ciascuna località (*Tab.17-Profilo di accensione per la città di Milano, Tab. 18- Profilo di accensione per la città di Roma, Tab. 19-Profilo di accensione per la città di Palermo*).

Profili Milano (E)		
Riscaldamento	Dalle 6:00 alle 13:00	Dal 15 Ottobre al 15 Aprile
	Dalle 17:00 alle 24:00	
Raffrescamento	-	Dal 1 Gennaio al 31 Dicembre

Tab.17: Profili di accensione per la città di Milano

Profili Roma (D)		
Riscaldamento	Dalle 6:00 alle 12:00	Dal 1 Novembre al 15 Aprile
	Dalle 18:00 alle 24:00	
Raffrescamento	-	Dal 1 Gennaio al 31 Dicembre

Tab.18: Profili di accensione per la città di Roma

Profili Palermo (B)		
Riscaldamento	Dalle 7:00 alle 11:00	Dal 1 Dicembre al 31 Marzo
	Dalle 19:00 alle 23:00	
Raffrescamento	-	Dal 1 Gennaio al 31 Dicembre

Tab.19: Profili di accensione per la città di Palermo

Come si può notare, il periodo e il tempo di accensione variano in base alla zona climatica e in particolare si ha:

- Zona climatica E (Milano): l'impianto di riscaldamento viene considerato acceso dal 15 Ottobre al 15 Aprile dalle ore 6.00 alle ore 13.00 e dalle ore 17.00 alle ore 24.00;
- Zona climatica D (Roma): l'impianto di riscaldamento risulta acceso dal 1 Novembre al 15 Aprile dalle ore 6.00 alle ore 12.00 e dalle ore 18.00 alle ore 24.00;
- Zona climatica B (Palermo): l'impianto risulta acceso dal 1 Dicembre al 31 Marzo dalle ore 7.00 alle ore 11.00 e dalle ore 19.00 alle ore 23.00.

La temperatura di set-point invernale è fissata a 20°C mentre quella estiva a 26°C. Per quanto riguarda l'impianto di riscaldamento, la normativa vigente non prevede un profilo di accensione dell'impianto di raffrescamento, quindi si considera acceso ogni volta che risulta necessario ridurre la temperatura secondo il set-point estivo.

3.3.2. Ventilazione

In fase di modellazione dell'edificio è necessario andare ad inserire i profili della ventilazione, che variano in relazione al caso di studio che si va ad analizzare. Nelle seguenti tabelle vengono riportati i valori delle portate d'aria in volumi orari per ciascuna situazione e per ciascuna zona termica della villetta. Come si può notare, per il caso di studio 1, quindi la villetta con sottotetto, si considera un profilo di ventilazione giornaliero con una durata di 24h e ovviamente la portata d'aria varierà in base al volume (*Tab. 20*). Si farà poi una distinzione, nel caso della villetta senza sottotetto, nella quale si andrà a variare il profilo di funzionamento (*Tab. 21* e *Tab. 22*):

- Nel primo caso il profilo di utilizzo è giornaliero e quindi di 24h;
- Nel secondo caso si considera una ventilazione solo x il periodo estivo, dal 1 Giugno al 30 Settembre con un profilo notturno, dalle ore 23.00 alle ore 7.00.

Portata d'Aria [m³/h] (Con Sottotetto)				
Zona Termica	Volume	n	fve,t	Portata d'Aria
[-]	[m ³]	[vol/h]	[-]	[m ³ /h]
Bagno 1 - Antibagno	20,25	0,50	0,60	6,08
Ripostiglio	7,02	0,50	0,60	2,11
Cucina	44,15	0,50	0,60	13,24
Soggiorno	87,55	0,50	0,60	26,27
Bagno 2	29,13	0,50	0,60	8,74
Disimpegno	12,76	0,50	0,60	3,83
Camera Singola 1	32,32	0,50	0,60	9,70
Camera Singola 2	33,84	0,50	0,60	10,15
Camera Matrimoniale	49,30	0,50	0,60	14,79
Vano Scale	67,39	0,50	0,60	20,22
Sottotetto	49,67	0,50	0,60	14,90
Profilo	Tutti i Giorni, 24h su 24h			

Tab.20: Portata d'aria per il caso di studio 1 (villetta senza sottotetto)

Portata d'Aria [m³/h] (Senza Sottotetto)				
Zona Termica	Volume	n	fve,t	Portata d'Aria
[-]	[m ³]	[vol/h]	[-]	[m ³ /h]
Bagno 1 - Antibagno	20,25	0,50	0,60	6,08
Ripostiglio	7,02	0,50	0,60	2,11
Cucina	44,15	0,50	0,60	13,24
Soggiorno	87,55	0,50	0,60	26,27
Bagno 2	33,69	0,50	0,60	10,11
Disimpegno	18,11	0,50	0,60	5,43
Camera Singola 1	39,71	0,50	0,60	11,91
Camera Singola 2	43,58	0,50	0,60	13,07
Camera Matrimoniale	63,47	0,50	0,60	19,04
Vano Scale	72,66	0,50	0,60	21,80
Profilo	Tutti i Giorni, 24h su 24h			

Tab.21: Profilo di ventilazione giornaliero per la villetta senza sottotetto

Portata d'Aria [m³/h] (Con Sottotetto)				
Zona Termica	Volume	n	fve,t	Portata d'Aria
[-]	[m ³]	[vol/h]	[-]	[m ³ /h]
Bagno 1 - Antibagno	20,25	0,70	0,60	8,51
Ripostiglio	7,02	0,70	0,60	2,95
Cucina	44,15	0,70	0,60	18,54
Soggiorno	87,55	0,70	0,60	36,77
Bagno 2	29,13	0,70	0,60	12,24
Disimpegno	12,76	0,70	0,60	5,36
Camera Singola 1	32,32	0,70	0,60	13,57
Camera Singola 2	33,84	0,70	0,60	14,21
Camera Matrimoniale	49,30	0,70	0,60	20,70
Vano Scale	67,39	0,70	0,60	28,30
Sottotetto	49,67	0,70	0,60	20,86
Profilo Notturno 23:00 - 7:00				
Tutti i Giorni, dal 1 Giugno al 30 Settembre				

Tab.22: Profilo di ventilazione notturno nel periodo estivo per la villetta senza sottotetto

3.3.3. Apporti interni

Per effettuare l'analisi, è stato necessario andare a valutare anche gli apporti interni, calcolati per ciascuna zona termica, con un profilo giornaliero ovvero 24h su 24h per ogni giorno dell'anno. Di seguito (Tab.23) vengono riportati gli apporti interni. All'interno di quest'ultima si possono notare i valori relativi alla metratura di quella data zona termica e i relativi apporti interni; infine viene calcolato il valore degli apporti interni al metro quadrato [W/m²], che è pari a 3,47.

Apporti Interni [W]			
Zona Termica	Area	Apporti Interni	
[-]	[m ²]	[W]	
Bagno 1 - Antibagno	7,50	26,03	
Ripostiglio	2,60	9,03	
Cucina	16,35	56,76	
Soggiorno	32,43	112,57	
Bagno 2	10,79	37,46	
Disimpegno	4,73	16,40	
Camera Singola 1	11,97	41,55	
Camera Singola 2	12,54	43,51	
Camera Matrimoniale	18,26	63,38	
Vano Scale	12,48	43,32	[W/m ²]
Totale	129,64	450,00	3,47
Profilo	Tutti i Giorni, 24h su 24h		

Tab.23: Apporti interni relativi a ciascuna zona termica

4. CENNI DI MODELLAZIONE CON DESIGN BUILDER

Per l'analisi dei tre casi di studio è stato utilizzato come software "DesignBuilder" che sfrutta come programma di simulazione Energy+. Di seguito vengono riportati alcuni cenni di modellazione dell'edificio attraverso questo software.

4.1. Modellazione della struttura

Il primo passo è quello di andare a costruire il modello, partendo dalla pianta con le dimensioni esterne, presenti in *Fig.1* e *Fig.2* andando a creare le pareti esterne, le pareti interne (partizioni), il solaio contro-terra, il solio di interpiano, il solaio di sottotetto e la copertura. Il passo successivo è quello di andare a creare le aperture, quindi finestre e porte, secondo le dimensioni viste precedentemente in *Tab.4*.

Il passo successivo è stato quello di andare a creare le zone termiche, andando ad associare a ciascuna stanza il profilo di utilizzo di questa, ad esempio al corridoio è stato assegnato il profilo di "common circulation area" mentre per la cucina il profilo appunto di "kitchen". Per ciascuna di esse è stato poi definito il ricambio d'aria in [vol/h] come visto nelle tabelle 19, 20 e 21 rispettivamente per il caso di studio 1, senza sottotetto e per il caso di studio 2 con sottotetto.

Nella sezione "costruzione" sono stati creati tutti gli elementi opachi verticali, orizzontali e inclinati con le relative stratigrafie andando a rispettare i valori caratteristici presenti nelle tabelle all'interno del *Capitolo 3*.

Nella sezione "aperture" invece, sono state create le finestre, con tutti i valori previsti in *Tab.11*, andando a rispettare le stratigrafie e i valori di trasmittanza.

Sono stati quindi creati tutti gli elementi necessari per poter effettuare le simulazioni per i tre casi di studio, per le tre località previste, Milano, Roma e Palermo.

4.2. File meteo

Per poter simulare il programma richiede di utilizzare dei file meteo, ovvero dei file presenti all'interno del programma, nei quali vengono riportati i dati climatici del luogo, ovvero la temperatura a bulbo secco, l'umidità relativa, la radiazione diretta e diffusa e la velocità del vento. In relazione alla località che andremo a simulare, si andranno prima ad impostare i template relativi a quella località e poi il file meteo presente all'interno del programma. Quindi, nel caso in cui andremo ad effettuare simulazioni per la città di Milano, sarà necessario impostare il template della città e indicare al programma il file meteo da utilizzare. Stesso procedimento varrà per le città di Roma e Palermo.

4.3. Simulazione

Una volta impostate tutte le strutture opache e trasparenti necessarie, si può procedere con la simulazione. Prima di procedere, il programma permette di scegliere i parametri che si vogliono esplicitare.

In seguito, viene richiesto di specificare il periodo di simulazione e l'intervallo con cui si intende procedere, nel nostro caso si andrà a simulare un anno (365 giorni) con un intervallo orario.

5. ANALISI DEI RISULTATI

5.1. Valutazione del fabbisogno di energia utile per il caso di studio 1 (Villetta unifamiliare senza sottotetto)

Attraverso le simulazioni, è stato possibile calcolare i fabbisogni interni per riscaldamento e raffrescamento, che il programma esplicita rispettivamente come riscaldamento sensibile e raffrescamento sensibile. Ciò viene eseguito per ciascuna località al variare della tipologia di parete esterna. Si andranno poi a relazionare i fabbisogni ottenuti con le trasmittanze termiche, le capacità termiche e le masse superficiali delle pareti.

5.1.1. Milano

Nella tabella seguente (Tab. 24) vengono riportati valori caratteristici delle pareti utilizzate per la località di Milano.

Simulazione	U [W/m ² K]	Capacità termica [kJ/mqK]	Massa superficiale [kg/mq]	Riscaldamento sensibile [kWh]	Raffrescamento sensibile [kWh]
1	0,208	301,7	253,5	5552,57	3406,14
2	0,228	350,4	315	3567,75	4437,07
3	0,214	421,5	373,5	5424,03	3567,03
4	0,207	270,5	230,4	5352,64	3495,33
5	0,197	395,7	355,6	5332,19	3564,82
6	0,23	480	432	5516,08	3556,75
7	0,218	275,8	227,8	5443,81	3564,75
8	0,231	327,1	278,64	5294,50	3575,48
9	0,163	341	292,99	5127,96	3603,44
10	0,211	364,3	385,06	5402,54	3569,49
11	0,208	408,5	444,15	5387,29	3571,22
12	0,206	310,3	288,24	5124,27	3578,16
13	0,214	262,4	239,8	5401,51	3570,29
14	0,209	402,4	360	5355,02	3586,69
15	0,215	351	287	5155,31	3607,11
16	0,169	433	369	5155,31	3607,11
17	0,192	392	328	5285,44	3591,08
18	0,227	453,8	405,3	5496,85	3558,85
19	0,216	71,5	52,13	5401,38	3489,14
20	0,216	71,5	52,13	5563,19	3431,10
Coperture					
21	0,203	329,6	316,87	5443,81	3564,75
22	0,198	72,2	56,85	5443,81	3564,75
23	0,202	433	402,8	5443,81	3564,75
24	0,2	279,5	278,16	5443,81	3564,75

Tab.24: Parametri caratteristici delle strutture opache per la città di Milano

Sono poi stati realizzati dei grafici con i quali vengono messi in relazione i riscaldamenti sensibili e i raffrescamenti sensibili con le trasmittanze termiche di

ciascuna parete. Nelle ascisse si hanno le trasmittanze termiche $[W/m^2K]$, mentre lungo le ordinate i riscaldamenti e i raffrescamenti sensibili $[kWh]$. I punti in dispersione rappresentano le capacità termiche totali delle pareti $[kJ/m^2K]$.

Viene introdotta inoltre, una linea di tendenza, in modo da poter valutare l'andamento dei risultati.

Nel *Grafico 1* si fa riferimento al caso invernale, quindi al riscaldamento sensibile e si può notare come la linea di tendenza abbia un andamento crescente. Ciò avviene perché la trasmittanza termica viene definita come il flusso di calore che attraversa una struttura di $1m^2$ di superficie con una differenza di temperatura pari a $1K$ e quindi all'aumentare di questa grandezza, aumentano anche le dispersioni verso l'esterno e di conseguenza aumenterà il fabbisogno termico all'interno dell'edificio.

Nel *Grafico 2*, invece si fa riferimento al caso estivo, quindi al raffrescamento sensibile. Al contrario del grafico 1, la linea di tendenza è decrescente, quindi all'aumentare della trasmittanza, diminuiscono i fabbisogni di energia per il raffrescamento.

Per quanto riguarda i punti in dispersione, rappresentativi la capacità termica, con un valore più alto, si trovano in maggioranza al di sopra della linea di tendenza. Questo vuol dire che a parità di trasmittanze termiche, avere una capacità termica totale più elevata significa aumentare anche il fabbisogno di energia.

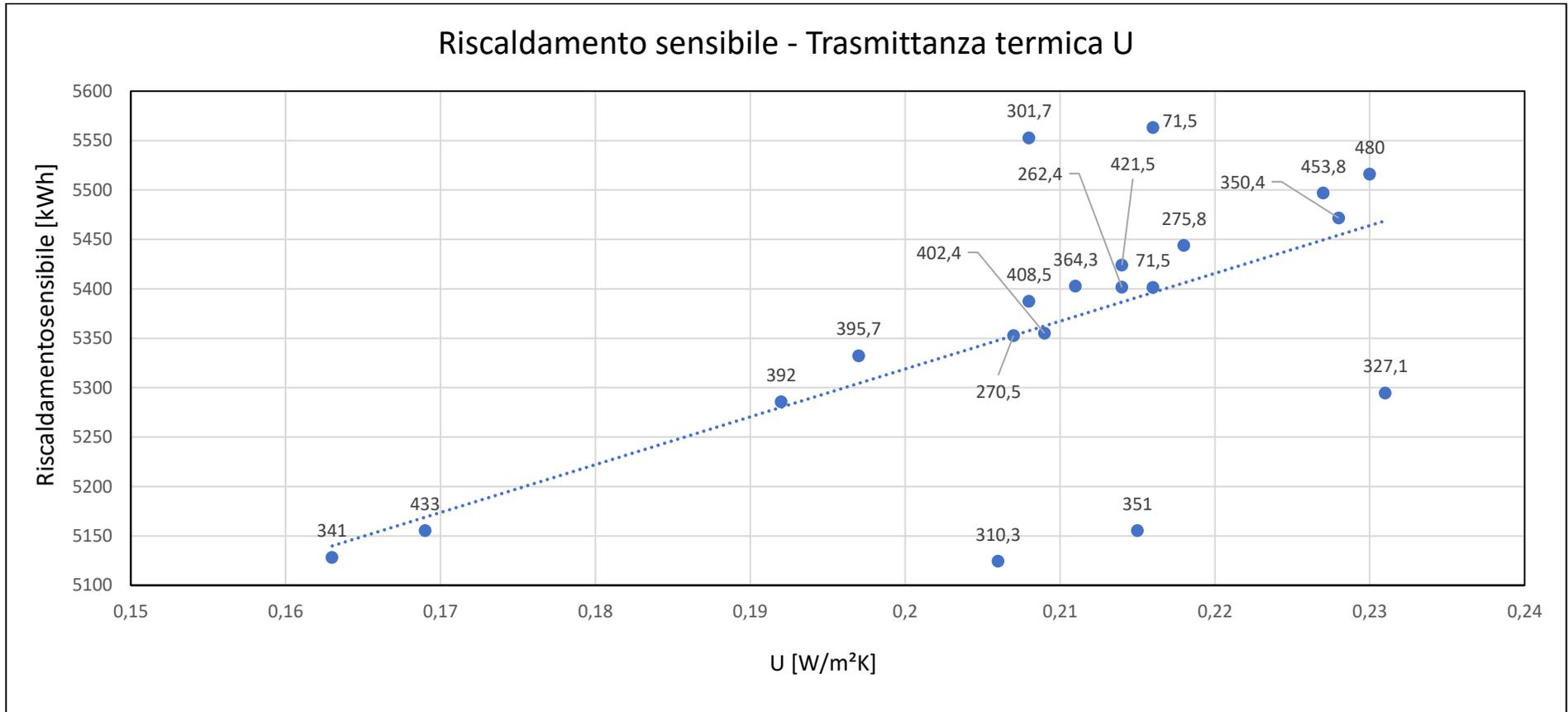


Grafico 1: Rapporto tra riscaldamento sensibile e trasmittanza termica città di Milano. I numeri identificano la capacità termica totale [kJ/m²K]

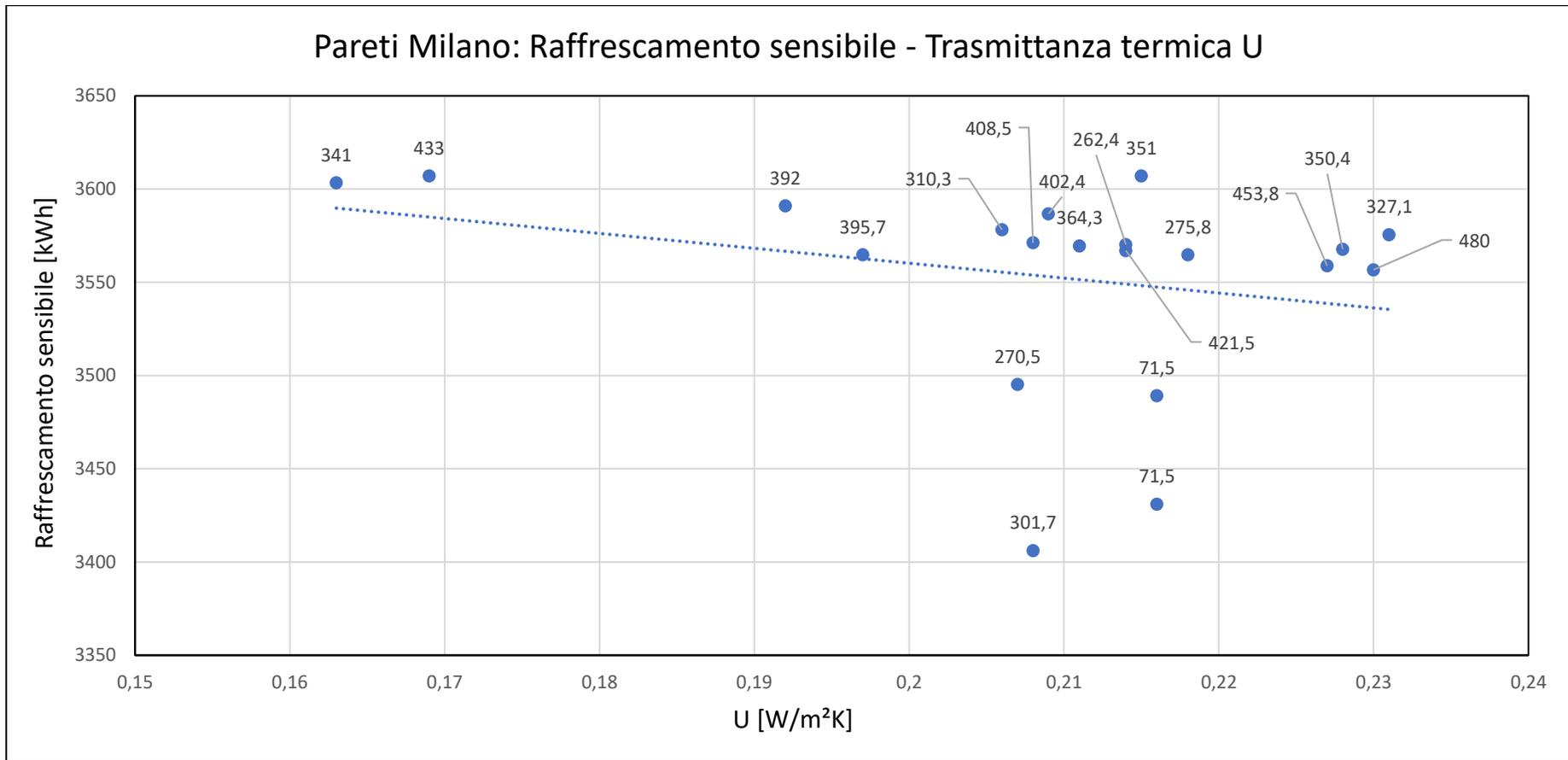


Grafico 2: Rapporto tra raffrescamento sensibile e trasmittanza termica città di Milano. I numeri identificano la capacità termica totale [kJ/m²K]

Nei due grafici che seguono, vengono rapportati rispettivamente il riscaldamento sensibile, il raffrescamento sensibile e la trasmittanza termica con la massa superficiale delle pareti [kg/m^2].

Nel *Grafico 3*, si ha in ascisse la trasmittanza termica e in ordinata il riscaldamento sensibile. Come si può notare, come nel caso precedente, la linea di tendenza è crescente, ma andando a valutare i punti in dispersione che rappresentano la massa superficiale, si può notare che i punti con un valore più alto si trovano al di sopra della linea di tendenza. Si può quindi affermare che la capacità termica contribuisce all'aumento del riscaldamento sensibile.

Nel *Grafico 4* si andrà a valutare il caso estivo, nel quale si considerano i raffrescamenti sensibili. Per il caso estivo è necessario ragionare inversamente al caso invernale, ovvero in questo periodo è necessario andare a considerare il fatto che si avranno degli apporti solari e che a riscaldarsi saranno le pareti esterne. Anche in questo caso, è stata inserita una linea di tendenza, che risulterà di tipo decrescente. La distribuzione dei punti che stanno ad indicare la massa superficiale si distribuiscono come segue: quelli che indicano valori più elevati si trovano al di sopra della linea di tendenza, mentre quelli più bassi al di sopra. Questo significa che, a parità di trasmittanza termica, avere una massa superficiale maggiore durante il periodo estivo consente di ridurre il raffrescamento sensibile.

Pareti Milano: Riscaldamento sensibile - Trasmittanza termica U

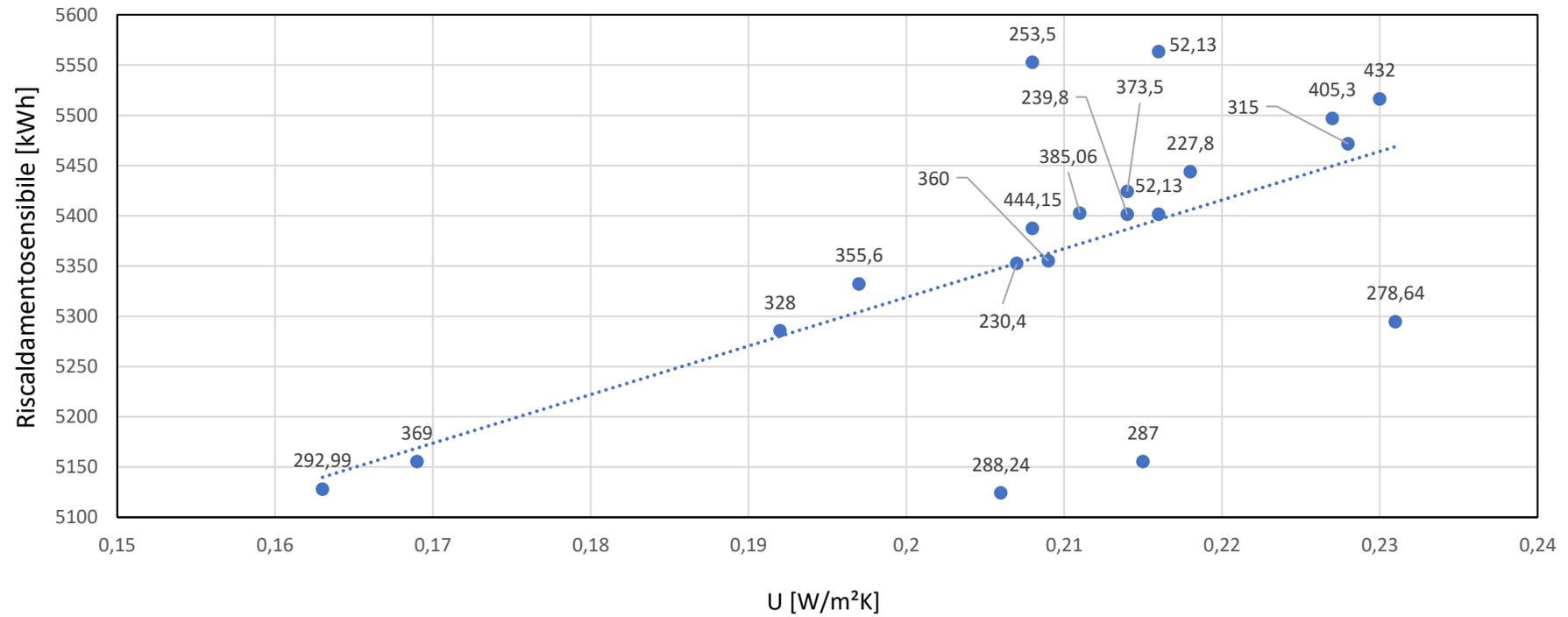


Grafico 3: Rapporto tra riscaldamento sensibile e trasmittanza termica delle pareti città di Milano. I numeri identificano la massa superficiale [kg/m²]

Pareti Milano: Raffrescamento sensibile - Trasmittanza termica U

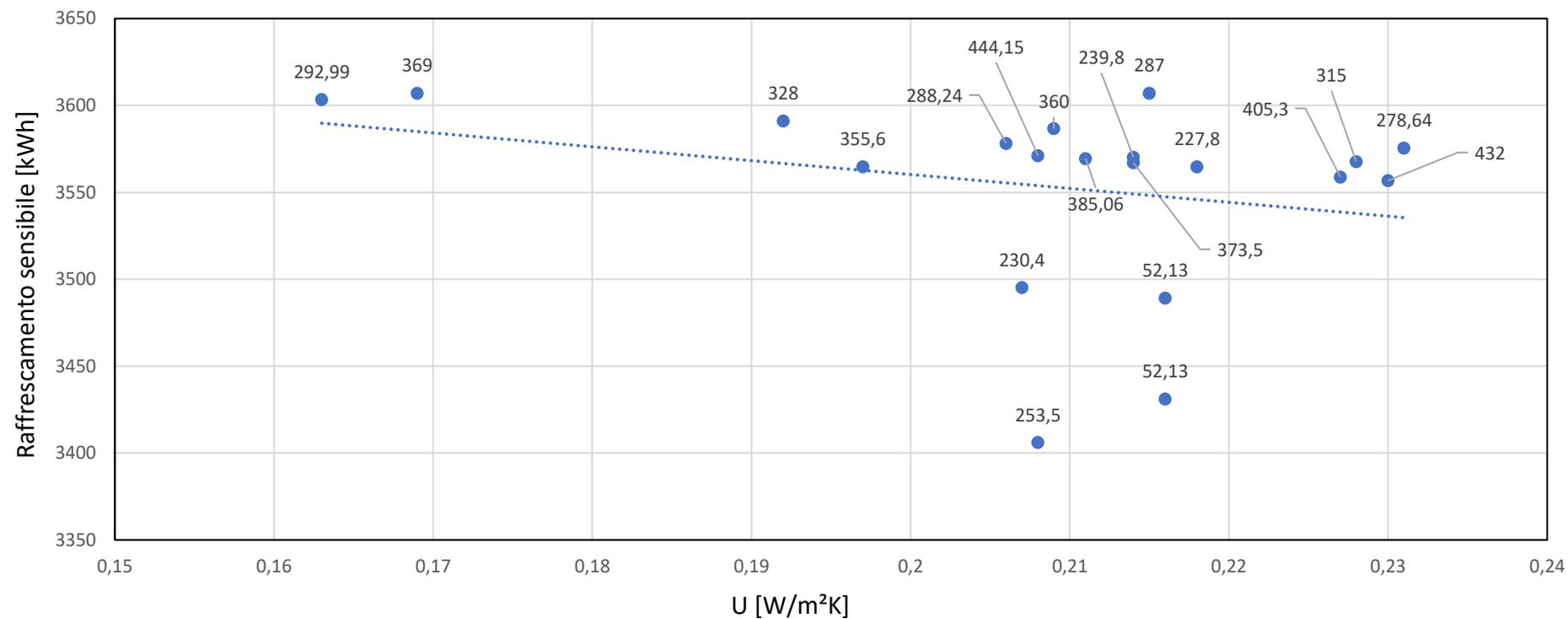


Grafico 4: Rapporto tra raffrescamento sensibile e trasmittanza termica delle pareti città di Milano. I numeri identificano la massa superficiale [kg/m²]

5.1.2. Roma

Nella tabella seguente (Tab. 25) vengono riportati valori caratteristici delle pareti utilizzate per la località di Roma.

ROMA					
Simulazione	U [W/m ² K]	Capacità termica [kJ/mqK]	Massa superficiale [kg/mq]	Riscaldamento sensibile [kWh]	Raffrescamento sensibile [kWh]
1	0,208	301,7	253,5	1980,07	4203,26
2	0,228	350,4	315	2086,78	4222,51
3	0,214	421,5	373,5	2065,11	4237,47
4	0,207	270,5	230,4	2089,66	4165,33
5	0,197	395,7	355,6	2032,34	4242,53
6	0,23	480	432	2112,58	4217,11
7	0,239	257,1	288,86	2137,13	4207,00
8	0,218	257,8	277,8	2075,39	4233,00
9	0,231	327,1	278,64	1990,51	4260,45
10	0,163	341	292,99	1915,89	4307,66
11	0,238	313,1	265,09	2134,33	4208,19
12	0,211	364,3	385,06	2054,15	4242,34
13	0,243	421,1	444,15	2149,43	4201,72
14	0,208	408,5	444,15	2046,29	4245,79
15	0,206	310,3	288,24	1847,20	4327,35
16	0,214	262,4	239,8	2056,28	4233,25
17	0,209	402,4	360	2015,24	4260,76
18	0,215	351	287	1916,42	4312,75
19	0,169	433	369	1916,42	4312,75
20	0,192	392	328	1981,22	4281,33
21	0,227	453,8	405,3	2102,54	4221,39
22	0,239	356,3	308,25	2137,44	4206,95
23	0,245	68,9	49,63	2200,77	4117,90
24	0,245	68,9	49,63	2054,58	4156,98
Coperture					
25	0,203	329,6	316,87	2137,13	4207,00
26	0,198	72,2	56,85	2137,13	4207,00
27	0,202	433	402,8	2137,13	4207,00
28	0,2	279,5	278,16	2137,13	4207,00

Tab.25: Parametri caratteristici delle strutture opache per la città di Roma

In seguito, sono stati realizzati dei grafici con cui vengono messe in relazione le trasmittanze termiche interne [W/m²K] e i riscaldamenti sensibili e i raffrescamenti sensibili [kWh]. Anche in questa località sono stati analizzati gli andamenti in relazione alle capacità termiche e alle masse superficiali.

Nei grafici che seguono viene rappresentato il rapporto tra la trasmittanza termica e rispettivamente tra il riscaldamento e raffrescamento sensibile per la città di Roma. In entrambi i grafici si avrà in ascissa la trasmittanza termica [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$] e in ordinata i riscaldamenti e raffrescamenti sensibili [kWh]. I punti in dispersione rappresentano la capacità termica delle pareti

Nel *Grafico 5* è rappresentato un grafico che mette a confronto il riscaldamento sensibile dell'edificio rispetto ai valori della trasmittanza termica. Riprendendo la definizione di trasmittanza termica, nel caso invernale si avrà, per le pareti che hanno questo parametro elevato, una dispersione di calore maggiore verso l'esterno. La linea di tendenza ha un andamento crescente e permette di capire cosa accade all'aumentare della trasmittanza, ovvero aumenta il fabbisogno di energia termica all'interno della villetta. I punti che rappresentano la capacità termica più elevata si trovano al di sopra della linea di tendenza e questo sta ad indicare che le pareti con questo parametro elevato, consentono di aumentare il riscaldamento sensibile nell'ambiente, aumentando il fabbisogno energetico.

Nel *Grafico 6* invece, vengono messi a confronto il raffrescamento sensibile, quindi il caso estivo, e la trasmittanza termica. Come si può notare, l'andamento della curva di tendenza è opposto rispetto a quello del *Grafico 5*. Infatti, essa è decrescente e a valori di trasmittanze elevati, corrisponde un raffrescamento sensibile più basso e quindi fabbisogni di energia inferiori. I valori delle capacità termiche elevate si trovano anche in questo caso, prevalentemente al di sopra della linea di tendenza. Quindi le pareti con questo parametro elevato corrispondono ad un raffrescamento sensibile maggiore.

Quindi nel periodo invernale sono più favorevoli pareti con trasmittanze elevate, mentre nel periodo estivo pareti con trasmittanze ridotte.

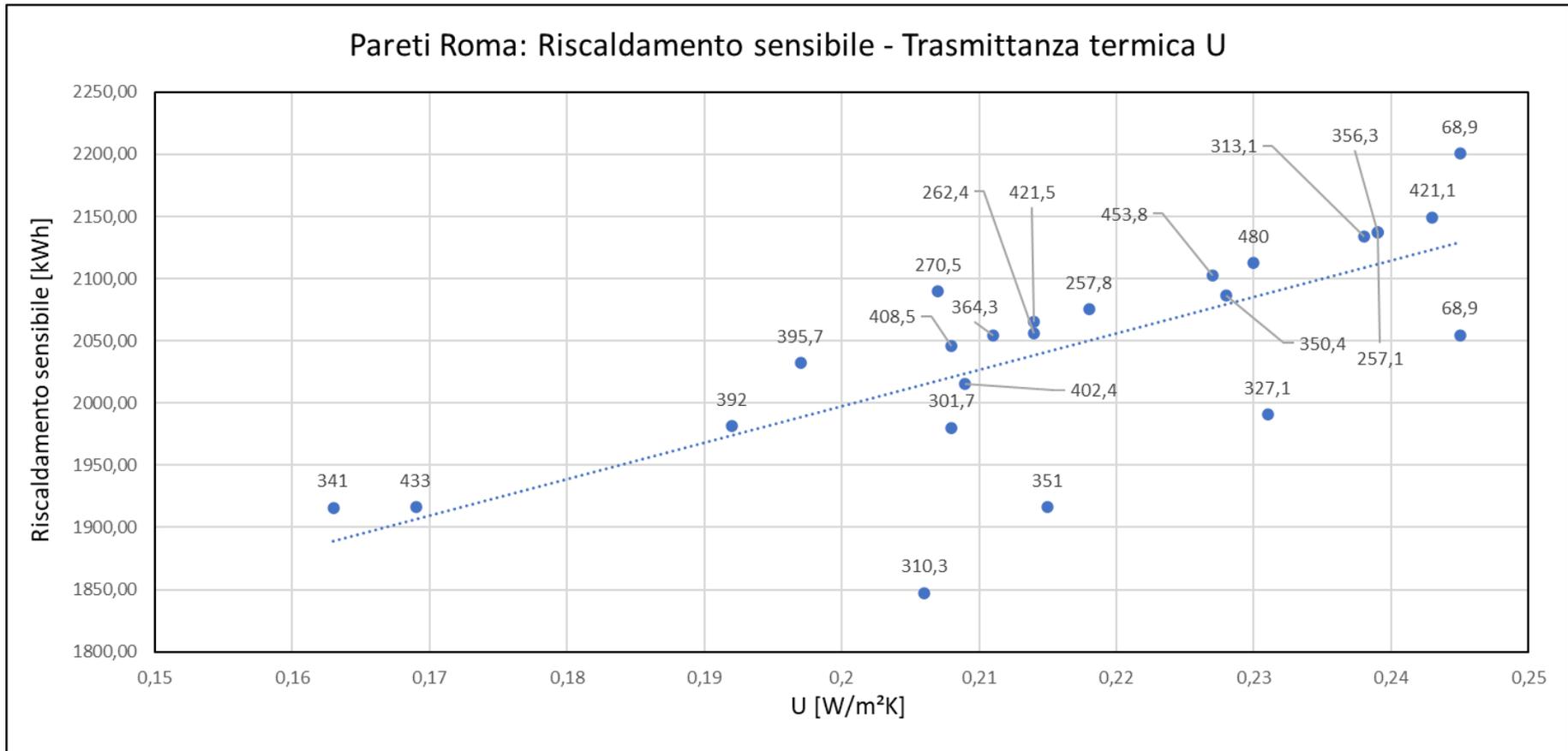


Grafico 5: Rapporto tra riscaldamento sensibile e trasmittanza termica città di Roma. I numeri identificano la capacità termica totale [kJ/m²K]

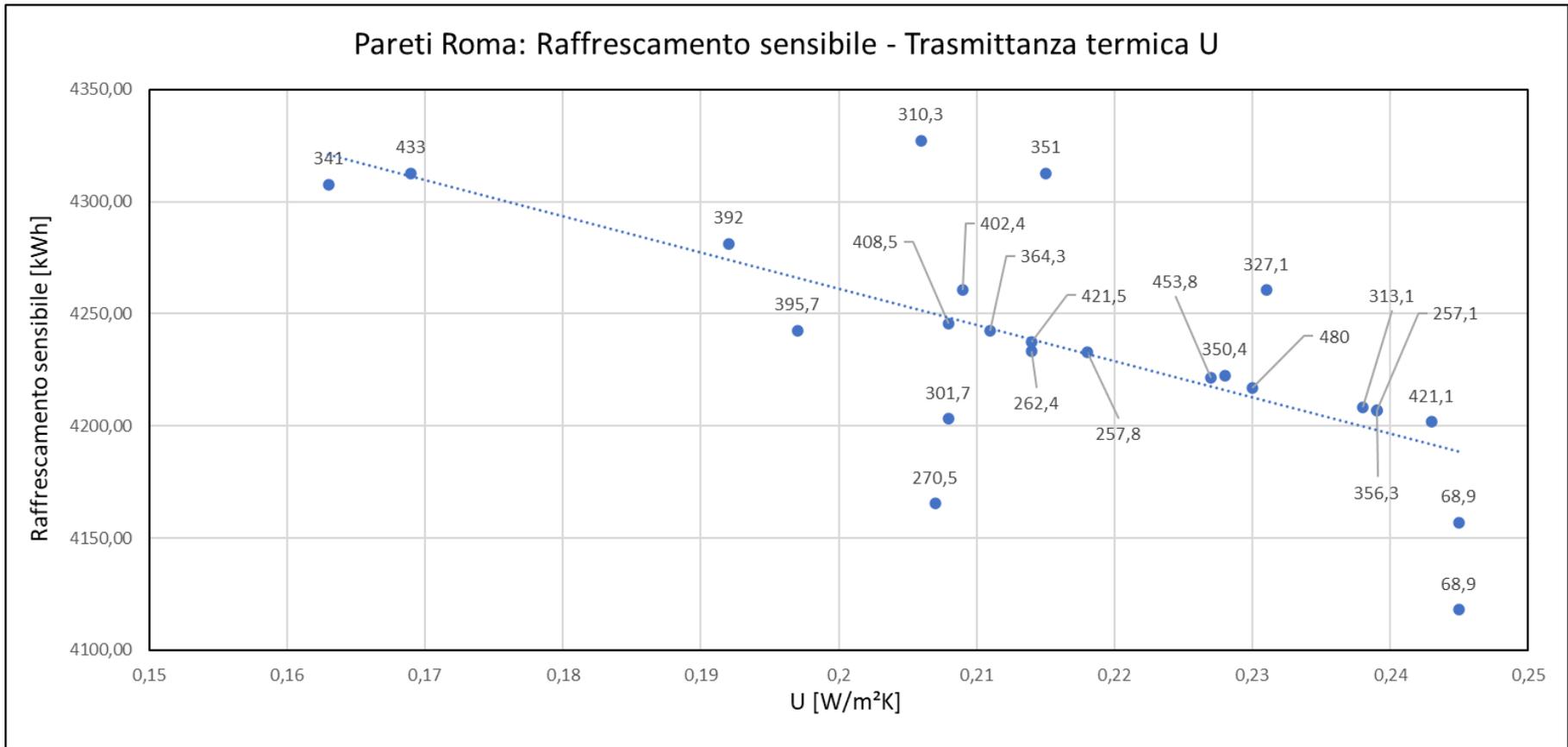


Grafico 6: Rapporto tra raffrescamento sensibile e trasmittanza termica città di Roma. I numeri identificano la capacità termica totale [$\text{kJ/m}^2\text{K}$]

Nei grafici che seguono vengono invece messi a confronto rispettivamente il riscaldamento sensibile e il raffrescamento sensibile, la trasmittanza termica e la massa superficiale. Lungo le ascisse sono presenti le trasmittanze [W/m^2K] e lungo le ordinate il raffrescamento e riscaldamento sensibile [kWh].

Nel *Grafico 7* viene rappresentato il rapporto tra i valori del riscaldamento sensibile e la trasmittanza termica per la città di Roma. L'andamento della linea di tendenza è di tipo crescente quindi valgono le considerazioni precedenti. Inoltre, i valori dei punti di dispersione indicano che pareti con una massa superficiale elevata si trovano al di sopra della linea di tendenza; questo significa che a massa superficiale elevata, corrispondono valori di riscaldamento sensibile maggiori e quindi fabbisogni più elevati.

Nel *Grafico 8* si valuta invece come varia il raffrescamento sensibile in base ai valori di trasmittanza termica. In questo caso l'andamento della linea di tendenza è di tipo decrescente. I punti in dispersione con valore più alto si trovano per la maggior parte al di sopra della linea di tendenza, quindi una massa superficiale alta contribuisce all'aumento del fabbisogno.

Quindi nel periodo invernale sono più favorevoli pareti con trasmittanze elevate, mentre nel periodo estivo pareti con trasmittanze ridotte.

Pareti Roma: Riscaldamento sensibile - Trasmittanza termica U

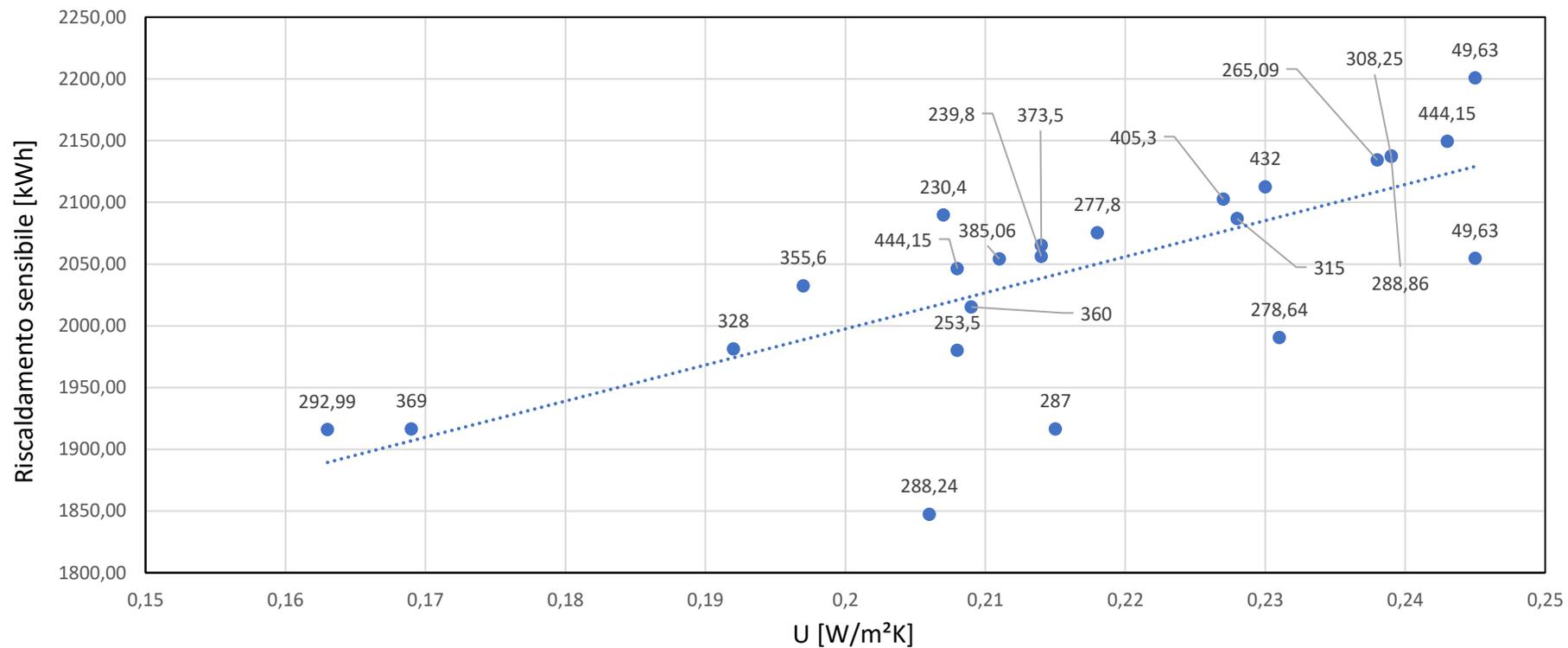


Grafico 7: Rapporto tra riscaldamento sensibile e trasmittanza termica delle pareti città di Roma. I numeri identificano la massa superficiale [kg/m²]

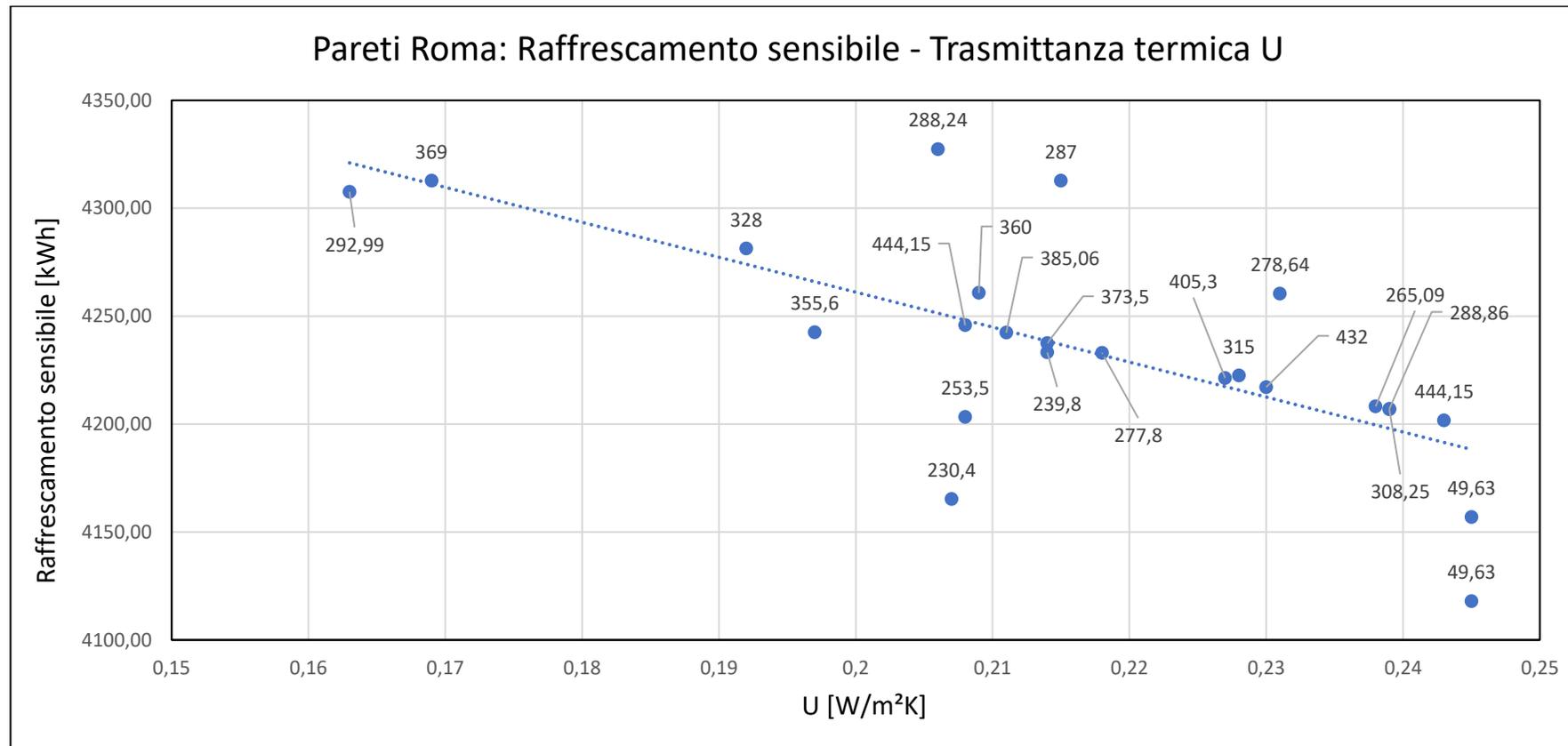


Grafico 8: Rapporto tra raffrescamento sensibile e trasmittanza termica delle pareti città di Roma. I numeri identificano la massa superficiale [kg/m²]

5.1.3. Palermo

Nella tabella seguente (Tab. 26) vengono riportati valori caratteristici delle pareti utilizzate per la località di Palermo.

PALERMO					
Simulazione	U [W/m ² K]	Capacità termica [kJ/mqK]	Massa superficiale [kg/mq]	Riscaldamento sensibile [kWh]	Raffrescamento sensibile [kWh]
1	0,208	301,7	253,5	714,30	5028,24
2	0,228	350,4	315	762,35	4997,01
3	0,214	421,5	373,5	750,84	5006,99
4	0,315	294	246	803,17	4995,59
5	0,343	342	294	928,64	4883,80
6	0,207	270,5	230,4	766,22	4913,65
7	0,197	395,7	355,6	737,27	5001,10
8	0,23	480	432	771,81	4990,04
9	0,355	256,2	228	911,50	4818,29
10	0,368	392,2	353,2	964,48	4863,65
11	0,356	303	274,85	948,09	4872,63
12	0,239	257,1	228,86	782,63	4981,64
13	0,218	275,8	227,8	755,37	5003,28
14	0,231	327,1	278,64	725,74	5047,14
15	0,163	341	292,99	685,74	5064,49
16	0,238	313,1	265,09	781,41	4982,69
17	0,37	319,3	271,14	863,43	4953,94
18	0,211	364,3	385,06	746,01	5011,10
19	0,243	421,1	444,15	788,12	4977,56
20	0,208	408,5	444,15	742,55	5013,88
21	0,343	343,3	375,06	928,68	4883,66
22	0,206	310,3	288,24	655,02	5135,18
23	0,214	262,4	239,8	747,85	5003,93
24	0,324	307,7	286,44	768,19	5051,73
25	0,345	259,8	238	4475,44	747,85
26	0,209	402,4	360	729,92	5038,17
27	0,215	351	287	685,19	5077,20
28	0,169	433	369	685,19	5077,20
29	0,192	392	328	713,33	5051,44
30	0,227	453,8	405,3	767,39	4993,62
31	0,239	356,3	308,25	746,24	4932,55
32	0,31	452,1	44,1	880,97	4912,50
33	0,333	63,8	44,63	830,80	4909,60
34	0,333	63,8	44,63	830,80	4909,60
Coperture					
35	0,203	389,6	316,87	948,09	4872,63
36	0,198	72,2	56,85	4475,44	948,09
37	0,202	433	402,8	948,09	4872,63
38	0,26	324,5	311,87	948,09	4872,63
39	0,258	70,4	55,65	948,09	4872,63
40	0,264	431,2	401,6	948,09	4872,63
41	0,2	279,5	278,16	948,09	4872,63
42	0,262	277,8	279,96	954,45	4557,78

Tab.26: Parametri caratteristici delle strutture opache per la città di Palermo

Nei grafici che seguono vengono riportati i riscaldamenti e raffrescamenti sensibili rapportati alle trasmittanze termiche. In ascissa si hanno le trasmittanze $[W/m^2K]$ e in ordinata i riscaldamenti e raffrescamenti sensibili $[kWh]$. I punti in dispersione indicano le capacità termiche $[W/m^2K]$.

Il *Grafico 9* mette in relazione il riscaldamento sensibile e le trasmittanze termiche. La linea di tendenza è di tipo crescente, ciò significa che a trasmittanze termiche elevate corrispondono riscaldamenti sensibili elevati. Quindi a trasmittanze termiche con valori più alti corrispondono fabbisogni energetici maggiori. Per quanto riguarda i punti in dispersione, rappresentativi la capacità termica, hanno un andamento variabile, questo significa che non si evidenzia una capacità termica maggiore o minore a seconda della posizione dei punti rispetto alla linea di tendenza.

Dal *Grafico 10* si può notare come vengono messi in relazione il raffrescamento sensibile e le trasmittanze termiche. Come si può osservare, anche in questo caso la linea di tendenza è decrescente e ciò significa che alle pareti con una trasmittanza più elevata corrisponde un raffrescamento sensibile minore e quindi una riduzione del fabbisogno energetico. Per quanto riguarda i punti in dispersione, rappresentativi la capacità termica, hanno una dispersione variabile quindi la conclusione è la stessa del caso invernale.

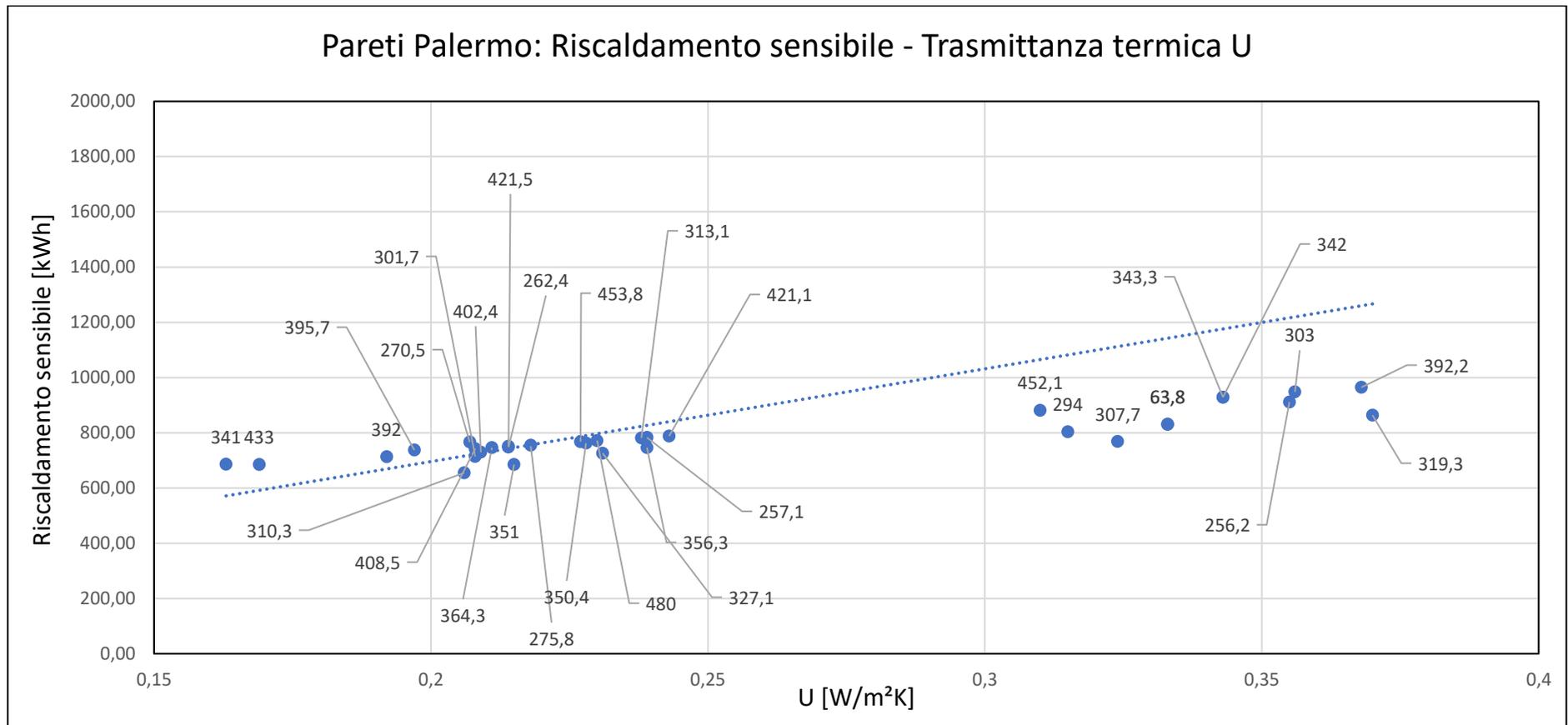


Grafico 9: Rapporto tra riscaldamento sensibile e trasmittanza termica città di Palermo. I numeri identificano la capacità termica totale [kJ/m²K]

Pareti Palermo: Raffrescamento sensibile - Trasmittanza termica U

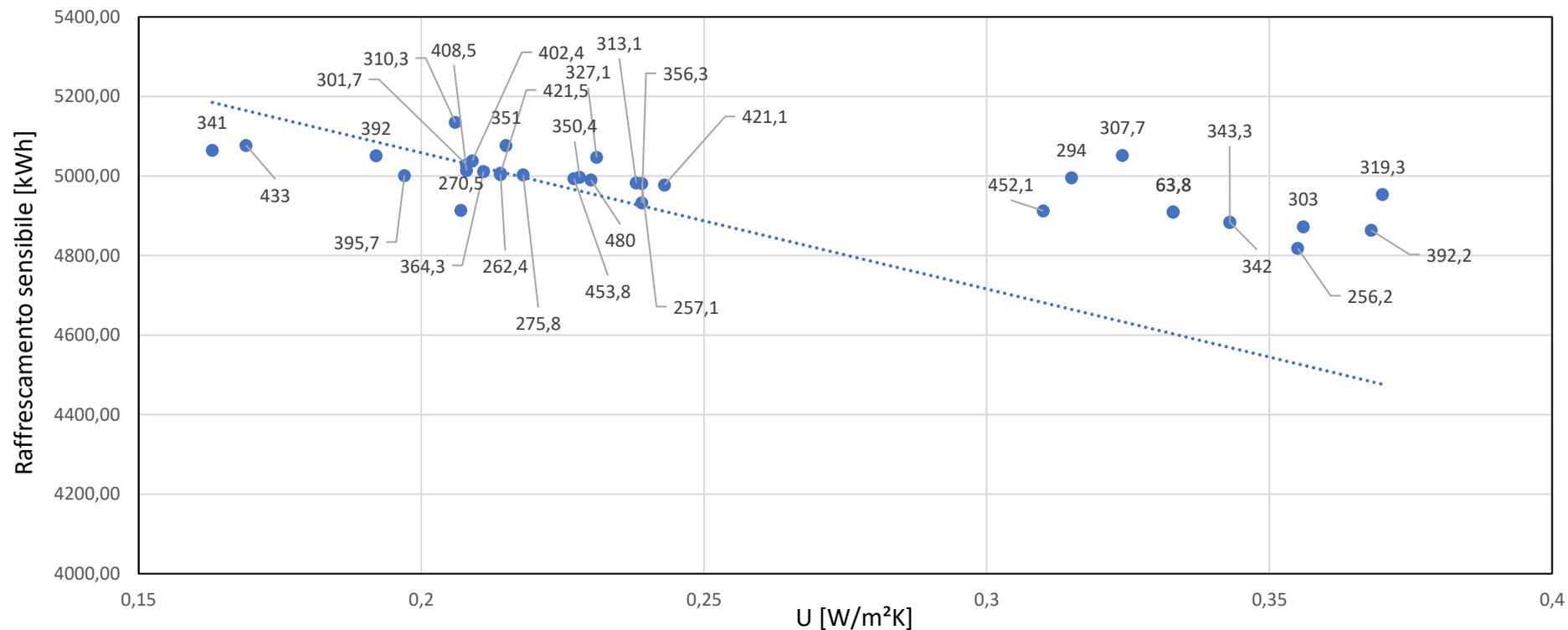


Grafico 10: Rapporto tra raffrescamento sensibile e trasmittanza termica città di Palermo. I numeri identificano la capacità termica totale $[kJ/m^2K]$

Nei grafici seguenti vengono messi a confronto sempre il riscaldamento e il raffrescamento sensibile con le trasmittanze e le masse superficiali. In ascissa sono presenti le trasmittanze termiche [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$], mentre in ordinata i riscaldamenti e raffrescamenti sensibili [kWh]. I punti in dispersione rappresentano le masse superficiali [kg/m^2].

Come nei due grafici precedenti, per la città di Palermo l'andamento della linea di tendenza è lo stesso, ovvero crescente per il riscaldamento sensibile (*Grafico 11*) e decrescente per il raffrescamento sensibile (*Grafico 12*).

Si può quindi dedurre che nel caso invernale a trasmittanze elevate corrisponde un riscaldamento sensibile maggiore e quindi un fabbisogno maggiore, mentre nel caso estivo si ha la situazione inversa.

Per il caso invernale i valori di massa superficiale hanno un andamento variabile, quindi non si evidenzia una massa superficiale maggiore o minore a seconda della posizione dei punti rispetto alla linea di tendenza.

Per il caso estivo, i valori maggiori di massa superficiale si trovano al di sopra della linea di tendenza. Ciò significa che il raffrescamento sensibile aumenta per valori di massa superficiale elevati.

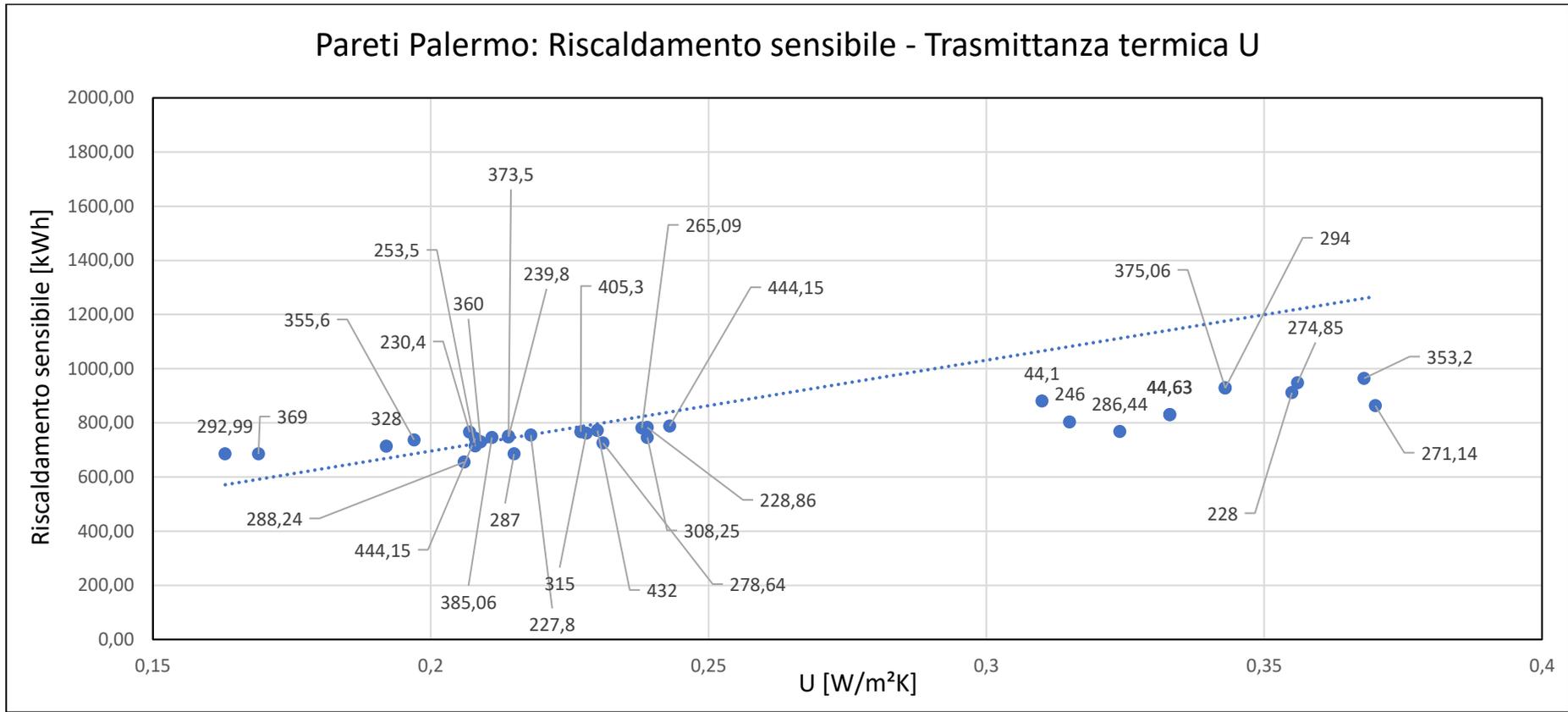


Grafico 11: Rapporto tra riscaldamento sensibile e trasmittanza termica delle pareti città di Palermo. I numeri identificano la massa superficiale [kg/m²]

Pareti Palermo: Raffrescamento sensibile - Trasmittanza termica U

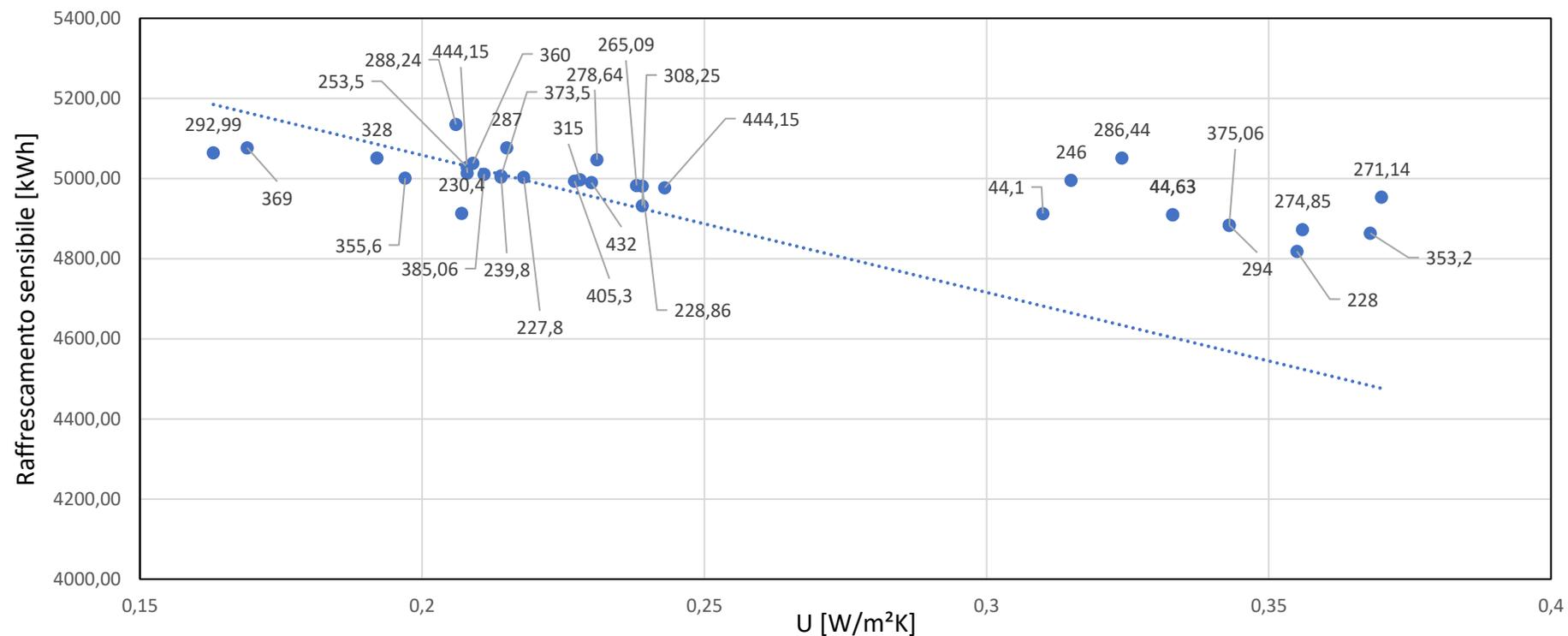


Grafico 12: Rapporto tra raffrescamento sensibile e trasmittanza termica delle pareti città di Palermo. I numeri identificano la massa superficiale [kg/m²]

5.2. Valutazione del fabbisogno di energia utile per il caso di studio 2 (Villetta con solaio di sottotetto isolato e copertura non isolata)

Anche per il caso di studio 2, attraverso le simulazioni effettuate su Design Builder, è stato possibile calcolare i riscaldamenti e i raffrescamenti sensibili per ciascuna località al variare della tipologia di parete esterna. Si andranno poi a relazionare i risultati ottenuti con le trasmittanze termiche, le capacità termiche e le masse superficiali delle pareti.

5.2.1. Milano

Nella tabella seguente (Tab.27) vengono riportati i parametri principali delle pareti per la località di Milano.

MILANO					
Simulazione	U [W/m ² K]	Capacità termica [kJ/mqK]	Massa superficiale [kg/mq]	Riscaldamento sensibile [kWh]	Raffrescamento sensibile [kWh]
1	0,208	301,7	253,5	5883,16	3738,85
2	0,228	350,4	315	5840,97	3753,73
3	0,214	421,5	373,5	5781,60	3756,74
4	0,207	270,5	230,4	5706,43	3692,61
5	0,197	395,7	355,6	5704,46	3759,93
6	0,23	480	432	5871,25	3740,13
7	0,218	275,8	227,8	5776,93	3754,32
8	0,231	327,1	278,64	5818,59	3748,88
9	0,163	341	292,99	5499,32	3801,32
10	0,211	364,3	385,06	5750,57	3766,10
11	0,208	408,5	444,15	5729,10	3760,92
12	0,206	310,3	288,24	5653,58	3768,09
13	0,214	262,4	239,8	5789,15	3745,35
14	0,209	402,4	360	5698,59	3786,14
15	0,215	351	287	4981,94	3512,69
16	0,169	433	369	5528,91	3813,36
17	0,192	392	328	5664,48	3796,85
18	0,227	453,8	405,3	5901,74	3741,86
19	0,216	71,5	52,13	5211,84	3368,87
20	0,216	71,5	52,13	4903,91	3401,82

Tab.27: Parametri caratteristici delle strutture opache per la città di Milano (caso di studio 2: Villetta con sottotetto isolato - copertura non isolata)

Nei grafici seguenti vengono messi a confronto il riscaldamento e il raffrescamento sensibile con la trasmittanza termica, le capacità termiche e le masse superficiali nel caso della villetta con sottotetto isolato e copertura non isolata

Lungo le ascisse si hanno le trasmittanze termiche [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$] mentre nelle ordinate vi sono riscaldamento sensibile nel *Grafico 13* e raffrescamento sensibile nel *Grafico 14* [kWh]. Per quanto riguarda i punti in dispersione, rappresentano le capacità termiche delle pareti [$\text{kJ}/\text{m}^2\text{K}$].

Nel *Grafico 13* nel quale viene rappresentata la situazione invernale, la linea di tendenza è crescente, quindi all'aumentare delle trasmittanze termiche aumenta anche il riscaldamento sensibile e quindi il fabbisogno energetico. La distribuzione delle capacità termiche può essere definita così: le pareti con capacità termica superiore si trovano al di sopra della linea di tendenza e ciò significa che una capacità termica elevata contribuisce all'aumento del riscaldamento sensibile.

Nel *Grafico 14* l'andamento della linea di tendenza è opposto, quindi si avrà un minor raffrescamento sensibile (e quindi anche fabbisogno energetico) per trasmittanze termiche elevate. Per quanto riguarda la distribuzione delle capacità termiche si può arrivare alle stesse conclusioni del caso invernale, con la differenza che in questo caso le pareti che hanno il valore di questo parametro elevato contribuiscono all'aumento del raffrescamento sensibile.

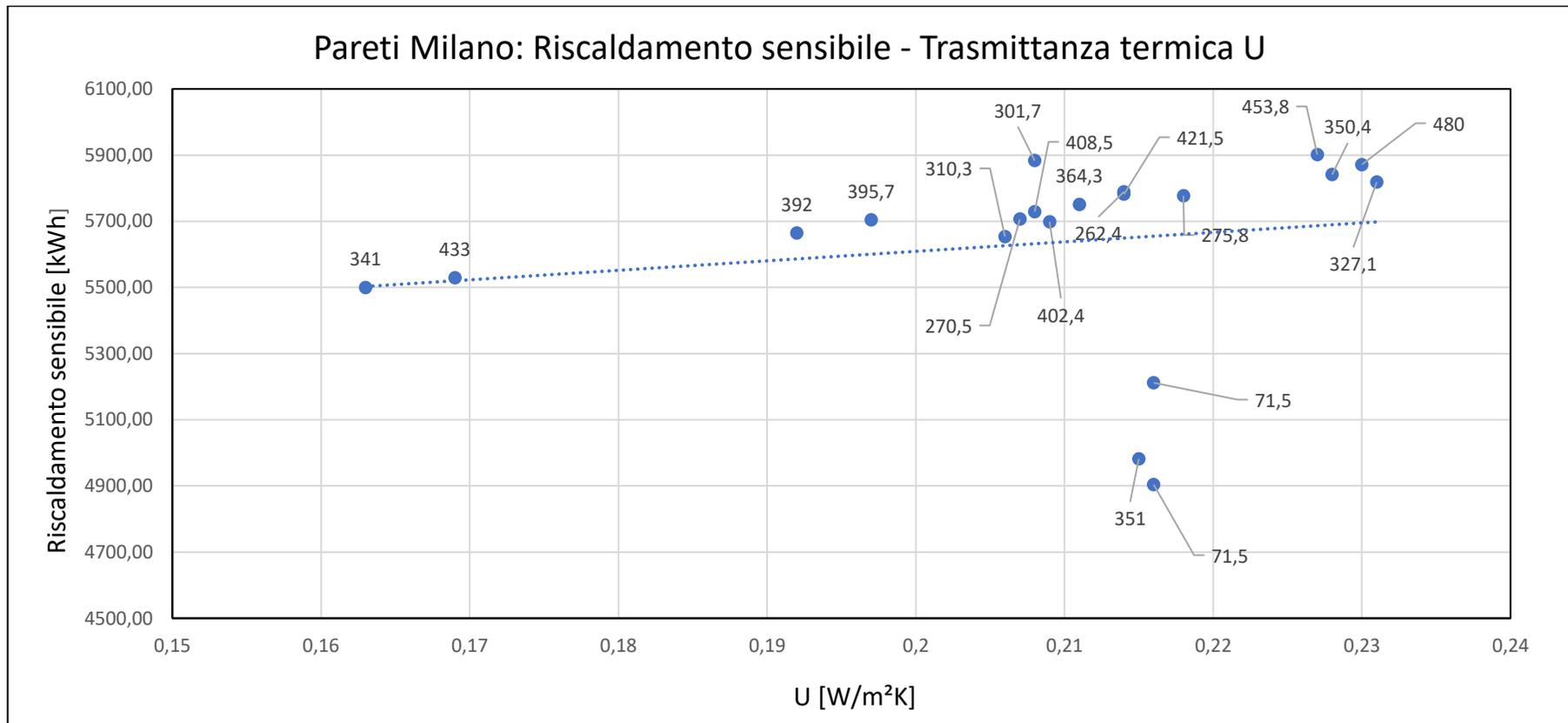


Grafico 13: Rapporto tra riscaldamento sensibile e trasmittanza termica per la città di Milano. I numeri identificano la capacità termica totale [kJ/m²K] (caso di studio 2: Villetta con sottotetto isolato - copertura non isolata)

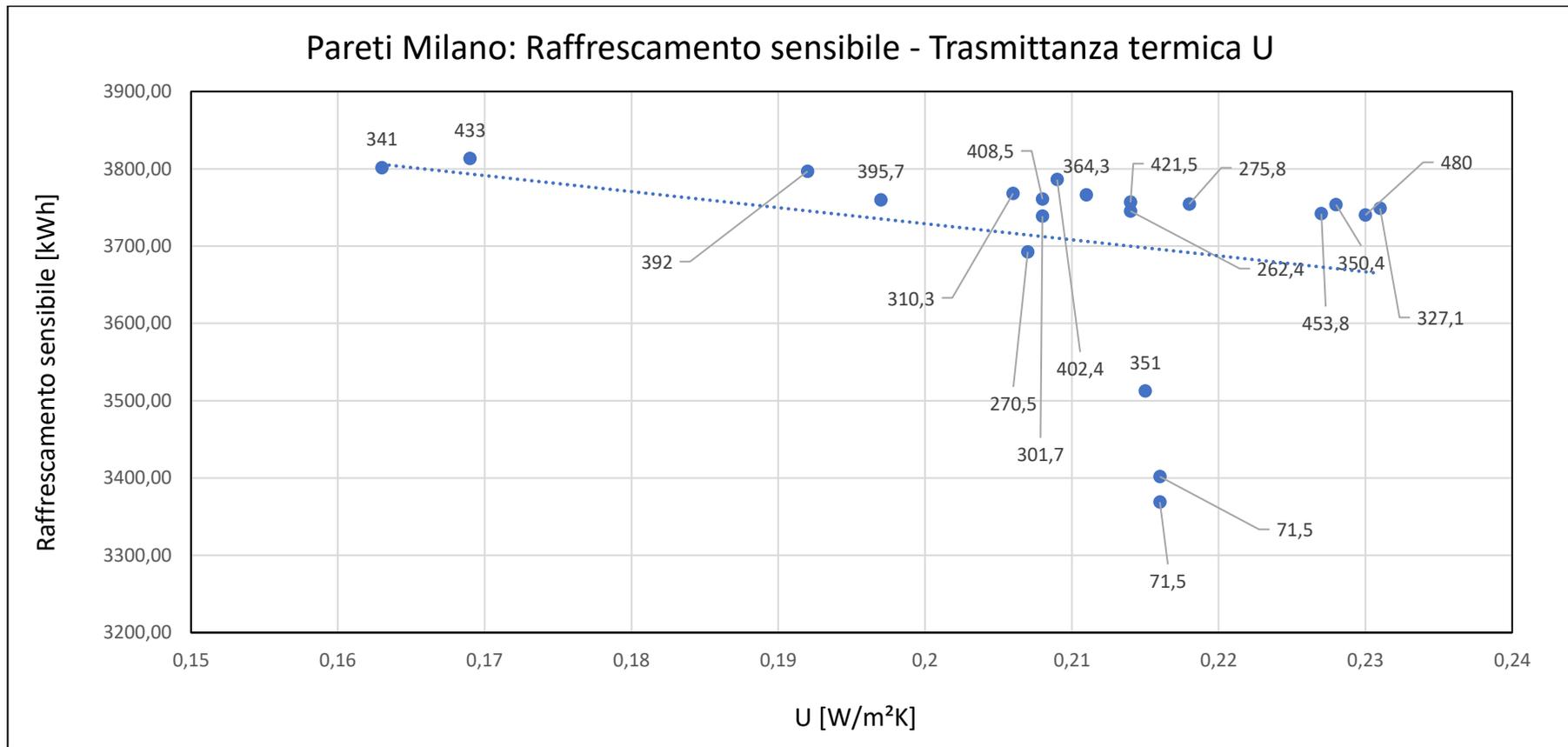


Grafico 14: Rapporto tra raffrescamento sensibile e trasmittanza termica per la città di Milano. I numeri identificano la capacità termica totale [kJ/m²K]
 (caso di studio 2: Villetta con sottotetto isolato – copertura non isolata)

Nei grafici seguenti vengono messi a confronto il riscaldamento e il raffrescamento sensibile con le trasmittanze e le masse superficiali. In ascissa sono presenti le trasmittanze termiche $[W/m^2K]$, mentre in ordinata i riscaldamenti e raffrescamenti sensibili $[kWh]$. I punti in dispersione rappresentano le masse superficiali $[kg/m^2]$.

Come nei due grafici precedenti, l'andamento della linea di tendenza è crescente per il caso invernale e decrescente per il caso estivo, quindi si va a valutare la distribuzione dei punti che rappresentano la massa superficiale.

Nel *Grafico 15*, quindi nel caso invernale, le pareti con massa superficiale elevata si trovano prevalentemente al di sopra della linea di tendenza quindi si può concludere che queste contribuiscono ad un incremento del riscaldamento sensibile e quindi del fabbisogno.

Nel *Grafico 16*, quindi nel caso estivo, si ha la stessa distribuzione del caso invernale con la differenza che si avrà un incremento del raffrescamento sensibile.

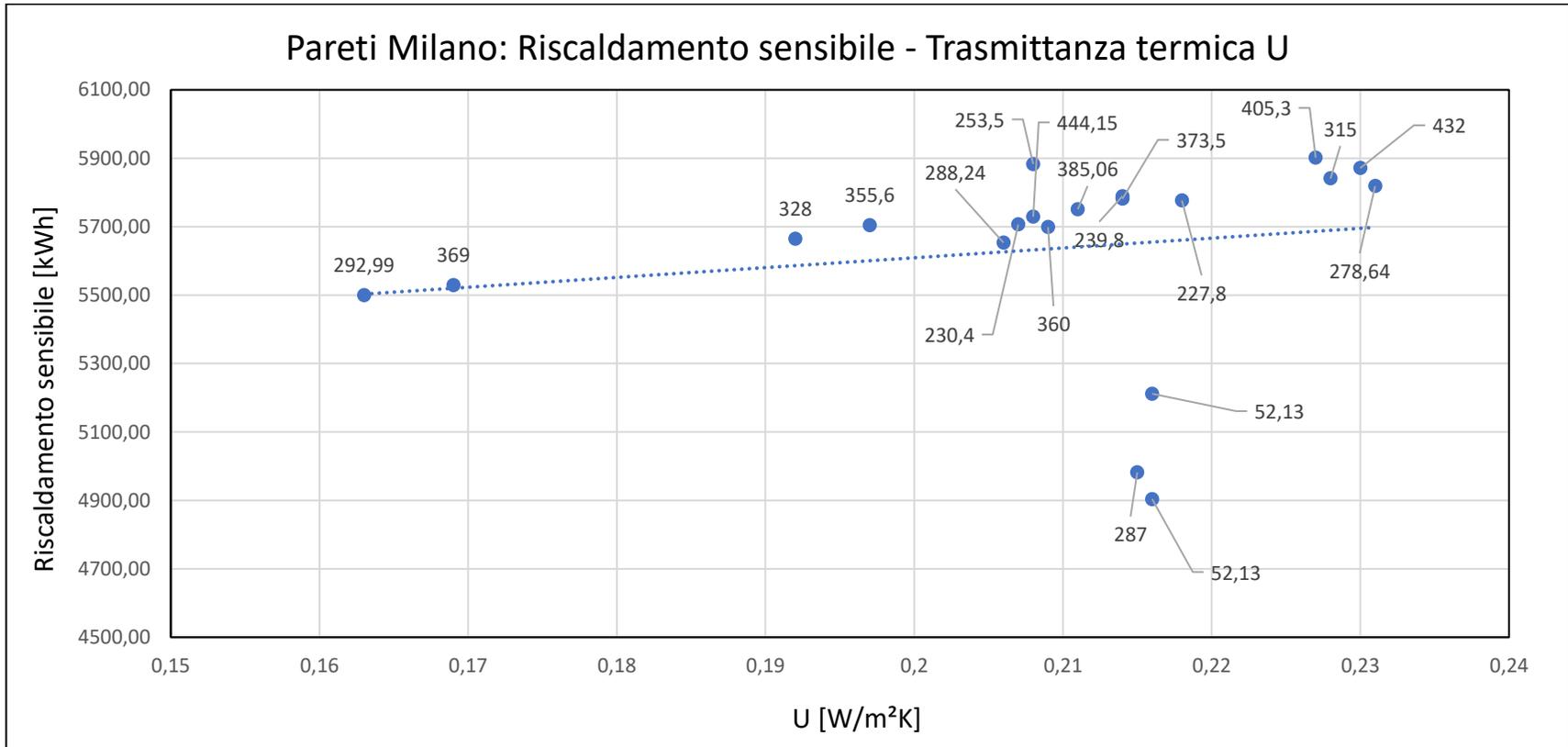


Grafico 15: Rapporto tra riscaldamento sensibile e trasmittanza termica per la città di Milano. I numeri identificano la massa superficiale [kg/m²]
 (caso di studio 2: Villetta con sottotetto isolato - copertura non isolata)

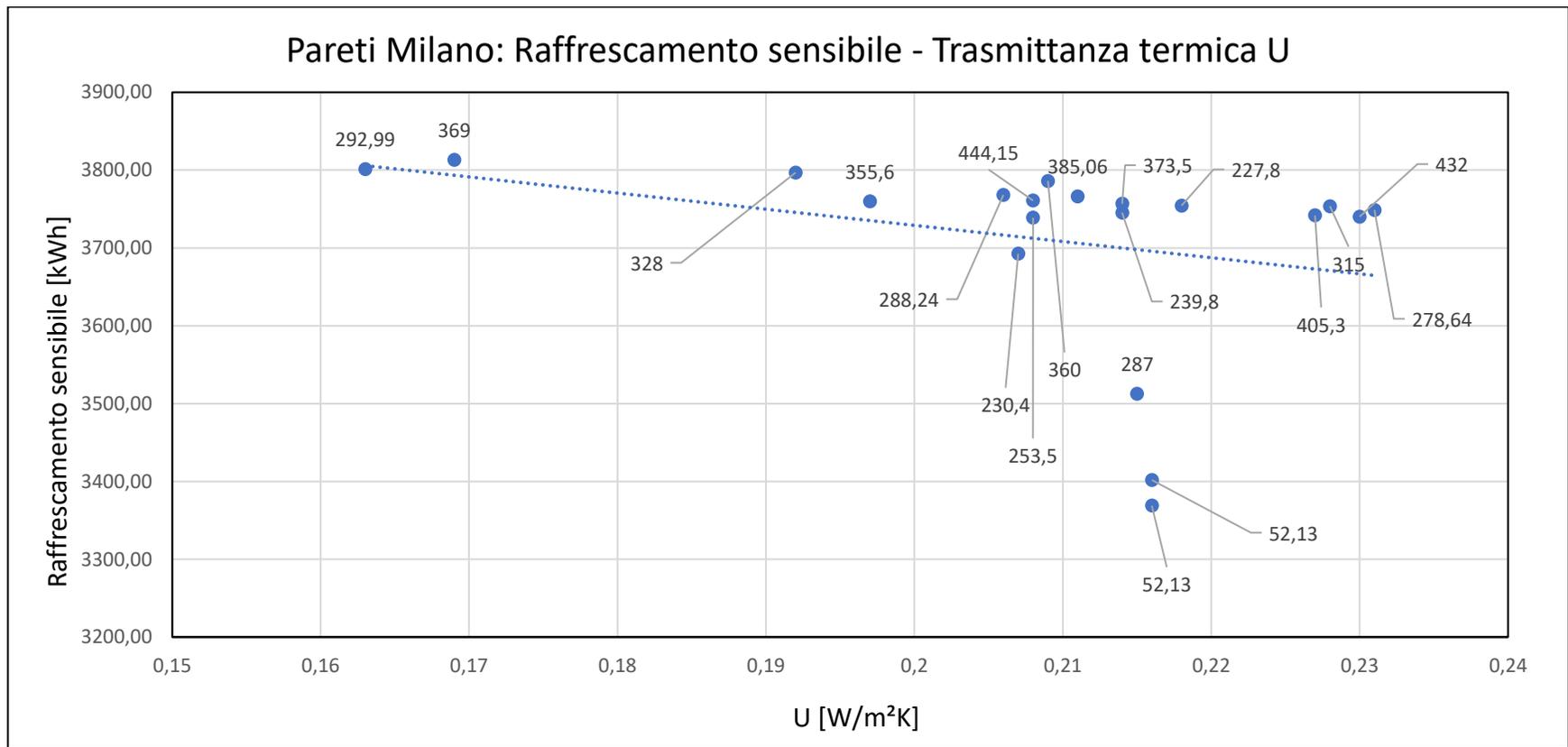


Grafico 16: Rapporto tra raffrescamento sensibile e trasmittanza termica per la città di Milano. I numeri identificano la massa superficiale [kg/m²] (caso di studio 2: Villetta con sottotetto isolato - copertura non isolata)

5.2.2. Roma

ROMA					
Simulazione	U [W/m ² K]	Capacità termica [kJ/mqK]	Massa superficiale [kg/mq]	Riscaldamento sensibile [kWh]	Raffrescamento sensibile [kWh]
1	0,208	301,7	253,5	2412,69	4303,06
2	0,228	350,4	315	2349,13	4323,65
3	0,214	421,5	373,5	2326,04	4341,37
4	0,207	270,5	230,4	2373,40	4279,79
5	0,197	395,7	355,6	2320,76	4342,61
6	0,23	480	432	2380,57	4321,08
7	0,239	257,1	288,86	2413,75	4306,96
8	0,218	257,8	277,8	2353,72	4339,30
9	0,231	327,1	278,64	2349,01	4339,28
10	0,163	341	292,99	2202,75	4415,53
11	0,238	313,1	265,09	2410,26	4309,76
12	0,211	364,3	385,06	2320,76	4342,61
13	0,243	421,1	444,15	2405,12	4307,86
14	0,208	408,5	444,15	2304,17	4348,87
15	0,206	310,3	288,24	2269,61	4370,59
16	0,214	262,4	239,8	2331,33	4342,17
17	0,209	402,4	360	2285,35	4371,30
18	0,215	351	287	2191,12	4423,85
19	0,169	433	369	2191,12	4423,85
20	0,192	392	328	2253,28	4389,82
21	0,227	453,8	405,3	2376,66	4325,82
22	0,239	356,3	308,25	2414,07	4306,90
23	0,245	68,9	49,63	1923,19	4161,71
24	0,245	68,9	49,63	1968,27	4112,99

Tab.28: Parametri caratteristici delle strutture opache per la città di Roma (caso di studio 2: Villetta con sottotetto isolato - copertura non isolata)

Nei grafici seguenti vengono messi a confronto il riscaldamento e il raffrescamento sensibile con la trasmittanza termica, le capacità termiche e le masse superficiali nel caso della villetta con sottotetto isolato e copertura non isolata.

Nei grafici seguenti si hanno lungo le ascisse le trasmittanze termiche [W/m²K] mentre nelle ordinate vi sono riscaldamento sensibile nel *Grafico 17* e raffrescamento sensibile nel *Grafico 18* [kWh]. Per quanto riguarda i punti in dispersione rappresentano le capacità termiche delle pareti [kJ/m²K].

Nel *Grafico 17* è stata creata una linea di tendenza. Come si può notare l'andamento è di tipo crescente. Questo significa che per la città di Roma, attraverso le simulazioni si è ottenuto come risultato che al variare della trasmittanza termica, il riscaldamento sensibile aumenta con la trasmittanza. Per quanto riguarda invece i punti in dispersione, essi rappresentano le capacità termiche. Se osserviamo il grafico possiamo notare che i punti con valore maggiore si trovano prevalentemente al di sopra della linea di tendenza. Quest'ultima considerazione ci permette di dire che le pareti con una capacità termica elevata comportano un riscaldamento sensibile maggiore e quindi ad un fabbisogno superiore.

Nel *Grafico 18* si analizza il caso estivo e anche in questo caso è stata creata una linea di tendenza. In questo caso si può notare che la linea di tendenza è di tipo decrescente e quindi questo vuol dire che all'aumentare della trasmittanza diminuisce il raffrescamento sensibile; andranno a contribuire alla diminuzione del fabbisogno estivo. Quindi il caso favorito è quello in cui si hanno pareti con una trasmittanza termica alta. Per quanto riguarda i punti che rappresentano la capacità termica, quelli con valore elevato si trovano distribuiti sopra e sotto la linea di tendenza e quindi si può concludere che ai fini del raffrescamento sensibile non si hanno pareti migliori e non si evidenzia una capacità termica maggiore o minore a seconda della posizione dei punti rispetto alla linea di tendenza.

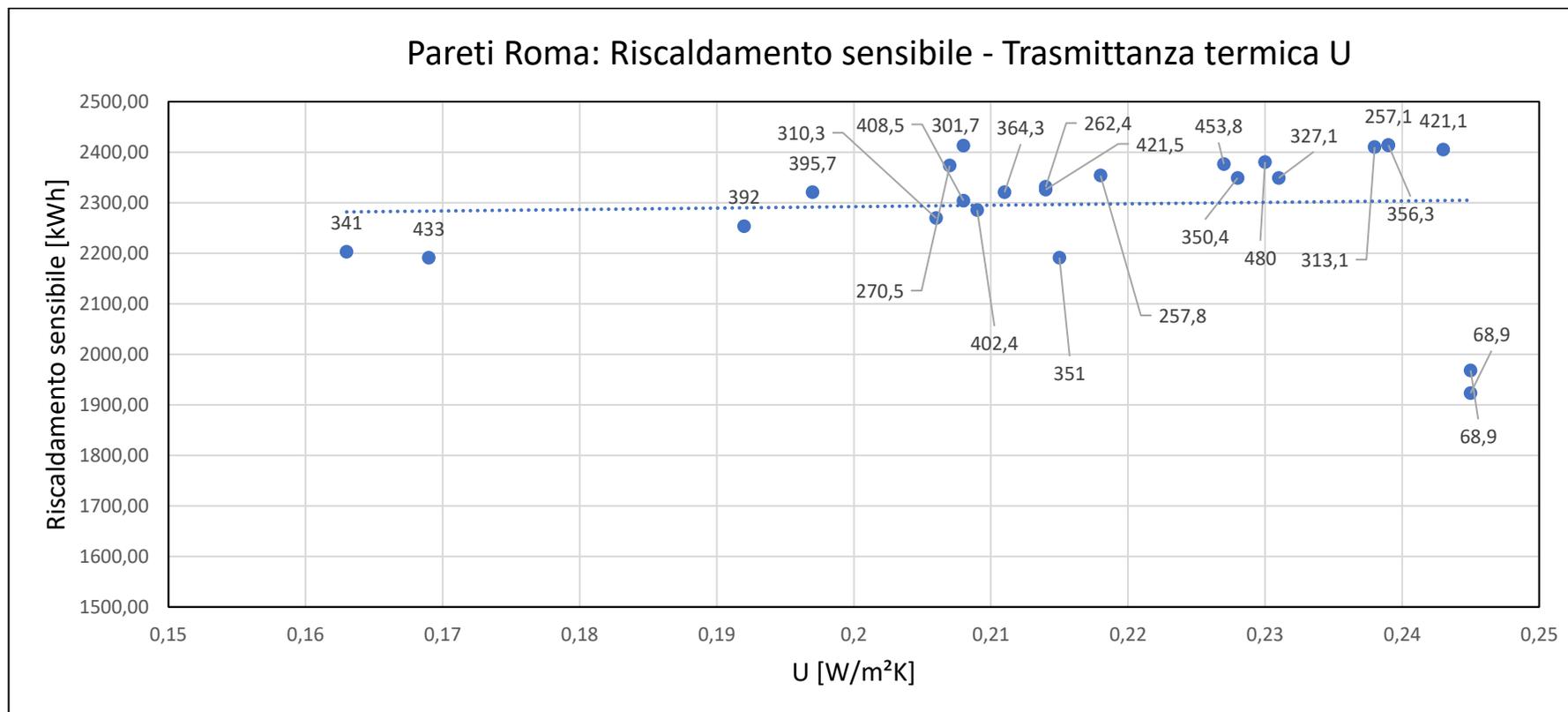


Grafico 17: Rapporto tra riscaldamento sensibile e trasmittanza termica per la città di Roma. I numeri identificano la capacità termica totale [kJ/m²K] (caso di studio 2: Villetta con sottotetto isolato - copertura non isolata)

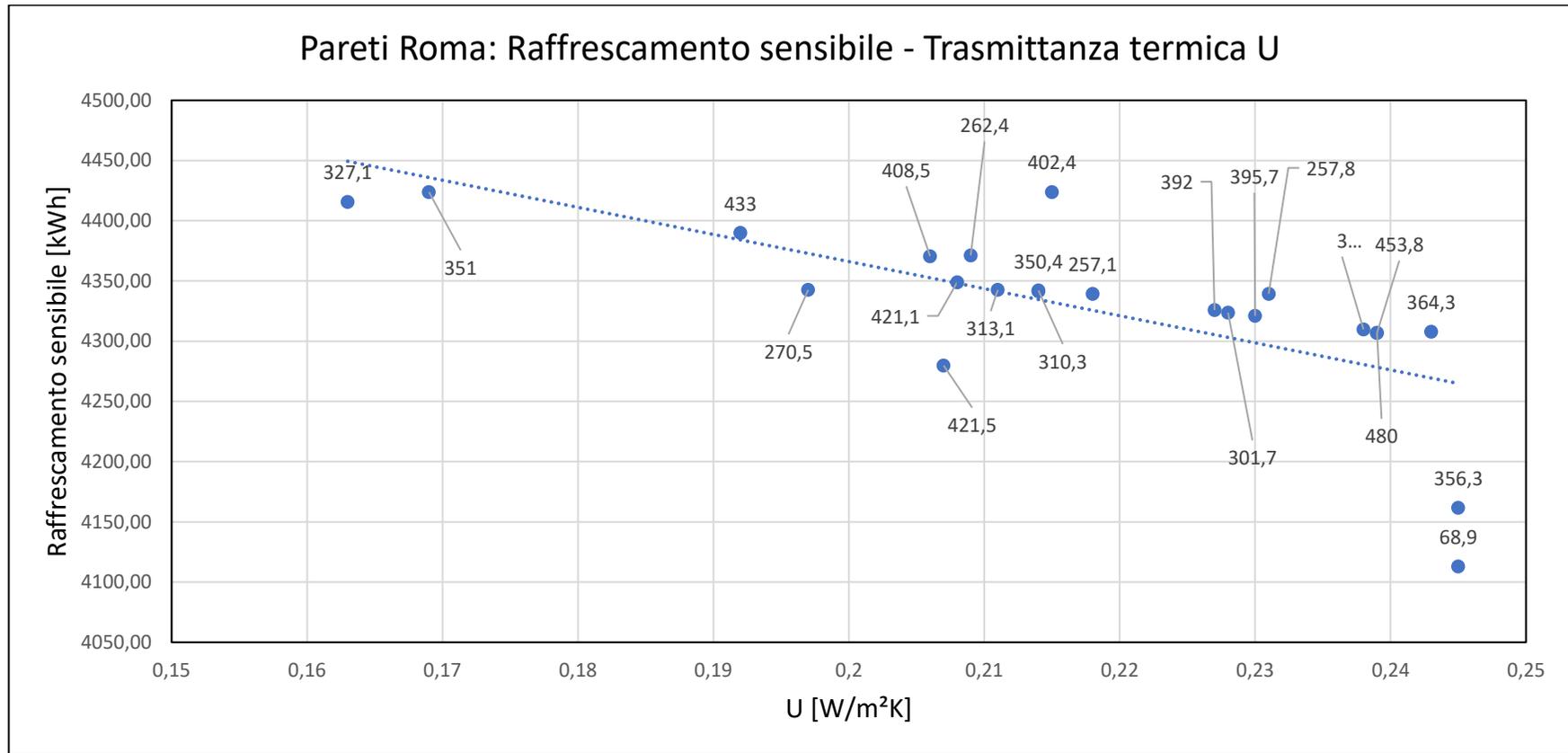


Grafico 18: Rapporto tra raffrescamento sensibile e trasmittanza termica per la città di Roma. I numeri identificano la capacità termica totale [kJ/m²K]

(caso di studio 2: Villetta con sottotetto isolato – copertura non isolata)

Nei due grafici che seguono vengono rapportati ai riscaldamenti e ai raffrescamenti sensibili e alle trasmittanze, le masse superficiali.

Nel *Grafico 19*, si fa riferimento al caso invernale e come per il caso precedente (*Grafico 17*), la linea di tendenza è crescente quindi a trasmittanze termiche elevate corrisponde un aumento del riscaldamento sensibile e quindi del fabbisogno. Per quanto riguarda i punti in dispersione, che rappresentano la massa superficiale, si può notare che i valori che rappresentano questo parametro con un valore elevato, si trovano al di sopra della linea di tendenza. Questo fa capire che nel caso di pareti con massa superficiale elevata si può andare ad aumentare il riscaldamento sensibile.

Nel *Grafico 20*, come in precedenza, l'andamento della linea di tendenza è di tipo decrescente e quindi valgono le considerazioni fatte in precedenza per il *Grafico 18*. I punti in dispersione indicano invece che sono distribuiti egualmente rispetto alla linea di tendenza, quindi la massa superficiale non andrà ad influenzare il raffrescamento sensibile.

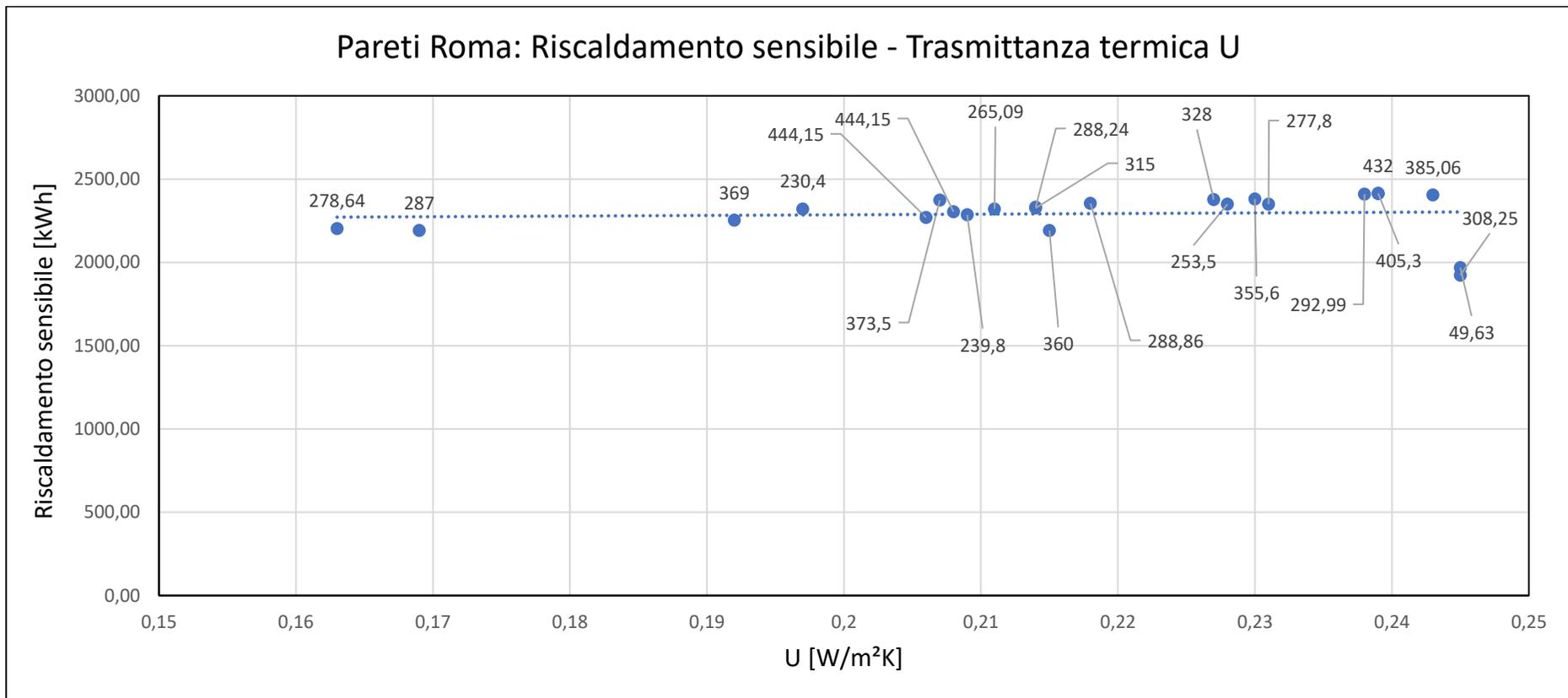


Grafico 19: Rapporto tra riscaldamento sensibile e trasmittanza termica per la città di Roma. I numeri identificano la massa superficiale [kg/m²] (caso di studio 2: Villetta con sottotetto isolato - copertura non isolata)

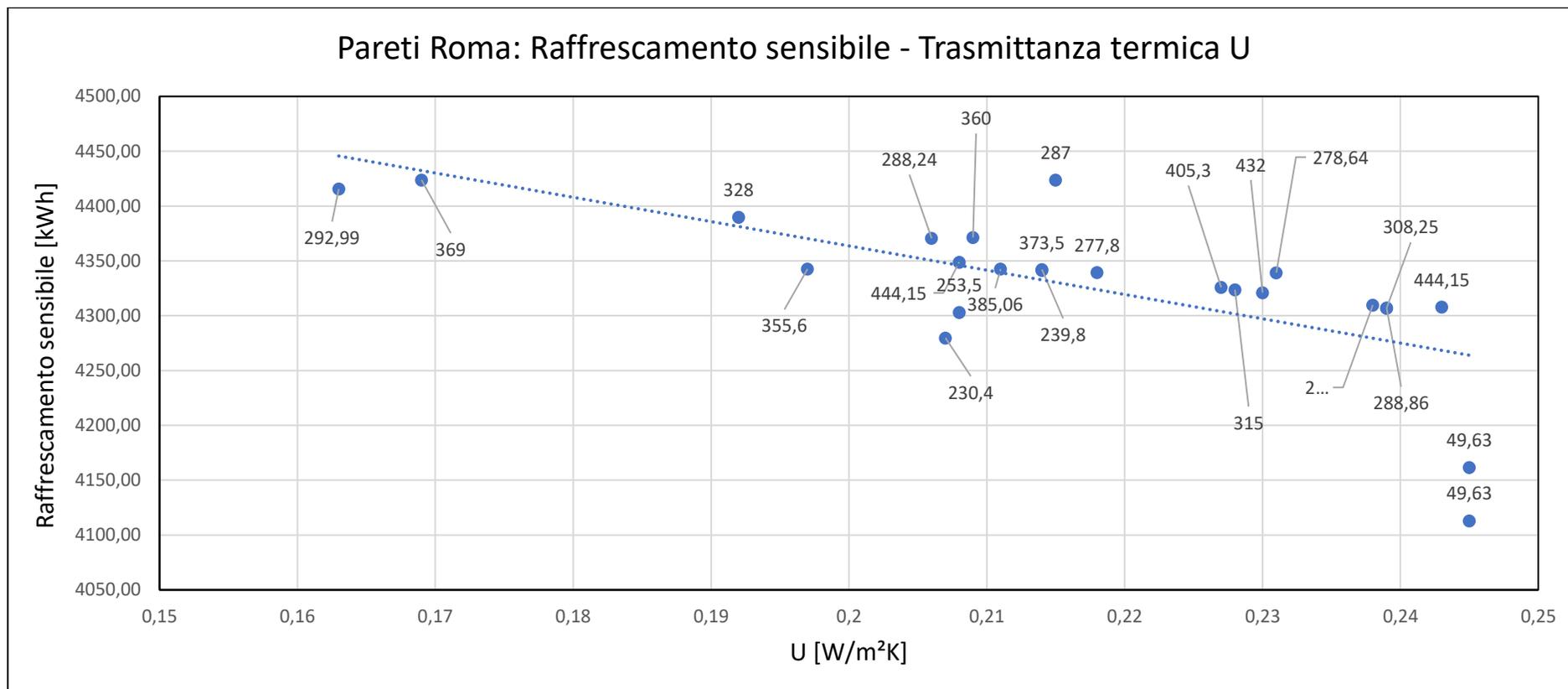


Grafico 20: Rapporto tra raffrescamento sensibile e trasmittanza termica per la città di Roma. I numeri identificano la massa superficiale [kg/m²]

(caso di studio 2: Villetta con sottotetto isolato – copertura non isolata)

5.2.3. Palermo

PALERMO					
Simulazione	U [W/m ² K]	Capacità termica [kJ/mqK]	Massa superficiale [kg/mq]	Riscaldamento sensibile [kWh]	Raffrescamento sensibile [kWh]
1	0,208	301,7	253,5	729,69	5849,79
2	0,228	350,4	315	716,27	5878,29
3	0,214	421,5	373,5	721,71	5890,04
4	0,315	294	246	715,67	5922,25
5	0,343	342	294	872,75	5752,93
6	0,207	270,5	230,4	747,07	5784,76
7	0,197	395,7	355,6	701,72	5864,02
8	0,23	480	432	719,04	5868,78
9	0,355	256,2	228	861,63	5741,66
10	0,368	392,2	353,2	719,04	5868,78
11	0,356	303	274,85	863,32	5736,11
12	0,239	257,1	228,86	732,56	5858,59
13	0,218	275,8	227,8	728,05	5884,79
14	0,231	327,1	278,64	724,83	5887,55
15	0,163	341	292,99	676,05	5953,23
16	0,238	313,1	265,09	731,62	5860,63
17	0,37	319,3	271,14	803,19	5838,23
18	0,211	364,3	385,06	717,87	5891,18
19	0,243	421,1	444,15	735,74	5851,09
20	0,208	408,5	444,15	715,59	5896,65
21	0,343	343,3	375,06	872,78	5756,58
22	0,206	310,3	288,24	700,04	5915,65
23	0,214	262,4	239,8	721,66	5888,43
24	0,324	307,7	286,44	700,04	5915,65
25	0,345	259,8	238	719,31	5882,72
26	0,209	402,4	360	703,33	5937,42
27	0,215	351	287	672,87	5974,46
28	0,169	433	369	672,87	5974,46
29	0,192	392	328	687,78	5950,05
30	0,227	453,8	405,3	717,10	5869,35
31	0,239	356,3	308,25	732,68	5860,15
32	0,31	452,1	44,1	827,81	5785,26
33	0,333	63,8	44,63	932,67	4698,76
34	0,333	63,8	44,63	726,96	4785,53

Tab.29: Parametri caratteristici delle strutture opache per la città di Roma (caso di studio 2: Villetta con sottotetto isolato - copertura non isolata)

Anche in questa analisi nei grafici seguenti vengono messi a confronto il riscaldamento e il raffrescamento sensibile con i parametri caratteristici: trasmittanza termica, capacità termica e massa superficiale per la località di Palermo.

Ritroviamo in ascissa le trasmittanze termiche [W/m²K], in ordinata i riscaldamenti e raffrescamenti sensibili [kWh] e come punti in dispersione le capacità termiche [kJ/m²K] e le masse superficiali [kg/m²].

Nel *Grafico 21* si analizza la situazione invernale, nella quale si rapportano riscaldamento sensibile e trasmittanza termica. Come si può notare, la linea di

tendenza è crescente e questo significa che pareti con un'elevata trasmittanza termica comportano un aumento di riscaldamento sensibile e di fabbisogni. Per quanto riguarda invece i punti che rappresentano la capacità termica, quelli con valori più alti si trovano al di sopra della linea di tendenza, questo ad indicare che le pareti che possiedono questo parametro elevato contribuiscono ad aumentare il riscaldamento sensibile dell'ambiente.

Nel *Grafico 22*, nel quale viene analizzata la situazione estiva, l'andamento della linea di tendenza è di tipo opposto, quindi il caso favorito è quello in cui si hanno trasmittanze termiche più alte. I punti relativi alle capacità termiche si trovano per la maggior parte al di sopra della linea di tendenza, quindi per il caso della città di Palermo avremo un maggior raffrescamento sensibile per quasi tutti i tipi di pareti.

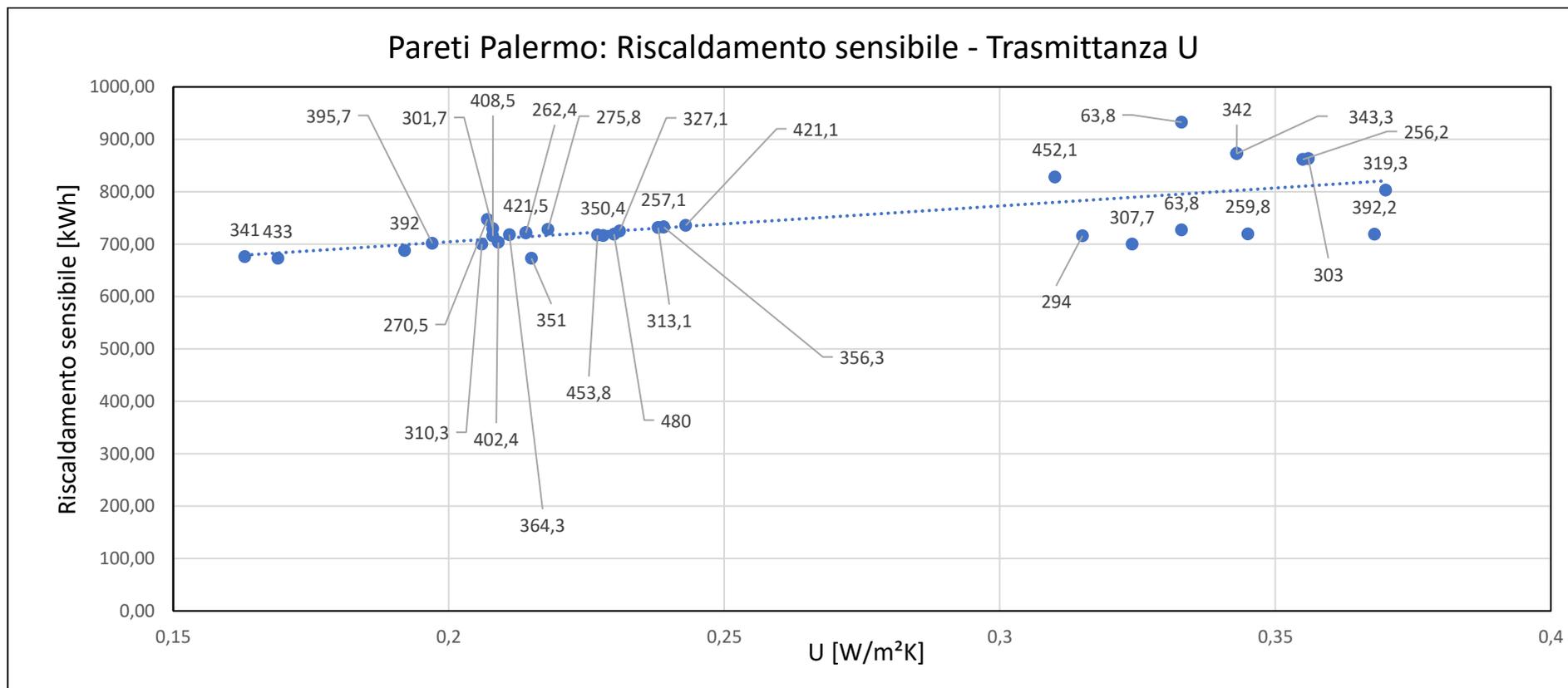


Grafico 21: Rapporto tra riscaldamento sensibile e trasmittanza termica per la città di Palermo. I numeri identificano la capacità termica totale [kJ/m²K]

(caso di studio 2: Villetta con sottotetto isolato - copertura non isolata)

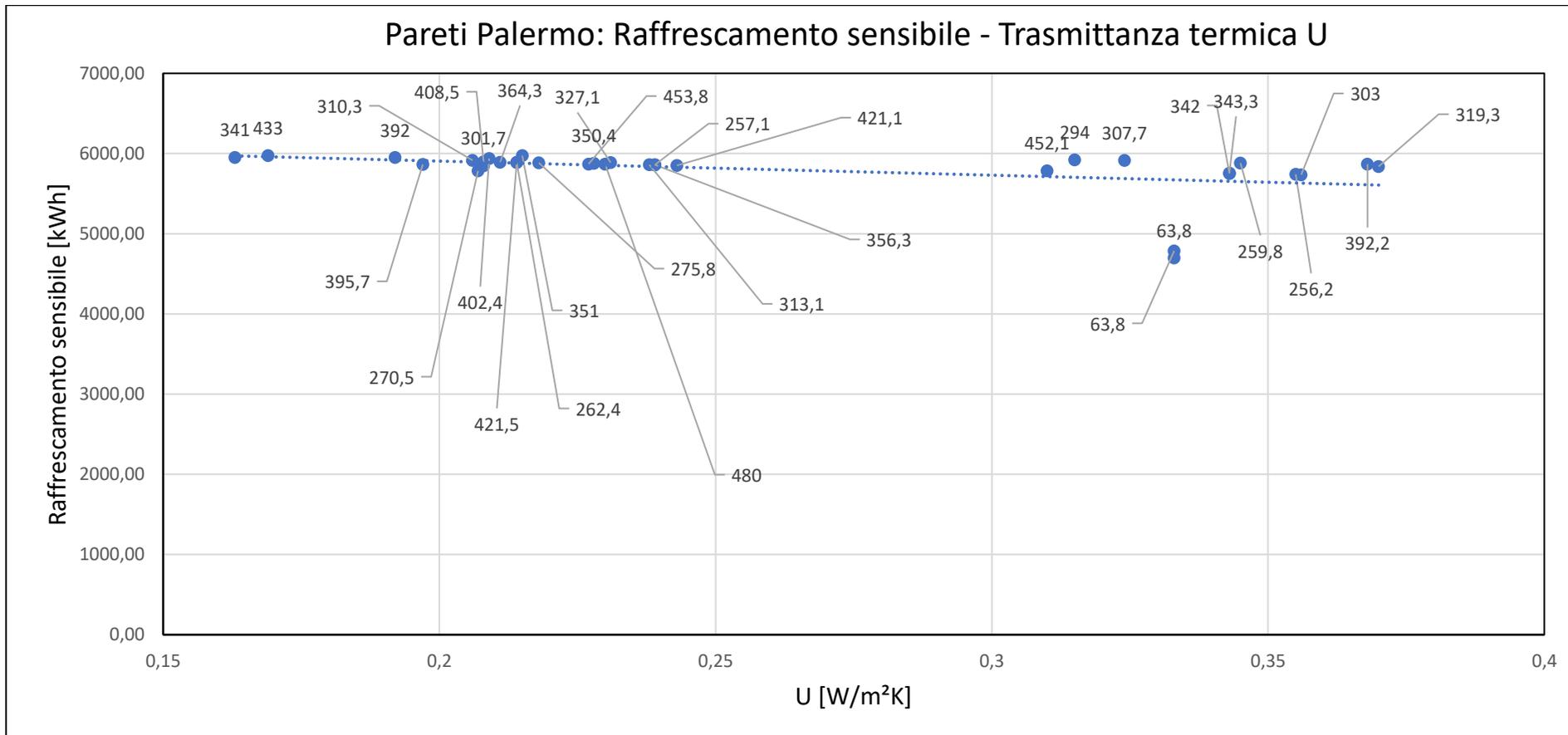


Grafico 22: Rapporto tra raffrescamento sensibile e trasmittanza termica per la città di Palermo. I numeri identificano la capacità termica totale [kJ/m²K] (caso di studio 2: Villetta con sottotetto isolato - copertura non isolata)

Nei due grafici che seguono si analizza il rapporto tra il riscaldamento e il raffrescamento sensibile, le trasmittanze termiche e le masse superficiali.

Gli andamenti delle linee di tendenza sono gli stessi dei due grafici precedenti (crescente per il caso invernale e decrescente per il caso estivo) quindi si andranno ad analizzare le dispersioni dei punti che rappresentano la massa superficiale.

Nel *Grafico 23* nel quale si analizza il caso invernale, si trovano per la maggior parte al di sopra della linea di tendenza, quindi questo vuol dire che le pareti con massa superficiale elevata contribuiscono all'aumento del riscaldamento sensibile.

Nel *Grafico 24* dove viene analizzato il caso estivo, abbiamo la stessa distribuzione rispetto alla linea di tendenza del caso precedente. Quindi anche in questo caso si può concludere che le masse superficiali più elevate contribuiscono all'aumento del raffrescamento sensibile.

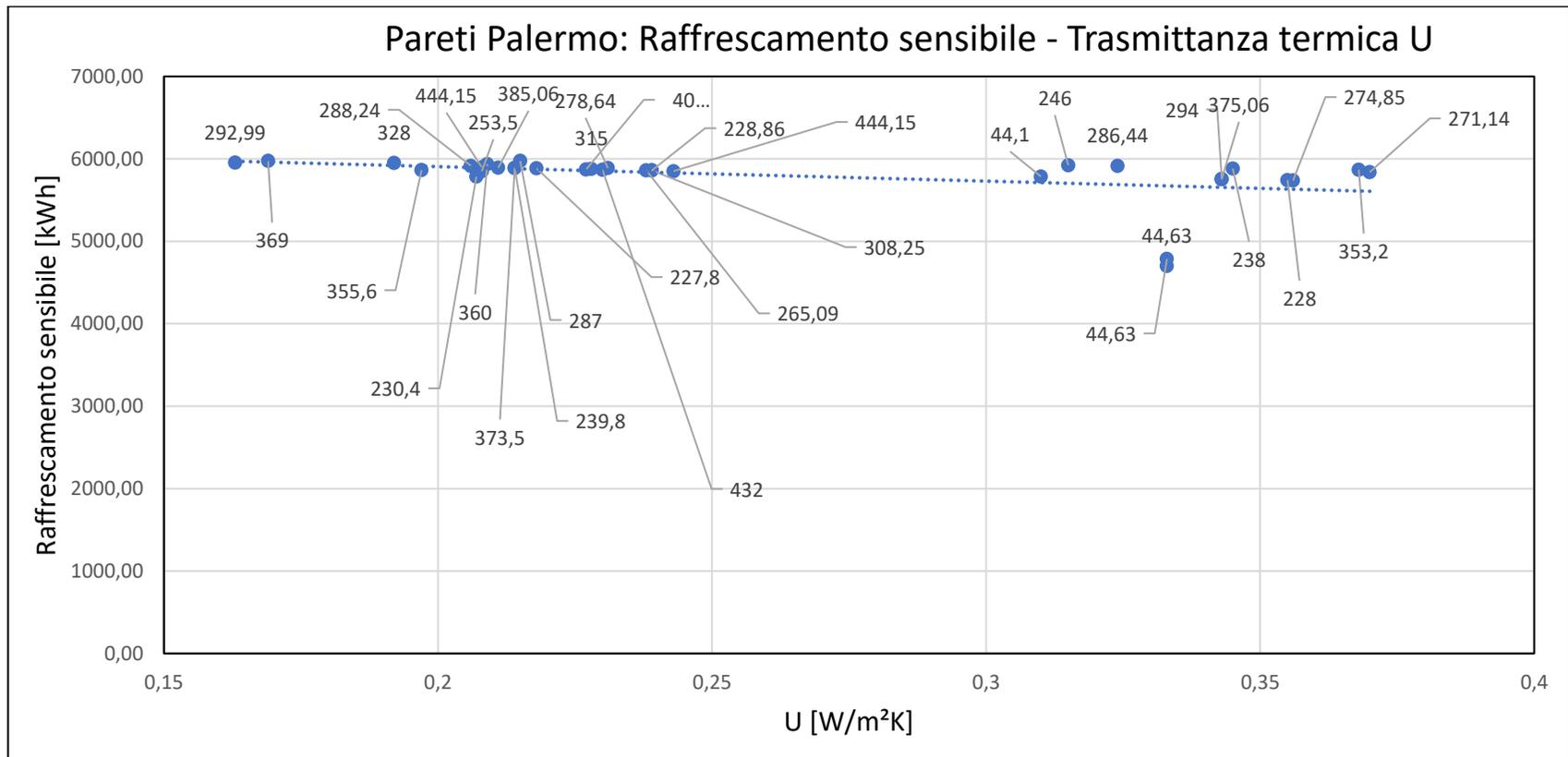


Grafico 24: Rapporto tra raffrescamento sensibile e trasmittanza termica per la città di Palermo. I numeri identificano la massa superficiale [kg/m²]
 (caso di studio 2: Villetta con sottotetto isolato – copertura non isolata)

5.3. Confronto tra villetta unifamiliare senza sottotetto (caso di studio 1) e villetta con solaio di sottotetto isolato e copertura non isolata (caso di studio 2)

Per poter approfondire l'analisi, si vanno a confrontare i due casi di studio precedentemente analizzati. Le due superfici si differenziano in base alla superficie disperdente e al volume riscaldato.

	Case Study 1	Case Study 2	Percentage Increase %
Exchange Surface [m ²]	248.303	235.745	-5.06%
Heated Volume [m ³]	357.518	316.319	-11.52%
Unheated Volume [m ³]	72.664	117.060	61.10%

Tab.30: Dati sulla superficie disperdente interna, volume riscaldato e non riscaldato per i due casi di studio con incremento/decremento percentuale del caso di studio 2 rispetto al caso di studio 1

La superficie disperdente viene definita come l'area delle pareti esterne che delimitano il volume riscaldato verso l'esterno o verso zone non riscaldate, mentre il volume interno è il volume netto della zona termiche che si va a considerare. Nella tabella seguente si possono le differenze tra i volumi riscaldati, le superfici di scambio e il rapporto tra superficie e volume.

	Case Study 1	Case Study 2	Percentage Increase %
Exchange Surface [m ²]	426.210	409.205	-3.99%
Heated Volume [m ³]	557.311	511.965	-8.14%
S/V [1/m]	0.765	0.799	4.51%

Tab.31: Dati sulla superficie disperdente, sul volume riscaldato e sul rapporto tra superficie e volume con percentuale di incremento/decremento del caso di studio 2 rispetto al caso di studio 1

Si andrà a definire caso di studio 1 la villetta senza sottotetto e come caso di studio 2 la villetta con sottotetto isolato.

5.3.1. Milano

MILANO								
Simulazione	U [W/m²K]	Riscaldamento sensibile caso di studio 1	Raffrescamento sensibile Caso di studio 1	Riscaldamento sensibile caso di studio 2	Raffrescamento sensibile Caso di studio 2	Energia totale Caso di studio 1	Energia totale Caso di studio 2	Percentuale incremento
1	0,208	5552,57	3406,14	5883,16	3738,85	8958,71	9622,01	7,40%
2	0,228	3567,75	4437,07	5840,97	3753,73	8004,82	9594,71	19,86%
3	0,214	5424,03	3567,03	5781,60	3756,74	8991,07	9538,35	6,09%
4	0,207	5352,64	3495,33	5706,43	3692,61	8847,96	9399,04	6,23%
5	0,197	5332,19	3564,82	5704,46	3759,93	8897,02	9464,38	6,38%
6	0,23	5516,08	3556,75	5871,25	3740,13	9072,84	9611,38	5,94%
7	0,218	5443,81	3564,75	5776,93	3754,32	9008,57	9531,24	5,80%
8	0,231	5294,50	3575,48	5818,59	3748,88	8869,98	9567,48	7,86%
9	0,163	5127,96	3603,44	5499,32	3801,32	8731,39	9300,64	6,52%
10	0,211	5402,54	3569,49	5750,57	3766,10	8972,03	9516,67	6,07%
11	0,208	5387,29	3571,22	5729,10	3760,92	8958,51	9490,03	5,93%
12	0,206	5124,27	3578,16	5653,58	3768,09	8702,43	9421,68	8,26%
13	0,214	5401,51	3570,29	5789,15	3745,35	8971,80	9534,50	6,27%
14	0,209	5355,02	3586,69	5698,59	3786,14	8941,72	9484,73	6,07%
15	0,215	5155,31	3607,11	4981,94	3512,69	8762,43	8494,63	-3,06%
16	0,169	5155,31	3607,11	5528,91	3813,36	8762,43	9342,28	6,62%
17	0,192	5285,44	3591,08	5664,48	3796,85	8876,51	9461,33	6,59%
18	0,227	5496,85	3558,85	5901,74	3741,86	9055,70	9643,59	6,49%
19	0,216	5401,38	3489,14	5211,87	3368,87	8890,52	8580,74	-3,48%
20	0,216	5563,19	3431,10	4903,91	3401,82	8994,29	8305,73	-7,66%

Tab..32: Trasmittanza termica delle strutture opache e riscaldamenti e raffrescamenti sensibili totali con incremento/decremento del caso di studio 2 rispetto al caso di studio 1 per la città di Milano

Nel *Grafico 25* viene riportato il rapporto tra i riscaldamenti sensibili e raffrescamenti sensibili nei due casi di studio per la città di Milano. Come si può notare, il riscaldamento sensibile del caso di studio 2, ovvero della villetta con sottotetto, risulta superiore rispetto a quello della villetta senza sottotetto (caso di studio 1) fino ad un massimo del 10,33%. Per quanto riguarda il raffrescamento sensibile, risulta superiore anche in questo caso quello riguardante la villetta con sottotetto isolato fino ad una percentuale del 9,77%. Si può dire quindi che il fabbisogno di energia necessaria per riscaldare l'ambiente sarà maggiore per la villetta con sottotetto; lo stesso vale per il fabbisogno di raffrescamento, che risulterà sempre maggiore per il caso di studio 2.

Per creare il *Grafico 26*, sono stati sommati i riscaldamenti e i raffrescamenti sensibili di ciascun caso di studio ottenendo le energie totali e sono stati graficati, per poter andare a valutare gli incrementi o decrementi di un caso rispetto all'altro. Quello che si può notare dal grafico è che nell'edificio senza sottotetto le energie totali risultano inferiori e ciò comporta un minor fabbisogno di energia. Per tre tipologie di parete, però risulta un decremento, seppur piccolo, fino al 7%. Per le altre pareti, si ha un incremento fino a sfiorare il 20%. Quando si parla di elementi opachi con trasmittanze più elevate, nel caso senza sottotetto si avrà un risparmio energetico discreto.

Pareti Milano: Riscaldamento e Raffrescamento sensibile - trasmittanza termica U

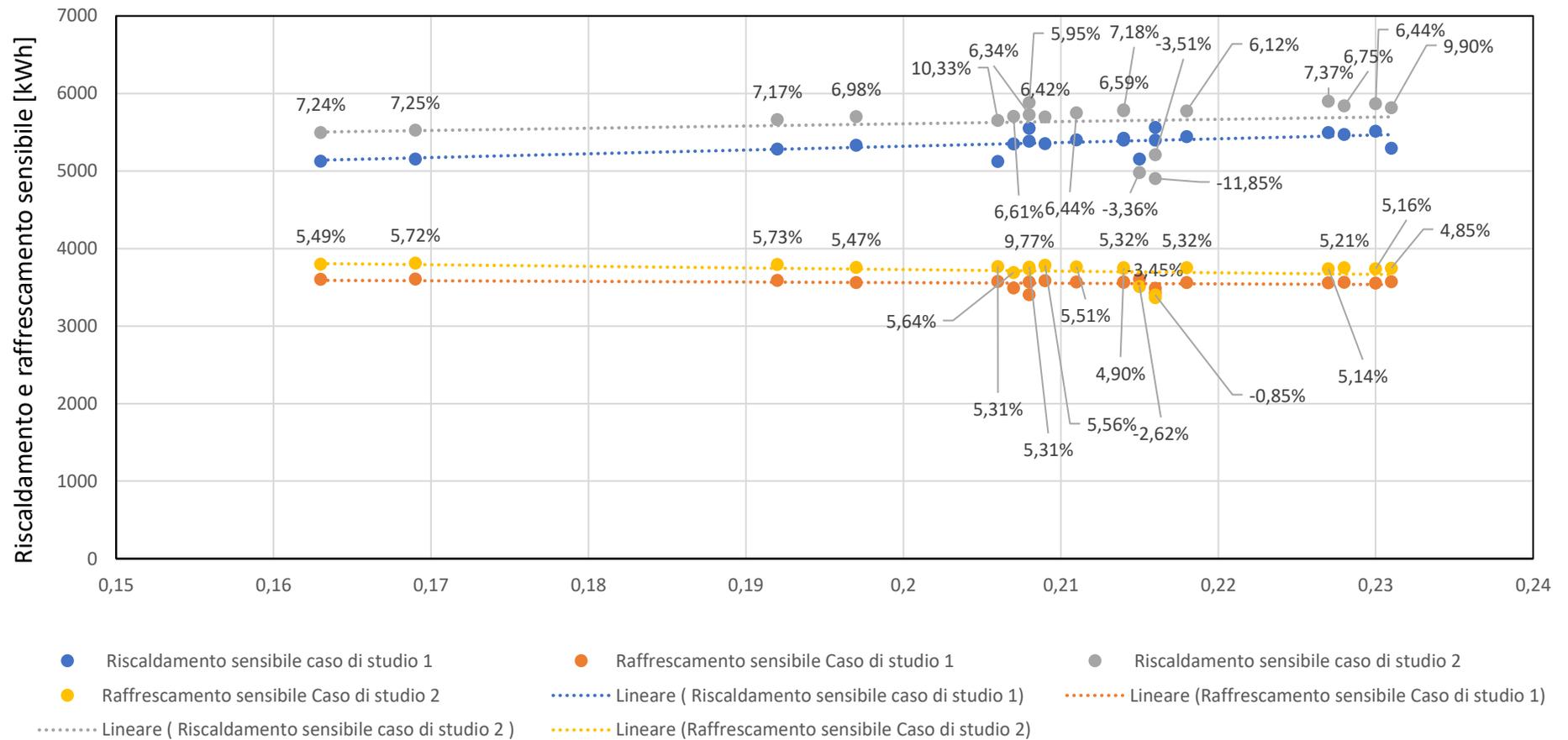


Grafico 25: Rapporto tra riscaldamento e raffrescamento sensibile nei due casi di studio e trasmittanza termica città di Mil

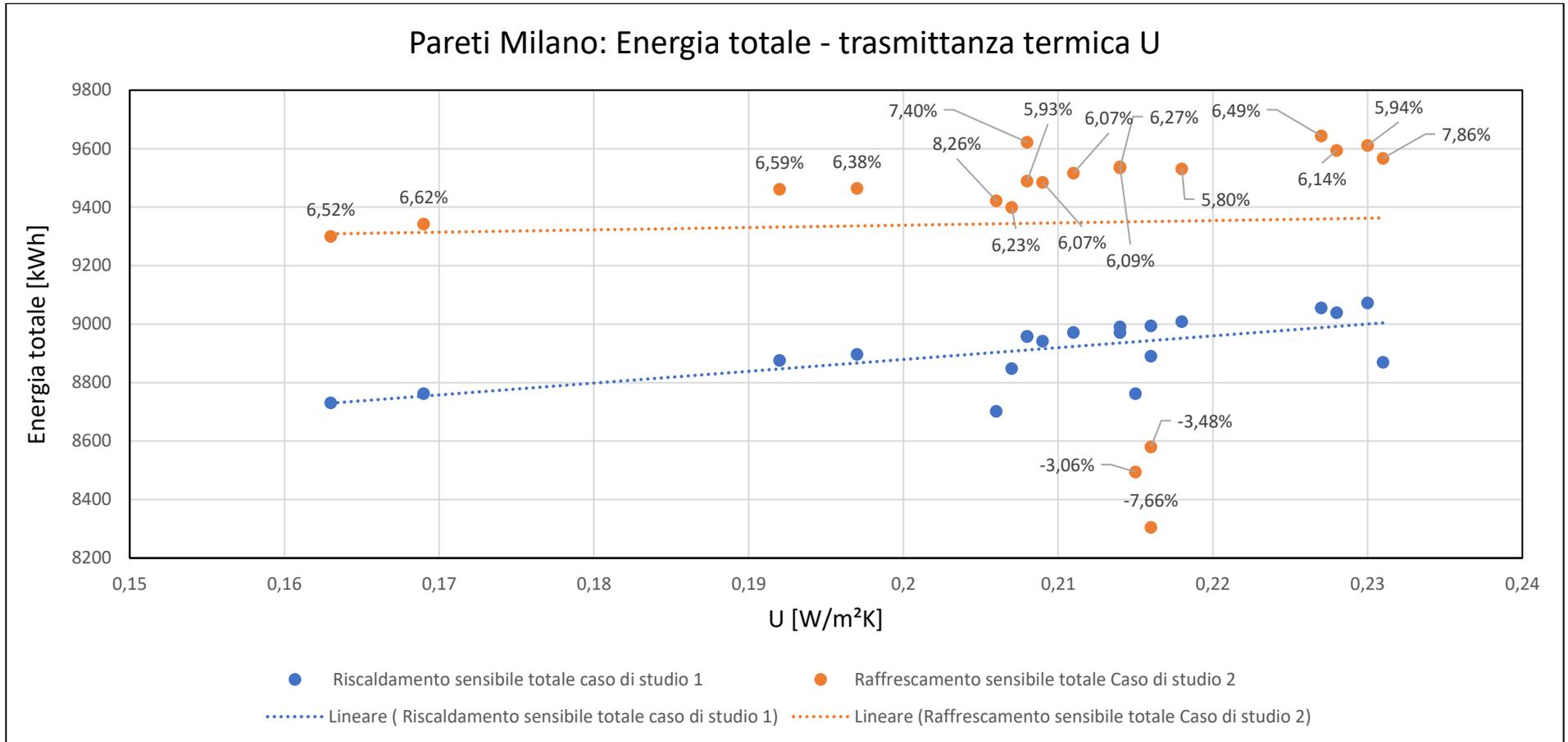


Grafico 26: Rapporto tra riscaldamento e raffrescamento sensibile totali e trasmittanza termica. I numeri indicano l'incremento/decremento percentuale del riscaldamento e raffrescamento sensibili totali del caso di studio 2 rispetto al caso di studio 1 città di Milano

5.3.2. Roma

ROMA								
Simulazione	U [W/m²K]	Riscaldamento sensibile caso di studio 1	Raffrescamento sensibile Caso di studio 1	Riscaldamento sensibile caso di studio 2	Raffrescamento sensibile Caso di studio 2	Energia totale Caso di studio 1	Energia totale Caso di studio 2	Percentuale incremento
1	0,208	1980,07	4203,26	2412,69	4303,06	6183,33	6715,76	8,61%
2	0,228	2086,78	4222,51	2349,13	4323,65	6309,29	6672,78	5,76%
3	0,214	2065,11	4237,47	2326,04	4341,37	6302,59	6667,41	5,79%
4	0,207	2089,66	4165,33	2373,40	4279,79	6254,98	6653,20	6,37%
5	0,197	2032,34	4242,53	2320,76	4342,61	6274,87	6663,37	6,19%
6	0,23	2112,58	4217,11	2380,57	4321,08	6329,69	6701,65	5,88%
7	0,239	2137,13	4207,00	2413,75	4306,96	6344,13	6720,71	5,94%
8	0,218	2075,39	4233,00	2353,72	4339,30	6308,39	6693,02	6,10%
9	0,231	1990,51	4260,45	2349,01	4339,28	6250,96	6688,29	7,00%
10	0,163	1915,89	4307,66	2202,75	4415,53	6223,56	6618,28	6,34%
11	0,238	2134,33	4208,19	2410,26	4309,76	6342,52	6720,02	5,95%
12	0,211	2054,15	4242,34	2320,76	4342,61	6296,49	6663,37	5,83%
13	0,243	2149,43	4201,72	2405,12	4307,86	6351,15	6712,98	5,70%
14	0,208	2046,29	4245,79	2304,17	4348,87	6292,08	6653,04	5,74%
15	0,206	1847,20	4327,35	2269,61	4370,59	6174,54	6640,20	7,54%
16	0,214	2056,28	4233,25	2331,33	4342,17	6289,53	6673,50	6,10%
17	0,209	2015,24	4260,76	2285,35	4371,30	6276,00	6656,65	6,07%
18	0,215	1916,42	4312,75	2191,12	4423,85	6229,17	6614,97	6,19%
19	0,169	1916,42	4312,75	2191,12	4423,85	6229,17	6614,97	6,19%
20	0,192	1981,22	4281,33	2253,28	4389,82	6262,55	6643,11	6,08%
21	0,227	2102,54	4221,39	2376,66	4325,82	6323,93	6702,49	5,99%
22	0,239	2137,44	4206,95	2414,07	4306,90	6344,39	6720,97	5,94%
23	0,245	2200,77	4117,90	1923,19	4161,71	6318,67	6084,90	-3,70%
24	0,245	2054,58	4156,98	1968,27	4112,99	6211,56	6081,26	-2,10%

Tab.33: Trasmittanza termica delle strutture opache e riscaldamenti e raffrescamenti sensibili totali con incremento/decremento del caso di studio 2 rispetto al caso di studio 1 per la città di Roma

Nel *Grafico 27* viene riportato il rapporto tra i riscaldamenti sensibili e raffrescamenti sensibili nei due casi di studio per la città di Roma. Come si può notare, come per il caso della città di Milano, il riscaldamento sensibile del caso di studio 2, ovvero della villetta con sottotetto, risulta superiore rispetto a quello della villetta senza sottotetto (caso di studio 1) anche se di una percentuale non elevata (2,6%). Per quanto riguarda invece il raffrescamento sensibile, risulta superiore anche in questo caso quello riguardante la villetta con sottotetto isolato fino ad un 23%. Le linee di tendenza risultano crescenti nel caso del riscaldamento sensibile e decrescenti nel caso del raffrescamento sensibile. Quindi nel caso invernale risultano vantaggiose pareti con trasmittanza termica più bassa, mentre nel caso estivo pareti con trasmittanze termiche più elevate. I fabbisogni per riscaldamento e raffrescamento saranno più alti per il caso di studio 2.

Nel *Grafico 28*, come per la città di Milano, sono stati sommati i riscaldamenti e i raffrescamenti sensibili di ciascun caso di studio ottenendo le energie totali e sono stati graficati, per poter andare a valutare gli incrementi o decrementi di un caso rispetto all'altro. Come si può notare, il caso di studio 2, presenta un incremento della somma dei riscaldamenti e raffrescamenti sensibili fino ad un valore dell'8,61% quindi per il caso di studio 2 sarà necessario un fabbisogno di energia superiore dell'8,61%. Per trasmittanze termiche più alte, sono invece presenti due pareti con un leggero decremento rispetto al caso di studio 1 (-3,7%) (minore fabbisogno del caso di studio 2 rispetto al 1). Per quanto riguarda l'andamento delle linee di tendenza esse risultano: crescente per il caso di studio 1 (all'aumentare delle trasmittanze, aumentano le somme di riscaldamento e raffrescamento sensibili e quindi i fabbisogni), decrescente per il caso di studio 2 (all'aumentare delle trasmittanze diminuiscono le somme di riscaldamento e raffrescamento sensibili e quindi i fabbisogni).

Pareti Roma: Riscaldamento e Raffrescamento sensibile - Trasmittanza Termica U

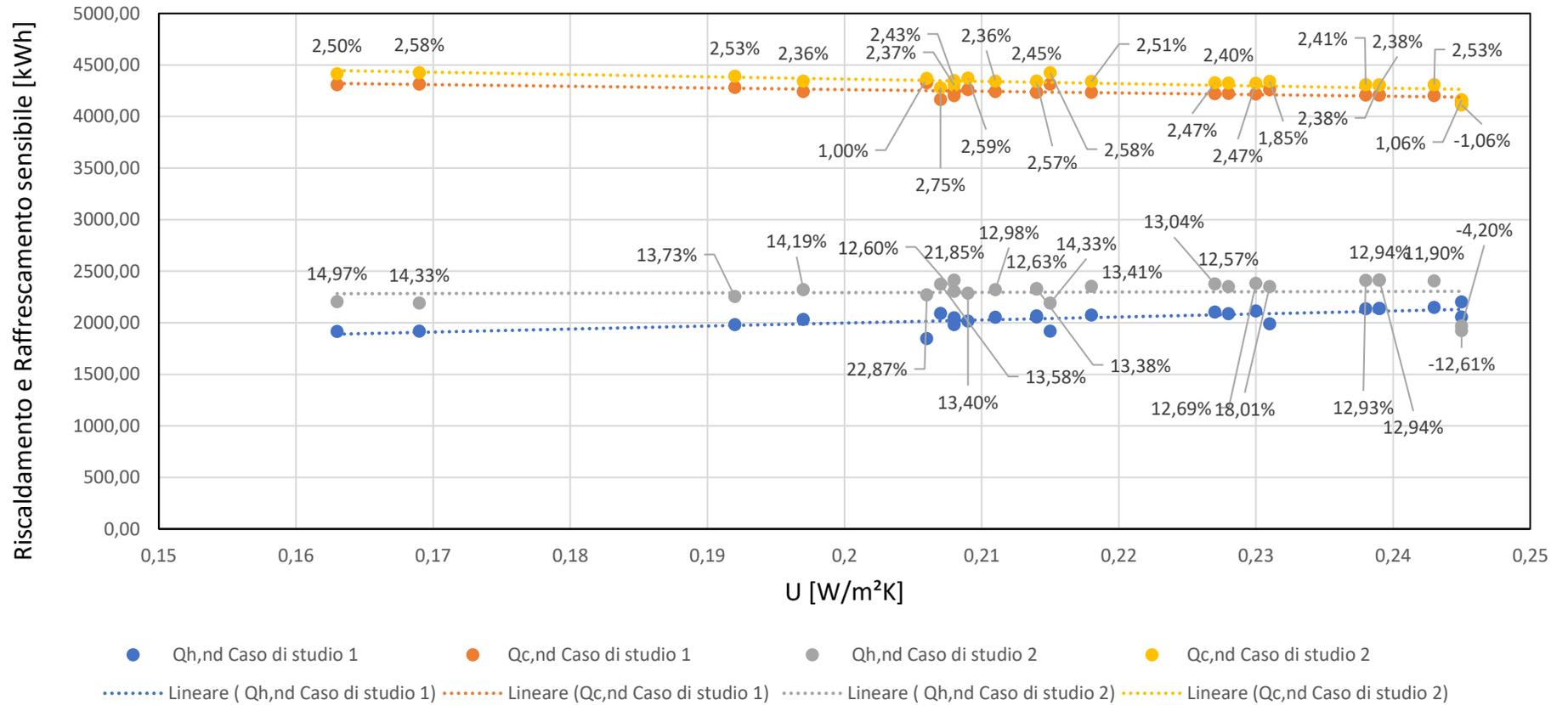


Grafico 27: Rapporto tra riscaldamento e raffrescamento sensibile nei due casi di studio e trasmittanza termica città di Roma

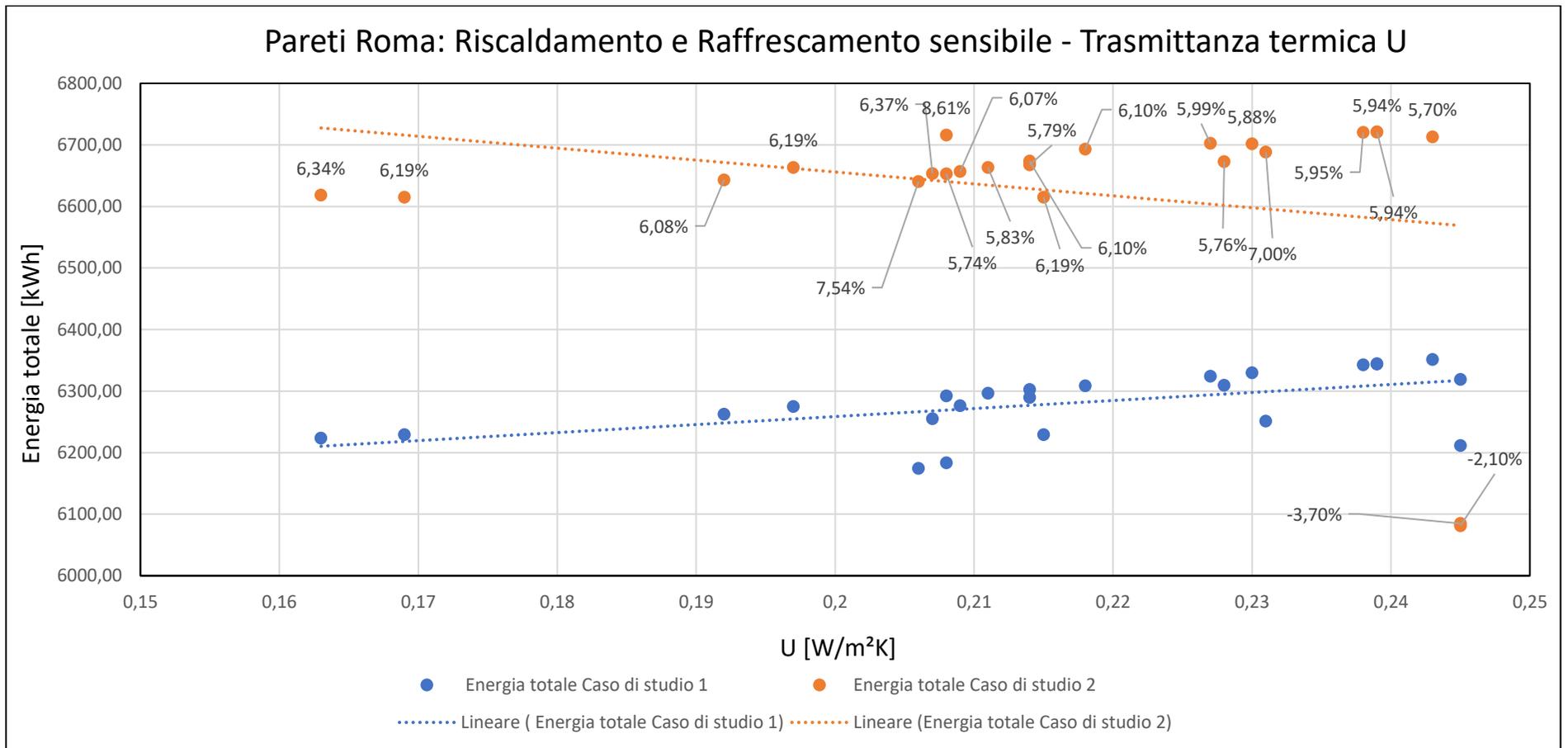


Grafico 28: Rapporto tra riscaldamento e raffrescamento sensibile totali e trasmittanza termica. I numeri indicano l'incremento/decremento percentuale del riscaldamento e raffrescamento sensibili totali del caso di studio 2 rispetto al caso di studio 1 città di Roma

5.3.3. Palermo

Simulazione	U [W/m²K]	Riscaldamento sensibile caso di studio 1	Raffrescamento sensibile Caso di studio 1	Riscaldamento sensibile caso di studio 2	Raffrescamento sensibile Caso di studio 2	Energia totale Caso di studio 1	Energia totale Caso di studio 2	Percentuale incremento
1	0,208	714,30	5028,24	729,69	5849,79	5742,54	6579,48	14,57%
2	0,228	762,35	4997,01	716,27	5878,29	5759,36	6594,56	14,50%
3	0,214	750,84	5006,99	721,71	5890,04	5757,83	6611,75	14,83%
4	0,315	803,17	4995,59	715,67	5922,25	5798,75	6637,92	14,47%
5	0,343	928,64	4883,80	872,75	5752,93	5812,45	6625,68	13,99%
6	0,207	766,22	4913,65	747,07	5784,76	5679,88	6531,83	15,00%
7	0,197	737,27	5001,10	701,72	5864,02	5738,37	6565,73	14,42%
8	0,23	771,81	4990,04	719,04	5868,78	5761,85	6587,82	14,34%
9	0,355	911,50	4818,29	861,63	5741,66	5729,79	6603,28	15,24%
10	0,368	964,48	4863,65	719,04	5868,78	5828,13	6587,82	13,03%
11	0,356	948,09	4872,63	863,32	5736,11	5820,71	6599,44	13,38%
12	0,239	782,63	4981,64	732,56	5858,59	5764,28	6591,14	14,34%
13	0,218	755,37	5003,28	728,05	5884,79	5758,66	6612,83	14,83%
14	0,231	725,74	5047,14	724,83	5887,55	5772,87	6612,38	14,54%
15	0,163	685,74	5064,49	676,05	5953,23	5750,23	6629,28	15,29%
16	0,238	781,41	4982,69	731,62	5860,63	5764,09	6592,26	14,37%
17	0,37	863,43	4953,94	803,19	5838,23	5817,38	6641,42	14,17%
18	0,211	746,01	5011,10	717,87	5891,18	5757,11	6609,05	14,80%
19	0,243	788,12	4977,56	735,74	5851,09	5765,68	6586,83	14,24%
20	0,208	742,55	5013,88	715,59	5896,65	5756,43	6612,24	14,87%
21	0,343	928,68	4883,66	872,78	5756,58	5812,33	6629,36	14,06%
22	0,206	655,02	5135,18	700,04	5915,65	5790,20	6615,69	14,26%
23	0,214	747,85	5003,93	721,66	5888,43	5751,78	6610,09	14,92%
24	0,324	768,19	5051,73	700,04	5915,65	5819,93	6615,69	13,67%
25	0,345	4475,44	747,85	719,31	5882,72	5223,29	6602,03	26,40%
26	0,209	729,92	5038,17	703,33	5937,42	5768,09	6640,75	15,13%
27	0,215	685,19	5077,20	672,87	5974,46	5762,39	6647,33	15,36%
28	0,169	685,19	5077,20	672,87	5974,46	5762,39	6647,33	15,36%
29	0,192	713,33	5051,44	687,78	5950,05	5764,77	6637,83	15,14%
30	0,227	767,39	4993,62	717,10	5869,35	5761,01	6586,45	14,33%
31	0,239	746,24	4932,55	732,68	5860,15	5678,79	6592,83	16,10%
32	0,31	880,97	4912,50	827,81	5785,26	5793,47	6613,08	14,15%
33	0,333	830,80	4909,60	932,67	4698,76	5740,40	5631,42	-1,90%
34	0,333	830,80	4909,60	726,96	4785,53	5740,40	5512,49	-3,97%

Tab.34: Trasmittanza termica delle strutture opache e riscaldamenti e raffrescamenti sensibili totali con incremento/decremento del caso di studio 2 rispetto al caso di studio 1 per la città di Palermo

Nel *Grafico 29* viene riportato il rapporto tra i riscaldamenti sensibili e raffrescamenti sensibili nei due casi di studio per la città di Palermo. Come per i due casi precedenti, anche per la città di Palermo risulta che il raffrescamento sensibile e quindi il fabbisogno estivo del caso di studio 2 è maggiore rispetto a quello del caso di studio 1 fino ad un valore del 31,44% e le linee di tendenza hanno un andamento decrescente. Per quanto riguarda invece il riscaldamento sensibile, si può notare che gli andamenti delle linee di tendenza sono diversi rispetto ai casi visti in precedenza per Milano e Roma. Infatti, risulta che per trasmittanze basse (fino a $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$) il caso di studio 1 e 2 hanno un riscaldamento sensibile simile e quindi un fabbisogno quasi coincidente (la differenza è dell'1,8%); per trasmittanze termiche più elevate (maggiori di $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$) si avrà che il riscaldamento sensibile è superiore nel caso di studio 1 (villetta senza sottotetto) con un aumento del fabbisogno fino al 12,26%.

Si può quindi ipotizzare che per trasmittanze termiche ridotte la presenza di una zona termica non riscaldata, può peggiorare la situazione nel caso estivo, mentre se si avranno trasmittanze più elevate sarà più facile disperdere calore.

Nel *Grafico 30* come si può notare, il caso di studio 2, presenta un incremento della somma dei riscaldamenti e raffrescamenti sensibili fino a valori superiori al 15%, quindi il caso di studio della villetta senza sottotetto richiede un minore fabbisogno di energia (15%). Per trasmittanze termiche più alte sono presenti due valori di decremento ma risultano molto ridotti (il maggiore -3,97%).

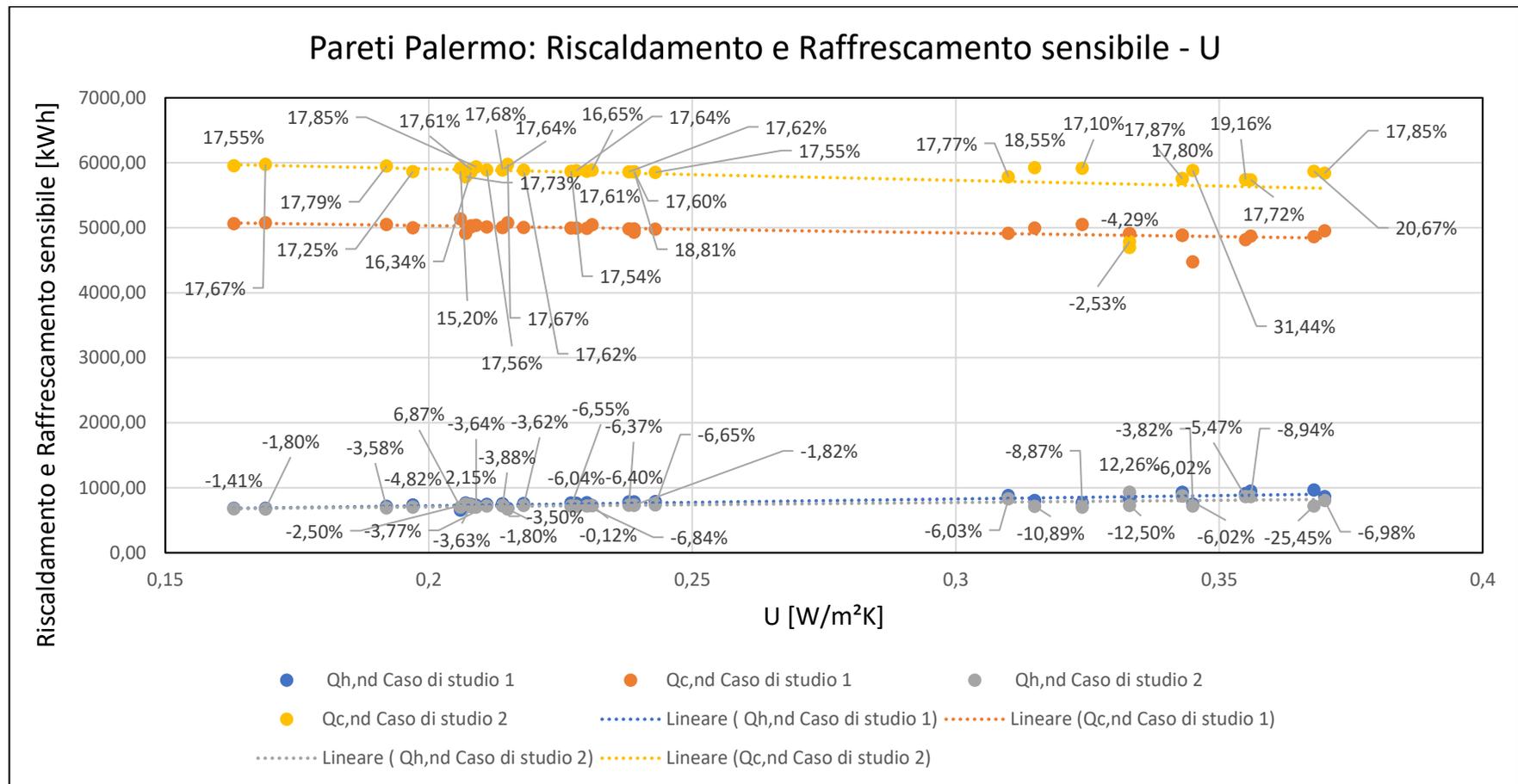


Grafico 29: Rapporto tra riscaldamento e raffrescamento sensibile nei due casi di studio e trasmittanza termica città di Palermo

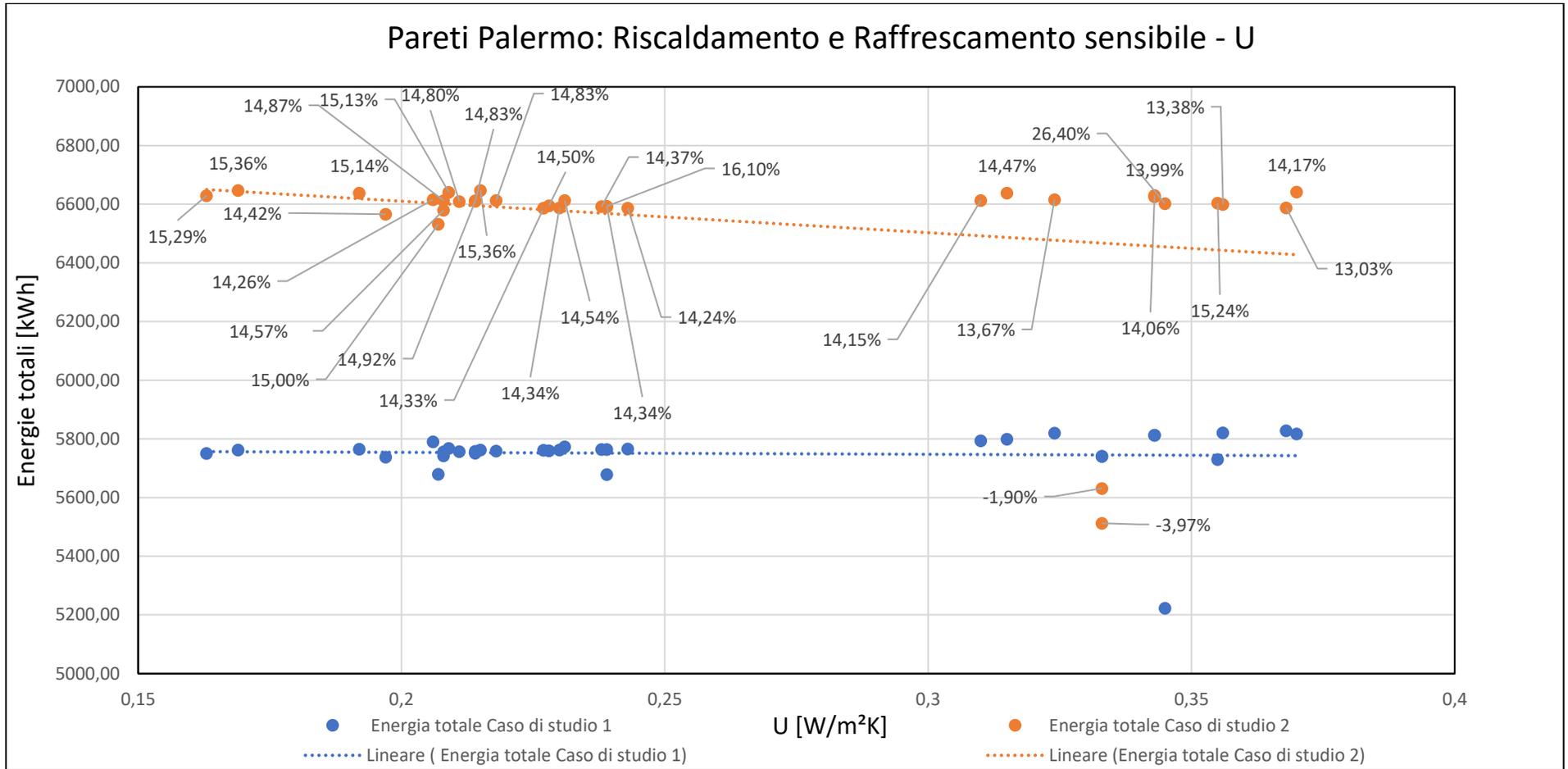


Grafico 30: Rapporto tra riscaldamento e raffrescamento sensibile totali e trasmittanza termica. I numeri indicano l'incremento/decremento percentuale del riscaldamento e raffrescamento sensibile totali del caso di studio 2 rispetto al caso di studio 1 città di Palermo

5.4. Valutazione del fabbisogno di energia utile in funzione dell'isolamento del solaio di sottotetto o della copertura (caso di studio 2 e caso di studio 3)

Questo tipo di analisi prevede un'analisi che metta a confronto il caso in cui si abbia un sottotetto isolato ed una copertura non isolata ed un sottotetto non isolato e una copertura isolata. Lo scopo è quello di andare a valutare quale dei due casi sia migliore dal punto di vista dei fabbisogni energetici. Anche in questo frangente si andrà a svolgere l'analisi per le tre località di Milano, Roma e Palermo ma in questo caso verrà fatta andando a considerare due tipologie di pareti esterne, una massiva ed una leggera (in acciaio) dove per struttura massiva si intende una parete con elevata massa superficiale ed elevata capacità termica, mentre per struttura leggera si intende una parete con questi due parametri ridotti.

Nelle seguenti tabelle (*Tab.35, Tab.36 e Tab.37*) sono riportate le caratteristiche riguardanti le pareti, i solai di sottotetto e delle coperture. Come si può notare, i valori delle trasmittanze termiche delle pareti e dei solai rimangono costanti tra una tipologia di struttura e l'altra.

n	Simulata su	U_{progetto}	Massa Superficiale (Esclusi Intonaci)	Capacità Termica Totale	Riscaldamento sensibile	Raffrescamento sensibile	Energia totale
	[-]	[W/(m ² K)]	[kg/m ²]	[kJ/m ² K]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Struttura Massiva (Copertura non Isolata Sottotetto Isolato)							
1M	Milano	0,22	227,8	275,8	4908,03	3506,79	8414,82
2M	Roma	0,34	228,86	257,1	1806,98	4375,5	6182,48
3M	Palermo	0,36	274,85	303	723,02	4890	5613,02
Struttura Leggera (Copertura non Isolata Sottotetto Isolato)							
1L	Milano	0,22	52,13	89,5	4856	3419,94	8275,94
2L	Roma	0,34	49,63	86,9	1726,95	4198,12	5925,07
3L	Palermo	0,36	43,38	80,5	821,87	4852,35	5674,22

Tab.35: Caratteristiche strutture opache verticali e riscaldamenti e raffrescamenti sensibili per il caso di studio 2

n	Simulata su	U_{progetto}	Massa Superficiale (Esclusi Intonaci)	Capacità Termica Totale	Riscaldamento sensibile	Raffrescamento sensibile	Energia totale
	[-]	[W/(m ² K)]	[kg/m ²]	[kJ/m ² K]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Struttura Massiva (Copertura Isolata Sottotetto non Isolato)							
1M	Milano	0,22	227,8	275,8	4854,56	3454,48	8309,04
2M	Roma	0,34	228,86	257,1	1756,55	4269,15	6025,7
3M	Palermo	0,36	274,85	303	718	4835	5553
Struttura Leggera (Copertura Isolata Sottotetto non Isolato)							
1L	Milano	0,22	52,13	89,5	4796,47	3287,33	8083,8
2L	Roma	0,34	49,63	86,9	1543,6	4335,47	5879,07
3L	Palermo	0,36	43,38	80,5	757,95	4770	5527,95

Tab.36: Caratteristiche strutture opache verticali e riscaldamenti e raffrescamenti sensibili per il caso di studio 3.

Structure	Simulated on	Thermal Transmittance U	Surface Mass	Periodic Thermal Transmittance Y_{ie}	Attenuation f_a	Time Shift ϕ	Areal Internal Heat Capacity k_j
-	-	[W/(m ² K)]	[kg/m ²]	[W/(m ² K)]	[-]	[h]	[kJ/(m ² K)]
Massive Structure							
Sub-Roofing Floor (Not Isolated)	Milan, Rome, Palermo	1.24	360.00	0.413	0.333	8.06	32.52
Roof (Not Isolated)	Milan, Rome, Palermo	0.70	399.20	0.176	0.252	6.47	91.71
Sub-Roofing Floor (Isolated)	Milan	0.24	363.60	0.038	0.155	11.40	58.05
Roof (Isolated)	Milan	0.20	402.80	0.045	0.222	8.20	91.36
Sub-Roofing Floor (Isolated)	Rome	0.27	363.00	0.029	0.107	11.58	34.40
Roof (Isolated)	Rome	0.20	402.80	0.045	0.222	8.20	91.36
Sub-Roofing Floor (Isolated)	Palermo	0.38	362.10	0.064	0.169	10.72	58.45
Roof (Isolated)	Palermo	0.26	401.60	0.061	0.229	7.40	32.22
Lightweight Structure							
Sub-Roofing Floor (Not Isolated)	Milan, Rome, Palermo	1.24	57.50	1.160	0.934	1.46	7.54
Roof (Not Isolated)	Milan, Rome, Palermo	0.68	29.18	0.671	0.991	0.46	2.44
Sub-Roofing Floor (Isolated)	Milan	0.24	70.50	0.195	0.798	4.42	5.96
Roof (Isolated)	Milan	0.19	46.68	0.135	0.707	5.23	6.38
Sub-Roofing Floor (Isolated)	Rome	0.27	68.25	0.217	0.836	3.81	5.24
Roof (Isolated)	Rome	0.21	44.18	0.167	0.786	4.31	6.08
Sub-Roofing Floor (Isolated)	Palermo	0.37	63.25	0.325	0.901	2.45	4.20
Roof (Isolated)	Palermo	0.25	39.43	0.229	0.899	3.06	4.79

Tab.37: Caratteristiche strutture opache orizzontali e inclinate (solai di sottotetto e coperture)

5.4.1. Milano

Nei seguenti grafici si hanno a sinistra gli andamenti del caso di studio 2 e a destra gli andamenti del caso di studio 3.

Nel *Grafico 31* si confrontano i risultati ottenuti per la struttura massiva. Si può notare che nel caso di studio 2, quindi nel caso in cui il sottotetto è isolato, si hanno dei valori di riscaldamento e raffrescamento sensibili superiori al caso in cui il sottotetto non è isolato, rispettivamente dell'1,1% e dell'1,5%. Per quanto riguarda la somma di questi due parametri si ha l'1,27% in più rispetto al caso 3. Quindi il caso in cui si ha un sottotetto isolato necessita di un maggior fabbisogno energetico. Per la località di Milano è quindi preferibile il caso di studio 2.

Nel *Grafico 32*, dove si analizza la struttura leggera, si può notare che a livello energetico il migliore è sempre l'edificio dotato di sottotetto non isolato. Inoltre, le percentuali rimangono all'incirca costanti, ad eccezione del raffrescamento sensibile che presenta un incremento del 4%.

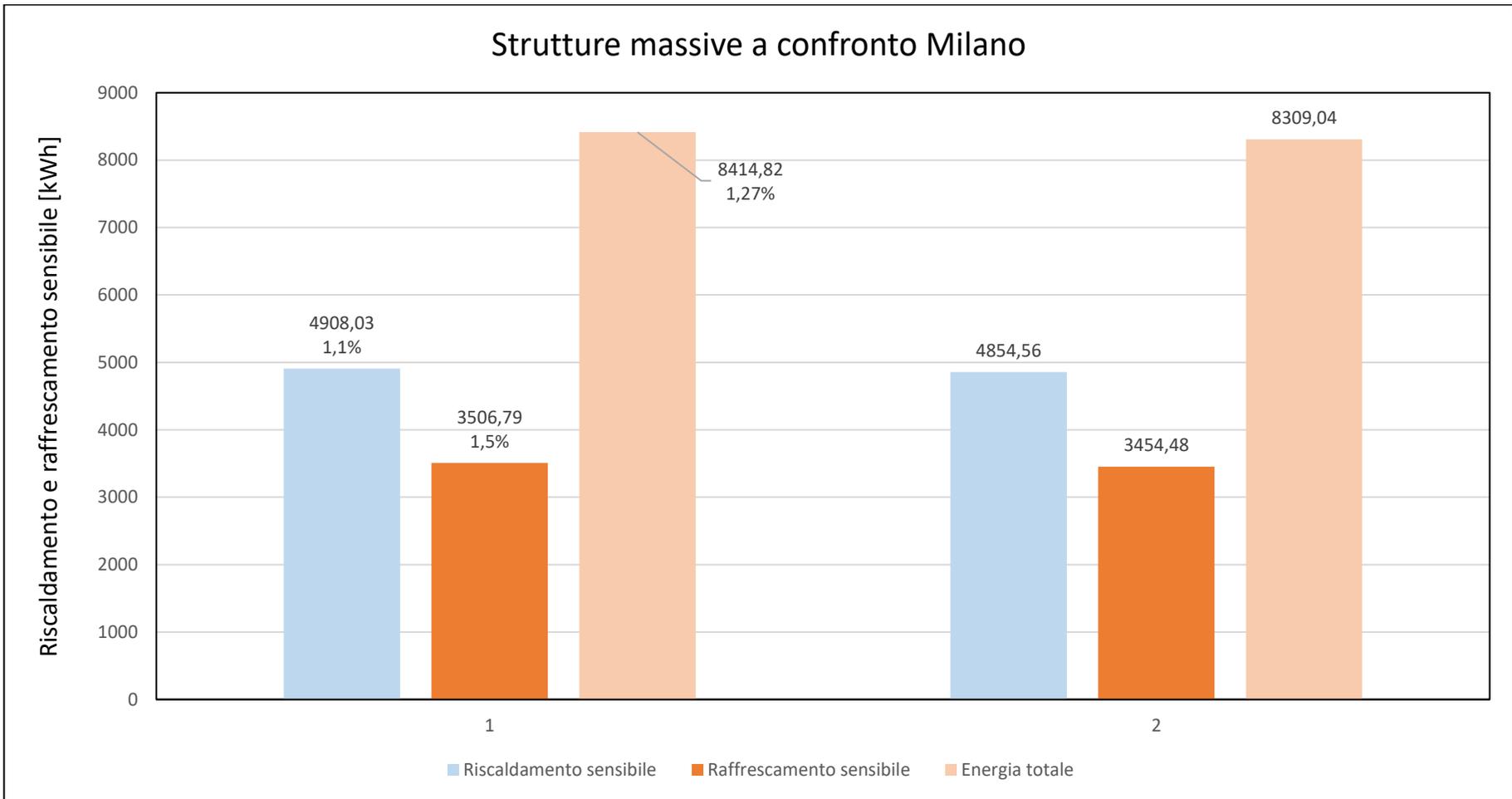


Grafico 31: Struttura massiva, confronto tra riscaldamenti e raffrescamenti sensibili tra caso di studio 2 e caso di studio 3 città di Milano

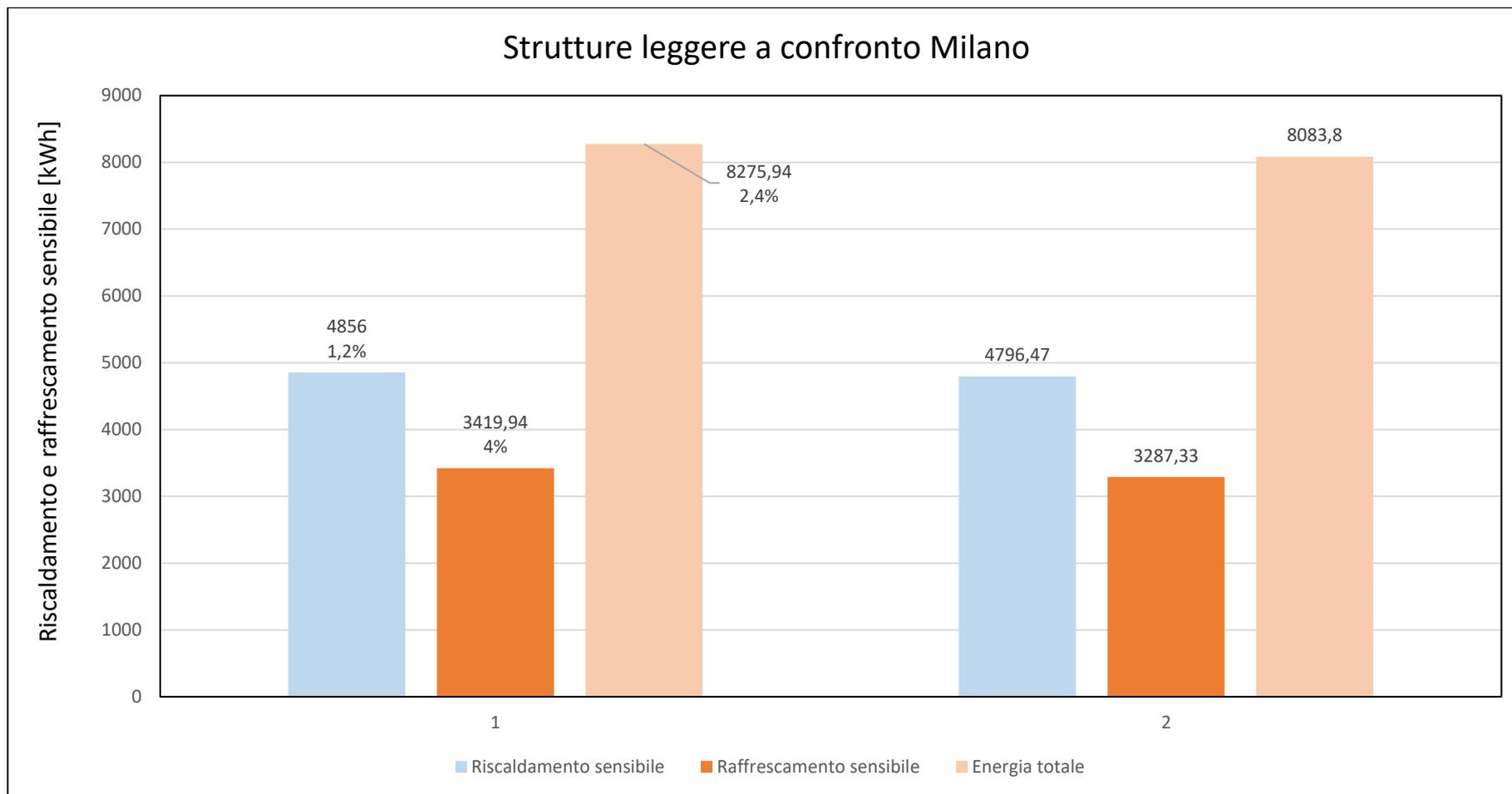


Grafico 32: Struttura leggera, confronto tra riscaldamenti e raffrescamenti sensibili tra caso di studio 2 e caso di studio 3 città di Milano

5.4.2. Roma

Nei seguenti grafici si hanno a sinistra gli andamenti del caso di studio 2 e a destra gli andamenti del caso di studio 3.

Nel *Grafico 33* si confrontano i dati ottenuti per la struttura massiva per la località di Roma. In questo caso, come per la situazione di Milano, come si può notare si ha un incremento dei valori di riscaldamento sensibile e raffrescamento sensibile della struttura con sottotetto isolato, rispetto alla struttura con sottotetto non isolato rispettivamente del 2,9% e del 2,5%. Questo risultato permette di affermare che anche a livelli di fabbisogno energetico, il caso di studio 2 risulta quello sfavorito con fabbisogni maggiori.

Nel *Grafico 34* si valutano i dati riguardanti la struttura leggera. Come si può notare, per la città di Roma si ha un incremento dell'11,9% nel caso del riscaldamento sensibile per il caso di studio 2, mentre per quanto riguarda il raffrescamento sensibile, si ha un incremento per il caso di studio 3, ovvero quello con sottotetto non isolato, pari al 4,3%. Se poi confrontiamo i kWh totali, l'incremento del caso di studio 2 è comunque minimo, pari allo 0,8%. In ogni caso la villetta con sottotetto isolato risulta la più svantaggiosa dal punto di vista del fabbisogno energetico.

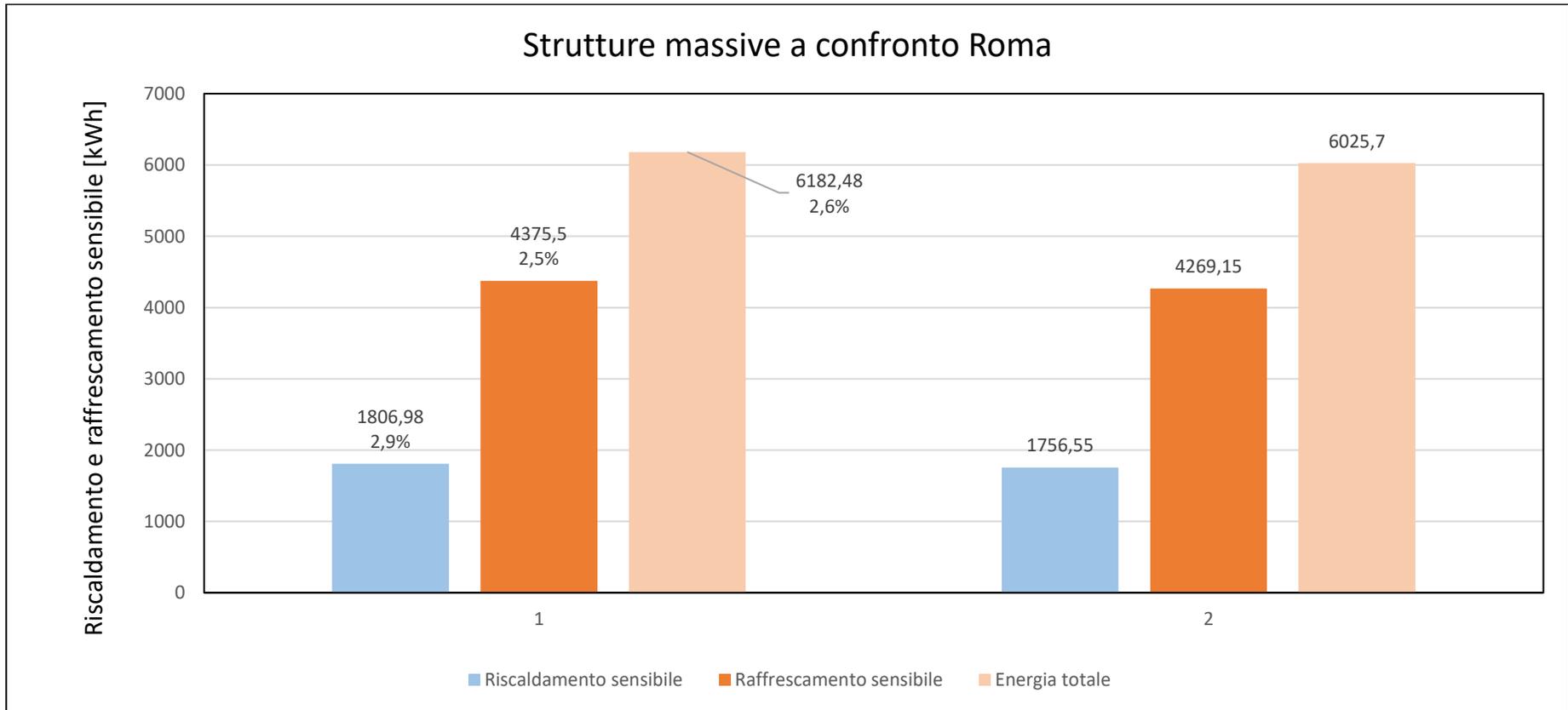


Grafico 33: Struttura massiva, confronto tra riscaldamenti e raffrescamenti sensibili tra caso di studio 2 e caso di studio 3 città di Roma

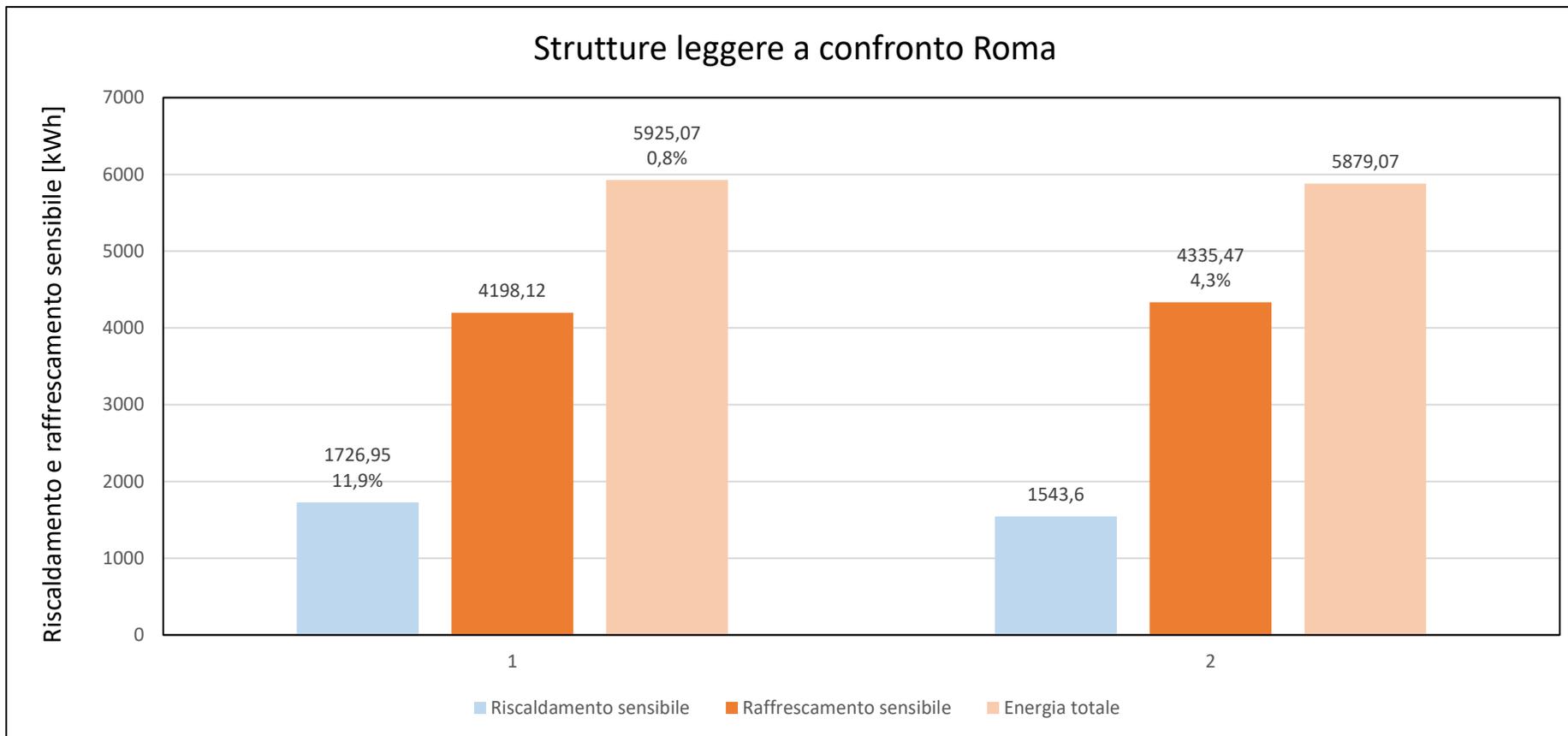


Grafico 34: Struttura leggera, confronto tra riscaldamenti e raffrescamenti sensibili tra caso di studio 2 e caso di studio 3 città di Roma

5.4.3. Palermo

Nei seguenti grafici si hanno a sinistra gli andamenti del caso di studio 2 e a destra gli andamenti del caso di studio 3.

Nel *Grafico 35* si analizzano i risultati riguardanti la struttura massiva per la città di Palermo. Come per le località di Milano e Roma, anche in questo caso si hanno incrementi per il caso di studio con solaio di sottotetto isolato. Seppur minimi, gli incrementi sono pari allo 0,7% per il riscaldamento sensibile, dell'1,1% per il raffrescamento sensibile e l'1,1% del totale. Anche a livello di fabbisogni sarà quindi favorito il caso di studio 3.

Nel *Grafico 36* si mettono a confronto i risultati per le strutture leggere nella località di Palermo. In questo caso si può notare, come per il caso di Milano, che gli incrementi si hanno per il caso di studio 2 ovvero per la villetta con sottotetto isolato e sono rispettivamente dell'8,4% per il riscaldamento sensibile, dell'1,2% per il raffrescamento sensibile e il 2,6% del totale. Anche in questo caso, saranno necessari fabbisogni superiori per il caso di studio con solaio di sottotetto isolato.

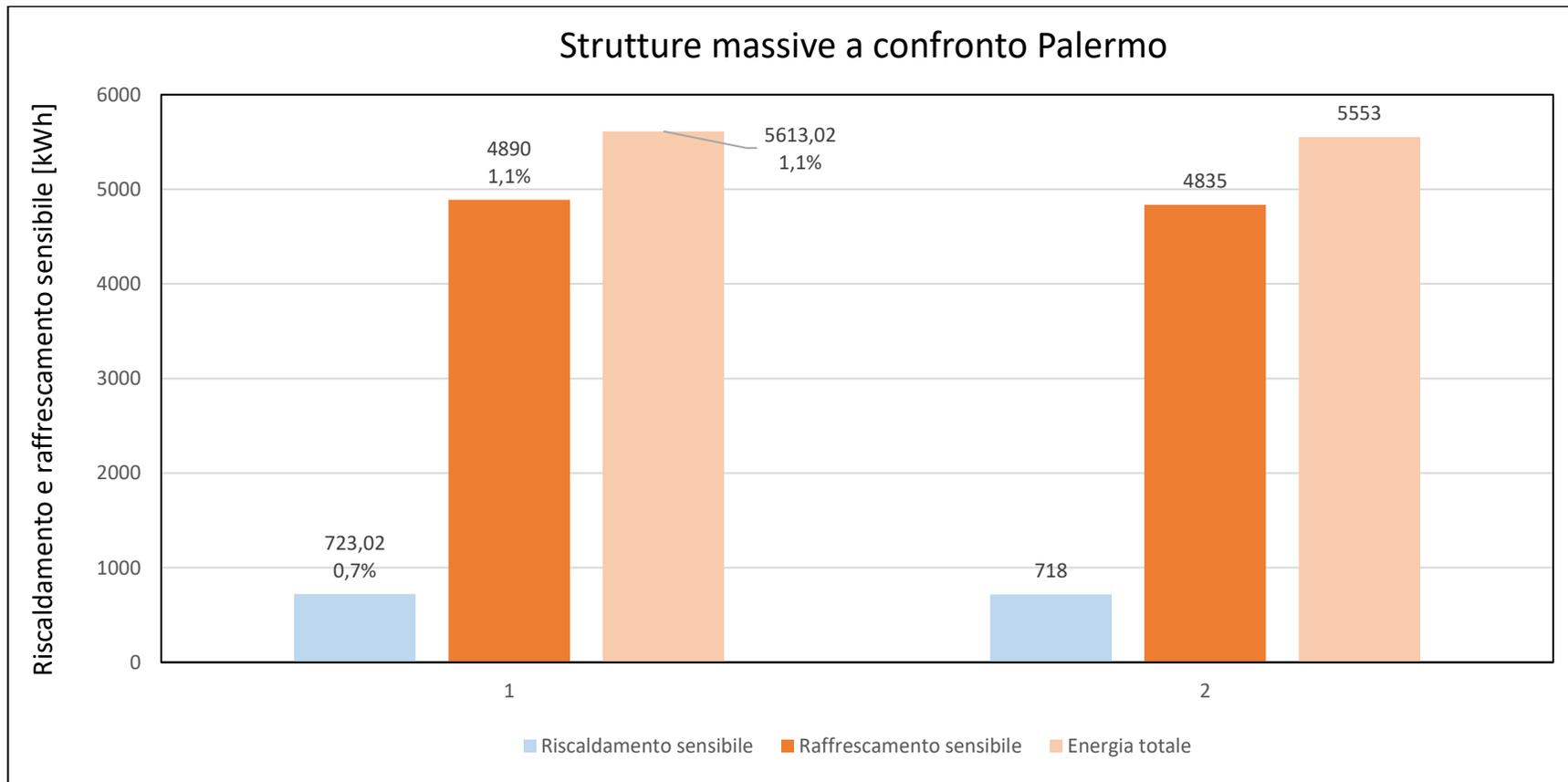


Grafico 35: Struttura massiva, confronto tra riscaldamenti e raffrescamenti sensibili tra caso di studio 2 e caso di studio 3 città di Palermo

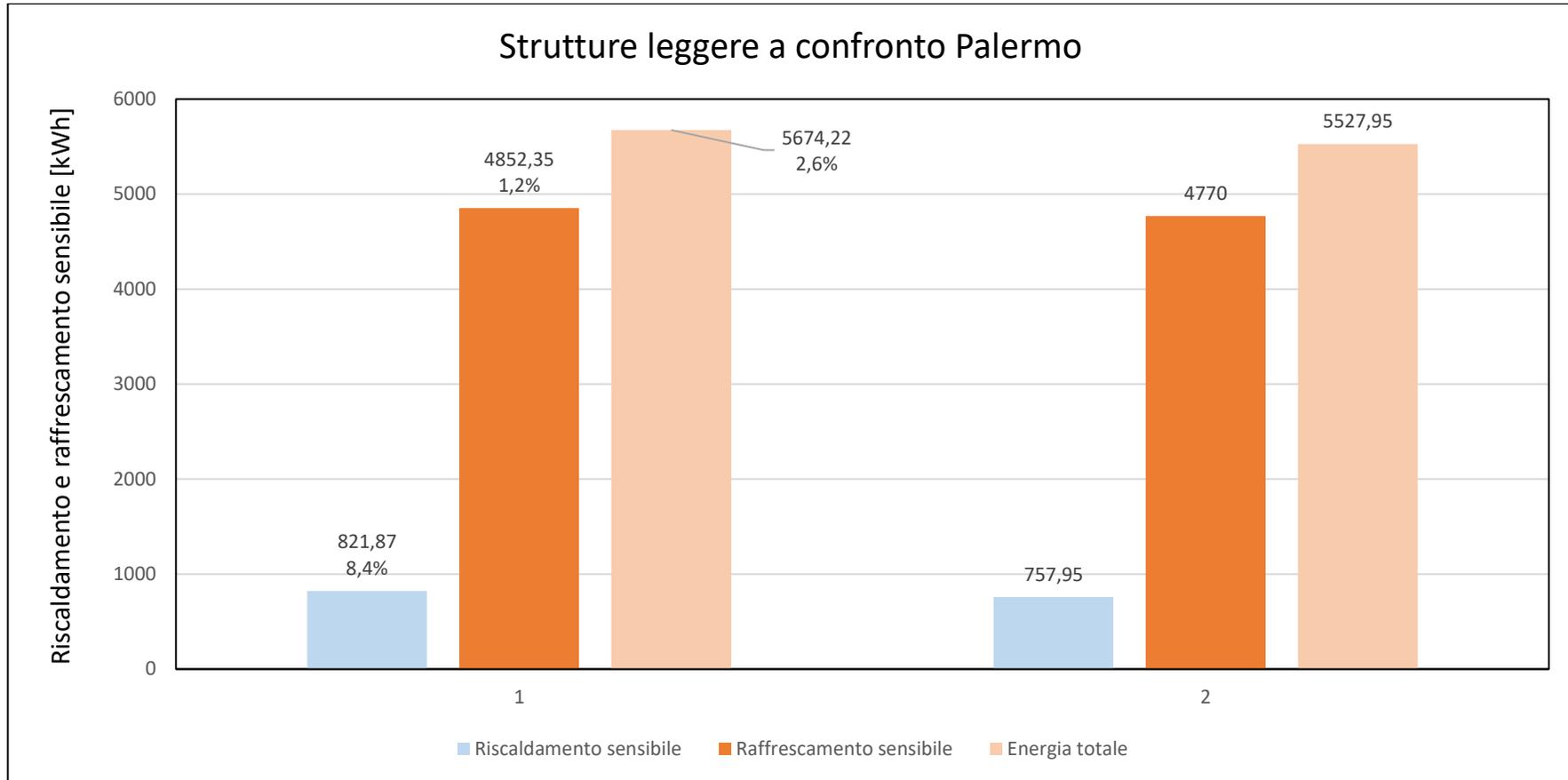


Grafico 36: Struttura leggera, confronto tra riscaldamenti e raffrescamenti sensibili tra caso di studio 2 e caso di studio 3 città di Palermo

5.5. Valutazione del fabbisogno di energia utile in funzione del tipo di struttura (massiva o leggera)

In questo paragrafo effettuato il confronto tra i riscaldamenti e i raffrescamenti sensibili calcolati tramite l'analisi dinamica del software "Design Builder" per le strutture massive e leggere nei due casi di studio: villetta con sottotetto isolato e copertura non isolata (caso di studio 2) e villetta con sottotetto non isolato e copertura isolata (caso di studio 3). Come nei casi precedenti l'analisi viene fatta per ciascuna località, Milano, Roma e Palermo.

5.5.1. Milano

Nella seguente tabella, vengono riportate le caratteristiche dell'edificio in modo da poter distinguere una struttura massiva da una struttura leggera, in particolare si può notare che nella struttura massiva i valori della massa superficiale e della capacità termica sono superiori rispetto alla struttura leggera.

Structure	Thermal Transmittance U	Surface Mass	Periodic Thermal Transmittance Y_{ie}	Time Shift ϕ	Attenuation f_a	Areal Internal Heat Capacity k_j
[-]	[W/m ² K]	[kg/m ²]	[W/m ² K]	[h]	[-]	[kJ/m ² K]
Massive Structure						
External Wall	0.22	227.80	0.007	21.92	0.031	34.56
Internal Wall	1.13	111.60	0.673	6.18	0.598	50.99
Internal Floor	0.35	403.80	0.039	12.28	0.111	77.37
Sub-Roofing Floor (Not Isolated)	1.24	360.00	0.413	8.06	0.333	32.52
Sub-Roofing Floor (Isolated)	0.25	363.60	0.038	11.40	0.155	58.05
Roof (Not Isolated)	0.70	399.20	0.176	6.79	0.252	91.71
Roof (Isolated)	0.20	402.80	0.045	8.33	0.222	91.36
Lightweight Structure						
External Wall	0.22	52.93	0.114	7.08	0.531	21.56
Internal Wall	1.43	71.09	1.272	2.60	0.892	30.50
Internal Floor	0.48	339.20	0.156	7.98	0.326	78.48
Sub-Roofing Floor (Not Isolated)	1.24	57.50	1.160	1.46	0.934	7.54
Sub-Roofing Floor (Isolated)	0.24	70.50	0.195	4.42	0.798	5.96
Roof (Not Isolated)	0.68	29.18	0.671	0.77	0.991	2.44
Roof (Isolated)	0.19	46.68	0.135	5.39	0.707	6.38

Tab.38: Caratteristiche delle strutture massive e leggere dell'edificio studiato città di Milano

Nei due grafici seguenti si analizzerà il rapporto tra l'energia per riscaldamento e raffrescamento sensibile per il caso di studio 2 (*Grafico 37*) e per il caso di studio 3 (*Grafico 38*) con i relativi incrementi/decrementi tra le due tipologie di studio.

Nel *Grafico 37* si può vedere il confronto tra la struttura massiva e la struttura leggera nel caso di studio 2 per la città di Milano. La struttura leggera ha un comportamento migliore per quanto riguarda sia il riscaldamento sensibile che il raffrescamento sensibile, quindi sia nel caso invernale, sia nel caso estivo nel caso di studio 2 per la città di Milano è preferibile utilizzare una struttura leggera. Considerando il fabbisogno sarà quindi la struttura leggera ad avere un comportamento migliore, anche se la differenza sia rispetto al riscaldamento sensibile che al raffrescamento sensibile con la struttura massiva non risulta essere significativa (rispettivamente 1,1% e 2,5%); quindi sarà richiesto un fabbisogno inferiore

Nel *Grafico 38* con il quale viene analizzato il caso di studio 3, si possono fare le stesse considerazioni della struttura leggera, con l'eccezione che l'incremento del raffrescamento sensibile è pari al 5% contro il 2,5% del caso di studio 2.

Si può concludere che per la città di Milano il comportamento migliore è tenuto dalla struttura leggera, che richiederà un minor fabbisogno energetico.

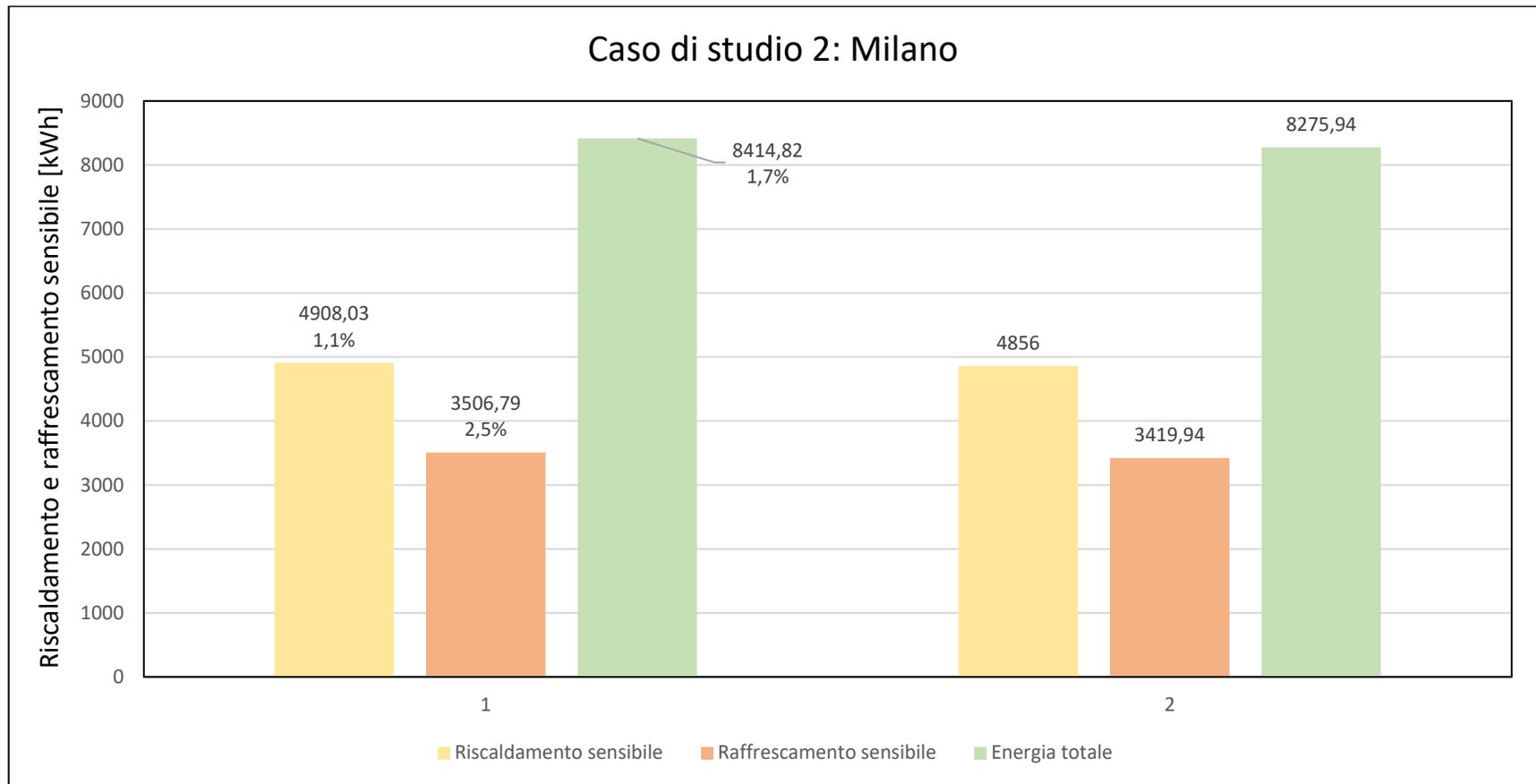


Grafico 37: Caso di studio 2, confronto energie per riscaldamento e raffrescamento sensibile per la città di Milano

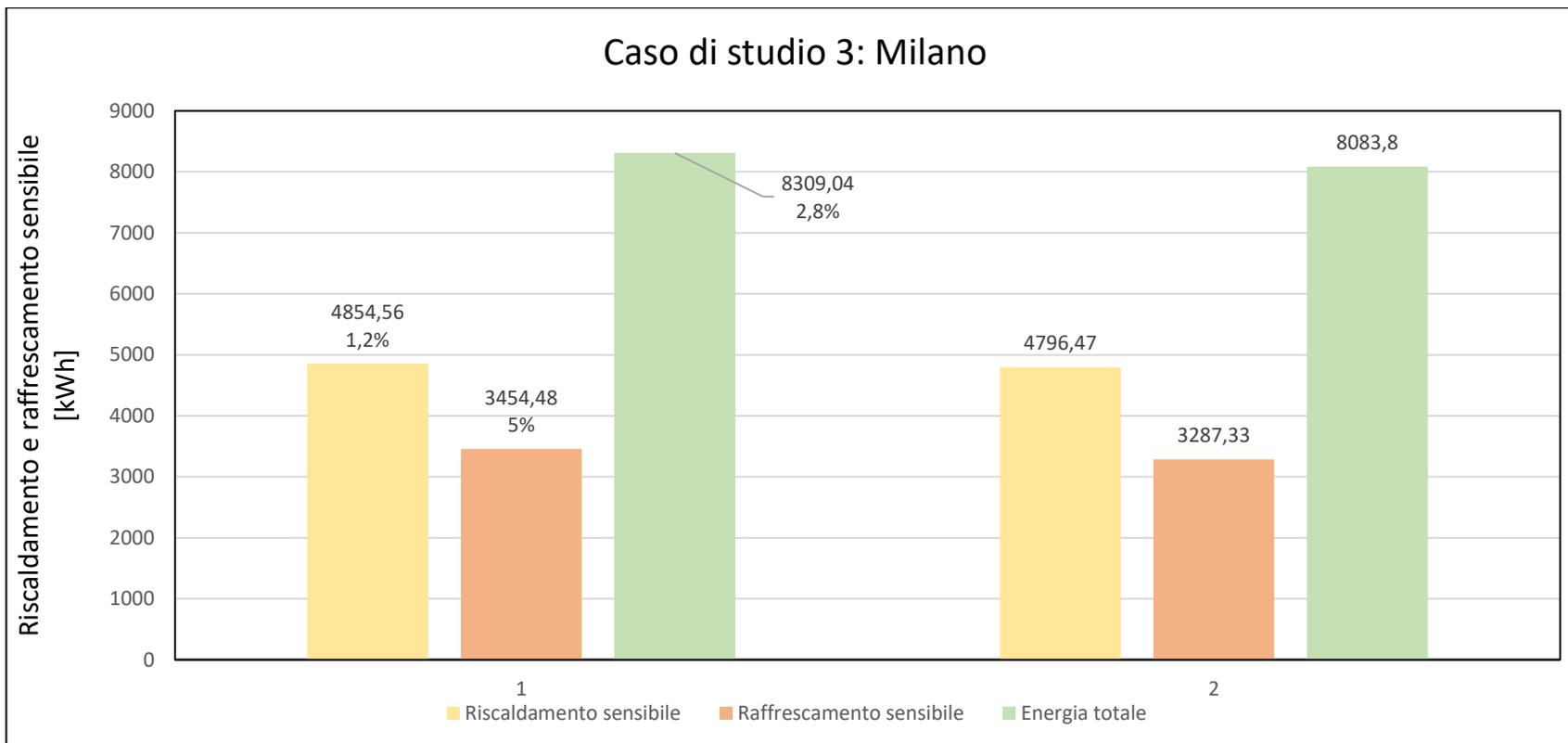


Grafico 38: Caso di studio 3, confronto energie per riscaldamento e raffrescamento sensibile per la città di Milano

5.5.2. Roma

Di seguito viene riportata la tabella con le caratteristiche principali della struttura massiva e della struttura leggera per la città di Roma.

Structure	Thermal Transmittance U	Surface Mass	Periodic Thermal Transmittance Y_{ie}	Time Shift ϕ	Attenuation f_a	Areal Internal Heat Capacity k_j
[-]	[W/m ² K]	[kg/m ²]	[W/m ² K]	[h]	[-]	[kJ/m ² K]
Massive Structure						
External Wall	0.24	228.86	0.008	21.04	0.032	35.76
Internal Wall	1.13	111.60	0.673	6.18	0.598	50.99
Internal Floor	0.35	403.80	0.039	12.28	0.111	77.37
Sub-Roofing Floor (Not Isolated)	1.24	360.00	0.413	8.06	0.333	32.52
Sub-Roofing Floor (Isolated)	0.27	363.00	0.029	11.58	0.107	34.40
Roof (Not Isolated)	0.70	399.20	0.176	6.79	0.252	91.71
Roof (Isolated)	0.20	402.80	0.045	8.33	0.222	91.36
Lightweight Structure						
External Wall	0.24	50.43	0.148	6.29	0.606	22.11
Internal Wall	1.43	71.09	1.272	2.60	0.892	30.50
Internal Floor	0.48	339.20	0.156	7.98	0.326	78.48
Sub-Roofing Floor (Not Isolated)	1.24	57.50	1.160	1.46	0.934	7.54
Sub-Roofing Floor (Isolated)	0.26	68.25	0.217	3.81	0.836	5.24
Roof (Not Isolated)	0.68	29.18	0.671	0.77	0.991	2.44
Roof (Isolated)	0.21	44.18	0.167	4.52	0.786	6.08

Tab.39: Caratteristiche delle strutture massive e leggere dell'edificio studiato città di Roma

Nel *Grafico 39* si può vedere il confronto tra la struttura massiva e la struttura leggera nel caso di studio 2 per la città di Roma. Come per la città di Milano, è la struttura leggera ad avere il miglior comportamento, in quanto in quella massiva si registra un incremento del riscaldamento e raffreddamento sensibile rispettivamente del 4,6% e 4,2%. Ciò significa che in quest'ultimo caso sarà richiesto un fabbisogno superiore. In ogni caso la differenza tra le due strutture non risulta essere così evidente.

Nel *Grafico 40*, nel quale viene analizzato il caso di studio 3, il comportamento migliore è mantenuto sempre dalla struttura leggera ad eccezione del raffrescamento sensibile, che nella struttura leggera ha un incremento dell'1,6%, quindi molto ridotto. Quindi per il caso invernale risulta migliore il comportamento della struttura leggera e in estate quella massiva. Risulta invece notevole l'incremento della struttura massiva per il riscaldamento sensibile (13,8%).

Si può quindi concludere che per entrambi i casi di studio il fabbisogno minore sarà comunque richiesto dalla struttura leggera.

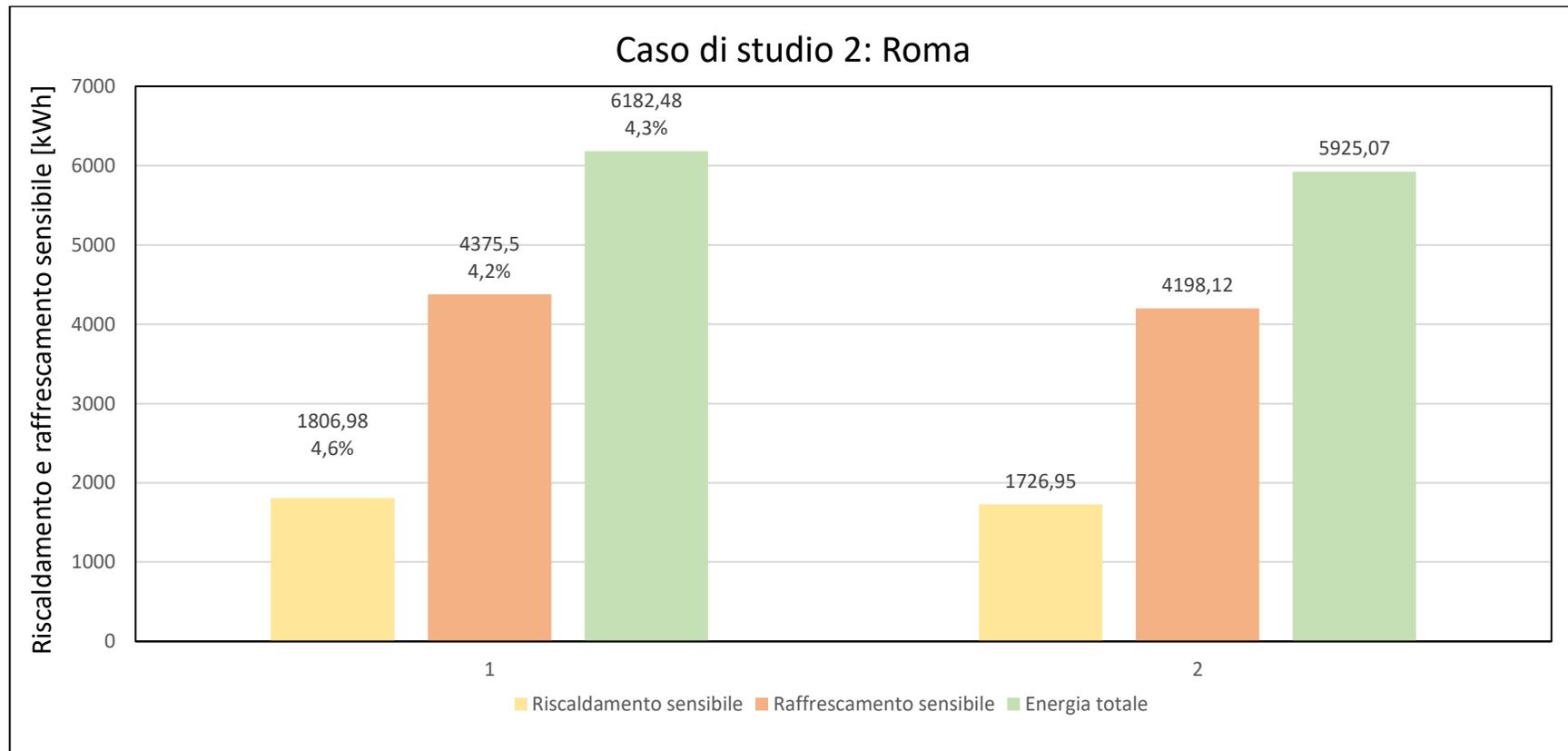


Grafico 39: Caso di studio 2, confronto energie per riscaldamento e raffrescamento sensibile per la città di Roma

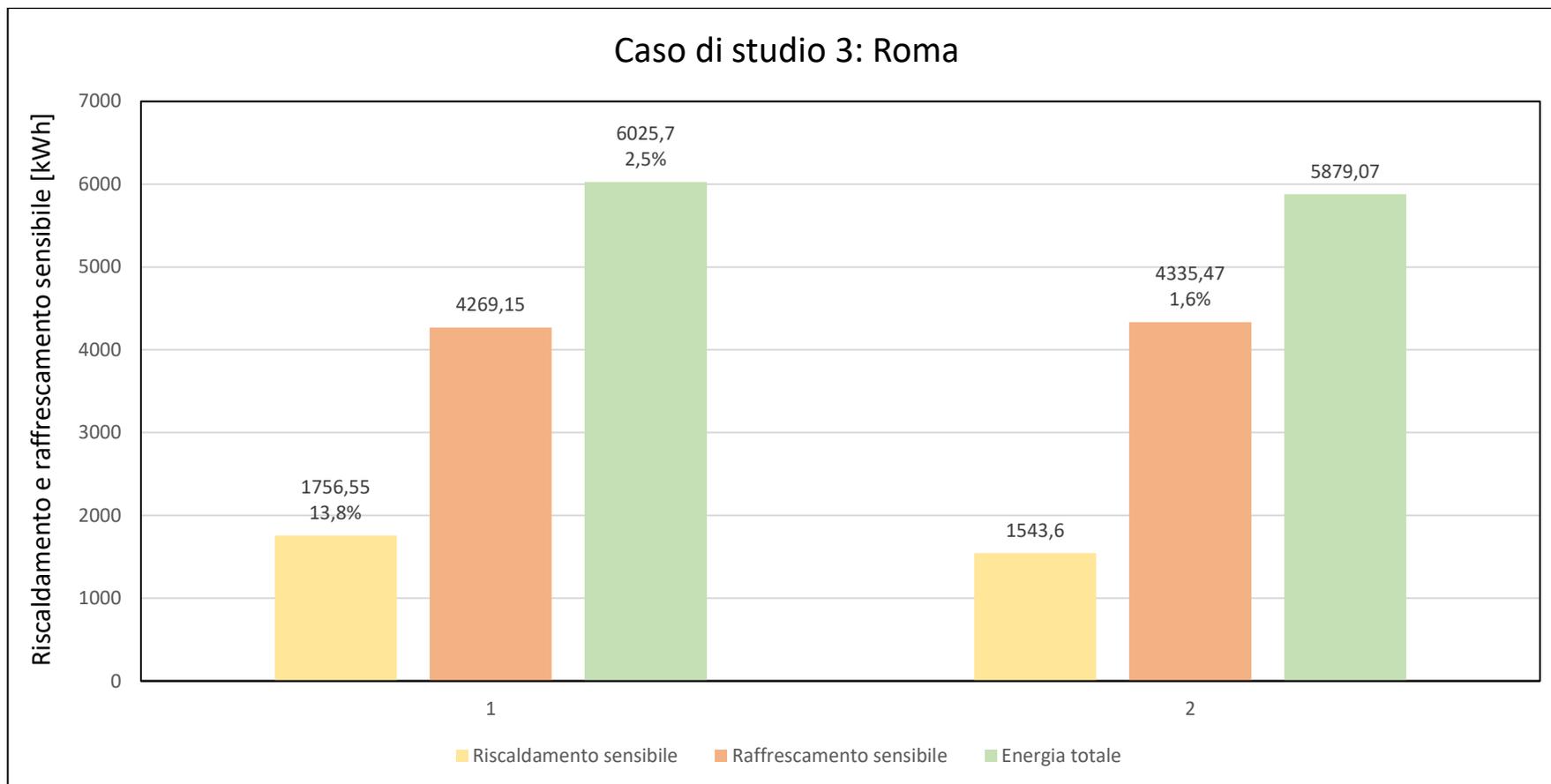


Grafico 40: Caso di studio 3, confronto energie per riscaldamento e raffrescamento sensibile per la città di Roma

5.5.3. Palermo

Di seguito viene riportata la tabella con le caratteristiche principali della struttura massiva e della struttura leggera per la città di Palermo.

Structure	Thermal Transmittance U	Surface Mass	Periodic Thermal Transmittance Y_{ie}	Time Shift ϕ	Attenuation f_a	Areal Internal Heat Capacity k_j
[-]	[W/m ² K]	[kg/m ²]	[W/m ² K]	[h]	[-]	[kJ/m ² K]
Massive Structure						
External Wall	0.36	274.84	0.018	18.55	0.050	40.55
Internal Wall	1.13	111.60	0.673	6.18	0.598	50.99
Internal Floor	0.35	403.80	0.039	12.28	0.111	77.37
Sub-Roofing Floor (Not Isolated)	1.24	360.00	0.413	8.06	0.333	32.52
Sub-Roofing Floor (Isolated)	0.38	362.10	0.064	10.72	0.169	58.45
Roof (Not Isolated)	0.70	399.20	0.176	6.79	0.252	91.71
Roof (Isolated)	0.26	401.60	0.061	7.66	0.229	91.41
Lightweight Structure						
External Wall	0.36	44.18	0.288	4.32	0.793	22.79
Internal Wall	1.43	71.09	1.272	2.60	0.892	30.50
Internal Floor	0.48	339.20	0.156	7.98	0.326	78.48
Sub-Roofing Floor (Not Isolated)	1.24	57.50	1.160	1.46	0.934	7.54
Sub-Roofing Floor (Isolated)	0.36	63.25	0.325	2.45	0.901	4.20
Roof (Not Isolated)	0.68	29.18	0.671	0.77	0.991	2.44
Roof (Isolated)	0.25	39.43	0.229	3.06	0.899	4.79

Tab.40: Caratteristiche delle strutture massive e leggere dell'edificio studiato città di Palermo

Nel *Grafico 41* si può vedere il confronto tra la struttura massiva e la struttura leggera nel caso di studio 2 per la città di Palermo. Come si può notare, a differenza dei casi di studio di Milano e Roma, il comportamento migliore risulta essere quello della struttura massiva, in particolare nel caso del riscaldamento sensibile dove si ha un incremento del 13,7%. Per quanto riguarda il raffrescamento sensibile, invece, l'incremento è minimo (0,8%). Per il caso di studio 2 nella città di Palermo, sarà quindi superiore il fabbisogno richiesto dalla struttura leggera.

Nel *Grafico 42*, nel quale viene analizzata la struttura leggera, si può notare un incremento del 5,6% nel caso del riscaldamento sensibile per il caso di studio 3 per

quanto riguarda il riscaldamento sensibile, mentre per quanto riguarda il raffrescamento sensibile, si presenta un incremento dell'1,4% per il caso di studio 2.

Quindi la struttura leggera presenta un comportamento migliore per quanto riguarda il fabbisogno invernale nel caso di studio 2, mentre nel caso estivo risulta migliore il caso di studio 3.

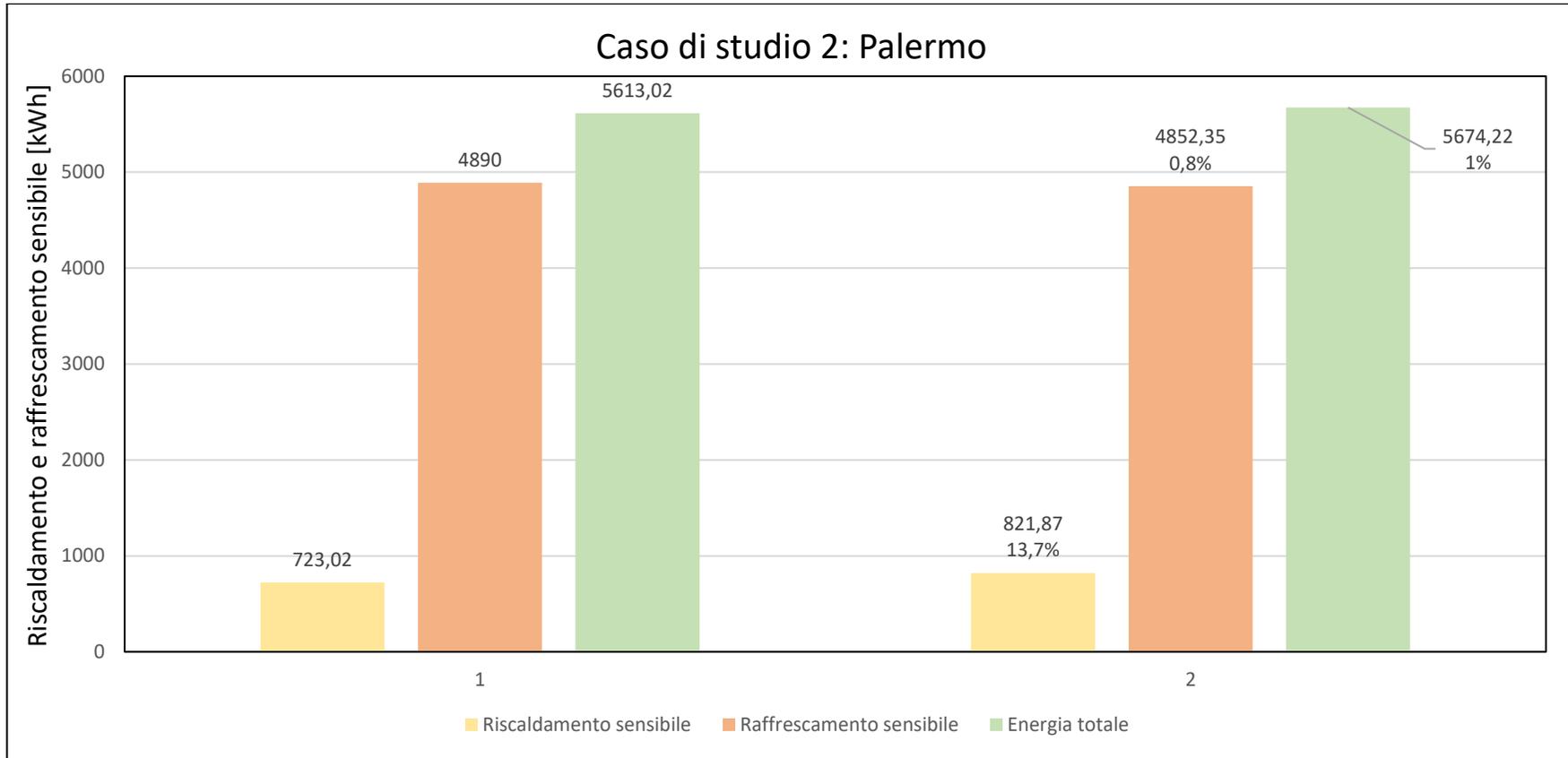


Grafico 41: Caso di studio 2, confronto energie per riscaldamento e raffrescamento sensibile per la città di Palermo

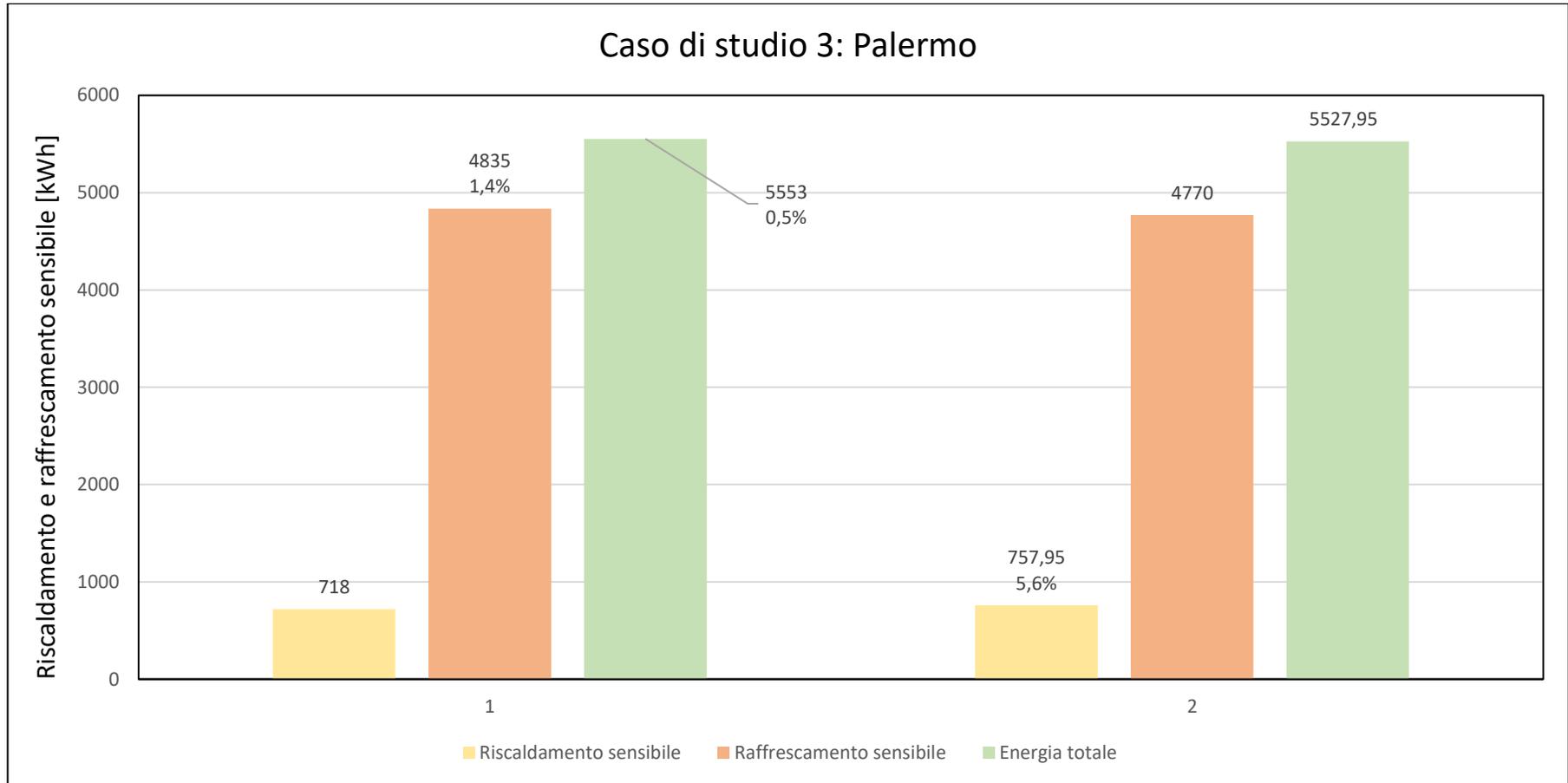


Grafico 42: Caso di studio 3, confronto energie per riscaldamento e raffrescamento sensibile per la città di Palermo

6. CONCLUSIONI

In questo lavoro di tesi sono stati analizzati due casi di studio: villetta senza sottotetto e villetta con sottotetto, dove in quest'ultimo si è valutato il comportamento nel caso di isolamento e non isolamento del suddetto solaio. L'analisi è stata effettuata per le tre località di Milano, Roma e Palermo.

Attraverso l'analisi dinamica effettuata attraverso il software "DesignBuilder" sono state effettuate delle analisi riguardanti tipologie di strutture differenziate per inerzia termica, per due differenti casi di studio. È stato graficato l'andamento dei riscaldamenti e dei raffrescamenti sensibili, e di conseguenza anche della variazione del fabbisogno di energia in ciascun caso di studio.

Sono stati valutati gli andamenti dei fabbisogni in relazione ai parametri termo – fisici delle pareti, in particolare rispetto alle trasmittanze termiche, alle capacità termiche totali delle pareti e alle masse superficiali. Questo procedimento è stato seguito per ogni caso di studio e sono stati poi confrontati i risultati per valutare quale dei due sia il migliore. Dai risultati ottenuti si evince che la struttura che presenta un maggior risparmio energetico è la struttura senza sottotetto, la cui somma totale di energia risulta inferiore per tutte le località fino a superare il 20%. In particolare, per la città di Milano si riscontra per il fabbisogno invernale un risparmio del 10,33% e per il fabbisogno estivo un risparmio del 9,77%. Per la città di Roma invece, sul fabbisogno invernale si ha un risparmio ridotto, del 2,6%, mentre per il fabbisogno estivo si arriva ad un risparmio del 23%. Infine, per la città di Palermo, come per le altre due località, si ha un risparmio sul fabbisogno invernale ma in questo caso risulta considerevole (31,44%); per il fabbisogno estivo i risultati indicano che per pareti con una trasmittanza ridotta (inferiore a $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$) i fabbisogni dei due casi sono quasi coincidenti (risparmio dell'1,8% rispetto alla villetta con sottotetto), mentre per trasmittanze termiche con valori più elevati sarà sempre il caso di studio 1 (senza sottotetto) ad avere un risparmio energetico fino ad un 12,26%. Questo avviene nonostante il volume da riscaldare e raffrescare, per questo caso di studio, sia maggiore rispetto alla villetta con sottotetto.

Il passo successivo è stato quello di confrontare i due casi di studio con solaio di sottotetto isolato (caso di studio 2) e sottotetto non isolato (caso di studio 3) per le strutture massive e leggere. Per la città di Milano si hanno lievi risparmi energetici sia invernali che estivi per il caso di studio 3, sia nelle strutture massive (meno del 2%) che leggere (massimo 4%). Per la città di Roma si ha sempre un leggero risparmio sia invernale che estivo con le strutture massive, mentre per quelle leggere il fabbisogno estivo risulta superiore per il caso 3 (sottotetto non isolato) (4%). Per la città di Palermo si può concludere che il risparmio energetico per le strutture massive è minimo (1%) per il caso di studio 2, mentre per le strutture leggere si ha un risparmio del fabbisogno invernale dell'8,4% e dell'1,2% per quello estivo.

L'obiettivo era poi valutare il comportamento dell'edificio in relazione alla tipologia di parete, che può essere massiva (massa superficiale elevata) o leggera (massa superficiale ridotta). Queste tipologie di parete sono state messe a confronto per il caso di studio 2 e per il caso di studio 3. Si è visto che i fabbisogni variano in relazione alla stagione e alla tipologia di struttura. È stato riscontrato che per la città di Milano, per il caso di studio 2, si ha un leggero risparmio energetico sia invernale che estivo (inferiore al 2%), mentre per il caso di studio 3 il fabbisogno inferiore sarà sempre per la struttura leggera (1,2% caso invernale e 5% caso estivo). Per la città di Roma, per il caso di studio 2, vale lo stesso discorso della città di Milano, mentre per il caso di studio 3 si ha un risparmio energetico invernale notevole, del 13,8%, nel caso di struttura leggera e un comportamento migliore della struttura massiva per il fabbisogno estivo. Infine, per la città di Palermo, nel caso di studio 2, la struttura migliore risulta essere quella massiva, con risparmi sul fabbisogno invernale del 13,7% e 0,8% su quello estivo; per il caso di studio 3 si nota un comportamento migliore per la struttura massiva con risparmi del 5,6% mentre per quello estivo il risparmio sarà sulla struttura leggera dell'1,4%.

Dai risultati delle analisi si può evincere che il parametro che influenza maggiormente l'andamento dei riscaldamenti e raffrescamenti sensibili della struttura è la trasmittanza termica delle pareti.