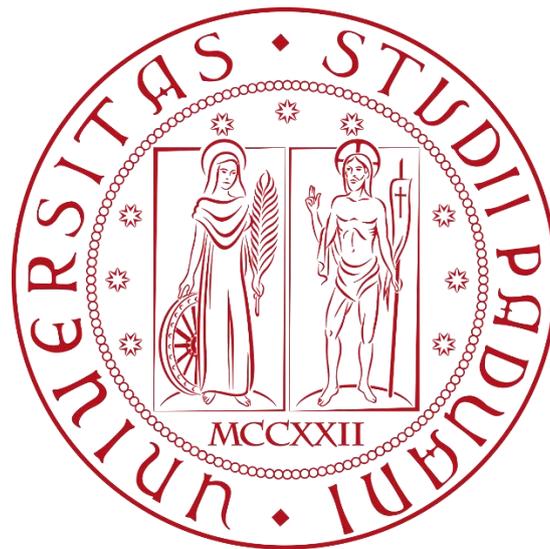


**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN  
INGEGNERIA ENERGETICA**



**Analisi e modellizzazione energetica  
del complesso universitario  
di Agripolis**

*Relatore:* Prof. Michele De Carli  
*Correlatore:* Ing. Jacopo Vivian

A handwritten signature in purple ink, appearing to read 'M. Piccolin', is positioned to the right of the text.

*Laureando:* Marco Piccolin

ANNO ACCADEMICO 2019/2020



## Sommario

1	Introduzione .....	9
2	Descrizione degli edifici e degli impianti del Campus.....	15
2.1	Edificio Stecca 1.....	15
2.1.1	Involucro edilizio .....	18
2.1.2	Impianti elettrici e impianti termotecnici .....	20
2.2	Edificio Stecca 2 .....	22
2.2.1	Involucro edilizio .....	24
2.2.2	Impianto elettrico e impianti termotecnici .....	24
2.3	Pentagono .....	26
2.3.1	Involucro edilizio .....	29
2.3.2	Impianto elettrico e impianti termotecnici .....	31
2.4	Centrale Termica .....	32
3	Monitoraggio consumi energia elettrica e metano .....	34
4	Metodo .....	39
4.1	Assunzioni generali .....	39
4.2	Modello edificio Stecca 1 .....	45
4.2.1	Piano terra .....	45
4.2.2	Piano primo .....	48
4.2.3	Piano secondo.....	50
4.2.4	Piano terzo.....	53
4.3	Modello edificio Stecca 2.....	56
4.3.1	Piano terra .....	56
4.3.2	Piano primo .....	59
4.3.3	Piano secondo.....	61
4.3.4	Piano terzo.....	63
4.4	Modello edificio Pentagono .....	65
4.4.1	Piano interrato .....	65
4.4.2	Piano terra .....	68
4.4.3	Piano primo .....	71
4.4.4	Piano secondo.....	74
4.5	Analisi del comfort termico.....	76
5	Risultati delle simulazioni.....	77
5.1	Risultati Stecca 1 .....	77
5.1.1	Fabbisogno per riscaldamento.....	77

5.1.3 Fabbisogno per raffrescamento .....	81
5.2 Risultati Stecca 2.....	84
5.2.1 Fabbisogni per riscaldamento.....	84
5.2.2 Fabbisogni per raffrescamento .....	87
5.3 Risultati Pentagono .....	89
5.3.1 Fabbisogno per riscaldamento.....	89
5.3.2 Fabbisogno per raffrescamento .....	92
5.4 Risultati con ipotesi di retrofit.....	94
5.4.1 Fabbisogni per riscaldamento e raffrescamento con sostituzione delle finestre .....	95
5.4.2 Fabbisogni per riscaldamento e raffrescamento con inserimento del cappotto.....	96
5.4.3 Fabbisogni per riscaldamento e raffrescamento con inserimento del cappotto e sostituzione delle finestre .....	97
5.4.4 Analisi del comfort termico in riscaldamento .....	98
6 Confronto tra i risultati delle simulazioni e i dati di consumo rilevati.....	100
6.1 Confronto nella stagione di riscaldamento.....	100
6.2 Confronto nella stagione di raffrescamento .....	103
7 Conclusioni .....	106
Bibliografia .....	110

## Indice delle figure

Figura 1 Università di Osaka .....	11
Figura 2 Vista aerea del complesso Agripolis.....	13
Figura 3 Vista esterna edificio stecca 1.....	15
Figura 4 Pianta piano terra edificio Stecca 1.....	15
Figura 5 Vista del cortile interno.....	16
Figura 6 Pianta piano primo edificio Stecca 1 .....	16
Figura 7 Pianta piano secondo edificio Stecca 1 .....	17
Figura 8 Pianta piano terzo edificio Stecca 1 .....	17
Figura 9 Terminale d'impianto edificio Stecca 1.....	17
Figura 10 Impianto elettrico.....	20
Figura 11 Impianto elettrico Stecca 1 .....	20
Figura 12 Schema impianto termotecnico Stecca 1 .....	21
Figura 13 Locazione centrale termica .....	21
Figura 14 Pianta piano terra edificio Stecca 2.....	22
Figura 15 Pianta piano primo edificio Stecca 2 .....	23
Figura 16 Pianta piano secondo edificio Stecca 2.....	23
Figura 17 Pianta piano terzo edificio Stecca 2.....	23
Figura 18 Schema impianto elettrico .....	25
Figura 19 Impianto elettrico Stecca 2 .....	25
Figura 20 Schema impianto termotecnico Stecca 2 .....	25
Figura 21 Vista aerea Pentagono.....	26
Figura 22 Vista esterna Pentagono.....	27
Figura 23 Pianta piano interrato Pentagono .....	27
Figura 24 Pianta piano primo Pentagono .....	28
Figura 25 Pianta piano secondo Pentagono.....	28
Figura 26 Pianta piano terzo Pentagono.....	29
Figura 27 Linea elettrica Agripolis .....	31
Figura 28 Stoccaggio dell'acqua raffrescata.....	33
Figura 29 Distribuzione consumi durante l'anno.....	35
Figura 30 Distribuzione oraria di consumo di gas .....	35
Figura 31 Andamento del consumo dell'energia elettrica nel corso dell'anno .....	38
Figura 32 Andamento orario del consumo di energia elettrica .....	38
Figura 33 Esempio di divisione a zone .....	40
Figura 34 Esempio di file Simulation Studio .....	43
Figura 35 Esempio di andamento delle temperature della simulazione .....	44
Figura 36 Divisione a zone piano terra Stecca 1 .....	45
Figura 37 Divisione a zone piano primo Stecca 1 .....	48
Figura 38 Divisione a zone piano secondo Stecca 1 .....	50
Figura 39 Divisione a zone piano terzo Stecca 1 .....	53
Figura 40 Divisione a zone piano terra Stecca 2.....	56
Figura 41 Divisione a zone piano primo Stecca 2.....	59
Figura 42 Divisione a zone piano secondo Stecca 2 .....	61
Figura 43 Divisione a zone piano terzo Stecca 2 .....	63
Figura 44 Divisione a zone piano interrato Pentagono .....	65
Figura 45 Divisione a zone piano terra Pentagono.....	68
Figura 46 Divisione a zone piano primo Pentagono .....	71

Figura 47	Divisione a zone piano secondo Pentagono.....	74
Figura 48	Fabbisogno riscaldamento Stecca 1 .....	77
Figura 49	Distribuzione mensile della richiesta termica Stecca 1.....	78
Figura 50	Contributo di ogni piano al consumo totale di riscaldamento Stecca 1 .....	78
Figura 51	Distribuzione mensile della richiesta termica Stecca 1 caso ipotizzato .....	79
Figura 52	Contributo di ogni piano al consumo totale di riscaldamento Stecca 1 caso ipotizzato .....	80
Figura 53	Richiesta termica mensile di raffrescamento Stecca 1 .....	81
Figura 54	Contributo di ogni piano al consumo totale di raffrescamento Stecca 1.....	82
Figura 55	Ripartizione dei carichi tra rete di teleraffrescamento e chiller Stecca 1 .....	83
Figura 56	Fabbisogno riscaldamento Stecca 2 .....	84
Figura 57	Distribuzione mensile della richiesta termica Stecca 2.....	85
Figura 58	Contributo di ogni piano al consumo totale di riscaldamento Stecca 2 .....	85
Figura 59	Distribuzione mensile della richiesta termica Stecca 2 caso ipotizzato .....	86
Figura 60	Contributo di ogni piano al consumo totale di riscaldamento Stecca 2 caso ipotizzato .....	86
Figura 61	Richiesta termica mensile di raffrescamento Stecca 2.....	87
Figura 62	Contributo di ogni piano al consumo totale di raffrescamento Stecca 2.....	88
Figura 63	Ripartizione dei carichi tra rete di teleraffrescamento e chiller Stecca 2.....	88
Figura 64	Fabbisogno riscaldamento Pentagono.....	89
Figura 65	Distribuzione mensile della richiesta termica Pentagono .....	90
Figura 66	Contributo di ogni piano al consumo totale di riscaldamento Pentagono.....	90
Figura 67	Distribuzione mensile della richiesta termica Pentagono caso ipotizzato .....	91
Figura 68	Contributo di ogni piano al consumo totale di riscaldamento Pentagono caso ipotizzato .....	91
Figura 69	Richiesta termica mensile di raffrescamento Pentagono .....	92
Figura 70	Contributo di ogni piano al consumo totale di raffrescamento Pentagono .....	93
Figura 71	Ripartizione dei carichi tra rete di teleraffrescamento e chiller Pentagono .....	93
Figura 72	Tabella 2 del D.M. del 26 gennaio 2010.....	94
Figura 73	Indice di discomfort termico per ogni zona pre e post retrofit.....	98
Figura 74	Indice di discomfort termico per ogni piano pre e post retrofit .....	99
Figura 75	Richiesta termica per riscaldamento .....	102
Figura 76	Consumo dell'energia elettrica mensile media giornaliera .....	104
Figura 77	Richiesta elettrica per raffrescamento.....	105

## Indice delle tabelle

Tabella 1 Stratigrafia muro esterno Stecca 1.....	18
Tabella 2 Stratigrafia parete interno Stecca 1 .....	18
Tabella 3 Stratigrafia solaio interpiano Stecca 1.....	19
Tabella 4 Stratigrafia pavimento contro terra.....	19
Tabella 5 Stratigrafia muro esterno Pentagono .....	30
Tabella 6 Stratigrafia parete interna Pentagono .....	30
Tabella 7 Stratigrafia solaio interpiano Pentagono .....	30
Tabella 8 Stratigrafia pavimento contro terra Pentagono.....	31
Tabella 9 Consumi mensili di gas metano.....	34
Tabella 10 Distribuzione oraria di consumo di gas per alcuni giorni.....	36
Tabella 11 Consumo di energia elettrica mensile .....	37
Tabella 12 Funzionamento ventilazione meccanica nei due casi.....	41
Tabella 13 Schedules utilizzata per i carichi interni .....	42
Tabella 14 Destinazione d'uso e volumetria zone piano terra stecca 1 .....	45
Tabella 15 Schedules impostata per il periodo di riscaldamento piano terra Stecca 1 .....	46
Tabella 16 Schedules impostata per il periodo di raffrescamento piano terra Stecca 1.....	47
Tabella 17 Carichi interni piano terra Stecca 1 .....	47
Tabella 18 Destinazione d'uso e volumetria zone piano primo Stecca 1 .....	48
Tabella 19 Schedules impostata per il periodo di riscaldamento piano primo Stecca 1 .....	49
Tabella 20 Schedules impostata per il periodo di raffrescamento piano primo Stecca 1 .....	49
Tabella 21 Carichi interni piano primo Stecca 1 .....	50
Tabella 22 Destinazione d'uso e volumetria zone piano secondo Stecca 1 .....	50
Tabella 23 Schedules impostata per il periodo di riscaldamento piano secondo Stecca 1 .....	51
Tabella 24 Schedules impostata per il periodo di raffrescamento piano secondo Stecca 1 .....	52
Tabella 25 Carichi interni piano secondo Stecca 1 .....	52
Tabella 26 Destinazione d'uso e volumetria zone piano terzo Stecca 1 .....	53
Tabella 27 Schedules impostata per il periodo di riscaldamento piano terzo Stecca 1.....	54
Tabella 28 Schedules impostata per il periodo di raffrescamento piano terzo Stecca 1 .....	54
Tabella 29 Carichi interni piano terzo Stecca .....	55
Tabella 30 Destinazione d'uso e volumetria zone piano terra Stecca 2.....	56
Tabella 31 Schedules impostata per il periodo di riscaldamento piano terra Stecca 2 .....	57
Tabella 32 Schedules impostata per il periodo di raffrescamento piano terra Stecca 2.....	58
Tabella 33 Carichi interni piano terra Stecca 2 .....	58
Tabella 34 Destinazione d'uso e volumetria zone piano primo Stecca 2 .....	59
Tabella 35 Schedules impostata per il periodo di riscaldamento piano primo Stecca 2 .....	60
Tabella 36 Schedules impostata per il periodo di raffrescamento piano primo Stecca 2 .....	60
Tabella 37 Carichi interni piano primo Stecca 2.....	61
Tabella 38 Destinazione d'uso e volumetria zone piano secondo Stecca 2.....	61
Tabella 39 Schedules impostata per il periodo di riscaldamento piano secondo Stecca 2 .....	62
Tabella 40 Schedules impostata per il periodo di raffrescamento piano secondo Stecca 2.....	62
Tabella 41 Carichi interni piano secondo Stecca 2 .....	63
Tabella 42 Destinazione d'uso e volumetria zone piano terzo Stecca 2.....	63
Tabella 43 Schedules impostata per il periodo di riscaldamento piano terzo Stecca 2.....	64
Tabella 44 Schedules impostata per il periodo di raffrescamento piano terzo Stecca 2 .....	64
Tabella 45 Carichi interni piano terzo Stecca 2 .....	65
Tabella 46 Destinazione d'uso e volumetria zone piano interrato Pentagono .....	66

Tabella 47	Schedule impostata per il periodo di riscaldamento piano interrato Pentagono.....	66
Tabella 48	Schedule impostata per il periodo di raffrescamento piano interrato Pentagono .....	67
Tabella 49	Carichi interni piano interrato Pentagono .....	67
Tabella 50	Destinazione d'uso e volumetria zone piano terra Pentagono .....	68
Tabella 51	Schedule impostata per il periodo di riscaldamento piano terra Pentagono.....	69
Tabella 52	Schedule impostata per il periodo di raffrescamento piano terra Pentagono .....	69
Tabella 53	Carichi interni piano terra Pentagono.....	70
Tabella 54	Destinazione d'uso e volumetria zone piano primo Pentagono .....	71
Tabella 55	Schedule impostata per il periodo di riscaldamento piano primo Pentagono.....	72
Tabella 56	Schedule impostata per il periodo di raffrescamento piano primo Pentagono .....	72
Tabella 57	Carichi interni piano primo Pentagono .....	73
Tabella 58	Destinazione d'uso e volumetria zone piano secondo Pentagono .....	74
Tabella 59	Schedule impostata per il periodo di riscaldamento piano secondo Pentagono .....	75
Tabella 60	Schedule impostata per il periodo di raffrescamento piano secondo Pentagono .....	75
Tabella 61	Carichi interni piano secondo Pentagono .....	76
Tabella 62	Stecca 1 - confronto caso attuale con caso ipotizzato .....	80
Tabella 63	Stecca 2 - confronto caso attuale con caso ipotizzato .....	86
Tabella 64	Pentagono - confronto caso attuale con caso ipotizzato .....	91
Tabella 65	Composizione muri con cappotto.....	94
Tabella 66	Confronto simulazioni con sostituzione finestre .....	95
Tabella 67	Potenze di picco delle simulazioni con sostituzione finestre .....	95
Tabella 68	Confronto simulazioni con inserimento del cappotto.....	96
Tabella 69	Potenze di picco delle simulazioni con inserimento del cappotto .....	96
Tabella 70	Confronto simulazioni con inserimento del cappotto e sostituzione finestre.....	97
Tabella 71	Potenze di picco delle simulazioni con inserimento del cappotto e sostituzione finestre.....	97
Tabella 72	Confronto taglie scambiatori e potenze di picco .....	101
Tabella 73	Confronto tra consumi totali per il riscaldamento .....	102
Tabella 74	Confronto potenze di picco taglie scambiatori per il raffrescamento.....	103
Tabella 75	Confronto consumi mensili energia elettrica.....	105

# 1 Introduzione

Una delle maggiori preoccupazioni in questi ultimi anni riguarda il riscaldamento globale della Terra, quest'aumento della temperatura provocherà in un prossimo futuro effetti molto gravi, sconvolgimenti climatici di enorme spessore, innalzamento dei mari e scioglimento dei ghiacci.

La causa dell'aumento della temperatura media della Terra è dovuta all'Effetto Serra.

L'Effetto Serra è un fenomeno naturale che rende ospitale il clima sulla Terra per gran parte delle specie viventi, il fenomeno è costituito dalla presenza nell'atmosfera di gas (gas serra) che filtrano la radiazione solare e trattengono una parte della radiazione terrestre.

Non tutti i gas serra contribuiscono allo stesso modo all'effetto serra ma il loro effetto cambia in base al tempo di permanenza in atmosfera e alla capacità di trattenere la radiazione terrestre.

L'attività umana e l'industrializzazione hanno però aumentato notevolmente la quantità di gas serra che sommate alla deforestazione e alla riduzione delle superfici vegetali e agricole comportano gravi conseguenze all'ambiente.

Già dagli anni '70-80 si è preso coscienza del problema del riscaldamento globale e negli anni '90 si è formalizzato un accordo detto "Protocollo di Kyoto"

Il Protocollo di Kyoto è un trattato per l'ambiente, unico accordo internazionale, siglato a Kyoto in Giappone nel 1997 redatto da più di 180 paesi in occasione della Convenzione delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC).

Nato per contrastare il fenomeno del surriscaldamento globale, il protocollo stabilisce tempi e procedure per realizzare l'obiettivo di ridurre le emissioni in atmosfera dei principali gas serra "CO<sub>2</sub> equivalenti", Anidride carbonica (Biossido di carbonio – CO<sub>2</sub>) – Metano (CH<sub>4</sub>) – Ossido di azoto (N<sub>2</sub>O) – Idrofluorocarburi (HFC) – Perfluorocarburi (PFC) – Esafluoro di zolfo (SF<sub>6</sub>) Mos.

L'Italia ha ratificato, la sua adesione al Protocollo il primo giugno del 2002.

Entrato in vigore nel 2005, i paesi sviluppati firmatari si impegnavano, entro il 2012 a ridurre del 5,2% l'emissione dei gas serra, rispetto ai valori del 1990.

L'obbligo per i paesi firmatari era di ridurre le emissioni nocive, in percentuale variabile da Stato a Stato; venivano formalizzati inoltre gli strumenti per favorirne una concreta attuazione:

Join Implementation - uno strumento di cooperazione all'interno del gruppo di paesi ai quali il Protocollo impone l'obbligo di riduzione.

Emission Trading - trasferimento e acquisto di diritti di emissione tra paesi. La commercializzazione di diritti di emissione non è però libera, tra Paese che cede e Paese che acquista deve esistere una cooperazione su un progetto finalizzato alla riduzione delle emissioni. Tale progetto deve essere inoltre già stato ufficializzato ed approvato dai Paesi coinvolti.

Clean Development Mechanism - sistema di collaborazione e cooperazione internazionale tra Paesi industrializzati e Paesi in via di Sviluppo su programmi e progetti congiunti.

Ad oggi però si può ritenere che il Protocollo di Kyoto sia fallito in quanto solo alcuni dei Paesi firmatari hanno ratificato il protocollo, e non esiste ancora un accordo internazionale che obblighi tutti i Paesi industrializzati alla riduzione delle emissioni.

I Paesi firmatari andranno incontro a sanzioni se mancheranno di raggiungere gli obiettivi, mentre per i Paesi in via di sviluppo le regole sono più flessibili.

Sono però proprio i Paesi in via di sviluppo quelli più pericolosi per le future emissioni.

L'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), maggior causa del riscaldamento globale, deriva da tutti quei fenomeni di combustione utilizzati nelle attività umane, impianti di riscaldamento e condizionamento, scarichi di industrie e mezzi di trasporto.

Proprio l'ottimizzazione del riscaldamento degli edifici rappresenta quindi un'opportunità per ridurre l'emissione di anidride carbonica nell'atmosfera in quanto un minor fabbisogno di energia dell'edificio garantisce un grande risparmio energetico e di conseguenza una minor emissione di anidride carbonica in ambiente e, rapportando ciò

al gran numero di edifici presenti nel mondo questa riduzione può essere molto significativa.

Una disponibilità verso questo cambiamento è rilevabile già in ambito Universitario mondiale, dove si riscontrano ricerche orientate in tali ambiti con risultati già apprezzabili in diversi Istituti Universitari.

Ad esempio, in un campus situato nel nord della California che comprende sette edifici, con un processo di retrofit e di ottimizzazione sul funzionamento dell'impianto di ventilazione si è riusciti a ridurre il consumo annuo di energia elettrica di 3853 MWh e un risparmio di oltre 100000 m<sup>3</sup> di gas metano [5].

Al Texas State University (TSU) negli Stati Uniti con l'utilizzo di sistemi di illuminazione a basso consumo, l'installazione di pannelli solari e la sostituzione dei macchinari d'impianto con altri più efficienti si è ridotto il consumo d'energia del 17% in un anno [12].

Un altro esempio è l'università di Osaka che attuando una serie di provvedimenti per aumentare il risparmio energetico come la sostituzione di macchinari dalle basse prestazioni con macchinari più performanti, l'installazione di impianti fotovoltaici e l'aumento dell'isolamento termico, è riuscita a ridurre l'energia utilizzata di oltre 50000 MWh/anno [6].



*Figura 1 Università di Osaka [11]*

All'università di Campinas nello stato di San Paolo in Brasile, attraverso la costruzione di un centro di controllo, l'installazione di un impianto fotovoltaico, il retrofit degli edifici, l'installazione di colonne di ricarica per veicoli elettrici e l'ottimizzazione

dell'utilizzo dell'energia attraverso sistemi IoT (Internet of Things), si è riusciti a ridurre del 50% le perdite del sistema di distribuzione; si sono ridotti i consumi di energia elettrica di 850 MWh per anno, ed inoltre si è arrivati a ridurre l'emissione di Co2 di 65t [13].

Altri esempi di Università che hanno intrapreso un processo di riduzione di energia sono: l'Università di Yale che fino al 2007 ha diminuito le emissioni di gas serra del 17% e l'utilizzo dell'elettricità nei dormitori degli studenti del 10%, Harvard che si è concentrata sul rendere più coscienti gli studenti sui benefici del risparmio energetico o Massachusetts Institute of Technology (MIT) che ha esplorato altri metodi di risparmio energetico come l'utilizzo di lampade a basso consumo e l'ottimizzazione dei sistemi di ventilazione e riscaldamento [7].

In Europa anche l'Università di Greenwich, applicando dei principi legati alla sostenibilità e riducendo sprechi energetici, nel 2018 ha diminuito le emissioni di anidride carbonica del 48% rispetto al 2005 [10].

All'università di Lüneburg in Germania grazie all'autoconsumo di energia prodotta da due impianti combinati a biomassa e ad un impianto fotovoltaico si è riusciti a coprire il 20% del fabbisogno di energia elettrica necessario [14].

Nel Campus di Lisbona con l'ottimizzazione sul controllo del sistema di riscaldamento e di ventilazione e l'installazione di Information and Communication Technology (ICT) nelle biblioteche, nelle sale lettura e negli uffici, si è potuto ridurre l'utilizzo totale di energia di quasi il 40 % [15].

In Norvegia, in un campus universitario situato a Trondheim, avente un'estensione di 300 000 m<sup>2</sup>, l'incremento dell'efficienza del sistema di ventilazione e la diminuzione della temperatura del sistema di riscaldamento hanno portato ad una diminuzione dell'utilizzo dell'energia termica annua del 50% [16].

Al Politecnico di Milano, al Campus Leonardo, l'energia elettrica, quella di riscaldamento e raffrescamento degli ambienti è fornita da un impianto di trigenerazione che soddisfa gran parte dei fabbisogni energetici di tutti gli edifici del campus [17].

Un esempio di eccellenza in Italia è dato dal Campus universitario di Savona che è anche stato premiato da Legambiente nel novembre 2018.

In questo Campus sono stati realizzati due progetti innovativi:

- un edificio ad emissioni zero (smart energy building) che grazie all'energia geotermica provvede al riscaldamento e al raffrescamento, inoltre l'80% del fabbisogno elettrico della palazzina è soddisfatto da un impianto fotovoltaico. All'interno del campus infine vi sono 4 stazioni di ricarica per veicoli elettrici con energia prodotta all' interno del campus [9].
- l'altro progetto denominato Smart Polygeneration Microgrid (rete poligenerativa) che attraverso la combinazione di impianti cogenerativi ad alta efficienza, batteria ad accumulo elettrico e fonti rinnovabili produce energia elettrica e termica.

Anche l'Università di Padova orientata ad aumentare la sostenibilità energetico-ambientale del proprio ateneo, ipotizzando interventi atti all'utilizzo di risorse rinnovabili e alla riduzione dei consumi, sta valutando tutte le applicazioni possibili ai suoi vari stabili.

Oggetto di studio di questo elaborato è la fattibilità di intervenire sui fabbricati della sede di Agripolis.



*Figura 2 Vista aerea del complesso Agripolis*

La sede di Agripolis nasce dalla necessità di espansione dell'Università: essa ha trovato riscontro all'inizio degli anni 80 nella creazione del Polo satellite di Agripolis nel comune di Legnaro, diventato poi un vero e proprio campus durante gli anni 90.

Questo campus è stato costituito con l'intento di collocare le Facoltà ed i Dipartimenti del settore primario oltre che trasferire gli Istituti che hanno una certa affinità con le discipline di tali facoltà come ad esempio l'istituto Zooprofilattico Sperimentale.

In Agripolis, oltre al polo universitario, si è deciso di collocare l'edificio dell'amministrazione pubblica L'E.S.A.V. – Ente Regionale di Sviluppo Agricolo ora denominato Veneto Agricoltura.

Lo studio in esame prende in considerazione i primi tre edifici: le due Stecche e il Pentagono edificati negli anni che intercorrono tra il 1992 e il 1994.

Successivamente a questi sono stati costruiti l'edificio Veneto Agricoltura negli anni 1992-1998 e l'edificio Ca'Gialla comprendente la mensa universitaria 1994-1997.

Come ultimo edificio è stato realizzato lo stabile utilizzato dalla facoltà di veterinaria nel 2001.

Più nel dettaglio gli edifici presi in esame sono il polo didattico chiamato comunemente Pentagono e il corpo laboratori 1 e 2 chiamati Stecca 1 e Stecca 2.

In questi ultimi anni diversi argomenti di tesi sono stati rivolti a mappare i fabbisogni di tutti gli edifici dell'Università.

Gli obiettivi di questa tesi saranno quindi:

- Analizzare i consumi energetici di un edificio dalle grandi dimensioni quale la sede Agripolis e costruire un modello che ne rappresenti i fabbisogni reali.  
I risultati potranno contribuire ad implementare il database mappante i fabbisogni di tutti gli edifici dell'università, nel quale confluiscono da alcuni anni i risultati di diverse tesi relative ad altri stabili analizzati.
- Rendere disponibili i risultati agli organi competenti sull'efficacia di un possibile intervento di riqualificazione del campus Agripolis atto a ridurre i consumi energetici, secondo i requisiti stabiliti dal D.M. del 26 giugno 2015 [8].

## 2 Descrizione degli edifici e degli impianti del Campus

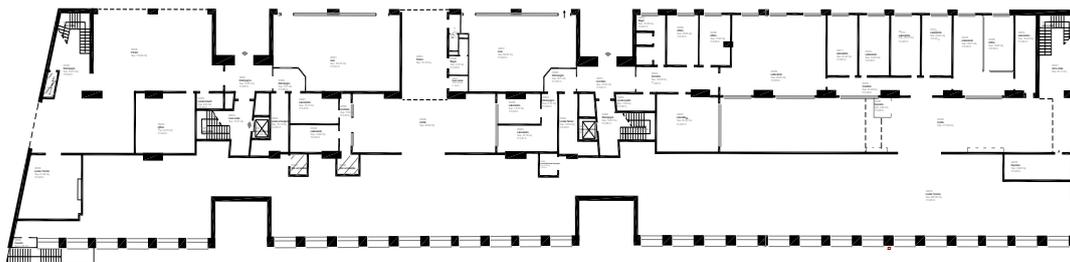
### 2.1 Edificio Stecca 1

L'edificio Stecca 1 è formato da quattro piani ed è collegato all'edificio Stecca 2 mediante 2 passerelle per piano.



*Figura 3 Vista esterna edificio stecca 1*

Al piano terra è presente un giardinetto interno che divide il piano terra in due ali separate, nel lato sud è presente la centrale termica mentre nel lato nord sono presenti degli uffici tranne nella parte finale in cui è presente un portico.



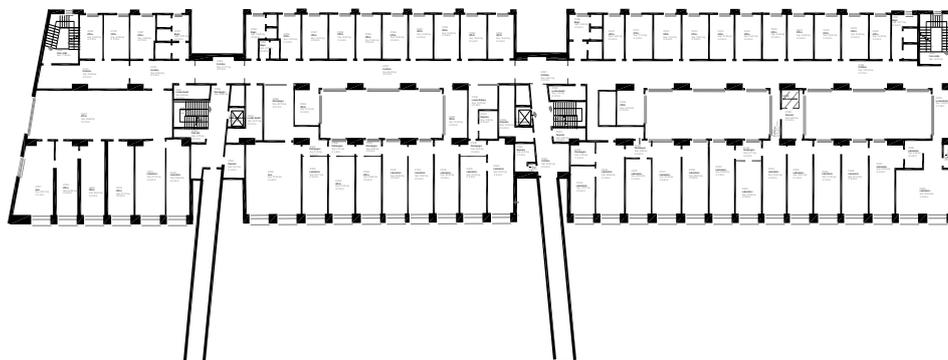
*Figura 4 Pianta piano terra edificio Stecca 1*



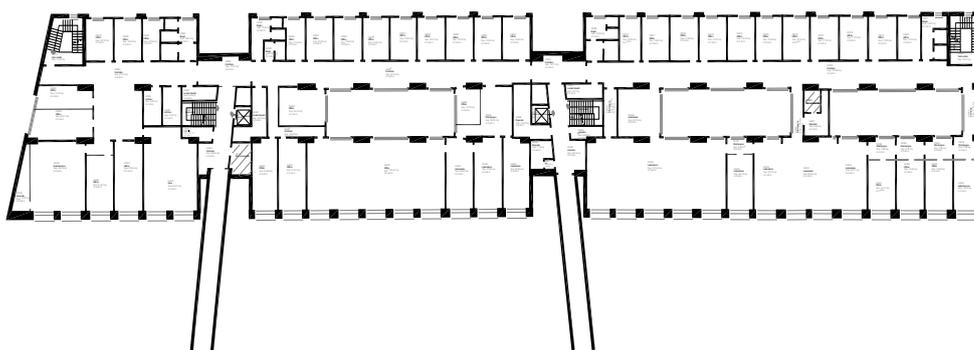
*Figura 5 Vista del cortile interno*

Sono presenti quattro vani scala non riscaldati che permettono di passare tra i piani, due si trovano nella parte interna dell'edificio in corrispondenza delle passerelle che permettono di passare da Stecca a Stecca, mentre gli altri due sono nella parte esterna degli edifici.

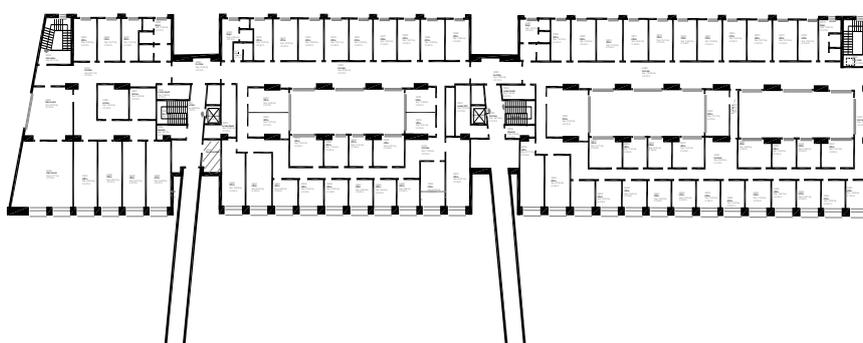
Al primo, al secondo e al terzo piano sono presenti dei laboratori e degli uffici nella parte nord, mentre nella parte sud sono presenti uffici e dei laboratori.



*Figura 6 Pianta piano primo edificio Stecca 1*



*Figura 7 Pianta piano secondo edificio Stecca 1*



*Figura 8 Pianta piano terzo edificio Stecca 1*

Su ogni piano, oltre che al piano terra, sono presenti dei “cortili” interni che separano i vani scale.

Per quanto concerne il riscaldamento invernale e il raffrescamento estivo: il riscaldamento è effettuato mediante soli radiatori, presenti sia negli uffici, sia nei laboratori e sia nei corridoi; il raffrescamento estivo è effettuato mediante impianto a tutta aria.



*Figura 9 Terminale d'impianto edificio Stecca 1*

### 2.1.1 Involucro edilizio

Le superfici calpestabili sono state ricavate dalle planimetrie dell'edificio [1].

Anche le superfici sia dei muri esterni che di tutti i muri interni sono state ricavate attraverso le planimetrie di ogni piano.

Nella planimetria è presente anche la destinazione d'uso che è stata verificata attraverso dei sopralluoghi.

Per quanto riguarda i materiali da costruzione la stratigrafia delle pareti esterne è stata ricavata dal progetto esecutivo del campus di Agripolis.

Perciò per quanto riguarda i muri esterni, la composizione della parete è stata assunta come riportato nella tabella 1.

materiale	spessore [m]	densità [kg/m <sup>3</sup> ]	conduttività [W/(mk)]
intonaco	0,02	900	0,21
mattoncino	0,12	1400	0,5
aria	0,04	1,33	0,25
mattoncino	0,12	1400	0,5
intonaco	0,04	1400	0,9

*Tabella 1 Stratigrafia muro esterno Stecca 1*

Per le pareti interne la stratigrafia è riportata in tabella 2

materiale	spessore [m]	densità [kg/m <sup>3</sup> ]	conduttività [W/(mk)]
intonaco	0,02	900	0,21
mattoncino	0,1	1400	0,5
intonaco	0,02	900	0,21

*Tabella 2 Stratigrafia parete interno Stecca 1*

Per il solaio interpiano invece non si è riusciti a risalire alla conformazione iniziale per questo si è assunto [20] come riportato in tabella 3.

materiale	spessore [m]	densità [kg/m <sup>3</sup> ]	conduttività [W/(mk)]
pavimentazione	0,02	1800	0,4
sabbia-cemento	0,05	1800	0,9
isolante	0,03	50	0,04
latero-cemento	0,25	1280	0,46
intonaco	0,02	900	0,21

*Tabella 3 Stratigrafia solaio interpiano Stecca 1*

Per la composizione del pavimento contro terra si è potuto risalire alla stratigrafia reale che è riportata in tabella 4.

materiale	spessore [m]	densità [kg/m <sup>3</sup> ]	conduttività [W/(mk)]
pavimentazione	0,02	1800	0,4
sabbia-cemento	0,05	1800	0,9
polistirene	0,04	15	0,054
guaina bituminosa	0,04	1200	0,17
ghiaia	0,5	1600	0,7

*Tabella 4 Stratigrafia pavimento contro terra*

Per quanto riguarda le superfici vetrate sono realizzate in alluminio con vetrocamera senza taglio termico perciò nella simulazione sono state assunte con un valore di trasmittanza termica U di 2.8 W/(m<sup>2</sup>k).

## 2.1.2 Impianti elettrici e impianti termotecnici

Dal locale di bassa tensione parte la linea principale di alimentazione [2].

La linea principale di alimentazione è inserita all'interno del controsoffitto del piano terra, e va ad alimentare i montanti di tutto l'edificio costituiti da elettroconduttori di tipo prefabbricato (blindosbarre).

Da queste blindosbarre partono le linee per l'alimentazione dei quadri elettrici di ogni piano.

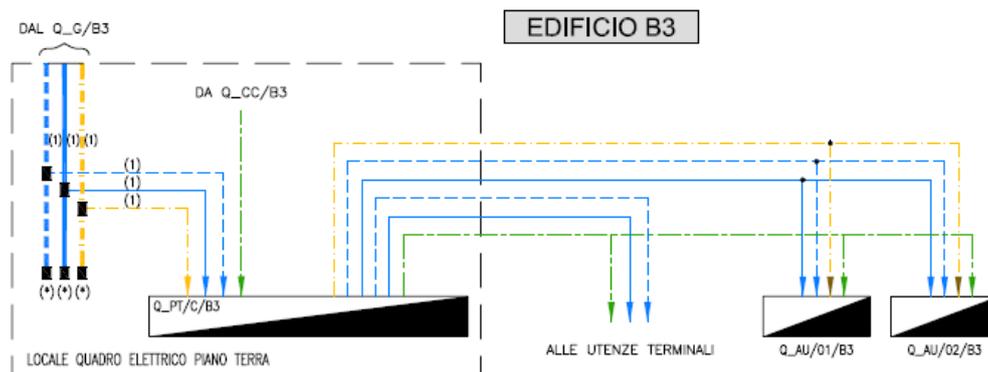


Figura 10 Impianto elettrico

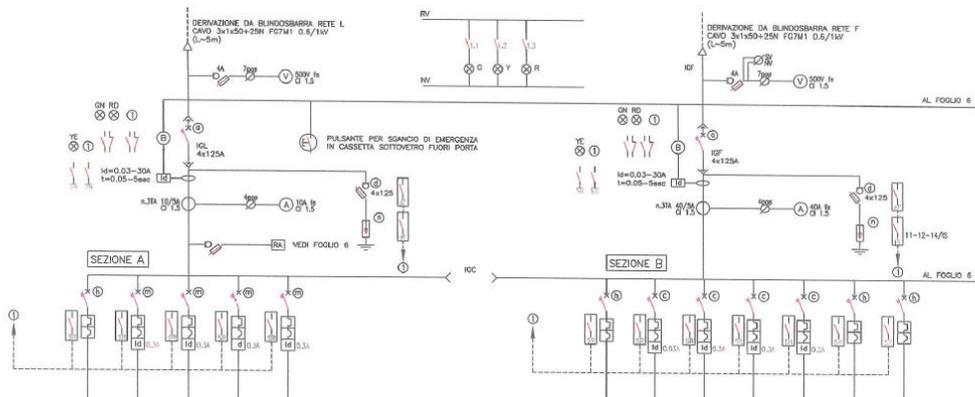
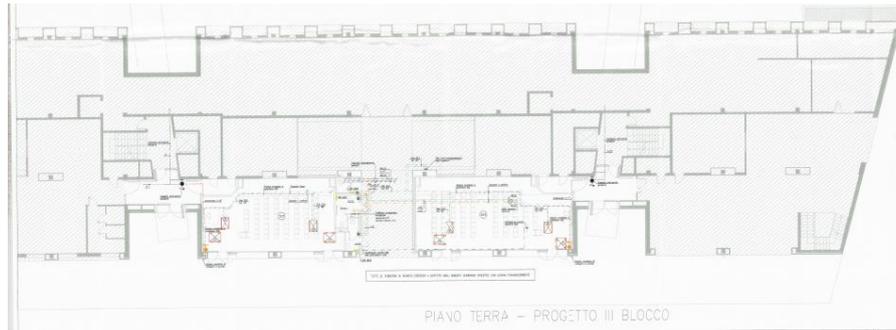


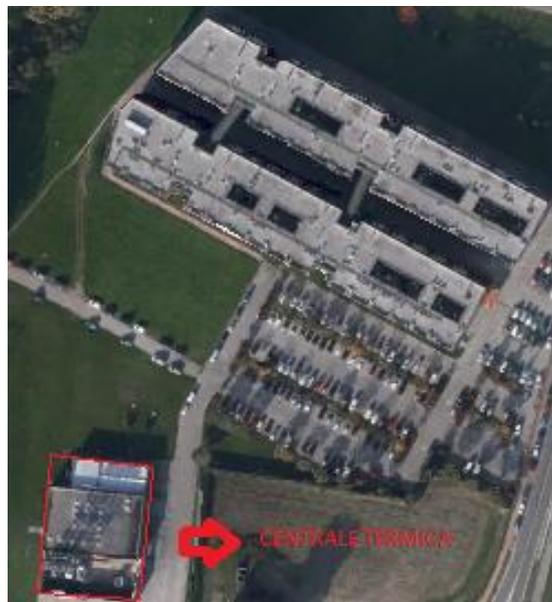
Figura 11 Impianto elettrico Stecca 1

Per quanto riguarda l'impianto termotecnico nell'edificio è disponibile lo schema d'impianto del piano terra riportato figura 12.



*Figura 12 Schema impianto termotecnico Stecca 1*

Nell'edificio non sono presenti caldaie per il riscaldamento in quanto tutto il calore necessario viene prodotto da due caldaie situate in un edificio apposito denominato centrale termica.



*Figura 13 Locazione centrale termica*

Da quest'edificio parte una rete di teleriscaldamento che trasporta il calore agli edifici:

- Stecca 1 e Stecca 2
- Pentagono
- Veneto Agricoltura
- Ca' Gialla e mensa
- Ospedale veterinario
- Serre

per questo, in prossimità di ogni edificio, sono presenti uno o più scambiatori di calore che attingono dalla rete di teleriscaldamento per poi riscaldare l'intero palazzo.

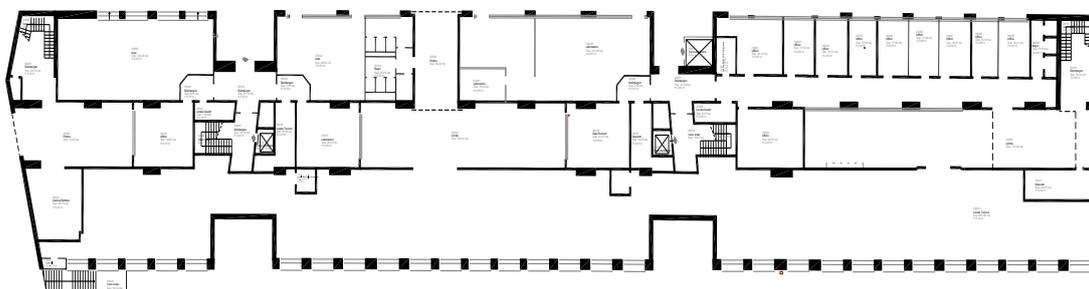
Anche per il raffrescamento estivo si utilizza la rete di teleriscaldamento, durante la notte viene raffreddata dell'acqua che viene poi stoccata in uno stanzone e durante il periodo di richiesta viene fatta circolare nell'impianto di teleriscaldamento per raffrescare gli edifici.

Inoltre per il ricambio dell'aria in ambienti è previsto un sistema di ventilazione meccanica tramite delle U.T.A. (Unità Trattamento Aria) poste nel locale tecnico al piano terra.

Questo sistema di ventilazione funziona per 4 ore al giorno nel periodo di riscaldamento e per tutto il giorno nel periodo di raffrescamento quando l'impianto è in funzione.

## 2.2 Edificio Stecca 2

L'edificio denominato Stecca 2 presenta una conformazione molto simile all'edificio Stecca 1 in quanto costruiti in contemporanea.

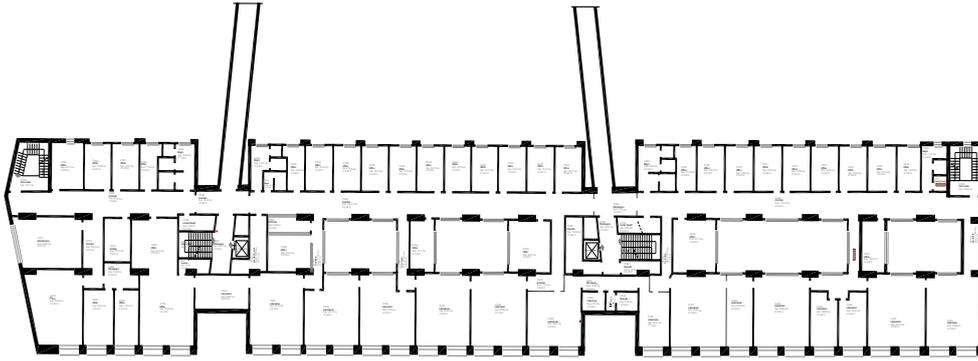


*Figura 14 Pianta piano terra edificio Stecca 2*

Anche in questo caso al piano terra nel lato sud sono presenti i locali tecnici mentre nel lato nord ci sono uffici e nella parte finale, dove nell'edificio Stecca 1 era presente un portico, è stata realizzata un'aula.

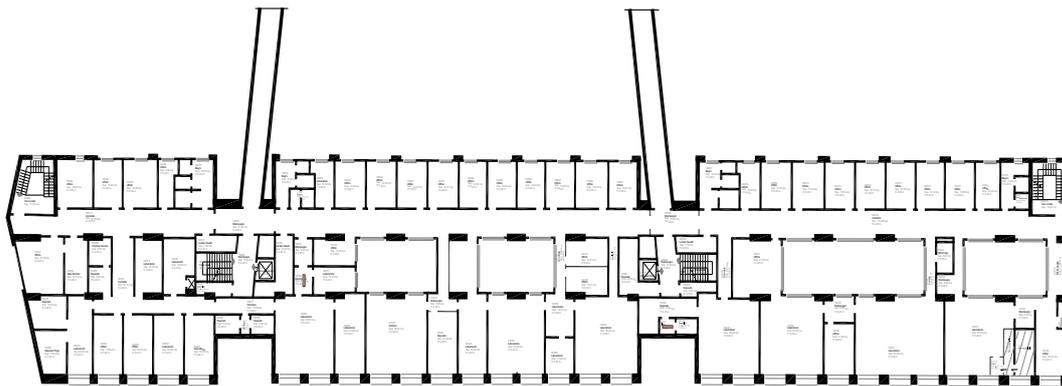
I quattro vani scale, di cui due situati alle estremità dell'edificio nel lato nord e due situati all'interno dell'edificio a delimitare i cortili interni, sono non riscaldati e permettono di passare da un piano ad un altro.

Al primo piano sono situati degli uffici nel lato nord mentre nel lato sud sono presenti perlopiù laboratori e alcuni uffici.

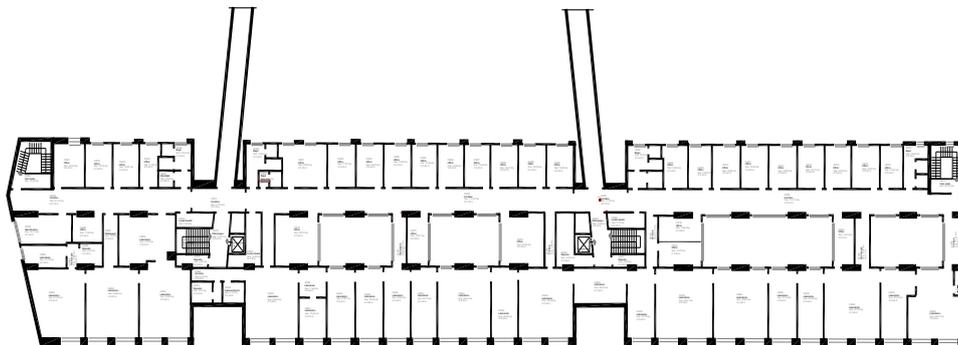


*Figura 15 Pianta piano primo edificio Stecca 2*

Anche al secondo e terzo piano nel lato sud sono presenti laboratori e uffici mentre nel lato nord ci sono uffici.



*Figura 16 Pianta piano secondo edificio Stecca 2*



*Figura 17 Pianta piano terzo edificio Stecca 2*

Per quanto concerne il riscaldamento invernale e il raffrescamento estivo, come nel caso dell'edificio Stecca 1, il riscaldamento è effettuato mediante soli radiatori, presenti sia negli uffici, sia nei laboratori e sia nei corridoi.

Mentre il raffrescamento estivo è effettuato mediante impianto a tutta aria.

### **2.1.1 Involucro edilizio**

Essendo Stecca 2 costruito assieme a Stecca 1, la conoscenza sui materiali da costruzione usati è la medesima [1].

Quindi per le pareti esterne ed interne, per il pavimento contro terra e per la copertura è stato possibile risalire alla stratigrafia originaria.

Mentre per quanto riguarda i solai interpiano i materiali sono stati ipotizzati in base all'anno di costruzione della struttura.

### **2.2.2 Impianto elettrico e impianti termotecnici**

Anche in questo caso gli impianti ricalcano lo schema dell'edificio Stecca 1 dove dal locale di bassa tensione parte la linea principale di alimentazione [2].

La linea principale di alimentazione è inserita all'interno del controsoffitto del piano terra, e va ad alimentare gli elettroconduttori di tipo prefabbricato (blindosbarre) che sono situati sui montanti di tutto l'edificio.

Da queste blindosbarre partono poi le linee per l'alimentazione dei quadri elettrici di ogni piano.

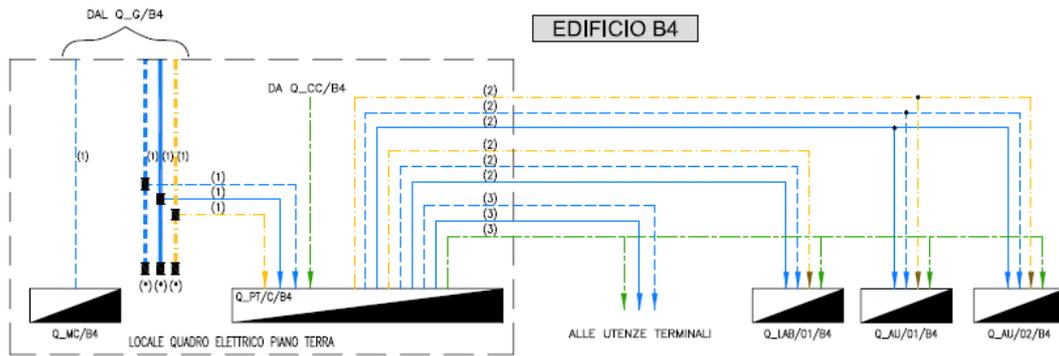


Figura 18 Schema impianto elettrico

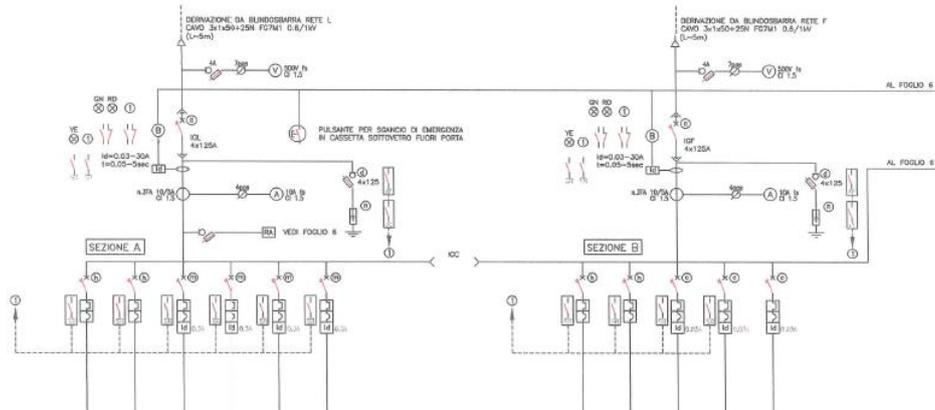


Figura 19 Impianto elettrico Stecca 2

Per quanto riguarda l'impianto termotecnico nell'edificio è disponibile lo schema d'impianto del piano terra del locale tecnico riportato in figura 20.

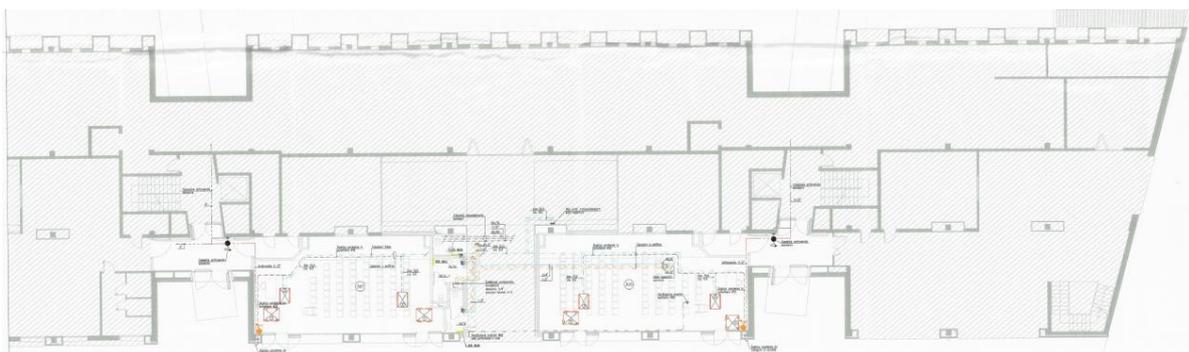


Figura 20 Schema impianto termotecnico Stecca 2

Anche questo impianto sfrutta la rete di teleriscaldamento che trasporta calore in tutti gli edifici del campus universitario.

Per il raffrescamento estivo si utilizza la rete di teleriscaldamento: durante la notte viene prodotta acqua a bassa temperatura che viene stoccata in uno stanzone e durante il periodo

di richiesta, fatta ricircolare nell' impianto di teleriscaldamento e utilizzata in delle U.T.A. (Unità Trattamento Aria) che producono aria a bassa temperatura per raffrescare gli edifici.

Le U.T.A. garantiscono anche il ricambio dell'aria durante la stagione estiva ed invernale infatti funziona per 4 ore al giorno nel periodo di riscaldamento e per tutto il giorno nel periodo di raffrescamento quando l'impianto è in funzione.

### 2.3 Pentagono

L'edificio Pentagono, così chiamato per la caratteristica configurazione a pentagono, contiene la maggior parte delle aule del campus di Agripolis.



*Figura 21 Vista aerea Pentagono*

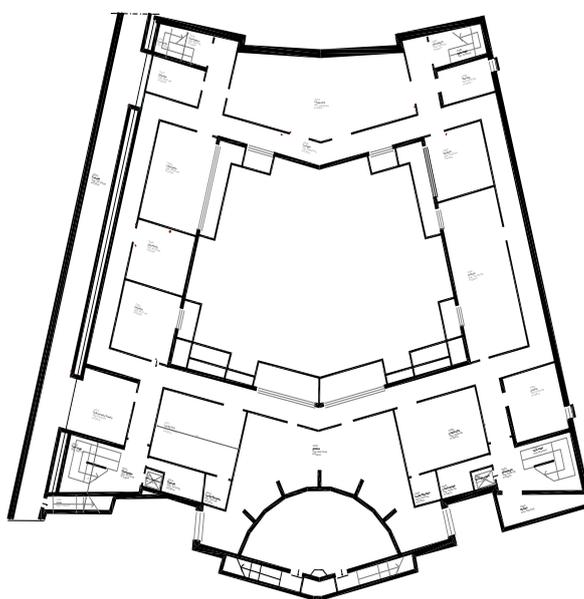
Quest'edificio è costituito da 4 piani di cui il primo è interrato.



*Figura 22 Vista esterna Pentagono*

Nel piano interrato sono presenti 3 locali U.T.A. e la sotto centrale termica dove passa la rete di teleriscaldamento.

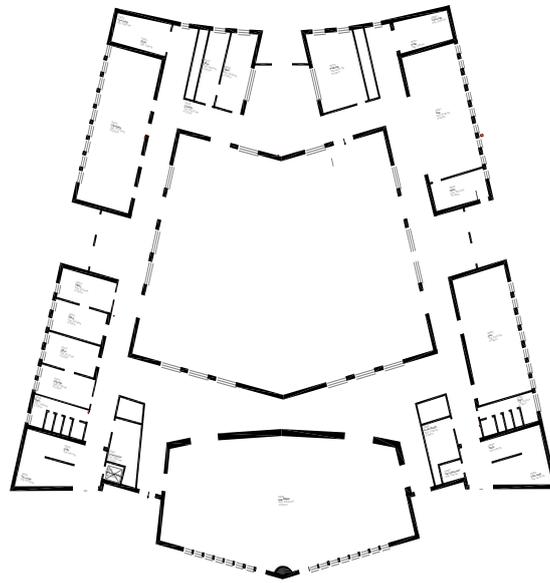
Sono presenti anche dei locali adibiti ad archivio.



*Figura 23 Pianta piano interrato Pentagono*

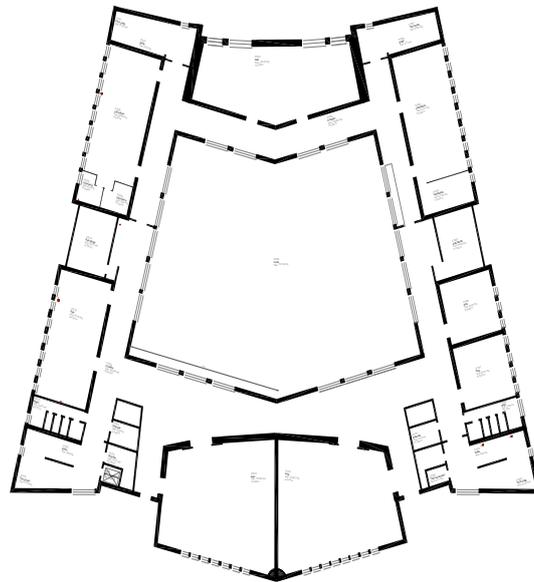
Inoltre vi sono anche 4 vani scala non riscaldati che permettono il passaggio ai piani superiori.

Al primo piano sul lato nord è presente la portineria, sul lato est ci sono alcune aule, a ovest sono presenti uffici ed un laboratorio mentre nel lato sud c'è l'aula magna. All'interno dell'edificio è locato un grande cortile interno.



*Figura 24 Pianta piano primo Pentagono*

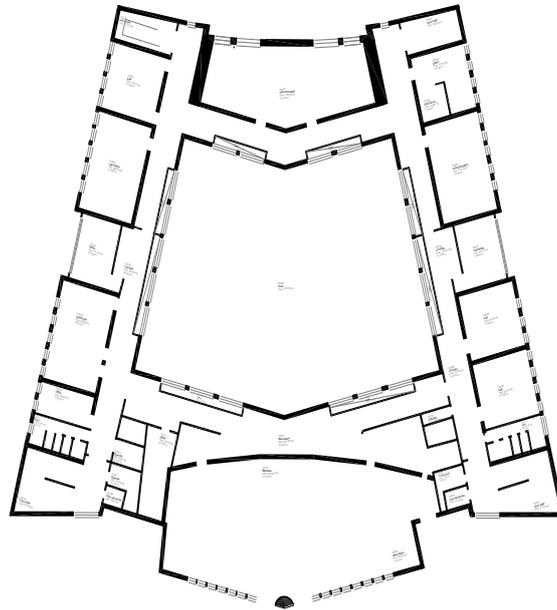
Al secondo piano sono presenti per la maggior parte aule e anche due laboratori: uno situato sul lato est e uno sul lato ovest.



*Figura 25 Pianta piano secondo Pentagono*

Al terzo ed ultimo piano è presente la biblioteca sul lato sud, sul lato ovest sono presenti alcuni laboratori mentre sui lati nord ed est ci sono delle aule.

Agli angoli sono presenti i 4 vani scale.



*Figura 26 Pianta piano terzo Pentagono*

### **2.3.1 Involucro edilizio**

Le superfici di ogni ambiente sono state ricavate dalle planimetrie dell'edificio [1].

Anche per ricavare le superfici sia dei muri esterni che di tutti i muri interni si sono utilizzate le planimetrie di ogni piano.

Nella planimetria è presente anche la destinazione d'uso che è stata verificata attraverso dei sopralluoghi.

Per quanto riguarda i materiali da costruzione è stato possibile risalire alle stratigrafie originali.

Perciò per quanto riguarda i muri esterni si sono assunti i seguenti materiali riportati in tabella 5.

materiale	spessore [m]	densità [kg/m <sup>3</sup> ]	conduttività [W/(mk)]
intonaco	0,02	900	0,21
mattone forato	0,12	1400	0,5
aria	0,04	1,33	0,25
mattone forato	0,12	1400	0,5
mattoncino	0,04	1400	0,9

*Tabella 5 Stratigrafia muro esterno Pentagono*

Per le pareti interne si è utilizzata la stratigrafia riportata in tabella 6.

materiale	spessore [m]	densità [kg/m <sup>3</sup> ]	conduttività [W/(mk)]
intonaco	0,02	900	0,21
mattone forato	0,1	1400	0,5
intonaco	0,02	900	0,21

*Tabella 6 Stratigrafia parete interna Pentagono*

Per il solaio interpiano invece non è stato possibile risalire alla stratigrafia originale perciò si è assunto come riportato in tabella 7.

materiale	spessore [m]	densità [kg/m <sup>3</sup> ]	conduttività [W/(mk)]
pavimentazione	0,02	1800	0,4
sabbia-cemento	0,05	1800	0,9
isolante	0,03	50	0,04
latero-cemento	0,25	1280	0,46
intonaco	0,02	900	0,21

*Tabella 7 Stratigrafia solaio interpiano Pentagono*

Per la composizione del pavimento contro terra si è riusciti a risalire alla composizione reale riportata in tabella 8.

materiale	spessore [m]	densità [kg/m <sup>3</sup> ]	conduttività [W/(mk)]
pavimentazione	0,02	1800	0,4
sabbia-cemento	0,05	1800	0,9
polistirene	0,04	15	0,054
guaina bituminosa	0,04	1200	0,17
ghiaia	0,5	1600	0,7

Tabella 8 Stratigrafia pavimento contro terra Pentagono

le superfici vetrate sono realizzate in alluminio con vetrocamera senza taglio termico; perciò nella simulazione sono state assunte come nel caso degli edifici precedenti, con un valore di trasmittanza termica U di 2.8 W/(m<sup>2</sup>k).

### 2.3.2 Impianto elettrico e impianti termotecnici



Figura 27 Linea elettrica Agripolis

L'edificio è alimentato dalla linea elettrica che arriva alla cabina di media tensione [2].

Ad ogni piano è presente il locale quadri elettrici che alimentano i dispositivi elettrici di ogni piano separatamente.

Per quanto riguarda l'impianto di riscaldamento l'edificio è riscaldato attraverso radiatori posti ad ogni piano.

Per alimentare l'impianto di riscaldamento vengono utilizzati due scambiatori che attingono al calore della rete di teleriscaldamento.

Anche per l'impianto di raffrescamento le U.T.A. utilizzano come alimentazione l'acqua fredda proveniente dalla rete di teleriscaldamento.

Le U.T.A. inoltre garantiscono il ricambio dell'aria negli ambienti nei periodi estivi ed invernali infatti funzionano per 4 ore al giorno nel periodo di riscaldamento e per tutto il giorno nel periodo di raffrescamento quando l'impianto è in funzione.

## **2.4 Centrale Termica**

La rete di teleriscaldamento del campus di Agripolis è alimentata da due caldaie di produzione Weishaupt a condensazione, una da 780 kW ed una da 1600 kW funzionanti in contemporanea durante il periodo invernale che va da ottobre ad aprile.

La regolazione di queste caldaie non è di tipo a compensazione climatica, ma viene effettuata manualmente da un operatore di giorno in giorno, in base alle condizioni climatiche esterne.

Anche per questo motivo la temperatura di mandata dell'acqua non è costante, di solito è di circa 70°C il primo mattino e di 50°C nella restante parte della giornata.

La rete di teleriscaldamento è alimentata da 3 refrigeratori d'acqua da 300 kW ciascuno funzionanti con fluido R407C.

Questi funzionano in modo continuativo da giugno a settembre e provvedono a raffrescare dell'acqua che viene poi stoccata in un deposito sotterraneo.



*Figura 28 Stoccaggio dell'acqua raffrescata*

L'acqua stoccata viene poi utilizzata per alimentare la rete di teleraffrescamento nei momenti di richiesta di energia frigorifera.

### 3 Monitoraggio consumi energia elettrica e metano

Attraverso vari sopralluoghi, tramite lettura del contatore, è stato possibile risalire ai consumi annuali di metano.

Questi consumi non sono relativi solo agli edifici Stecca 1, Stecca 2 e Pentagono ma sono relativi a tutti gli edifici del campus, questo perché la condotta del metano alimenta due caldaie che forniscono calore alla rete di teleriscaldamento.

Oltre a queste due caldaie il metano viene utilizzato per alimentare una caldaia ausiliaria della mensa per produrre acqua calda sanitaria e due caldaie utilizzate per alimentare le serre.

Attraverso il consumo di tot. metri cubi di metano è stato possibile ricavare i valori di kWh utilizzati in tutti i mesi di riscaldamento.

La conversione utilizzata è stata  $1 \text{ Sm}^3 = 10.69 \text{ kWh}$ .

Come prevedibile nei mesi più freddi dell'anno i consumi sono elevati, nei mesi estivi i consumi sono nulli e nei mesi a ridosso di quelli estivi i consumi sono pressoché nulli.

totali mensili			
mese	m <sup>3</sup>	Sm <sup>3</sup>	kWh
gennaio	69068	81903,4	875547,8
febbraio	37139	44042,8	470817,7
marzo	25920	30234,9	323211
aprile	10462	12113,6	129495
settembre	4	4,4	47,1
ottobre	4553	5212,8	55725,2
novembre	18982	21884,89	233949,4
dicembre	46543	54765,42	585442,4

*Tabella 9 Consumi mensili di gas metano*

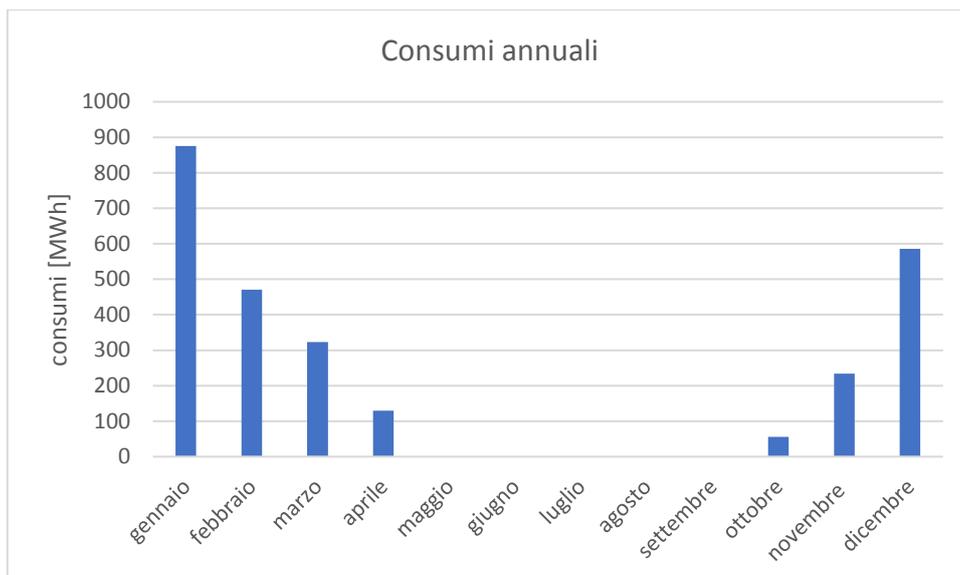


Figura 29 Distribuzione consumi durante l'anno

Sempre attraverso le letture del contatore è stato possibile risalire ai consumi orari di metano in determinati giorni dell'anno.

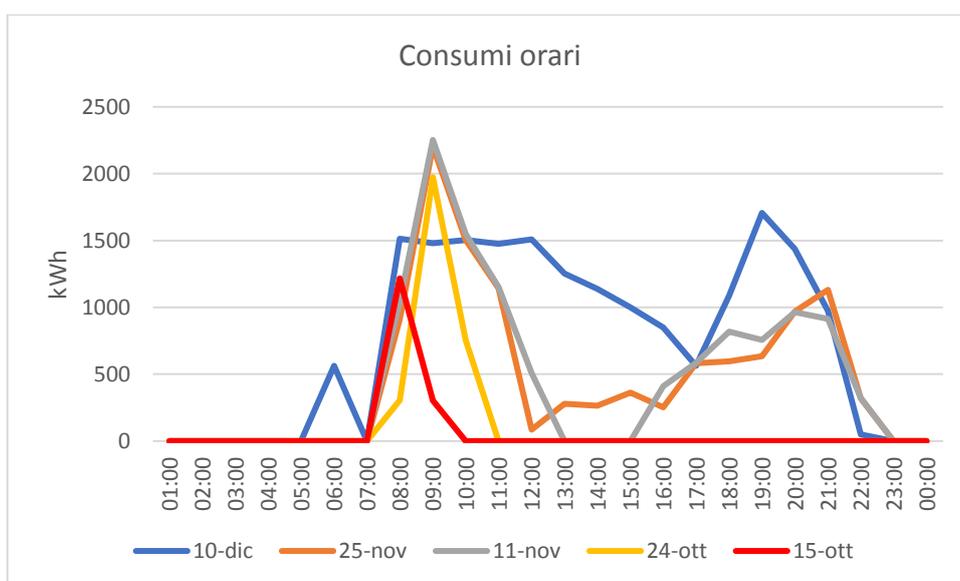


Figura 30 Distribuzione oraria di consumo di gas

consumo giornaliero [kWh]					
ora	10-dic	25-nov	11-nov	24-ott	15-ott
01:00	0	0	0	0	0
02:00	0	0	0	0	0
03:00	0	0	0	0	0
04:00	0	0	0	0	0
05:00	0	0	0	0	0
06:00	564,4	0	0	0	0
07:00	0	0	0	0	0
08:00	1514	911,2	1043,8	305,9	1217,3
09:00	1480,5	2204	2253,1	1974	304,1
10:00	1504,2	1505,2	1549,4	754,7	0
11:00	1475,8	1144,6	1153,1	0	0
12:00	1508,7	85,9	509,2	0	0
13:00	1254,4	279	0	0	0
14:00	1138,5	265,9	0	0	0
15:00	1000,1	363,5	0	0	0
16:00	849,9	253,3	411	0	0
17:00	562,4	581,5	584,6	0	0
18:00	1088,6	595,6	818,2	0	0
19:00	1707,1	634,4	755,7	0	0
20:00	1436,5	968,9	964,7	0	0
21:00	973	1131,8	914,3	0	0
22:00	50,7	320,6	321,9	0	0
23:00	0	0	0	0	0
00:00	0	0	0	0	0

*Tabella 10 Distribuzione oraria di consumo di gas per alcuni giorni*

Nel primo giorno del periodo di riscaldamento (15 ottobre) la richiesta termica sarà bassa e con il procedere della stagione fredda la durata giornaliera di richiesta d'energia andrà via via aumentando.

Dall'esame dei consumi giornalieri si evince che la prima richiesta di gas avviene alle ore 7:00 per fare in modo che alle 8:00 l'impianto sia a regime.

Verso le ore centrali del giorno la richiesta d'energia diminuisce, questo perché la presenza di carichi interni (persone, strumenti elettronici illuminazione) e carichi esterni (radiazione solare), fa diminuire la richiesta energetica dell'edificio.

Anche per i consumi di energia elettrica, attraverso il contatore e le bollette è stato possibile risalire ai consumi mensili di energia elettrica.

mese	consumi [kWh]
gennaio	298488
febbraio	272873,6
marzo	290971,2
aprile	264012,8
maggio	269364,4
giugno	468260,4
luglio	570426,4
agosto	510459,2
settembre	400086,4
ottobre	280643,6
novembre	290351,6
dicembre	293140,4

*Tabella 11 Consumo di energia elettrica mensile*

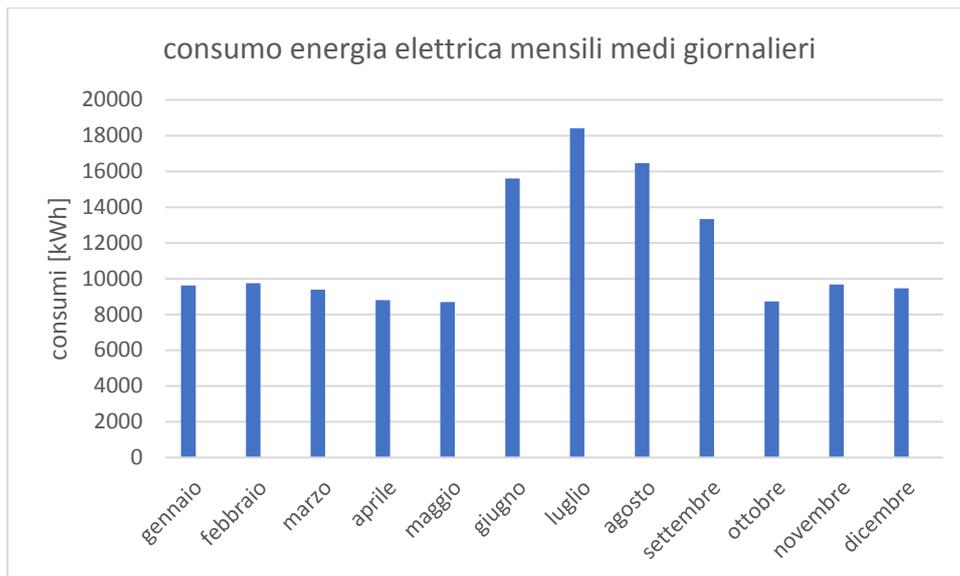


Figura 31 Andamento del consumo dell'energia elettrica nel corso dell'anno

Nei mesi più caldi il consumo di energia elettrica è maggiore in quanto l'impianto di raffrescamento necessita di più energia elettrica per il funzionamento dei ventilatori che fanno circolare aria negli ambienti.

Mentre nei mesi invernali la richiesta di energia elettrica è inferiore.

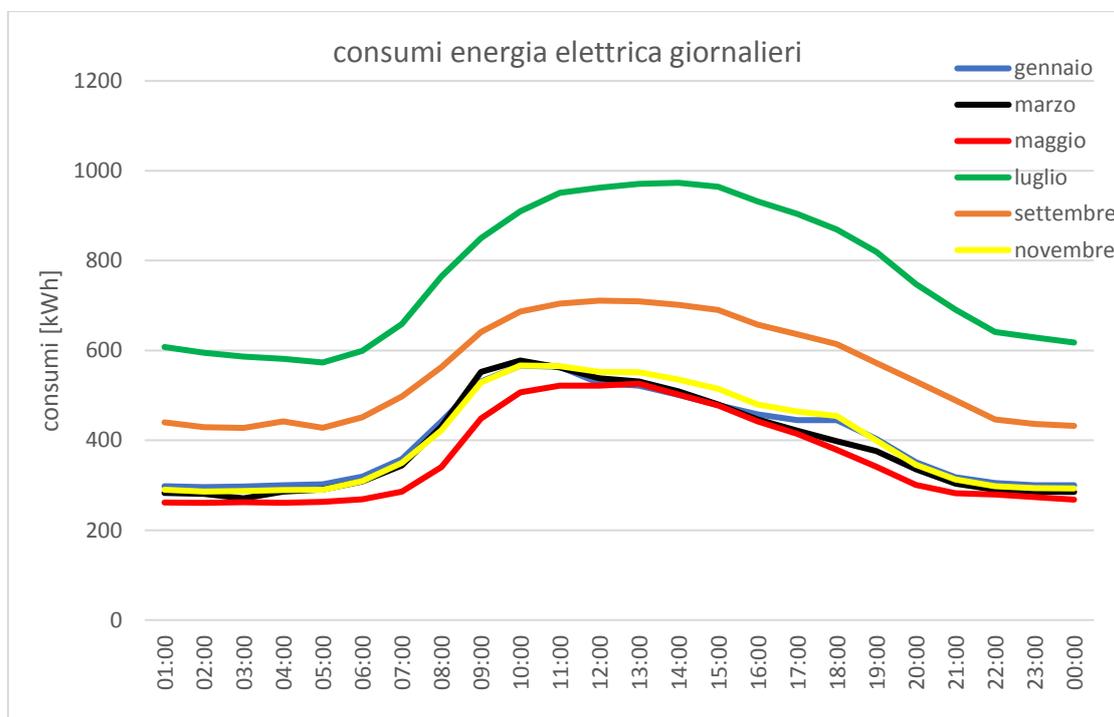


Figura 32 Andamento orario del consumo di energia elettrica

Nelle ore più calde del giorno nei mesi estivi c'è un aumento rilevante della richiesta di energia elettrica, questo è dovuto al funzionamento dell'impianto di condizionamento.

## 4 Metodo

Il modello degli edifici e le relative simulazioni sono stati effettuati mediante software Trnsys [18].

TRNSYS è un software sviluppato per le simulazioni dinamiche dei sistemi, inclusi gli edifici multizona; è utilizzato per simulare diversi aspetti energetici degli edifici che possono andare dall'utilizzo di acqua calda sanitaria ad impianti di produzione di energia alternativa [3].

Attraverso il programma TRNBuild si è realizzato il modello degli edifici e attraverso Simulation Studio è stato possibile svolgere la simulazione dinamica del modello per ottenere il fabbisogno annuo di energia.

### 4.1 Assunzioni generali

Innanzitutto, per la creazione del modello si è reso necessario conoscere in maniera accurata la planimetria di ogni singolo piano degli edifici e la destinazione d'uso di ogni locale.

La destinazione d'uso è stata verificata attraverso un sopralluogo ed si è verificato verificato se i locali erano adibiti ad aule, uffici o laboratori.

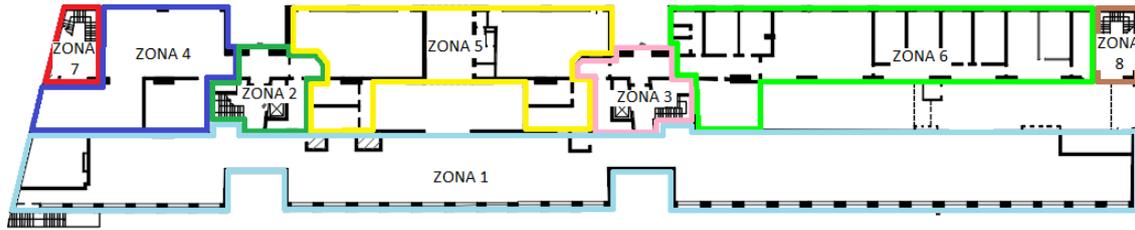
Questo è un dato importante in quanto, per stimare i carichi interni, si è stimato il grado di occupazione di ogni singolo locale.

Generalmente, a parità di superficie calpestabile, nelle aule ci sarà una presenza di persone maggiore rispetto ad un laboratorio o ad un ufficio.

Oltre al grado di occupazione bisogna anche tener conto della possibile presenza di macchinari elettrici come ad esempio computer, fotocopiatrici o stampanti.

Nel sopralluogo si è anche verificata la tipologia dei terminali d'impianto e la loro presenza all'interno dell'edificio.

Successivamente per ogni edificio si è divisa la planimetria in più zone, queste zone accorpano locali dalle caratteristiche simili.



*Figura 33 Esempio di divisione a zone*

Per ogni zona si è calcolata la superficie calpestabile, il volume netto degli ambienti, le superfici opache e le superfici trasparenti.

Le superfici opache sono state divise in base all'orientazione geografica se rivolte verso l'esterno, o in base all'ambiente confinante se interne all'edificio.

Dopo aver ottenuto tutti questi dati di partenza si procede alla costruzione del modello attraverso TRNBuild:

- si inseriscono le orientazioni verso cui sono rivolte le pareti dell'edificio;
- si inseriscono tutti i materiali utilizzati per la costruzione dei muri e solai con le relative caratteristiche fisiche;
- utilizzando i materiali da costruzione inseriti si costituiscono le stratigrafie inserendo per ogni materiale il relativo spessore e si inseriscono partendo dal lato interno verso quello esterno.

Dopo aver inserito questi dati si procede alla creazione del modello vero e proprio inserendo le varie zone in cui si è diviso l'edificio.

Per ogni zona si inserisce la superficie calpestabile e il volume netto, si passa poi a inserire tutte le superfici opache con le relative superfici vetrate.

Se una zona ha delle superfici opache in comune con un'altra si utilizza la configurazione adjacent in cui si seleziona la zona con cui comunica.

Si inseriscono anche le superfici opache interne alla stessa zona, queste superfici avranno la stessa temperatura dell'ambiente circostante per cui non scambieranno calore nei periodi di regime permanente ma influenzeranno l'inerzia termica nei periodi transitori.

Avendo inserito tutti i parametri fisici della zona si passa a inserire i parametri energetici della zona, si definisce quindi se l'ambiente è riscaldato o raffrescato, le infiltrazioni d'aria ed i carichi interni.

Per definire il tipo di riscaldamento si imposta la temperatura da mantenere all'interno dell'ambiente e la componente convettiva o radioattiva.

Per il sistema di raffrescamento oltre che la temperatura da mantenere nell'ambiente si è impostata anche l'umidità che si deve mantenere all'interno dell'ambiente per mantenere il comfort.

Per quanto riguarda la temperatura da mantenere negli ambienti si è creato un file input apposito in cui si è fissata la temperatura dell'ambiente per ogni ora dell'anno e il valore di umidità da mantenere.

Durante la simulazione attraverso Simulation Studio questo file verrà utilizzato come input di TRNBuild per impostare le temperature da mantenere negli ambienti.

Per quanto riguarda la ripartizione di trasferimento di calore tra convezione e radiazione si è assunto che la parte radiante sia il 30% del totale.

Per quanto riguarda i valori di infiltrazione si è impostato un valore costante di 0.1 vol/h per tutto il periodo dell'anno [19].

Il ricambio dell'aria negli ambienti, garantito dalla ventilazione meccanica, si è assunto costante in tutto l'edificio in quanto non è stato possibile risalire agli specifici valori per ogni locale.

Si è quindi divisa la portata delle U.T.A., che garantiscono il ricambio dell'aria, per il volume degli spazi riscaldati per ricavare il valore di ricambio dell'aria orario negli ambienti e lo si è associato ad ogni zona riscaldata dell'ambiente.

Ogni U.T.A. di mandata che porta l'aria in ambiente è associata ad una U.T.A. di ripresa che estrae l'aria dall'ambiente. Tra le due c'è un sistema di recupero termico per avvicinare la temperatura dell'aria di mandata, che proviene dall'esterno, alla temperatura dell'ambiente climatizzato.

Sono state svolte due simulazioni distinte: una che rappresenta il caso attuale in cui il sistema di ventilazione, durante il periodo di riscaldamento, funziona 4 ore al giorno, ed una che rappresenta il caso ipotizzato in cui il sistema di ventilazione è attivo per tutte le ore di funzionamento dell'impianto di riscaldamento.

	funzionamento ventilazione	
<b>caso attuale</b>	09:00-11:00	14:00-16:00
<b>caso ipotizzato</b>	07:00-19:00	

*Tabella 12 Funzionamento ventilazione meccanica nei due casi*

Nei carichi interni si sono inseriti il numero di persone e il numero di computer presenti in ogni zona considerata; oltre a questi va aggiunto un valore relativo all'illuminazione.

Ad ognuno di questi parametri si è associata una schedule cioè un valore che rappresenta la presenza del carico termico.

La schedule impostata è riportata in tabella 13.

giorno	ora	presenza carico
lunedì - martedì -	00:00 - 07:00	no
mercoledì - giovedì	07:00 - 19:00	si
- venerdì	19:00 - 24:00	no
sabato - domenica	00:00 - 24:00	no

*Tabella 13 Schedule utilizzata per i carichi interni*

Per quanto riguarda il numero di persone e di computer all' interno dell'ambiente si è stimato che nelle aule ci sia una media di 2 persona ogni metro quadro di superficie netta, mentre negli uffici e laboratori sia presente 1 persona ogni 10 m<sup>2</sup> [19].

Inoltre si è impostata la presenza di un computer a persona negli uffici mentre nelle aule didattiche non si è impostata la presenza di computer.

Il carico interno relativo alle persone è stato preso conforme alla UNI ISO 7730 che stabilisce il calore ceduto dalle persone in base all'attività svolta [21].

Il carico interno associato alla presenza di computer è stato preso pari a 140 W che rappresenta la potenza di un PC associato ad un monitor.

Il carico relativo all'illuminazione è stato preso più elevato negli ambienti con presenza stazionaria di persone come aule, uffici o laboratori e meno elevato nelle zone di passaggio come corridoi o vani scala.

Negli ambienti occupati si è assunto un carico di 13 W/m<sup>2</sup> mentre nelle zone di passaggio si è assunto un valore di 10 W/m<sup>2</sup>.

Dalla simulazione si vogliono ottenere i valori di calore sensibile e di calore latente che devono essere soddisfatti dai sistemi di riscaldamento e condizionamento oltre che la temperatura di ogni zona, perciò si inseriscono tali valori tra gli output del modello.

Finito il modello si procede ad inserirlo in Simulation Studio per ottenere la simulazione dinamica dell'edificio.

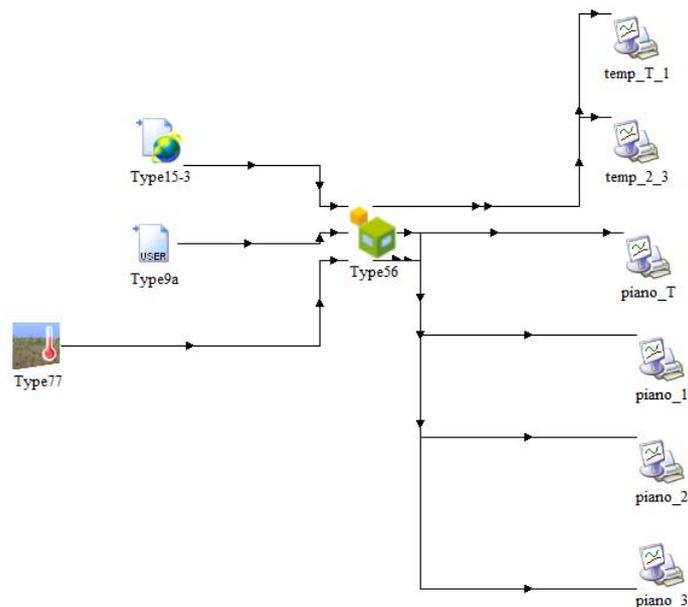


Figura 34 Esempio di file Simulation Studio

Utilizziamo varie type che collegheremo al modello realizzato con TRNBuild per inserire i valori di input:

- Type 15-3: contenente dei dati climatici esterni (come radiazione solare o temperatura dell'aria esterna), è utilizzata per leggere un file esterno e convertirlo per essere utilizzato da altre type.

Questa type legge i file climatici presi da Energy Plus Weather nel formato (EPW) [26].

Non essendoci il file relativo a Padova si è preso il file relativo a Venezia-Tessera in quanto il più simile alle condizioni climatiche di Padova

- Type 9a: viene utilizzata per leggere i valori di input impostati per la simulazione come le temperature di set-point e i limiti del periodo di riscaldamento.
- Type 77: si impostano i valori di temperatura del terreno, che viene utilizzata come condizione al contorno per pavimenti controterra e piani interrati
- Type 56: si utilizza per leggere il modello realizzato da TRNBuild
- Type 65c: consente di graficare i risultati della simulazione dinamica, inoltre attraverso questa type si può salvare un file esterno contenente tutti i risultati della simulazione.

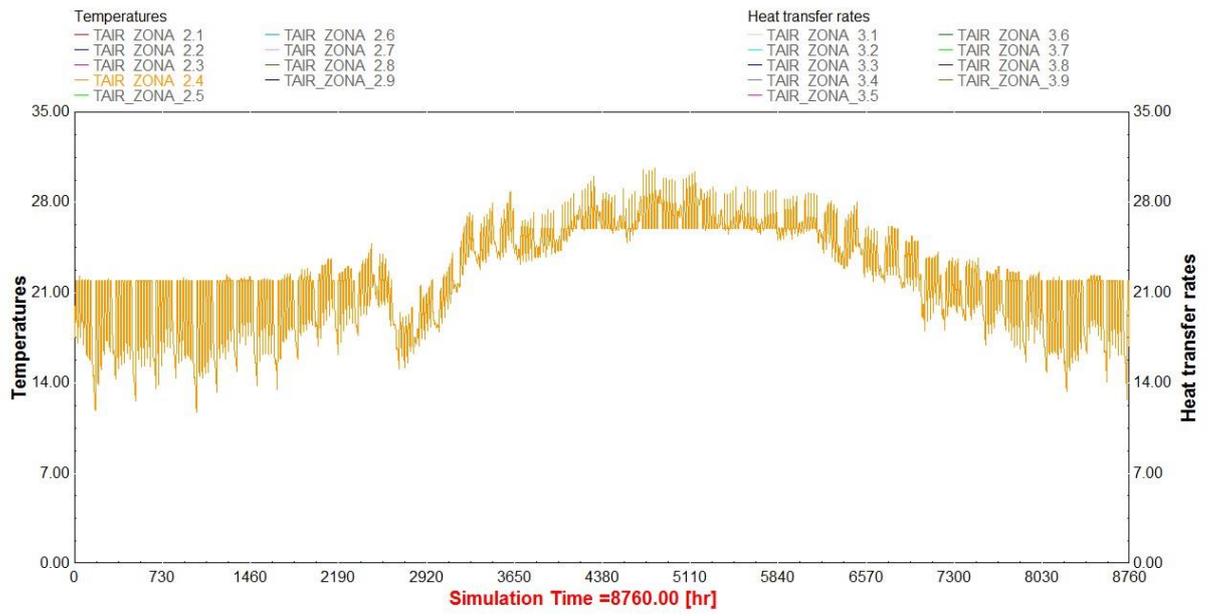


Figura 35 Esempio di andamento delle temperature della simulazione

## 4.2 Modello edificio Stecca 1

Per il modello dell'edificio Stecca 1 si è diviso ogni piano in più zone dalle finalità di utilizzo simile e di ognuno si è calcolata la superficie e il volume utile oltre che stimati i carichi interni dovuti a persone, computer e illuminazione.

Più nello specifico si è diviso:

- Il piano terra in 8 zone distinte
- Il primo piano in 9 zone distinte
- Il secondo piano in 9 zone distinte
- Il terzo piano in 9 zone distinte.

### 4.2.1 Piano terra

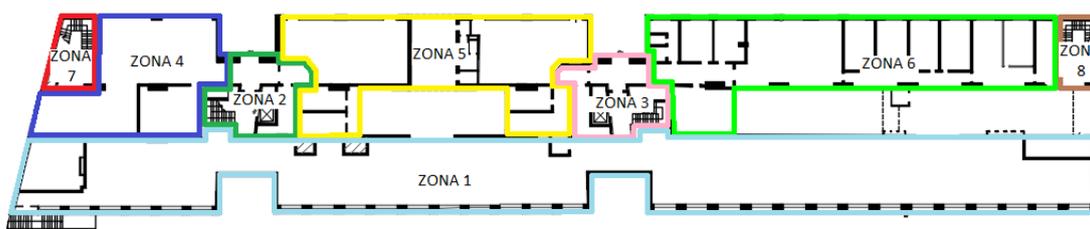


Figura 36 Divisione a zone piano terra Stecca 1

destinazione d'uso	n. zona	Superfici (m <sup>2</sup> )	Altezza (m)	Volumi (m <sup>3</sup> )
locale tecnico	zona 1	868	4	3472
vano scale OVEST	zona 2	71	3	213
vano scale EST	zona 3	78	3	234
portico e disimpegno	zona 4	40	3	120
aule	zona 5	314	3	942
Laboratori + uffici	zona 6	328	3	984
vani scala piccoli ovest	zona 7	28	3	84
vani scala piccoli est	zona 8	20	3	60

Tabella 14 Destinazione d'uso e volumetria zone piano terra stecca 1

Nella parte sud si trova il locale tecnico in cui sono presenti gli impianti, i vani scala principali corrispondenti alle zone 2 e 3 sono posti nella parte centrale dell'edificio dividendo la zona 4 (portico e disimpegni) la zona 5 (aule) e la zona 6 (laboratori e uffici).

Le ultime due zone corrispondono ai vani scala più piccoli posti nelle zone periferiche dell'edificio.

Le uniche zone riscaldate sono la 5 e la 6.

Le superfici vetrate che danno sui cortili interni e sul lato sud sono state prese con un fattore di vista del cielo pari a zero in quanto presentano delle superfici che coprono la vista del cielo.

Nel file di input si sono impostati gli orari giornalieri di accensione e spegnimento del sistema di riscaldamento.

	riscaldamento	orario accensione	orario spegnimento	temperatura mantenuta
zona 1	no	-	-	-
zona 2	no	-	-	-
zona 3	no	-	-	-
zona 4	no	-	-	-
zona 5	si	07:00	19:00	22
zona 6	si	07:00	19:00	22
zona 7	no	-	-	-
zona 8	no	-	-	-

*Tabella 15 Schedule impostata per il periodo di riscaldamento piano terra Stecca 1*

Questi valori di set-point vengono mantenuti per tutta la durata della stagione di riscaldamento fissata dall'art. 8 del D.P.R. 26 agosto 1993, n 412 che corrisponde ad un periodo che va dal 15 ottobre al 15 aprile [25].

Per quanto riguarda il raffrescamento i valori giornalieri di accensione e spegnimento dell'impianto sono riportati in tabella 16.

	raffrescamento	orario accensione	orario spegnimento	temperatura mantenuta
zona 1	no	-	-	-
zona 2	no	-	-	-
zona 3	no	-	-	-
zona 4	no	-	-	-
zona 5	si	07:00	19:00	26
zona 6	si	07:00	19:00	26
zona 7	no	-	-	-
zona 8	no	-	-	-

*Tabella 16 Schedule impostata per il periodo di raffrescamento piano terra Stecca 1*

Questi valori di set point sono stati mantenuti per la durata della stagione estiva la cui durata non è fissata per legge ma è stata imposta pari all'intervallo che va dal 1 giugno al 15 settembre.

Come definito nel paragrafo 4.1 in base alla superficie disponibile si sono assegnati a ciascuna zona i rispettivi carichi interni riportati in tabella 17.

destinazione d'uso	n. zona	persone	Computer	ventilazione [vol/h]
locale termico	zona 1	-	-	-
vano scale OVEST	zona 2	-	-	-
vano scale EST	zona 3	-	-	-
portico e disimpegno	zona 4	-	-	-
aule	zona 5	126	-	1,63
lab+uffici	zona 6	33	33	1,63
vani scala piccoli ovest	zona 7	-	-	-
vani scala piccoli est	zona 8	-	-	-

*Tabella 17 Carichi interni piano terra Stecca 1*

## 4.2.2 Piano primo

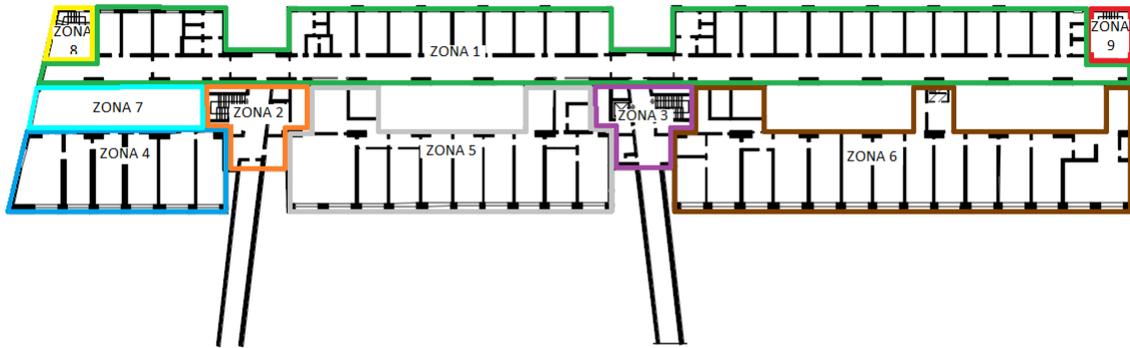


Figura 37 Divisione a zone piano primo Stecca 1

destinazione d'uso	n. zona	Superfici (m <sup>2</sup> )	Altezza (m)	Volumi (m <sup>3</sup> )
ufficio+corridoio	zona 1	758	4	3032
vano scale OVEST	zona 2	90	4	360
vano scale EST	zona 3	87	4	348
uffici+laboratori ovest	zona 4	166,5	4	666
uffici+laboratori centro	zona 5	244,5	4	978
uffici+laboratori est	zona 6	369	4	1476
ufficio ovest	zona 7	100	4	400
vani scala piccoli ovest	zona 8	20	4	80
vani scala piccoli est	zona 9	18	4	72

Tabella 18 Destinazione d'uso e volumetria zone piano primo Stecca 1

La zona 1 corrisponde al lato nord in cui sono presenti molti uffici, poiché la superficie del corridoio è molto inferiore a quella degli uffici si è assunta una singola zona inglobando il corridoio nella superficie degli uffici.

Le zone 2 e 3 corrispondono ai vani scala principali posti nel mezzo dell'edificio.

La parte sud è stata divisa in 3 zone distinte separate dai vani scala principali, ogni zona contiene uffici e laboratori.

La zona 7 corrisponde ad un ufficio posto nella zona ovest ed è posto sopra al disimpegno del piano terra.

Le ultime due zone (zona 8 e zona 9) corrispondono ai due vani scala più piccoli.

Anche per questo piano, per le superfici vetrate è stato preso lo stesso riferimento del piano precedente per quanto riguarda il fattore di vista del cielo.

Come valori di input delle temperature di set point del sistema di riscaldamento e raffrescamento si è utilizzato il medesimo file precedente utilizzando quindi le stesse temperature e la stessa durata per la stagione di riscaldamento e quella di raffrescamento.

	riscaldamento	orario accensione	orario spegnimento	temperatura mantenuta
zona 1	si	07:00	19:00	22
zona 2	no	-	-	-
zona 3	no	-	-	-
zona 4	si	07:00	19:00	22
zona 5	si	07:00	19:00	22
zona 6	si	07:00	19:00	22
zona 7	si	07:00	19:00	22
zona 8	no	-	-	-
zona 9	no	-	-	-

*Tabella 19 Schedule impostata per il periodo di riscaldamento piano primo Stecca 1*

	raffrescamento	orario accensione	orario spegnimento	temperatura mantenuta
zona 1	si	08:00	18:00	26
zona 2	no	-	-	-
zona 3	no	-	-	-
zona 4	si	07:00	19:00	26
zona 5	si	07:00	19:00	26
zona 6	si	07:00	19:00	26
zona 7	si	07:00	19:00	26
zona 8	no	-	-	-
zona 9	no	-	-	-

*Tabella 20 Schedule impostata per il periodo di raffrescamento piano primo Stecca 1*

Anche in questo caso ad ogni zona sono stati associati i rispettivi valori di carichi termici riportati in tabella 21.

destinazione d'uso	n. zona	persone	Computer	ventilazione [vol/h]
ufficio+corridoio	zona 1	76	76	1,63
vano scale OVEST	zona 2	-	-	-
vano scale EST	zona 3	-	-	-
uffici+laboratori ovest	zona 4	17	17	1,63
uffici+laboratori centro	zona 5	24	24	1,63
uffici+laboratori est	zona 6	37	37	1,63
ufficio (aula studio) ovest	zona 7	10	10	1,63
vani scala piccoli ovest	zona 8	-	-	-
vani scala piccoli est	zona 9	-	-	-

Tabella 21 Carichi interni piano primo Stecca 1

#### 4.2.3 Piano secondo

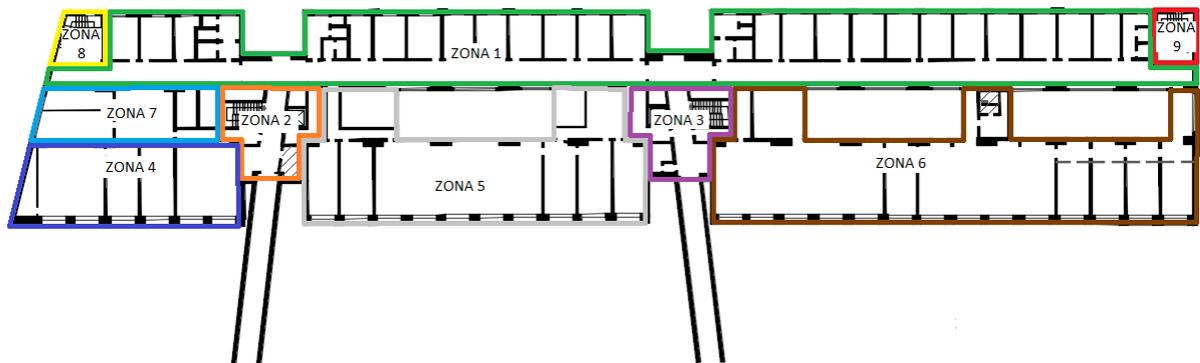


Figura 38 Divisione a zone piano secondo Stecca 1

destinazione d'uso	n. zona	Superfici (m <sup>2</sup> )	Altezza (m)	Volumi (m <sup>3</sup> )
Ufficio + corridoio	zona 1	758	4	3032
vano scale OVEST	zona 2	90	4	360
vano scale EST	zona 3	87	4	348
Uffici + laboratori ovest	zona 4	166,5	4	666
Uffici + laboratori centro	zona 5	244,5	4	978
Uffici + laboratori est	zona 6	369	4	1476
ufficio ovest	zona 7	100	4	400
vani scala piccoli ovest	zona 8	20	4	80
vani scala piccoli est	zona 9	18	4	72

Tabella 22 Destinazione d'uso e volumetria zone piano secondo Stecca 1

La zona 1 corrisponde al lato nord in cui sono presenti molti uffici. Anche in questo caso poiché la superficie del corridoio è molto inferiore a quella degli uffici lo si è inglobato nella stessa zona.

Le zone 2 e 3 corrispondono ai vani scala principali posti nel mezzo dell'edificio e dividono in tre zone distinte il lato sud.

Queste tre zone contengono uffici e laboratori.

La zona 7 corrisponde ad un ufficio posto nella zona ovest e le ultime due zone (zona 8 e zona 9) corrispondono ai due vani scala più piccoli.

A differenza dei piani precedenti, avendo l'edificio che crea ombreggiamento la stessa altezza dell'edificio in esame, si è ritenuto che risulti ininfluenza al fine del fattore di vista, quindi si è preso un fattore di vista uguale per tutte le superfici vetrate.

Facendo parte dello stesso modello anche questo ha come parametri in input il file che contiene le temperature di set point e i periodi di riscaldamento e raffrescamento.

	riscaldamento	orario accensione	orario spegnimento	temperatura mantenuta
zona 1	si	07:00	19:00	22
zona 2	no	-	-	-
zona 3	no	-	-	-
zona 4	si	07:00	19:00	22
zona 5	si	07:00	19:00	22
zona 6	si	07:00	19:00	22
zona 7	si	07:00	19:00	22
zona 8	no	-	-	-
zona 9	no	-	-	-

*Tabella 23 Schedule impostata per il periodo di riscaldamento piano secondo Stecca 1*

	raffrescamento	orario accensione	orario spegnimento	temperatura mantenuta
zona 1	si	07:00	19:00	26
zona 2	no	-	-	-
zona 3	no	-	-	-
zona 4	si	07:00	19:00	26
zona 5	si	07:00	19:00	26
zona 6	si	07:00	19:00	26
zona 7	si	07:00	19:00	26
zona 8	no	-	-	-
zona 9	no	-	-	-

*Tabella 24 Schedule impostata per il periodo di raffrescamento piano secondo Stecca 1*

Così come per i due piani precedenti si sono associati ad ogni zona i valori dei carichi interni riportati in tabella 25.

destinazione d'uso	n. zona	persone	Computer	ventilazione [vol/h]
ufficio+corridoio	zona 1	76	76	1,63
vano scale OVEST	zona 2	-	-	-
vano scale EST	zona 3	-	-	-
uffici+laboratori ovest	zona 4	17	17	1,63
uffici+laboratori centro	zona 5	25	25	1,63
uffici+laboratori est	zona 6	37	37	1,63
ufficio (aula studio) ovest	zona 7	10	10	1,63
vani scala piccoli ovest	zona 8	-	-	-
vani scala piccoli est	zona 9	-	-	-

*Tabella 25 Carichi interni piano secondo Stecca 1*

#### 4.2.4 Piano terzo

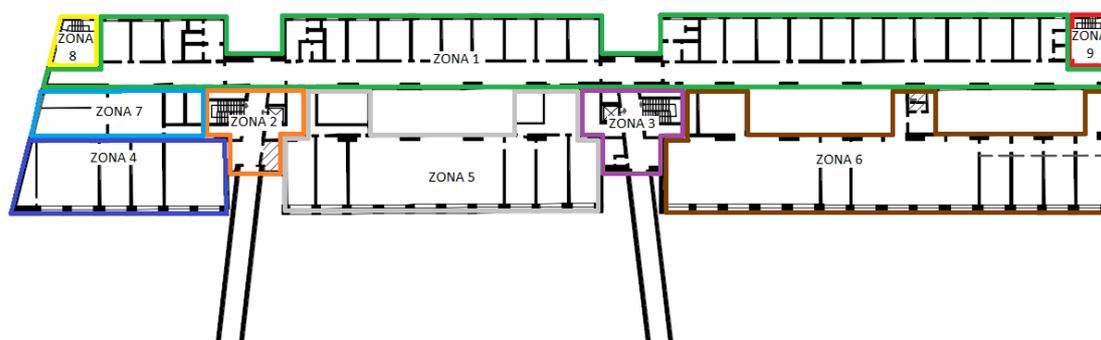


Figura 39 Divisione a zone piano terzo Stecca 1

destinazione d'uso	n. zona	Superfici (m <sup>2</sup> )	Altezza (m)	Volumi (m <sup>3</sup> )
ufficio+corridoio	zona 1	758	4	3032
vano scale OVEST	zona 2	90	4	360
vano scale EST	zona 3	87	4	348
uffici+laboratori ovest	zona 4	166,5	4	666
uffici+laboratori centro	zona 5	244,5	4	978
uffici+laboratori est	zona 6	369	4	1476
ufficio (aula studio) ovest	zona 7	100	4	400
vani scala piccoli ovest	zona 8	20	4	80
vani scala piccoli est	zona 9	18	4	72

Tabella 26 Destinazione d'uso e volumetria zone piano terzo Stecca 1

L'ultimo piano dell'edificio è diviso in 9 zone distinte:

La zona 1 corrisponde al lato nord in cui sono presenti molti uffici. Anche in questo caso poiché la superficie del corridoio è molto inferiore a quella degli uffici, lo si è inglobato nella stessa zona.

Le zone 2 e 3 corrispondono ai vani scala principali posti nel mezzo dell'edificio e dividono in tre zone distinte il lato sud.

Queste tre zone contengono uffici e laboratori.

La zona 7 corrisponde ad un ufficio posto nella zona ovest e le ultime due zone (zona 8 e zona 9) corrispondono ai due vani scala più piccoli.

Anche per questo piano si è preso un fattore di vista uguale per tutte le superfici vetrate considerando nulli gli ombreggiamenti.

I parametri esterni sono stati inseriti attraverso un file che contiene le temperature di set point e i periodi di riscaldamento e raffrescamento.

	riscaldamento	orario accensione	orario spegnimento	temperatura mantenuta
zona 1	si	07:00	19:00	22
zona 2	no	-	-	-
zona 3	no	-	-	-
zona 4	si	07:00	19:00	22
zona 5	si	07:00	19:00	22
zona 6	si	07:00	19:00	22
zona 7	si	07:00	19:00	22
zona 8	no	-	-	-
zona 9	no	-	-	-

*Tabella 27 Schedule impostata per il periodo di riscaldamento piano terzo Stecca 1*

	raffrescamento	orario accensione	orario spegnimento	temperatura mantenuta
zona 1	si	07:00	19:00	26
zona 2	no	-	-	-
zona 3	no	-	-	-
zona 4	si	07:00	19:00	26
zona 5	si	07:00	19:00	26
zona 6	si	07:00	19:00	26
zona 7	si	07:00	19:00	26
zona 8	no	-	-	-
zona 9	no	-	-	-

*Tabella 28 Schedule impostata per il periodo di raffrescamento piano terzo Stecca 1*

Così come per i due piani precedenti ad ogni zona si sono associati i valori relativi ai carichi interni riportati in tabella 29.

destinazione d'uso	n. zona	persone	Computer	ventilazione [vol/h]
ufficio+corridoio	zona 1	76	76	1,63
vano scale OVEST	zona 2	-	-	-
vano scale EST	zona 3	-	-	-
uffici+laboratori ovest	zona 4	17	17	1,63
uffici+laboratori centro	zona 5	25	25	1,63
uffici+laboratori est	zona 6	37	37	1,63
ufficio (aula studio) ovest	zona 7	10	10	1,63
vani scala piccoli ovest	zona 8	-	-	-
vani scala piccoli est	zona 9	-	-	-

*Tabella 29 Carichi interni piano terzo Stecca*

### 4.3 Modello edificio Stecca 2

Anche per il modello dell'edificio Stecca 2 si è diviso ogni piano in più zone dalle finalità di utilizzo simile e di ognuno si è calcolato la superficie e il volume utile, oltre che stimati i carichi interni dovuti a persone, computer e illuminazione.

Più nello specifico si è diviso:

- Il piano terra in 8 zone distinte
- Il primo piano in 9 zone distinte
- Il secondo piano in 9 zone distinte
- Il terzo piano in 9 zone distinte.

#### 4.3.1 Piano terra

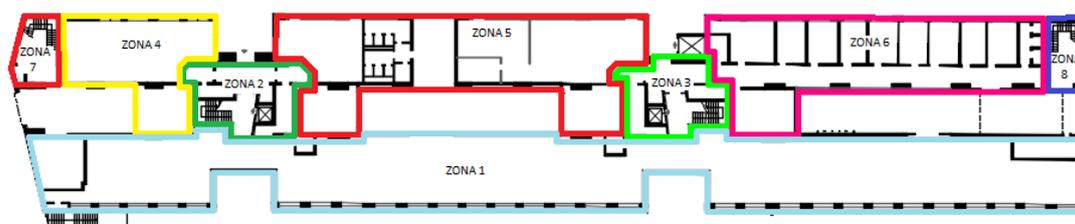


Figura 40 Divisione a zone piano terra Stecca 2

destinazione d'uso	n. zona	Superfici (m <sup>2</sup> )	Altezza (m)	Volumi (m <sup>3</sup> )
locale tecnico	zona 1	900	4	3600
vano scale OVEST	zona 2	87	3	261
vano scale EST	zona 3	82	3	246
aula+ufficio	zona 4	160	3	480
aule+lab	zona 5	348	3	1044
uffici	zona 6	321	3	963
vani scala piccoli ovest	zona 7	24	3	72
vani scala piccoli est	zona 8	20	3	60

Tabella 30 Destinazione d'uso e volumetria zone piano terra Stecca 2

La zona 1 comprende il locale tecnico in cui sono presenti i macchinari adibiti al riscaldamento e raffrescamento ed è situata nella parte sud dell'edificio.

Le zone 2 e 3 rappresentano i vani scale principali e si trovano nella parte centrale dell'edificio.

La parte nord è stata divisa in 3 zone:

nella parte sinistra sono situate un'aula didattica ed un ufficio, nella parte centrale ci sono aule e laboratori e nella parte destra sono presenti degli uffici.

Le restanti due zone sono i vani scale secondari posti agli estremi dell'edificio.

Per la simulazione dinamica si è reso necessario creare un file di input che contenesse le temperature di set-point nel caso di riscaldamento invernale e raffrescamento estivo.

Come per l'edificio precedente anche per questo, a causa dell'edificio di fronte si è preso un fattore di vista del cielo pari a zero per le vetrate a nord e a quelle che danno sui cortiletti interni.

In questo file sono anche definite le ore di funzionamento degli impianti e i periodi di funzionamento definiti per legge per quanto riguarda il riscaldamento (15 ottobre – 15 aprile) e assunti per quanto riguarda il raffrescamento estivo (1 giugno – 15 settembre).

	riscaldamento	orario accensione	orario spegnimento	temperatura mantenuta
zona 1	no	-	-	-
zona 2	no	-	-	-
zona 3	no	-	-	-
zona 4	no	-	-	-
zona 5	si	07:00	19:00	22
zona 6	si	07:00	19:00	22
zona 7	no	-	-	-
zona 8	no	-	-	-

*Tabella 31 Schedule impostata per il periodo di riscaldamento piano terra Stecca 2*

	raffrescamento	orario accensione	orario spegnimento	temperatura mantenuta
zona 1	no	-	-	-
zona 2	no	-	-	-
zona 3	no	-	-	-
zona 4	no	-	-	-
zona 5	si	07:00	19:00	26
zona 6	si	07:00	19:00	26
zona 7	no	-	-	-
zona 8	no	-	-	-

*Tabella 32 Schedule impostata per il periodo di raffrescamento piano terra Stecca 2*

Si sono inoltre associati ad ogni zona, in base alla superficie e alla destinazione d'uso, i relativi valori di carichi interni.

destinazione d'uso	n. zona	persone	Computer	ventilazione [vol/h]
locale tecnico	zona 1	-	-	-
vano scale OVEST	zona 2	-	-	-
vano scale EST	zona 3	-	-	-
aula	zona 4	64	4	1,52
aule+lab	zona 5	60	22	1,52
uffici	zona 6	32	32	1,52
vani scala piccoli ovest	zona 7	-	-	-
vani scala piccoli est	zona 8	-	-	-

*Tabella 33 Carichi interni piano terra Stecca 2*

### 4.3.2 Piano primo

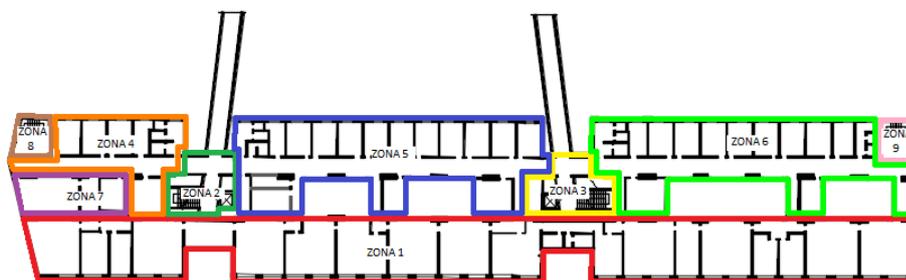


Figura 41 Divisione a zone piano primo Stecca 2

destinazione d'uso	n. zona	Superfici (m <sup>2</sup> )	Altezza (m)	Volumi (m <sup>3</sup> )
ufficio+corridoio	zona 1	831	4	3324
vano scale OVEST	zona 2	73	4	292
vano scale EST	zona 3	76	4	304
uffici+laboratori ovest	zona 4	145	4	580
laboratori centro	zona 5	404	4	1616
laboratori est	zona 6	363	4	1452
ufficio (aula studio) ovest	zona 7	88	4	352
vani scala piccoli ovest	zona 8	20	4	80
vani scala piccoli est	zona 9	18	4	72

Tabella 34 Destinazione d'uso e volumetria zone piano primo Stecca 2

La zona 1 che comprende tutto il lato sud, è composta da uffici e dal corridoio che li collega, il corridoio è stato inglobato nella zona comprendente uffici in quanto la sua superficie è molto minore rispetto a quella degli uffici.

Le zone 2 e 3 sono sempre riferite ai vani scala principali.

Le zone 4 5 e 6 dividono il lato nord in 3 zone, quella a sinistra comprende uffici e laboratori, quella centrale e quella a destra comprendono laboratori.

Nella parte a ovest è situata la zona 7 che comprende degli uffici.

Le ultime due zone (8 e 9) rappresentano i vani scale secondari.

Il fattore di vista per le vetrate che si affacciano sull'edificio Stecca 1 e sui cortiletti interni è stato preso pari a zero.

Anche per questo piano si utilizza lo stesso file di input con le condizioni al contorno utilizzate.

	riscaldamento	orario accensione	orario spegnimento	temperatura mantenuta
zona 1	si	07:00	19:00	22
zona 2	no	-	-	-
zona 3	no	-	-	-
zona 4	si	07:00	19:00	22
zona 5	si	07:00	19:00	22
zona 6	si	07:00	19:00	22
zona 7	si	07:00	19:00	22
zona 8	no	-	-	-
zona 9	no	-	-	-

*Tabella 35 Schedule impostata per il periodo di riscaldamento piano primo Stecca 2*

	raffrescamento	orario accensione	orario spegnimento	temperatura mantenuta
zona 1	si	07:00	19:00	26
zona 2	no	-	-	-
zona 3	no	-	-	-
zona 4	si	07:00	19:00	26
zona 5	si	07:00	19:00	26
zona 6	si	07:00	19:00	26
zona 7	si	07:00	19:00	26
zona 8	no	-	-	-
zona 9	no	-	-	-

*Tabella 36 Schedule impostata per il periodo di raffrescamento piano primo Stecca 2*

I carichi interni associati alle zone riscaldate sono riportati in tabella 37.

destinazione d'uso	n. zona	persone	Computer	ventilazione [vol/h]
ufficio+corridoio	zona 1	83	83	1,52
vano scale OVEST	zona 2	-	-	-
vano scale EST	zona 3	-	-	-
uffici+laboratori ovest	zona 4	15	15	1,52
laboratori centro	zona 5	40	40	1,52
laboratori est	zona 6	36	36	1,52
sala riunioni	zona 7	29	2	1,52
vani scala piccoli ovest	zona 8	-	-	-
vani scala piccoli est	zona 9	-	-	-

Tabella 37 Carichi interni piano primo Stecca 2

#### 4.3.3 Piano secondo

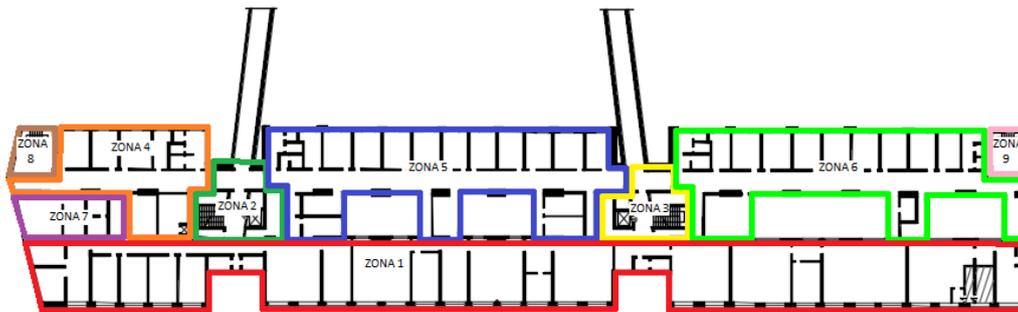


Figura 42 Divisione a zone piano secondo Stecca 2

destinazione d'uso	n. zona	Superfici (m <sup>2</sup> )	Altezza (m)	Volumi (m <sup>3</sup> )
ufficio+corridoio	zona 1	831	4	3324
vano scale OVEST	zona 2	73	4	292
vano scale EST	zona 3	76	4	304
uffici+laboratori ovest	zona 4	145	4	580
laboratori centro	zona 5	404	4	1616
laboratori est	zona 6	363	4	1452
ufficio ovest	zona 7	88	4	352
vani scala piccoli ovest	zona 8	20	4	80
vani scala piccoli est	zona 9	18	4	72

Tabella 38 Destinazione d'uso e volumetria zone piano secondo Stecca 2

L'intera parte sud è stata assunta come un'unica zona, questa zona comprende uffici.

Le zone 2 e 3 corrispondono ai vani scale principali.

Il lato nord è diviso in tre zone nella zona più a ovest ci sono laboratori ed uffici nella parte centrale e in quella a est ci sono dei laboratori.

Ritenendo l'ombreggiatura risulti ininfluyente sulle vetrate si è assunto un fattore di vista del cielo uguale per tutte le superfici vetrate.

Per le condizioni al contorno si è utilizzato lo stesso file di input.

	riscaldamento	orario accensione	orario spegnimento	temperatura mantenuta
zona 1	si	07:00	19:00	22
zona 2	no	-	-	-
zona 3	no	-	-	-
zona 4	si	07:00	19:00	22
zona 5	si	07:00	19:00	22
zona 6	si	07:00	19:00	22
zona 7	si	07:00	19:00	22
zona 8	no	-	-	-
zona 9	no	-	-	-

*Tabella 39 Schedule impostata per il periodo di riscaldamento piano secondo Stecca 2*

	raffrescamento	orario accensione	orario spegnimento	temperatura mantenuta
zona 1	si	07:00	19:00	26
zona 2	no	-	-	-
zona 3	no	-	-	-
zona 4	si	07:00	19:00	26
zona 5	si	07:00	19:00	26
zona 6	si	07:00	19:00	26
zona 7	si	07:00	19:00	26
zona 8	no	-	-	-
zona 9	no	-	-	-

*Tabella 40 Schedule impostata per il periodo di raffrescamento piano secondo Stecca 2*

I carichi termici associati ad ogni zona in cui sono presenti impianti di riscaldamento e raffrescamento sono riportati in tabella 41.

destinazione d'uso	n. zona	persone	Computer	ventilazione [vol/h]
ufficio+corridoio	zona 1	83	83	1,52
vano scale OVEST	zona 2	-	-	-
vano scale EST	zona 3	-	-	-
uffici+laboratori ovest	zona 4	15	15	1,52
laboratori centro	zona 5	40	40	1,52
laboratori est	zona 6	36	36	1,52
ufficio ovest	zona 7	13	8	1,52
vani scala piccoli ovest	zona 8	-	-	-
vani scala piccoli est	zona 9	-	-	-

Tabella 41 Carichi interni piano secondo Stecca 2

#### 4.3.4 Piano terzo

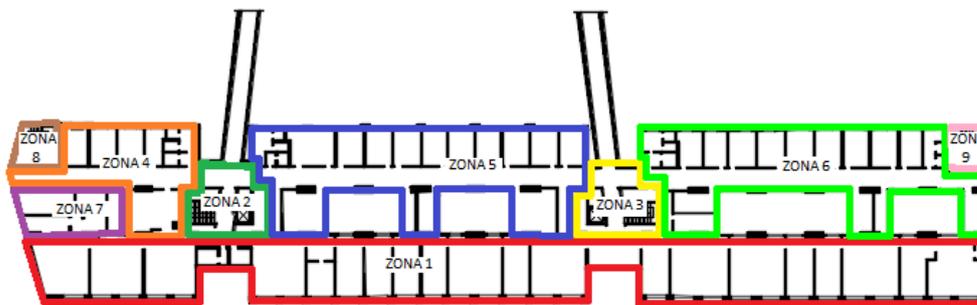


Figura 43 Divisione a zone piano terzo Stecca 2

destinazione d'uso	n. zona	Superfici (m <sup>2</sup> )	Altezza (m)	Volumi (m <sup>3</sup> )
ufficio+corridoio	zona 1	831	4	3324
vano scale OVEST	zona 2	73	4	292
vano scale EST	zona 3	76	4	304
uffici+laboratori ovest	zona 4	145	4	580
uffici+laboratori centro	zona 5	404	4	1616
uffici+laboratori est	zona 6	363	4	1452
ufficio (aula studio) ovest	zona 7	88	4	352
vani scala piccoli ovest	zona 8	20	4	80
vani scala piccoli est	zona 9	18	4	72

Tabella 42 Destinazione d'uso e volumetria zone piano terzo Stecca 2

L'ultimo piano dell'edificio presenta una configurazione identica ai piani sottostanti quindi la zona 1 comprende tutto il lato sud, le zone 2 e 3 comprendono i vani scale principali.

La zona 4 comprende sempre uffici e laboratori mentre le zone 5 e 6 a differenza dei piani sottostanti comprendono sia laboratori che uffici.

La zona 7 sempre posta nella parte ovest comprende uffici mentre le zone 8 e 9 sono associate ai vani scale secondari.

Nel file di input sono riportate le condizioni al contorno utilizzate espresse in tabella 43.

	riscaldamento	orario accensione	orario spegnimento	temperatura mantenuta
zona 1	si	07:00	19:00	22
zona 2	no	-	-	-
zona 3	no	-	-	-
zona 4	si	07:00	19:00	22
zona 5	si	07:00	19:00	22
zona 6	si	07:00	19:00	22
zona 7	si	07:00	19:00	22
zona 8	no	-	-	-
zona 9	no	-	-	-

*Tabella 43 Schedule impostata per il periodo di riscaldamento piano terzo Stecca 2*

	raffrescamento	orario accensione	orario spegnimento	temperatura mantenuta
zona 1	si	07:00	19:00	26
zona 2	no	-	-	-
zona 3	no	-	-	-
zona 4	si	07:00	19:00	26
zona 5	si	07:00	19:00	26
zona 6	si	07:00	19:00	26
zona 7	si	07:00	19:00	26
zona 8	no	-	-	-
zona 9	no	-	-	-

*Tabella 44 Schedule impostata per il periodo di raffrescamento piano terzo Stecca 2*

Per ogni zona vengono associati i relativi carichi interni riportati in tabella 45.

destinazione d'uso	n. zona	persone	Computer	ventilazione [vol/h]
ufficio+corridoio	zona 1	83	83	1,52
vano scale OVEST	zona 2	-	-	-
vano scale EST	zona 3	-	-	-
uffici+laboratori ovest	zona 4	15	15	1,52
uffici+laboratori centro	zona 5	40	40	1,52
uffici+laboratori est	zona 6	36	36	1,52
ufficio (aula studio) ovest	zona 7	14	9	1,52
vani scala piccoli ovest	zona 8	-	-	-
vani scala piccoli est	zona 9	-	-	-

Tabella 45 Carichi interni piano terzo Stecca 2

#### 4.4 Modello edificio Pentagono

Per il modello dell'edificio Pentagono, come per gli edifici precedenti, si è diviso ogni piano in più zone dalle finalità di utilizzo simile e di ognuna si è calcolata la superficie e il volume utile, oltre che stimati i carichi interni dovuti a persone, computer e illuminazione.

Più nello specifico si è diviso:

- Il piano terra in 9 zone distinte
- Il primo piano in 9 zone distinte
- Il secondo piano in 9 zone distinte
- Il terzo piano in 9 zone distinte.

##### 4.4.1 Piano interrato



Figura 44 Divisione a zone piano interrato Pentagono

destinazione d'uso	n. zona	Superfici (m <sup>2</sup> )	Altezza (m)	Volumi (m <sup>3</sup> )
vano scale N-O	zona 1	48	3	141
vano scale N-E	zona 2	47	3	144
vano Scale S-E	zona 3	83	3	249
vano scale S-O	zona 4	54	3	162
locale UTA N	zona 5	181	3	543
locale UTA O	zona 6	90	3	270
locale UTA E	zona 7	90	3	270
laboratori	zona 8	120	3	360
magazzino+corridoio	zona 9	1056	3	3168

*Tabella 46 Destinazione d'uso e volumetria zone piano interrato Pentagono*

Il piano interrato dell'edificio è stato suddiviso in 9 zone distinte:

le zone dall'1 al 4 sono i vani scale che portano ai piani superiori, sono posti rispettivamente negli angoli N-O, N-E, S-E e S-O.

le zone 5, 6 e 7 contengono i vari locali adibiti a locali UTA.

Nella zona 8 è posto un laboratorio.

Nella zona 9 sono stati accorpati, insieme al corridoio, alcuni locali adibiti ad archivi.

Nella simulazione i parametri interni e le condizioni di funzionamento degli impianti sono stati inseriti attraverso un file di input riportati in tabella 47.

	riscaldamento	orario accensione	orario spegnimento	temperatura mantenuta
zona 1	no	-	-	-
zona 2	no	-	-	-
zona 3	no	-	-	-
zona 4	no	-	-	-
zona 5	no	-	-	-
zona 6	no	-	-	-
zona 7	si	07:00	19:00	22
zona 8	no	-	-	-
zona 9	no	-	-	-

*Tabella 47 Schedule impostata per il periodo di riscaldamento piano interrato Pentagono*

	raffrescamento	orario accensione	orario spegnimento	temperatura mantenuta
zona 1	no	-	-	-
zona 2	no	-	-	-
zona 3	no	-	-	-
zona 4	no	-	-	-
zona 5	no	-	-	-
zona 6	no	-	-	-
zona 7	si	07:00	19:00	26
zona 8	no	-	-	-
zona 9	no	-	-	-

*Tabella 48 Schedule impostata per il periodo di raffrescamento piano interrato Pentagono*

Alla zona 7, l'unica riscaldata e raffrescata, sono stati assegnati i rispettivi carichi termici

destinazione d'uso	n. zona	persone	Computer	ventilazione [vol/h]
vano scale N-O	zona 1	-	-	-
vano scale N-E	zona 2	-	-	-
vano Scale S-E	zona 3	-	-	-
vano scale S-O	zona 4	-	-	-
locale UTA N	zona 5	-	-	-
locale UTA O	zona 6	-	-	-
locale UTA E	zona 7	-	-	-
laboratori	zona 8	12	12	3,63
magazzino+corridoio	zona 9	-	-	-

*Tabella 49 Carichi interni piano interrato Pentagono*

#### 4.4.2 Piano terra

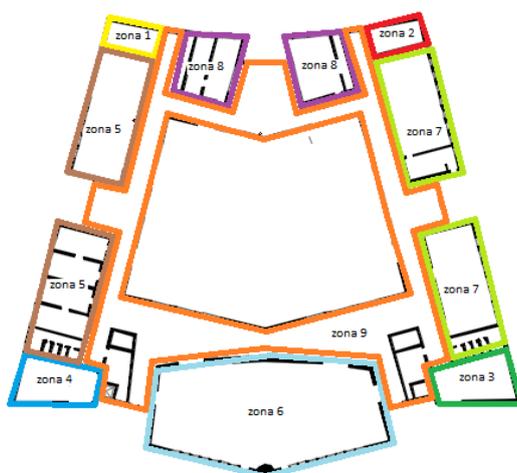


Figura 45 Divisione a zone piano terra Pentagono

destinazione d'uso	n. zona	Superfici (m <sup>2</sup> )	Altezza (m)	Volumi (m <sup>3</sup> )
vano scale N-O	zona 1	22	3,8	83,6
vano scale N-E	zona 2	22	3,8	83,6
vano Scale S-E	zona 3	78	3,8	296,4
vano scale S-O	zona 4	76	3,8	288,8
laboratorio+ufficio	zona 5	220	3,8	836
aula magna	zona 6	370	3,8	1406
aule	zona 7	225	3,8	855
ufficio	zona 8	92	3,8	349,6
corridoio	zona 9	730	3,15	2299,5

Tabella 50 Destinazione d'uso e volumetria zone piano terra Pentagono

Il primo piano è stato diviso in 9 zone distinte:

le prime 4 zone rappresentano 4 vani scale posti agli angoli dell'edificio;

la zona 5 situata sul lato ovest corrisponde a locali adibiti ad ufficio e a laboratori;

la zona 6 posta in corrispondenza del lato sud rappresenta l'aula magna;

la zona 7 posta sul lato est contiene aule didattiche;

la zona 8 contiene degli uffici e si trova sul lato nord;

la zona 9 contiene tutto il corridoio del piano.

Per la simulazione come dati al contorno si è utilizzato lo stesso file di input.

	riscaldamento	orario accensione	orario spegnimento	temperatura mantenuta
zona 1	no	-	-	-
zona 2	no	-	-	-
zona 3	no	-	-	-
zona 4	no	-	-	-
zona 5	no	07:00	19:00	22
zona 6	no	07:00	19:00	22
zona 7	si	07:00	19:00	22
zona 8	no	07:00	19:00	22
zona 9	no	-	-	-

*Tabella 51 Schedule impostata per il periodo di riscaldamento piano terra Pentagono*

	raffrescamento	orario accensione	orario spegnimento	temperatura mantenuta
zona 1	no	-	-	-
zona 2	no	-	-	-
zona 3	no	-	-	-
zona 4	no	-	-	-
zona 5	no	07:00	19:00	26
zona 6	no	07:00	19:00	26
zona 7	si	07:00	19:00	26
zona 8	no	07:00	19:00	26
zona 9	no	-	-	-

*Tabella 52 Schedule impostata per il periodo di raffrescamento piano terra Pentagono*

I carichi interni comprendenti persone e pc sono stati riportati in tabella 53.

destinazione d'uso	n. zona	persone	Computer	ventilazione [vol/h]
vano scale N-O	zona 1	-	-	-
vano scale N-E	zona 2	-	-	-
vano Scale S-E	zona 3	-	-	-
vano scale S-O	zona 4	-	-	-
laboratorio+ufficio	zona 5	22	22	3,63
aula magna	zona 6	185	-	3,63
aule	zona 7	113	-	3,63
ufficio	zona 8	9	9	3,63
corridoio	zona 9	-	-	-

*Tabella 53 Carichi interni piano terra Pentagono*

#### 4.4.3 Piano primo

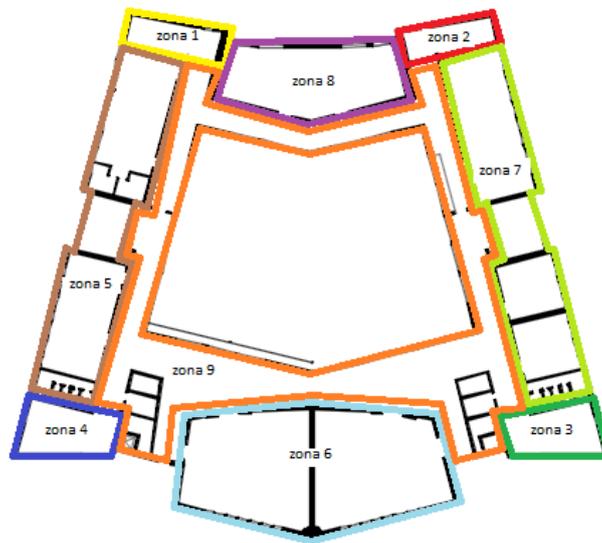


Figura 46 Divisione a zone piano primo Pentagono

destinazione d'uso	n. zona	Superfici (m <sup>2</sup> )	Altezza (m)	Volumi (m <sup>3</sup> )
vano scale N-O	zona 1	37	3,5	129,5
vano scale N-E	zona 2	33	3,5	115,5
vano Scale S-E	zona 3	78	3,5	273
vano scale S-O	zona 4	79	3,5	276,5
laboratorio+aule	zona 5	258	3,5	903
aule	zona 6	354	3,5	1239
laboratorio+aule	zona 7	233	3,5	815,5
aula	zona 8	145	3,5	507,5
corridoio	zona 9	728	3,5	2548

Tabella 54 Destinazione d'uso e volumetria zone piano primo Pentagono

Anche il piano secondo è stato diviso in 9 zone:

le prime 4 corrispondono ai soliti vani scale che permettono il passaggio tra i piani.

Nel lato ovest è situata la zona 7 contenente laboratori e aule, nel lato sud c'è un'aula didattica (zona 6), ad est ci sono ancora aule e laboratori mentre nel lato nord c'è ancora un'aula didattica.

La zona 9 racchiude tutto il corridoio.

Per l'analisi del fabbisogno si è reso necessario impostare alcuni parametri per definire la richiesta termica delle zone.

Questi parametri sono stati inseriti mediante un file di input i cui valori sono riportati in tabella 55.

	riscaldamento	orario accensione	orario spegnimento	temperatura mantenuta
zona 1	no	-	-	-
zona 2	no	-	-	-
zona 3	no	-	-	-
zona 4	no	-	-	-
zona 5	no	07:00	19:00	22
zona 6	no	07:00	19:00	22
zona 7	si	07:00	19:00	22
zona 8	no	07:00	19:00	22
zona 9	no	-	-	-

*Tabella 55 Schedule impostata per il periodo di riscaldamento piano primo Pentagono*

	raffrescamento	orario accensione	orario spegnimento	temperatura mantenuta
zona 1	no	-	-	-
zona 2	no	-	-	-
zona 3	no	-	-	-
zona 4	no	-	-	-
zona 5	no	07:00	19:00	26
zona 6	no	07:00	19:00	26
zona 7	si	07:00	19:00	26
zona 8	no	07:00	19:00	26
zona 9	no	-	-	-

*Tabella 56 Schedule impostata per il periodo di raffrescamento piano primo Pentagono*

Per ogni zona è stato poi inserito il rispettivo carico interno stimando il numero di persone e computer al loro interno.

destinazione d'uso	n. zona	persone	Computer	ventilazione [vol/h]
vano scale N-O	zona 1	-	-	-
vano scale N-E	zona 2	-	-	-
vano Scale S-E	zona 3	-	-	-
vano scale S-O	zona 4	-	-	-
laboratorio+aule	zona 5	205	11	3,63
aule	zona 6	177	-	3,63
laboratorio+aule	zona 7	70	11	3,63
aula	zona 8	73	-	3,63
corridoio	zona 9	-	-	-

*Tabella 57 Carichi interni piano primo Pentagono*

#### 4.4.4 Piano secondo

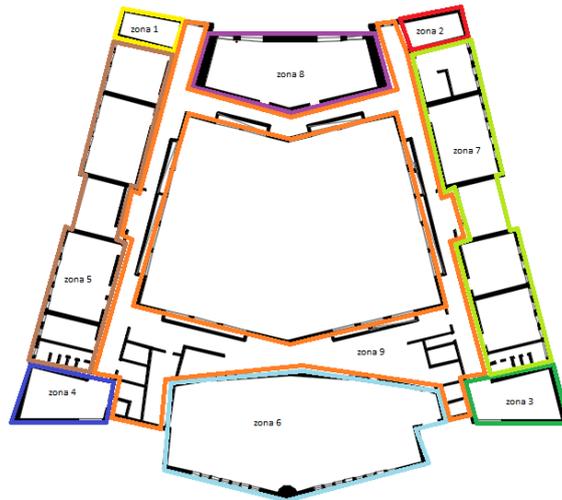


Figura 47 Divisione a zone piano secondo Pentagono

destinazione d'uso	n. zona	Superfici (m <sup>2</sup> )	Altezza (m)	Volumi (m <sup>3</sup> )
vano scale N-O	zona 1	37	3,5	129,5
vano scale N-E	zona 2	33	3,5	115,5
vano Scale S-E	zona 3	78	3,5	273
vano scale S-O	zona 4	79	3,5	276,5
laboratorio+aule	zona 5	258	3,5	903
aule	zona 6	354	3,5	1239
laboratorio+aule	zona 7	233	3,5	815,5
aula	zona 8	145	3,5	507,5
corridoio	zona 9	728	3,5	2548

Tabella 58 Destinazione d'uso e volumetria zone piano secondo Pentagono

Le prime 4 zone corrispondono ai vani scale.

Le zone 5 e 7 situate sui lati ovest ed est corrispondono ad aule e laboratori.

Le zone 6 e 8 corrispondono ad alcune aule poste sui lati nord e sud.

La zona 9 corrisponde al corridoio

Come per i piani precedenti le condizioni al contorno sono state prese dal file di input.

	riscaldamento	orario accensione	orario spegnimento	temperatura mantenuta
zona 1	no	-	-	-
zona 2	no	-	-	-
zona 3	no	-	-	-
zona 4	no	-	-	-
zona 5	no	07:00	19:00	22
zona 6	no	07:00	19:00	22
zona 7	si	07:00	19:00	22
zona 8	no	07:00	19:00	22
zona 9	no	-	-	-

*Tabella 59 Schedule impostata per il periodo di riscaldamento piano secondo Pentagono*

	raffrescamento	orario accensione	orario spegnimento	temperatura mantenuta
zona 1	no	-	-	-
zona 2	no	-	-	-
zona 3	no	-	-	-
zona 4	no	-	-	-
zona 5	no	07:00	19:00	26
zona 6	no	07:00	19:00	26
zona 7	si	07:00	19:00	26
zona 8	no	07:00	19:00	26
zona 9	no	-	-	-

*Tabella 60 Schedule impostata per il periodo di raffrescamento piano secondo Pentagono*

Ad ogni zona sono stati assegnati i rispettivi valori di carichi interni.

destinazione d'uso	n. zona	persone	Computer	ventilazione [vol/h]
vano scale N-O	zona 1	-	-	-
vano scale N-E	zona 2	-	-	-
vano Scale S-E	zona 3	-	-	-
vano scale S-O	zona 4	-	-	-
laboratorio+aule	zona 5	40	11	3,63
biblioteca+sala lettura	zona 6	290	-	3,63
laboratorio+aule	zona 7	97	11	3,63
aula informatica	zona 8	71	-	3,63

*Tabella 61 Carichi interni piano secondo Pentagono*

#### **4.5 Analisi del comfort termico**

Per l'edificio Stecca 1 inoltre si è valutato l'indice di discomfort termico negli spazi riscaldati all'interno della struttura.

Quest'indice di discomfort termico è stato ricavato seguendo la norma EN 16798 che definisce una temperatura operante standard per edifici che utilizzano la ventilazione meccanica controllata [27].

Prendendo come riferimento gli edifici adibiti ad uffici e aule didattiche, si è assunta una classe II che prevede che la percentuale di persone insoddisfatte delle condizioni all'interno della zona considerata sia inferiore al 10% del totale.

La temperatura operante definita dalla norma per questa classe è di 20°C ed è stata confrontata con la temperatura operante ottenuta dalle simulazioni corrispondente alla media tra la temperatura dell'aria in ambiente e la temperatura delle pareti.

Si sono sommate poi tutte le differenze tra temperatura operante ricavata dalla simulazione e temperatura operante standard definita dalla norma, rilevando solo i valori dei periodi in cui quest'ultima era maggiore di quella ottenuta dalla simulazione.

La somma di questa differenza di temperatura definisce un parametro che può essere utilizzato per verificare lo stato di comfort all'interno delle zone dell'edificio e poter ipotizzare soluzioni per limitare i periodi di percezione di disagio (discomfort) da parte dei fruitori degli spazi.

## 5 Risultati delle simulazioni

Attraverso Simulation Studio si è eseguita la simulazione dinamica dell'edificio riuscendo a ricavare i fabbisogni termici per tutte le 8760 ore dell'anno.

Da questa simulazione quindi otteniamo i valori di temperatura e la richiesta termica di caldo e freddo per ogni zona.

Si sono eseguite due simulazioni distinte per ogni edificio: la prima rappresenta il comportamento attuale dell'impianto con il sistema di ventilazione meccanico che funziona 4 ore al giorno nel periodo di riscaldamento, e funziona per tutto il periodo di raffrescamento, mentre la seconda è stata realizzata ipotizzando che il sistema di ventilazione meccanico funzioni per tutto il periodo di funzionamento dell'impianto sia nel periodo estivo sia invernale.

### 5.1 Risultati Stecca 1

#### 5.1.1 Fabbisogno per riscaldamento

I valori di richiesta termica relativi al periodo di riscaldamento valutati nella prima simulazione che rappresenta il caso attuale, corrispondono a quelli esposti in figura 47.

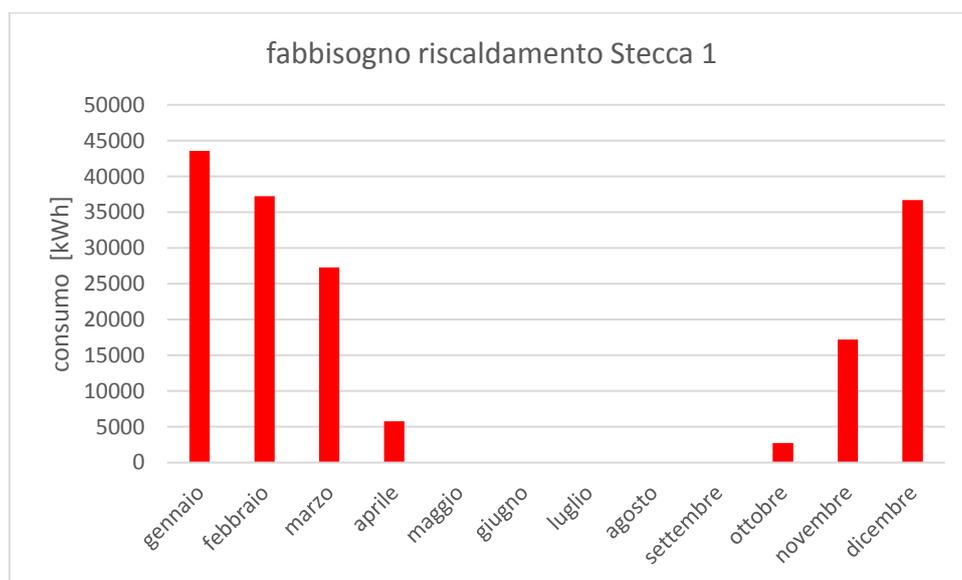


Figura 48 Fabbisogno riscaldamento Stecca 1

Come prevedibile i consumi maggiori si verificano nel periodo invernale con valore massimo per il mese di gennaio.

Mentre sono nulli nei mesi estivi e prossimi a zero nei mesi di aprile e ottobre.

Il grafico precedente può essere anche visualizzato dividendo il consumo mensile per ogni piano, in questo modo si rappresenta il contributo di ogni piano al consumo mensile totale.

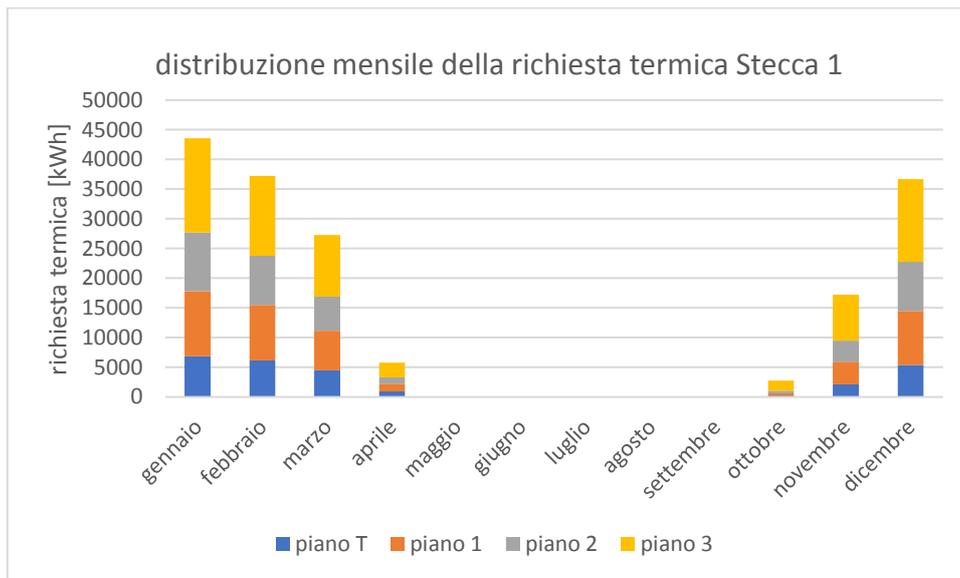


Figura 49 Distribuzione mensile della richiesta termica Stecca 1

Al posto di considerare il consumo mese per mese si può visualizzare anche il contributo di ogni singolo piano al consumo totale dell'edificio.

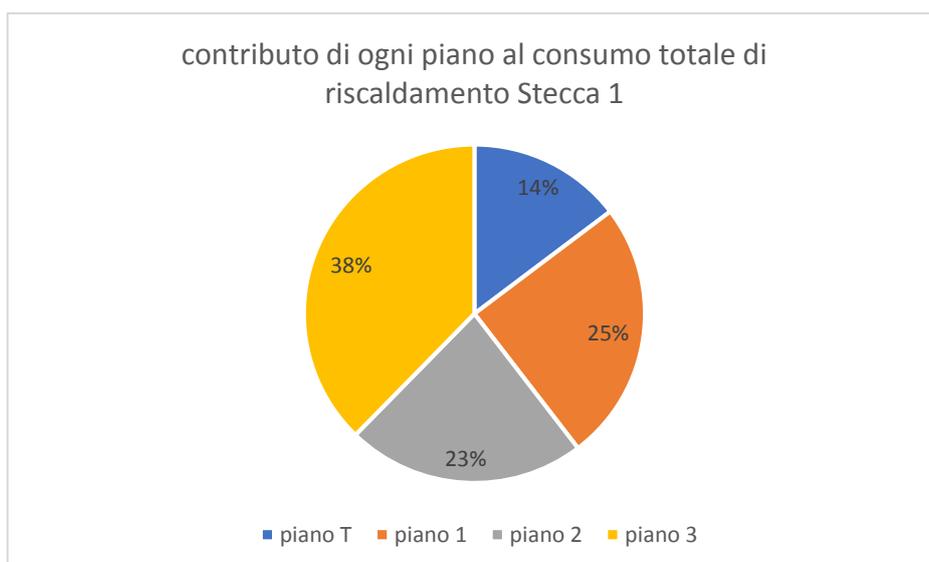


Figura 50 Contributo di ogni piano al consumo totale di riscaldamento Stecca 1

Come prevedibile il piano che contribuisce di più al consumo è l'ultimo in quanto ha il soffitto che comunica con l'ambiente esterno.

Il primo piano contribuisce più del secondo alla richiesta termica dell'edificio perché confina con il piano terra che è per alcune parti non riscaldato.

Dalla simulazione è stato possibile anche ottenere il valore di picco per quanto riguarda il fabbisogno in riscaldamento che corrisponde a 558 kW.

La seconda simulazione, effettuata considerando un funzionamento del sistema di ventilazione totalmente sovrapposto a quello dell'impianto di riscaldamento, presenta i valori di richiesta termica esposti in figura 50.

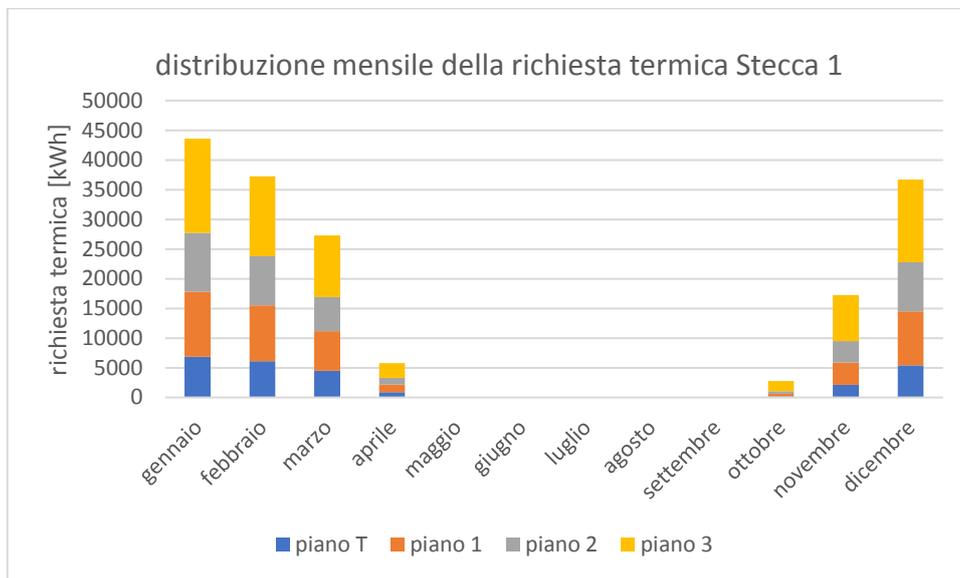
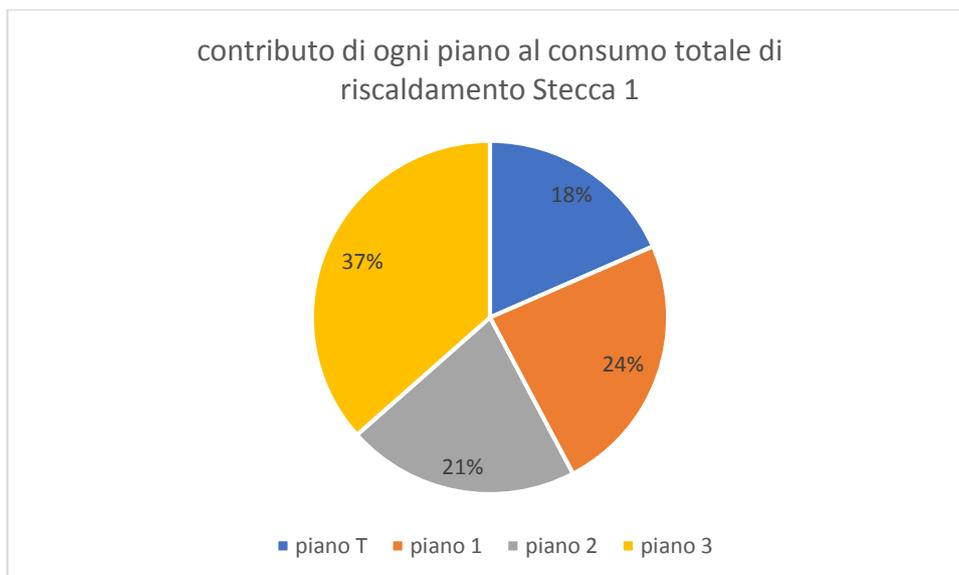


Figura 51 Distribuzione mensile della richiesta termica Stecca 1 caso ipotizzato



*Figura 52 Contributo di ogni piano al consumo totale di riscaldamento Stecca 1 caso ipotizzato*

Rispetto alla simulazione precedente la distribuzione mensile di richiesta termica dell'edificio ed il contributo di ogni piano al consumo totale sono simili, ma cambiano le potenze di picco e il computo totale dei consumi.

	CASO ATTUALE	CASO IPOTIZZATO
picco [kW]	558	480
TOT [MWh]	169	211

*Tabella 62 Stecca 1 - confronto caso attuale con caso ipotizzato*

Il valore totale di richiesta termica aumenta, ma il valore di picco diminuisce in quanto le variazioni di carico durante il funzionamento dell'impianto sono minori.

### 5.1.3 Fabbisogno per raffrescamento

Lo stesso ragionamento fatto per la richiesta termica di riscaldamento può essere eseguito per la richiesta in raffrescamento.

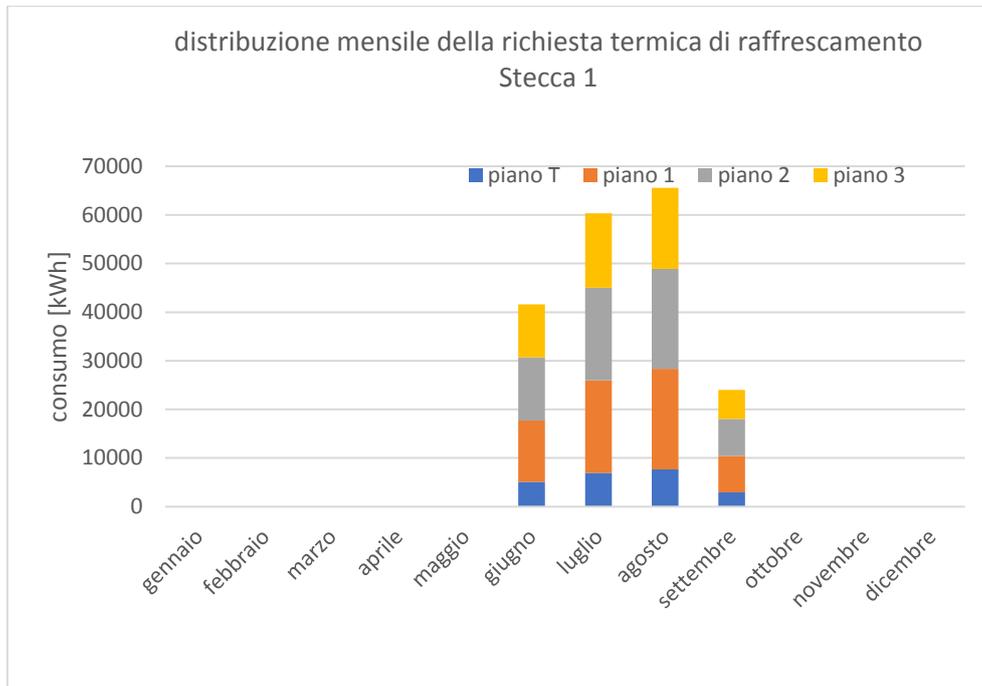
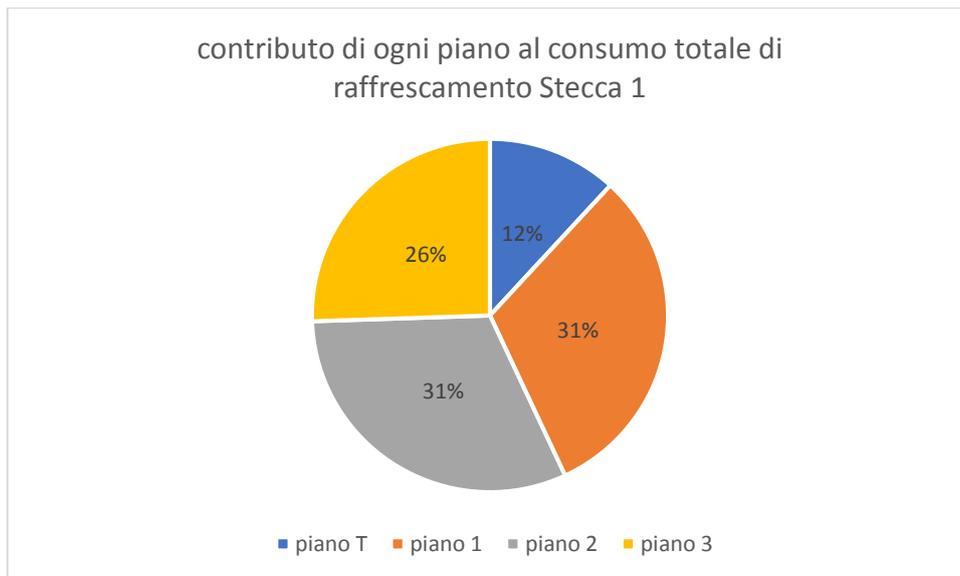


Figura 53 Richiesta termica mensile di raffrescamento Stecca 1

Si rappresenta quindi il consumo mensile della richiesta termica per raffrescamento che verrà soddisfatta dal sistema di climatizzazione.

Da questo si vede come per ogni mese i piani che presentano la maggior richiesta termica sono i piani intermedi cioè il primo ed il secondo.



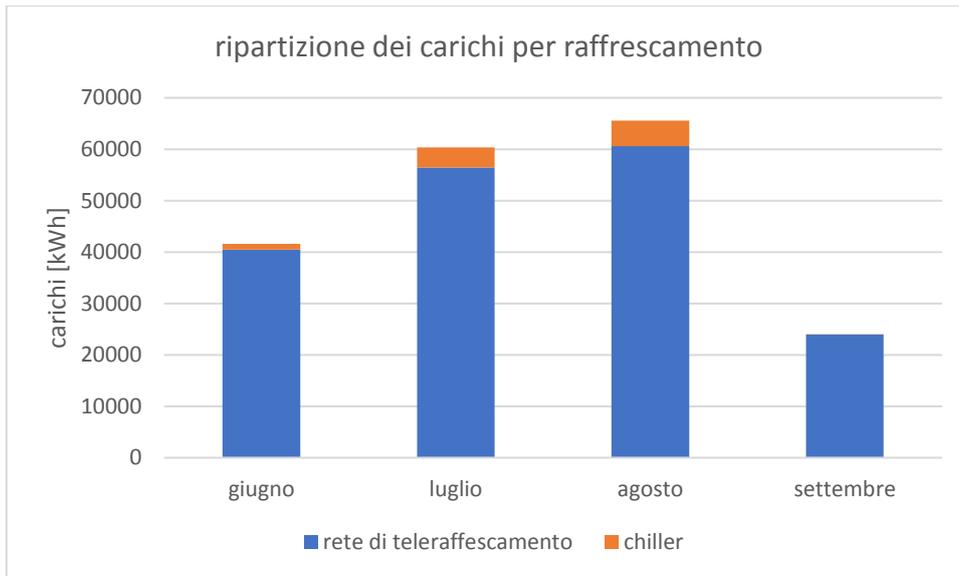
*Figura 54 Contributo di ogni piano al consumo totale di raffrescamento Stecca 1*

Anche dal grafico dei consumi totale risulta che i piani intermedi presentano seppur di poco la maggior parte di richiesta termica per raffrescamento.

Durante il periodo di raffrescamento estivo, il valore di picco di potenza richiesta è maggiore della taglia dello scambiatore di calore.

Perciò durante il periodo in cui la potenza da fornire è maggiore della taglia dello scambiatore, questa viene integrata da dei chiller ausiliari.

È ragionevole ipotizzare che si sfrutti appieno la rete di teleriscaldamento e si utilizzino i chiller solo per coprire la richiesta in eccesso non soddisfatta dalla rete.



*Figura 55 Ripartizione dei carichi tra rete di teleraffrescamento e chiller Stecca 1*

## 5.2 Risultati Stecca 2

Anche per quanto riguarda l'edificio Stecca 2 attraverso la simulazione dinamica si è potuto risalire alla richiesta termica mensile di riscaldamento e raffrescamento.

Come nel caso precedente, sono state svolte due simulazioni:

- una con la configurazione attuale con il funzionamento del sistema di ventilazione meccanica per 4 ore al giorno durante la stagione di riscaldamento;
- una con la configurazione ipotizzata con il funzionamento del sistema di ventilazione per tutta la durata di funzionamento del sistema di riscaldamento.

### 5.2.1 Fabbisogni per riscaldamento

I valori di richiesta termica relativi al periodo di riscaldamento valutati nella prima simulazione che rappresenta il caso attuale, corrispondono a quelli esposti in figura 55.

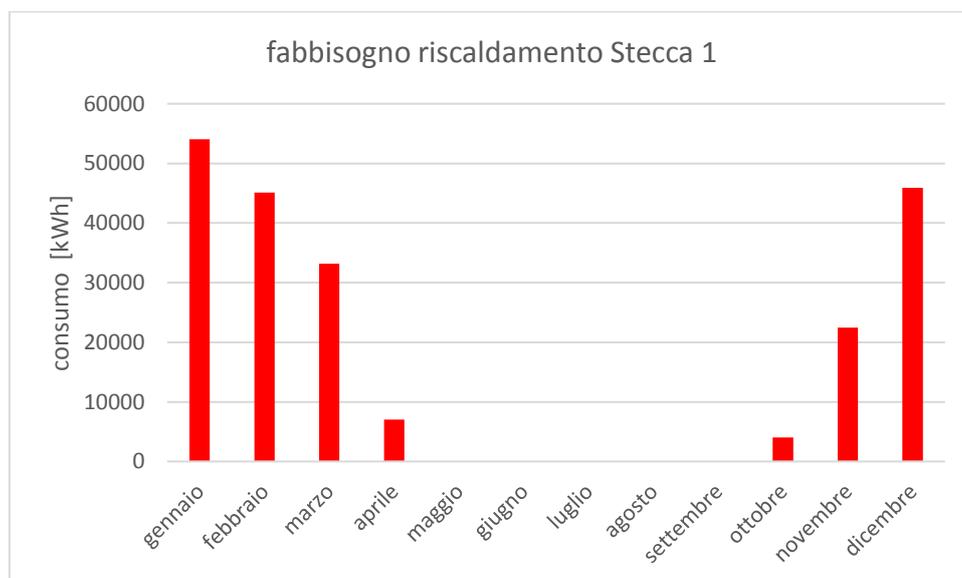


Figura 56 Fabbisogno riscaldamento Stecca 2

I consumi risultano simili a quelli dell'edificio Stecca 1 in quanto hanno conformazione, planimetria e destinazione d'uso dei locali simile.

L'edificio Stecca 2 però presenta una richiesta termica l'leggermente superiore in quanto al piano terra è stata realizzata un'aula didattica in corrispondenza del portico presente nell'edificio Stecca 1.

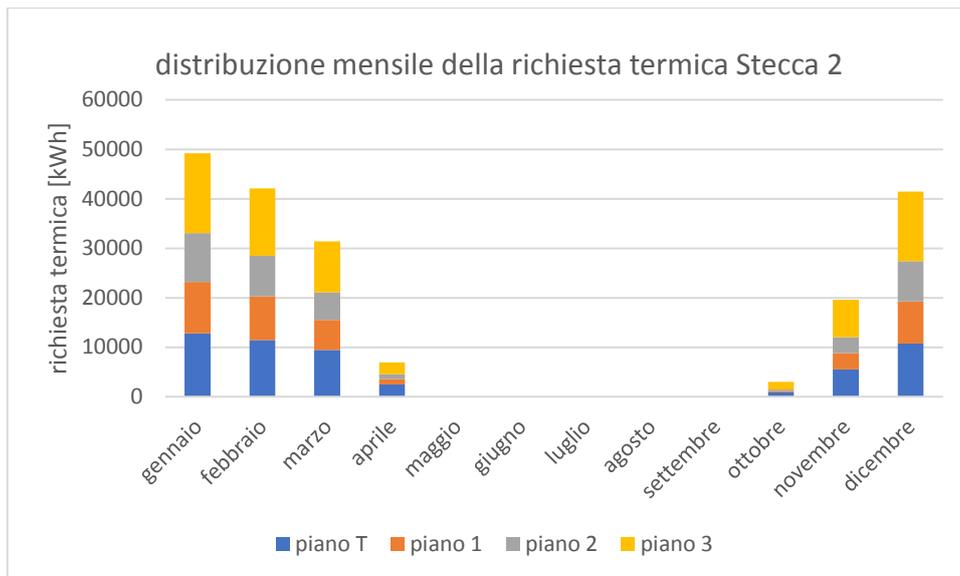


Figura 57 Distribuzione mensile della richiesta termica Stecca 2

Infatti, come si può vedere dalla richiesta termica mensile divisa per singolo piano dell'edificio, il fabbisogno termico del piano terra rispetto al caso dell'edificio Stecca 1 risulta più rilevante.

Questo si vede ancor più chiaramente andando a visualizzare il peso di ogni piano sul consumo totale dell'edificio.

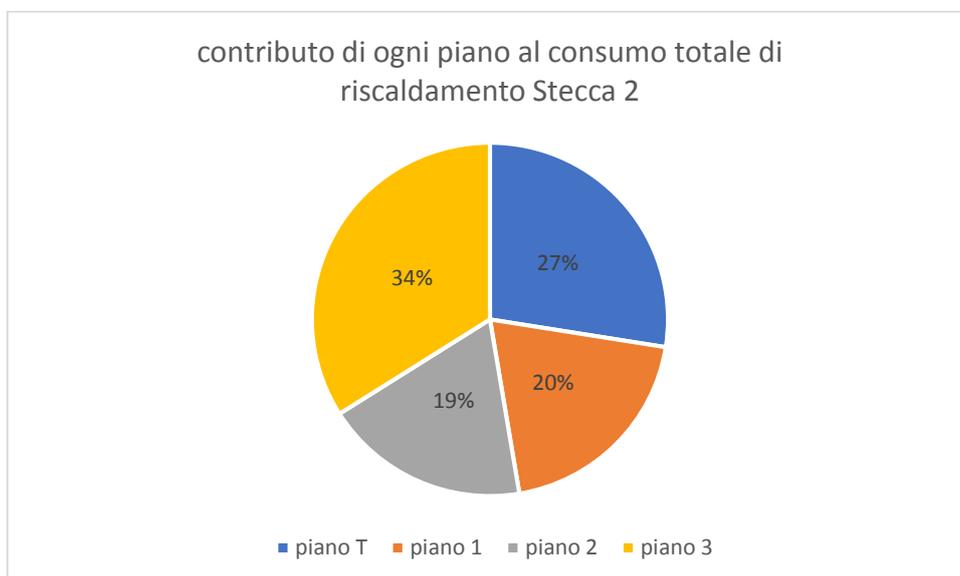


Figura 58 Contributo di ogni piano al consumo totale di riscaldamento Stecca 2

Come nell'edificio Stecca 1 il terzo piano è quello in cui la richiesta è maggiore, ma rispetto al caso precedente il peso del piano terra è sensibilmente maggiore.

Il valore di picco per il riscaldamento invernale, ricavato dalla simulazione, è pari a 582 kW.

La seconda simulazione, effettuata considerando un funzionamento del sistema di ventilazione totalmente sovrapposto a quello dell'impianto di riscaldamento, presenta i valori di richiesta termica esposti in figura 58.

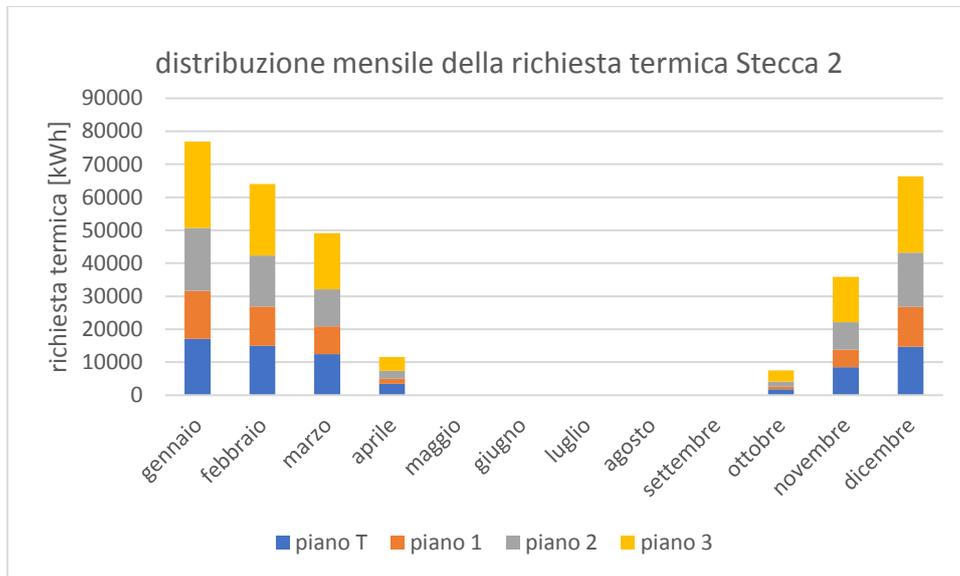


Figura 59 Distribuzione mensile della richiesta termica Stecca 2 caso ipotizzato

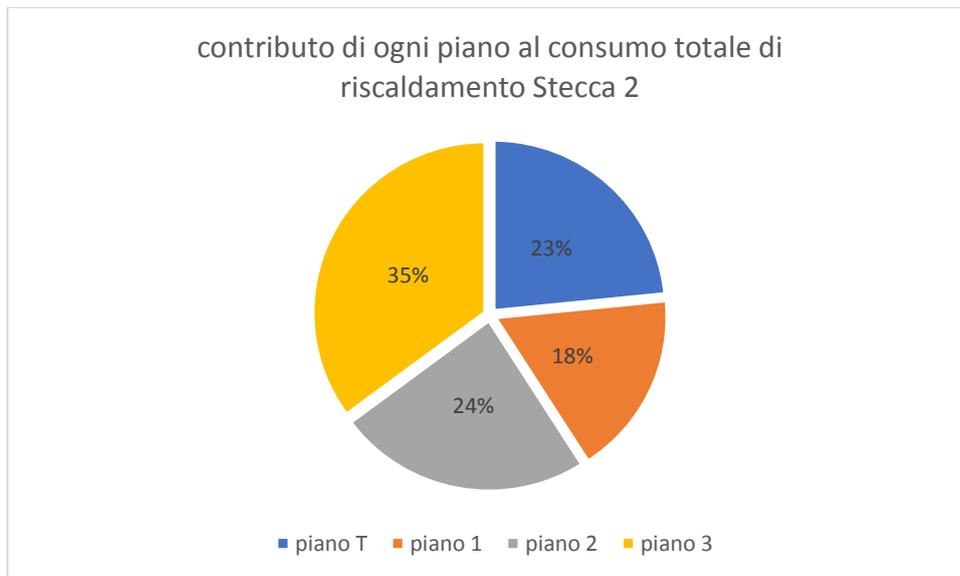


Figura 60 Contributo di ogni piano al consumo totale di riscaldamento Stecca 2 caso ipotizzato

La distribuzione mensile di richiesta termica ed il contributo di ogni piano al consumo totale sono simili al caso attuale, ma cambiano le potenze di picco e il computo totale.

	CASO ATTUALE	CASO IPOTIZZATO
picco [kW]	558	546
TOT [MWh]	169	267

Tabella 63 Stecca 2 - confronto caso attuale con caso ipotizzato

Come nel caso della simulazione dell'edificio Stecca 1 il valore totale di richiesta termica aumenta, ma il valore di picco diminuisce in quanto le variazioni di carico durante il funzionamento dell'impianto sono minori.

### 5.2.2 Fabbisogni per raffrescamento

Anche per la richiesta termica per raffrescamento si sono aggregati i valori orari di richiesta in valori mensili per renderli più comprensibili.

I mesi di maggior richiesta come prevedibile sono i mesi estivi (luglio, agosto).

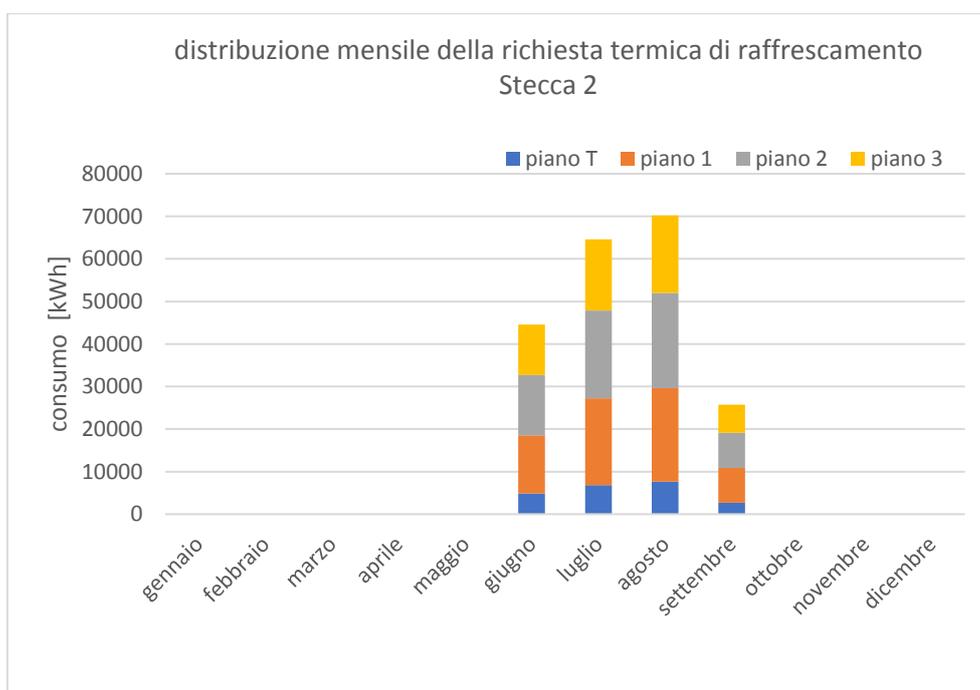


Figura 61 Richiesta termica mensile di raffrescamento Stecca 2

I consumi mensili sono stati divisi anche per singoli piani da cui si vede che i piani con maggior richiesta termica sono i piani centrali sia per quanto riguarda le richieste dei singoli mesi, sia per quanto riguarda la richiesta globale.

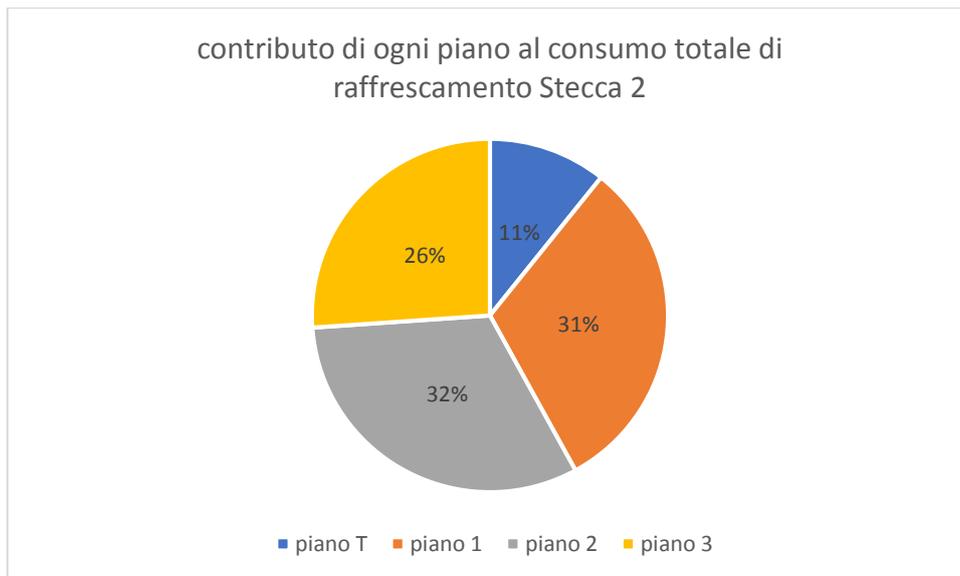


Figura 62 Contributo di ogni piano al consumo totale di raffrescamento Stecca 2

Come nel caso dell'edificio Stecca 1, il periodo di raffrescamento estivo presenta il valore di picco di potenza richiesta, maggiore della taglia dello scambiatore di calore.

Perciò, durante il periodo in cui la potenza da fornire è maggiore della taglia dello scambiatore, questa viene integrata da dei chiller ausiliari.

È ragionevole ipotizzare che si sfrutti appieno la rete di teleriscaldamento e si utilizzino i chiller solo per coprire la richiesta in eccesso non soddisfatta dalla rete.

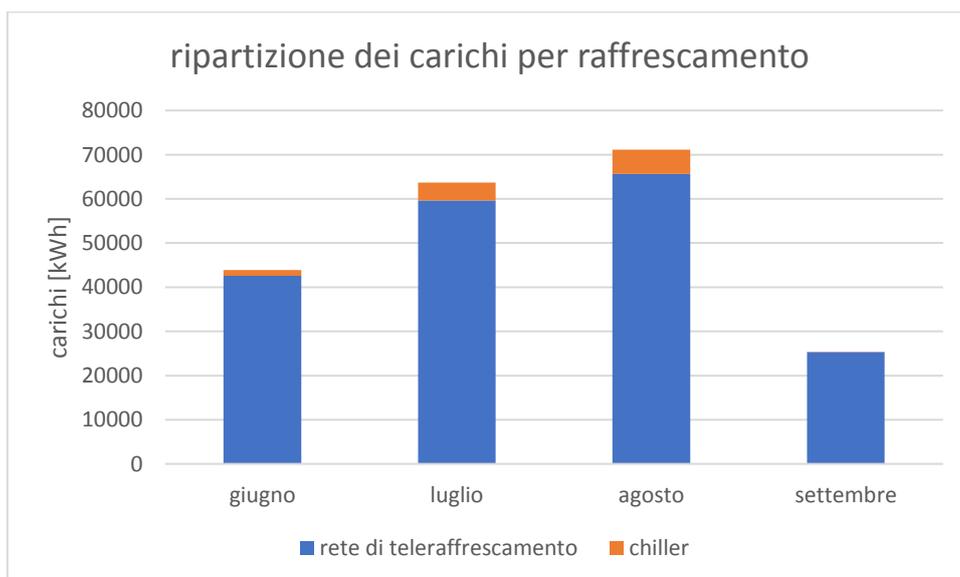


Figura 63 Ripartizione dei carichi tra rete di teleraffrescamento e chiller Stecca 2

### 5.3 Risultati Pentagono

Attraverso la simulazione dinamica si sono ottenuti i valori di richiesta termica di riscaldamento e raffrescamento dell'edificio durante tutto il periodo dell'anno.

Sono state svolte due simulazioni:

una che rappresenta il caso reale con la ventilazione meccanica estiva presente per 4 ore al giorno, l'altra con la ventilazione meccanica presente nello stesso periodo di funzionamento dell'impianto di riscaldamento.

#### 5.3.1 Fabbisogno per riscaldamento

I valori di richiesta termica relativi al periodo di riscaldamento valutati nella prima simulazione che rappresenta il caso attuale, corrispondono a quelli esposti in figura 63.

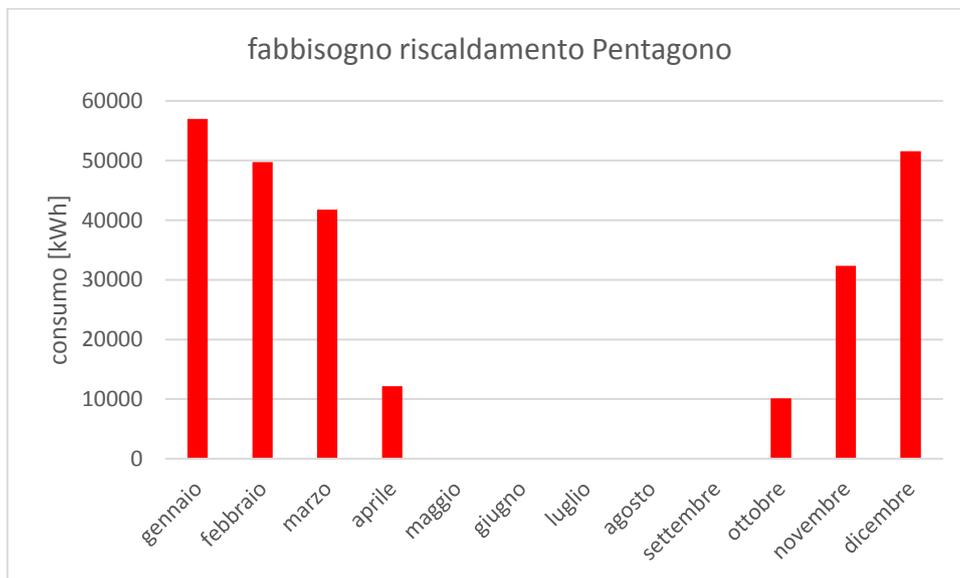


Figura 64 Fabbisogno riscaldamento Pentagono

I mesi di maggior fabbisogno sono i mesi invernali mentre i mesi primaverili ed autunnali hanno una richiesta termica minore.

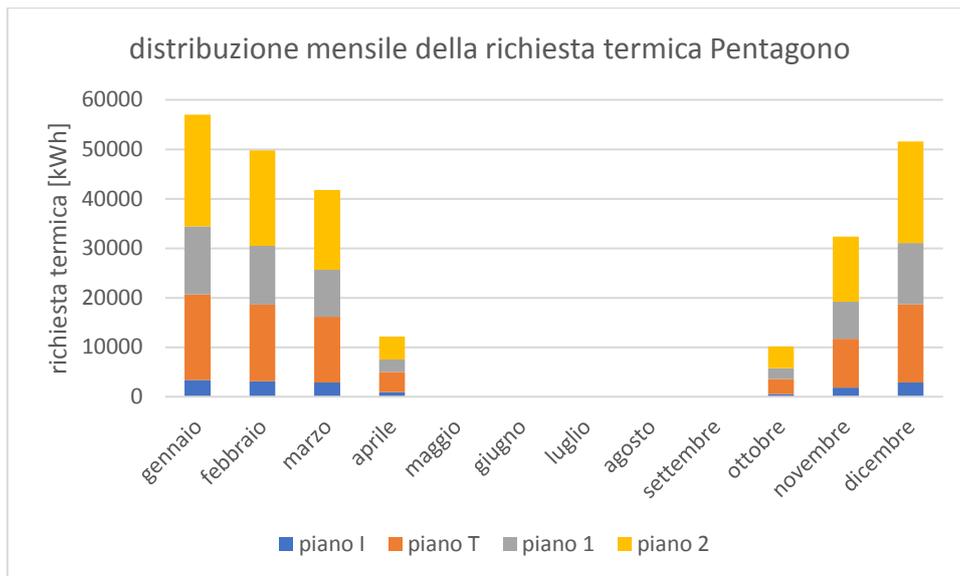


Figura 65 Distribuzione mensile della richiesta termica Pentagono

Dividendo il fabbisogno di ogni mese per ogni piano dell'edificio in modo da associare ad ognuno di essi la propria quota del totale, risulta che i piani più influenti sul fabbisogno totale sono il piano terra e il secondo piano.

Questo perché il piano interrato presenta pochi ambienti riscaldati e il primo piano confina con due piani riscaldati, mentre il piano terra confina con il piano interrato non riscaldato e il secondo piano confina con l'ambiente esterno attraverso la copertura.

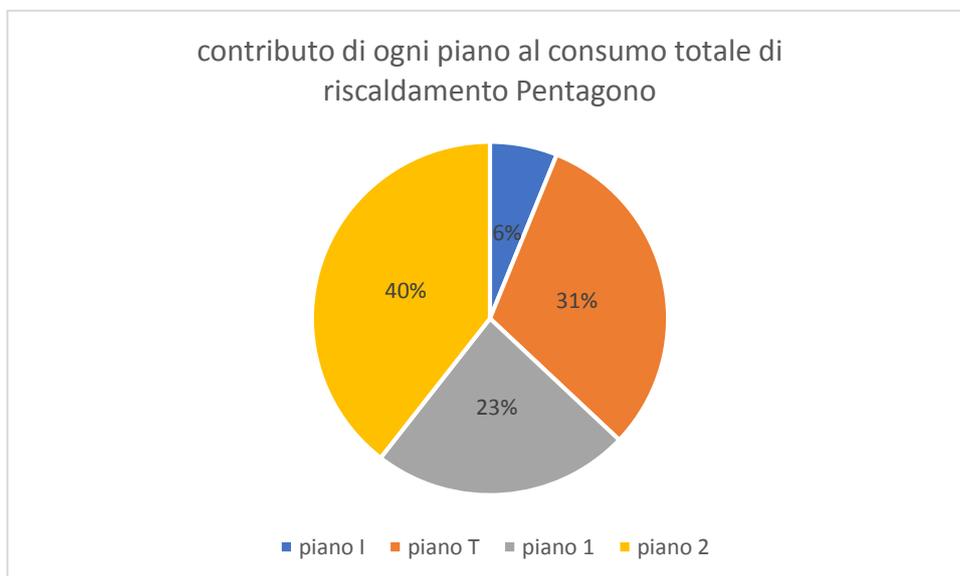


Figura 66 Contributo di ogni piano al consumo totale di riscaldamento Pentagono

Anche il consumo totale cumulato ci indica che i piani a maggior fabbisogno sono il piano terra e il secondo piano con il piano interrato quasi influente.

Il valore di picco per quanto riguarda l'edificio pentagono corrisponde a 551 kW.

La seconda simulazione, effettuata considerando un funzionamento del sistema di ventilazione totalmente sovrapposto a quello dell'impianto di riscaldamento, presenta i valori di richiesta termica esposti in figura 66.

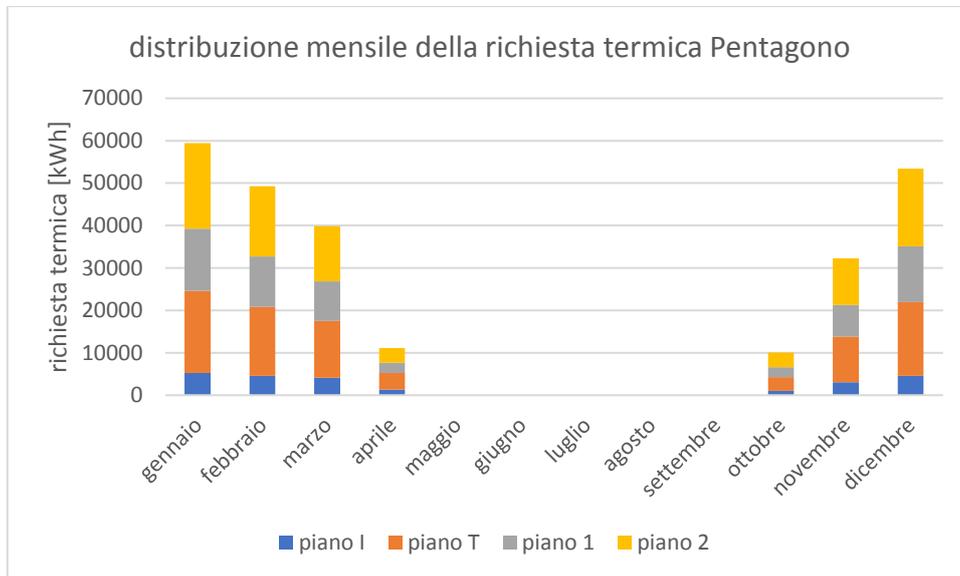


Figura 67 Distribuzione mensile della richiesta termica Pentagono caso ipotizzato

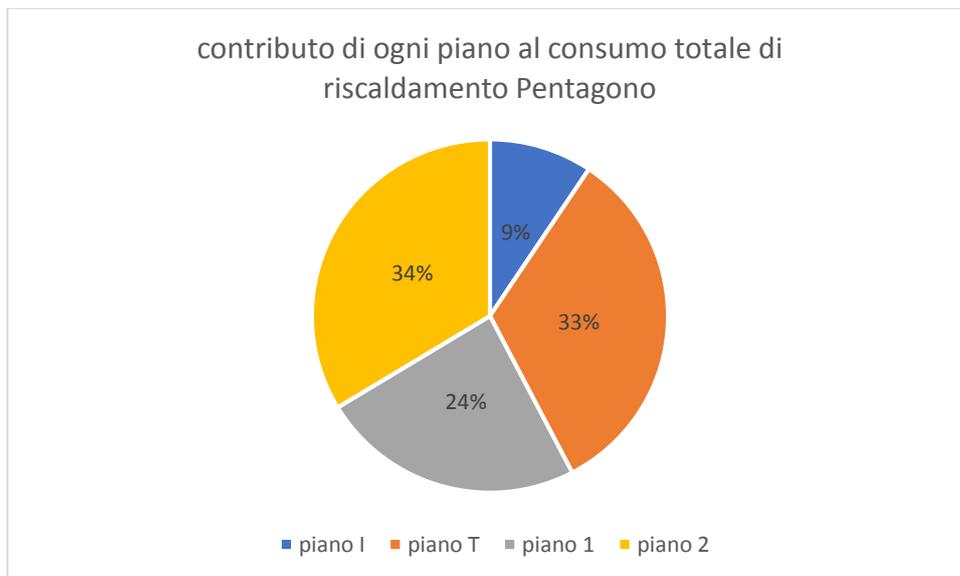


Figura 68 Contributo di ogni piano al consumo totale di riscaldamento Pentagono caso ipotizzato

La distribuzione dei carichi rispetto al caso attuale non cambia, ma variano le potenze di picco ed il fabbisogno complessivo dell'edificio.

	CASO ATTUALE	CASO IPOTIZZATO
picco [kW]	551	509
TOT [MWh]	218	254

Tabella 64 Pentagono - confronto caso attuale con caso ipotizzato

### 5.3.2 Fabbisogno per raffrescamento

Per quanto riguarda i fabbisogni nel periodo di raffrescamento i mesi estivi sono quelli con la richiesta termica maggiore.

Il valore di picco di fabbisogno nel caso di raffrescamento risulta essere maggiore della taglia dello scambiatore per cui, nei periodi in cui questa potenza sarà maggiore, verrà limitata al valore di taglia dello scambiatore.

Dividendo i consumi mensili in base al piano dell'edificio risulta che la richiesta termica del piano interrato è quasi nulla sia perché gli ambienti raffrescati sono pochi sia perché essendo interrato, il piano non è colpito da radiazione solare.

I piani che contribuiscono maggiormente alla richiesta termica di raffrescamento sono il primo ed il secondo.

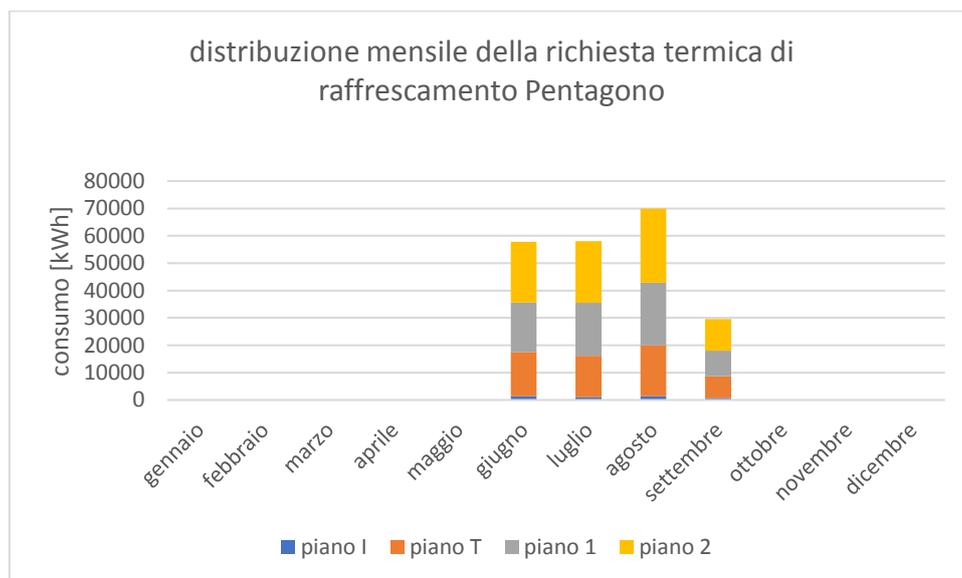


Figura 69 Richiesta termica mensile di raffrescamento Pentagono

Anche andando ad analizzare i consumi cumulati di tutto il periodo di funzionamento dell'impianto di raffrescamento risulta che il piano interrato presenta valori quasi nulli mentre i piani più influenti sono il primo ed il secondo.

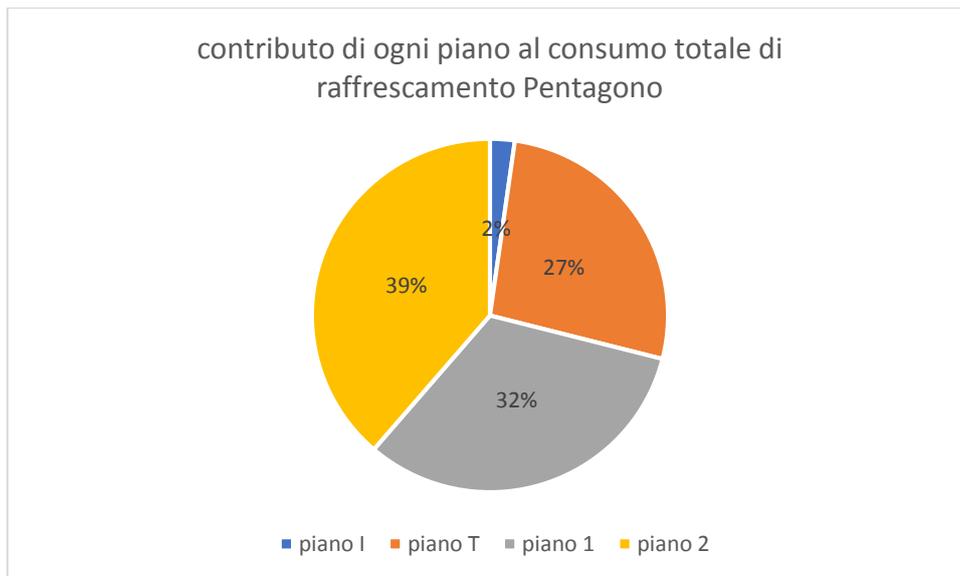


Figura 70 Contributo di ogni piano al consumo totale di raffrescamento Pentagono

Anche per l'edificio Pentagono durante il periodo di raffrescamento estivo, il valore di picco di potenza richiesta è maggiore della taglia dello scambiatore di calore.

Perciò durante il periodo in cui la potenza da fornire è maggiore della taglia dello scambiatore, questa viene integrata da dei chiller ausiliari.

È ragionevole ipotizzare che si sfrutti appieno la rete di teleriscaldamento e si utilizzino i chiller solo per coprire la richiesta in eccesso non soddisfatta dalla rete.

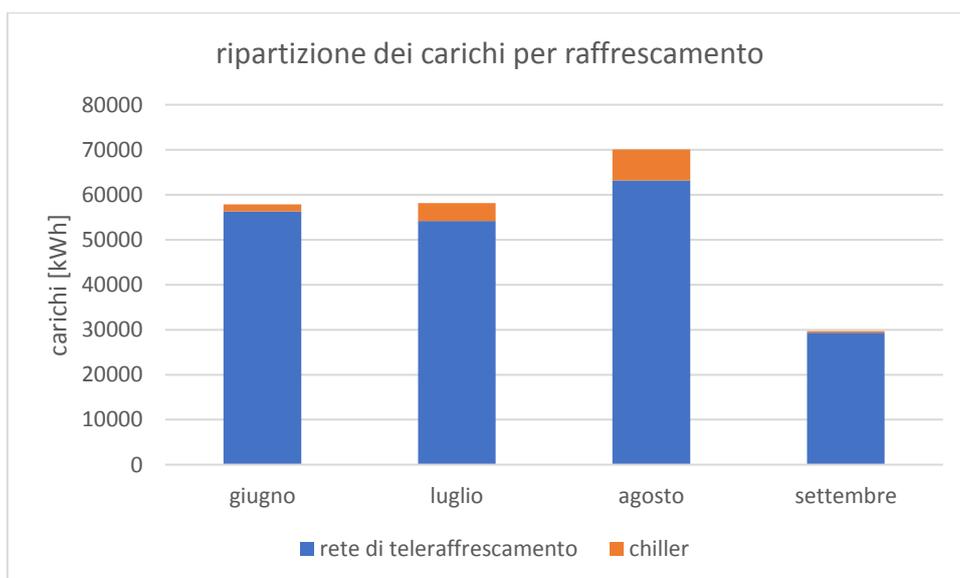


Figura 71 Ripartizione dei carichi tra rete di teleraffrescamento e chiller Pentagono

## 5.4 Risultati con ipotesi di retrofit

Con questo elaborato ci si è posto inoltre l'obiettivo di ottenere una riduzione dei consumi energetici, quindi il modello degli edifici è stato modificato in modo da poterne verificare il comportamento in caso di future migliorie atte appunto a ridurre i consumi energetici.

Si è quindi modificata la composizione dei muri esterni aggiungendo un cappotto esterno e si sono inoltre modificati tutti i serramenti.

I valori di trasmittanza sono stati assunti secondo la tabella 2 del D.M. 26 gennaio 2010 che ne definisce i valori limite per ogni zona climatica per superfici opache e vetrate [24]; cosa che consente di poter poi accedere anche alle detrazioni fiscali relative al conto termico.

Zona climatica	strutture opache verticali	strutture opache orizzontali o inclinate		Chiusure apribili e assimilabili (**)
		Coperture	Pavimenti (*)	
A	0,54	0,32	0,60	3,7
B	0,41	0,32	0,46	2,4
C	0,34	0,32	0,40	2,1
D	0,29	0,26	0,34	2,0
E	0,27	0,24	0,30	1,8
F	0,26	0,23	0,28	1,6

Figura 72 Tabella 2 del D.M. del 26 gennaio 2010

Per raggiungere il valore di trasmittanza previsto per la zona climatica di Legnaro (zona climatica E) si è aggiunto un cappotto esterno di 10 cm, così facendo il valore di trasmittanza raggiunge il valore di 0.26.

materiale	spessore [m]	densità [kg/m <sup>3</sup> ]	conduttività [W/(mk)]
intonaco	0,02	900	0,21
mattonne forato	0,12	1400	0,5
aria	0,04	1,33	0,25
mattonne forato	0,12	1400	0,5
mattoncino	0,04	1400	0,9
isolante	0,1	130	0,035

Tabella 65 Composizione muri con cappotto

Le componenti vetrate sono state sostituite con delle vetrate contenenti argon che presentano un valore di trasmittanza pari a 1.3.

### 5.4.1 Fabbisogni per riscaldamento e raffrescamento con sostituzione delle finestre

Si è simulato il comportamento dell'edificio sostituendo le componenti vetrate originali con componenti vetrate più performanti.

	consumi [MWh]					
	stecca 1		stecca 2		pentagono	
	risc	raff	risc	raff	risc	raff
normale	230	205	292	205	278	216
vetri	155	209	208	228	201	215
% consumi	67%	102%	71%	111%	72%	100%

*Tabella 66 Confronto simulazioni con sostituzione finestre*

Confrontando i risultati della simulazione con il comportamento attuale dell'edificio risulta che, con i nuovi serramenti, i consumi dell'edificio Stecca 1 in riscaldamento si riducono del 23%, quelli della Stecca 2 del 19% e quelli del Pentagono del 18%.

I consumi di raffrescamento però, di contro, aumentano a causa del maggior grado di isolamento in tutti gli edifici, tranne nell'edificio Pentagono il cui grado di isolamento è meno influente avendo un valore di ricambio orario d'aria degli ambienti maggiore.

	Potenze di picco [kW]					
	stecca 1		stecca 2		pentagono	
	risc	raff	risc	raff	risc	raff
normale	480	536	546	571	509	660
vetri	412	538	439	584	367	644

*Tabella 67 Potenze di picco delle simulazioni con sostituzione finestre*

Anche le potenze di picco rispecchiano questi cambiamenti.

## 5.4.2 Fabbisogni per riscaldamento e raffrescamento con inserimento del cappotto

I risultati della simulazione con l'inserimento del cappotto sono riportati in tabella 68.

	consumi [kWh]					
	stecca 1		stecca 2		pentagono	
	risc	raff	risc	raff	risc	raff
normale	230	205	292	205	278	216
cappotto	113	229	161	243	191	226
% consumi	49%	112%	55%	119%	69%	105%

*Tabella 68 Confronto simulazioni con inserimento del cappotto*

I consumi energetici invernali dell'edificio Stecca 1 si sono ridotti del 51% quelli di Stecca 2 del 45% e dell'edificio Pentagono del 31%.

Con l'inserimento del cappotto si ottiene una maggior riduzione dei consumi in riscaldamento rispetto alla simulazione eseguita con la sola sostituzione degli infissi, ma il costo dell'intervento è maggiore.

Anche in questo caso però i consumi per il raffrescamento aumentano.

	potenze di picco [kW]					
	stecca 1		stecca 2		pentagono	
	risc	raff	risc	raff	risc	raff
normale	480	536	546	571	509	660
vetri	306	568	368	604	353	678

*Tabella 69 Potenze di picco delle simulazioni con inserimento del cappotto*

Le potenze di picco rispecchiano l'andamento dei consumi totali, infatti in riscaldamento diminuiscono e in raffrescamento aumentano.

### 5.4.3 Fabbisogni per riscaldamento e raffrescamento con inserimento del cappotto e sostituzione delle finestre

È stata eseguita una simulazione sia con l'inserimento del cappotto sia con la sostituzione degli infissi i cui risultati riepilogati nella seguente tabella indicano che I consumi per il riscaldamento invernale sono molto più bassi.

	Consumi [kWh]					
	stecca 1		stecca 2		pentagono	
	risc	raff	risc	raff	risc	raff
normale	230	205	292	205	278	216
capp+vetri	48	259	87	276	164	230
% consumi	21%	126%	30%	135%	59%	107%

Tabella 70 Confronto simulazioni con inserimento del cappotto e sostituzione finestre

Nel caso di Stecca 1, questi consumi risultano ridotti del 79%, per l'edificio Stecca 2 del 70% e per il Pentagono del 41%.

Come nei casi precedenti i consumi in raffrescamento aumentano.

Questa simulazione, che comporta sia l'inserimento di un cappotto sia la sostituzione dei serramenti, riduce sensibilmente i valori di consumo di energia di riscaldamento, ma di contro è la più costosa.

	potenze di picco [kW]					
	stecca 1		stecca 2		pentagono	
	risc	raff	risc	raff	risc	raff
normale	480	536	546	571	509	660
capp+vetri	209	712	275	703	324	680

Tabella 71 Potenze di picco delle simulazioni con inserimento del cappotto e sostituzione finestre

L'isolamento migliore aumenta sensibilmente il risparmio energetico per gli edifici, maggiormente per quanto riguarda le Stecche e in maniera minore per il Pentagono in quanto il tasso di ricambio orario dell'aria per quest'ultimo è maggiore.

#### 5.4.4 Analisi del comfort termico in riscaldamento

Attraverso il procedimento descritto nel paragrafo 4.5 si è calcolato l'indice di discomfort termico per il periodo di riscaldamento dell'edificio Stecca 1, sia nel caso attuale sia nel caso di riqualificazione energetica.

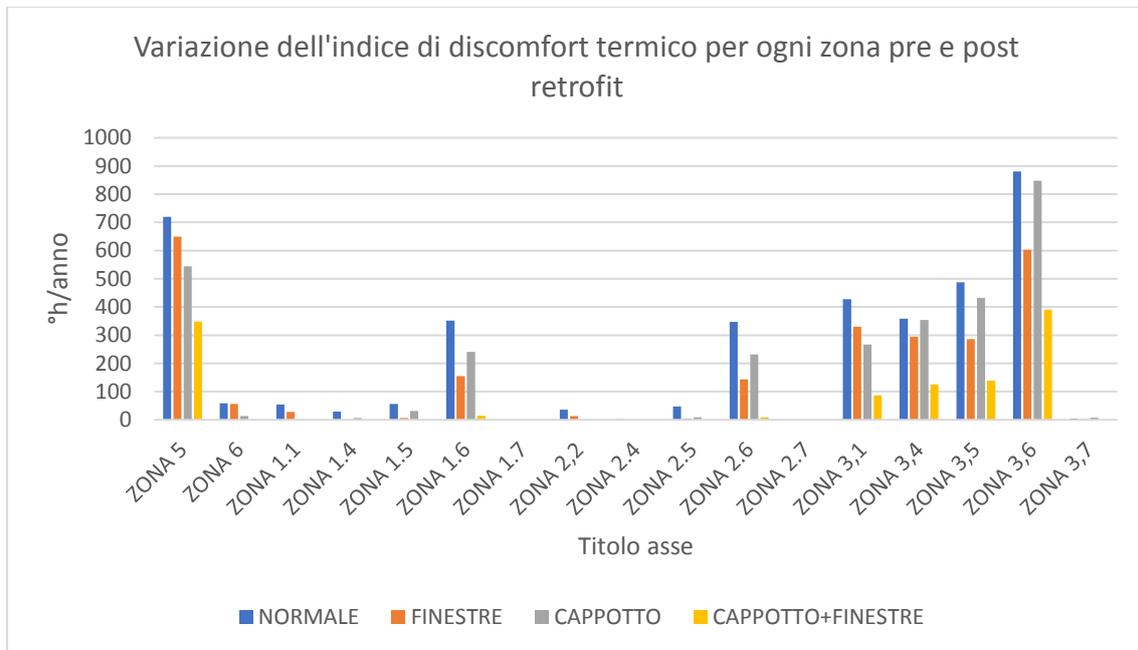


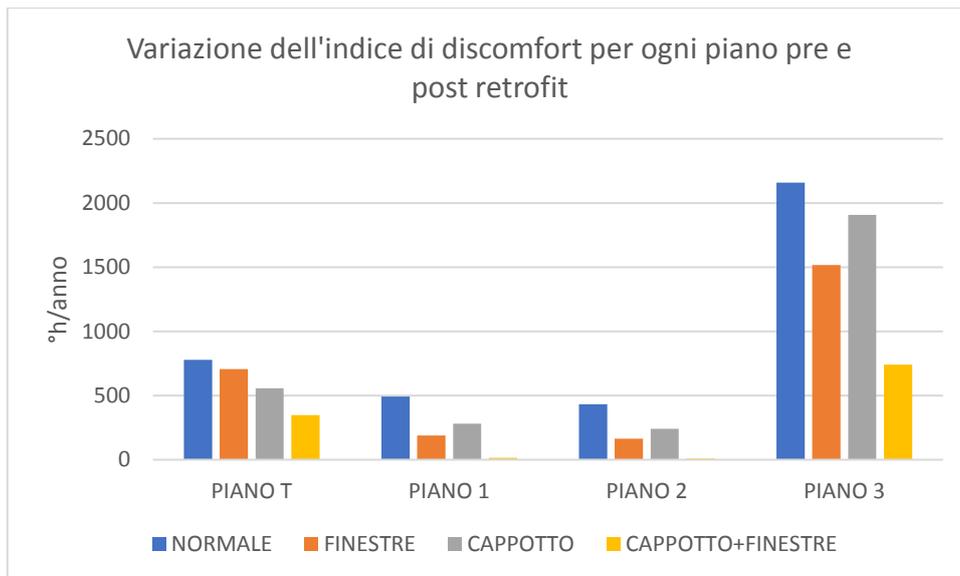
Figura 73 Indice di discomfort termico per ogni zona pre e post retrofit

I risultati dell'analisi, come ci può aspettare, dimostrano che attraverso un processo di riqualificazione energetica, l'indice di discomfort termico diminuisce e quindi, all'interno del periodo di riscaldamento, ci saranno meno ore in cui le condizioni di comfort non rientrano nella classe II della norma EN 16798 [27].

I locali più sensibili al comfort termico sono naturalmente quelli posti sul lato nord, ma anche quelli posti sul lato sud presentano la stessa problematica in quanto sono ombreggiati dall'edificio adiacente Stecca 2.

Nello specifico, dalla figura 73 si nota come queste zone presentano un indice di discomfort maggiore rispetto alle altre zone poste sullo stesso piano.

Aggregando i valori dell'indice di discomfort delle zone, classificandole in base al piano in cui sono situate, si nota come l'ultimo piano, che si trova a contatto con il tetto, presenta un indice di discomfort molto elevato.



*Figura 74 Indice di discomfort termico per ogni piano pre e post retrofit*

Questo significa che in molte ore di funzionamento dell'impianto di riscaldamento non si riescono comunque a raggiungere le condizioni di comfort previste dalla norma, in quanto tra le persone presenti negli ambienti situati al terzo piano la percentuale di insoddisfatti delle condizioni termiche dell'ambiente risulta maggiore del 10% del totale.

## **6 Confronto tra i risultati delle simulazioni e i dati di consumo rilevati.**

### **6.1 Confronto nella stagione di riscaldamento**

Per confrontare i risultati della simulazione con i valori reali misurati attraverso le letture del contatore del gas dobbiamo riportare i dati ottenuti dalla simulazione a condizioni reali.

Infatti per ottenere i risultati della simulazione abbiamo utilizzato come input dati da un file climatico esterno che non rispecchiano le condizioni ambientali esterne del periodo in cui sono state effettuate le rilevazioni del contatore del gas.

Per riportare i dati alle condizioni reali si sono calcolati i Gradi Giorno del periodo di cui sono stati rilevati i consumi.

I Gradi Giorno sono la somma estesa a tutti i giorni, in un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra una temperatura fissata per ogni paese e la temperatura media esterna giornaliera, il metodo di calcolo dei Gradi Giorno è fissata dalla norma UNI EN ISO 15927-6:2008 [23].

Per il calcolo dei Gradi Giorno del periodo di riferimento si sono presi i valori di temperatura media esterna attraverso il sito del ARPAV [4] che monitora i dati climatici di Legnaro.

Per il calcolo dei Gradi Giorno della simulazione Trnsys attraverso Simulation Studio si è creato un file di output con tutte le temperature orarie esterne dell'anno, da questo si sono poi aggregate per ottenere le temperature esterne medie giornaliere.

Poi attraverso un rapporto sono stati riportati i valori della simulazione alle condizioni reali.

I dati della simulazione inoltre non tengono conto dei rendimenti dell'impianto di riscaldamento, ma sono solo i consumi da dover soddisfare per mantenere la temperatura di set point nei locali riscaldati.

Per considerare i rendimenti di impianto si è utilizzata la norma UNI TS 11300:2:2014 che definisce per ogni sottosistema (emissione, distribuzione, regolazione, generazione) i rendimenti da considerare [22].

Per il sottosistema di emissione considerando il riscaldamento effettuato mediante radiatori a parete dal prospetto 17 della UNI/TS 11300-2 risulta un rendimento di 0.98 ma questo vale per temperatura di mandata di 55°C; nel nostro caso avendo acqua di mandata a temperatura di 70°C va corretta al valore di 0.97.

Per il sottosistema di distribuzione dell'edificio dal prospetto 23 della UNI/TS 11300-2 si è assunto un rendimento di 0.931.

Per il rendimento di generazione dal prospetto 29 della UNI/TS 11300-2 e considerando la presenza di due caldaie a gas a condensazione si è assunto un rendimento unitario.

Per il rendimento di regolazione considerando un funzionamento di tipo on-off con regolazione di zona dal prospetto 20 della UNI/TS 11300-2 si è assunto un rendimento di 0.93.

Attraverso questi rendimenti si modificano tutti i valori relativi alla simulazione per quanto riguarda i fabbisogni invernali.

Anche le potenze di picco vengono modificate per tener conto sia dei diversi Gradi Giorno sia per tener conto dei rendimenti di impianto.

Queste potenze di picco possono essere confrontate con le taglie degli scambiatori che ricevono acqua dalla rete di teleriscaldamento e riscaldano l'acqua che poi alimenta gli impianti degli edifici.

edificio	taglie		Potenze di picco
Stecca 1	585000 Kcal/h	680 kW	610 kW
Stecca 2	641000 Kcal/h	745 kW	636 kW
pentagono	615000 Kcal/h	715 kW	551 kW

*Tabella 72 Confronto taglie scambiatori e potenze di picco*

Si verifica quindi che il valore di picco di richiesta termica dell'edificio è inferiore alla potenza che può essere fornita dagli scambiatori.

Il confronto tra i consumi globali è difficile da effettuare poiché non è possibile rilevare i consumi di gas associati ai singoli edifici in quanto il contatore del gas metano è unico per tutto il campus.

Quindi è stato possibile solo confrontare i consumi totali dei tre edifici (Stecca 1, Stecca 2 e Pentagono) con i consumi totali misurati al contatore del gas.

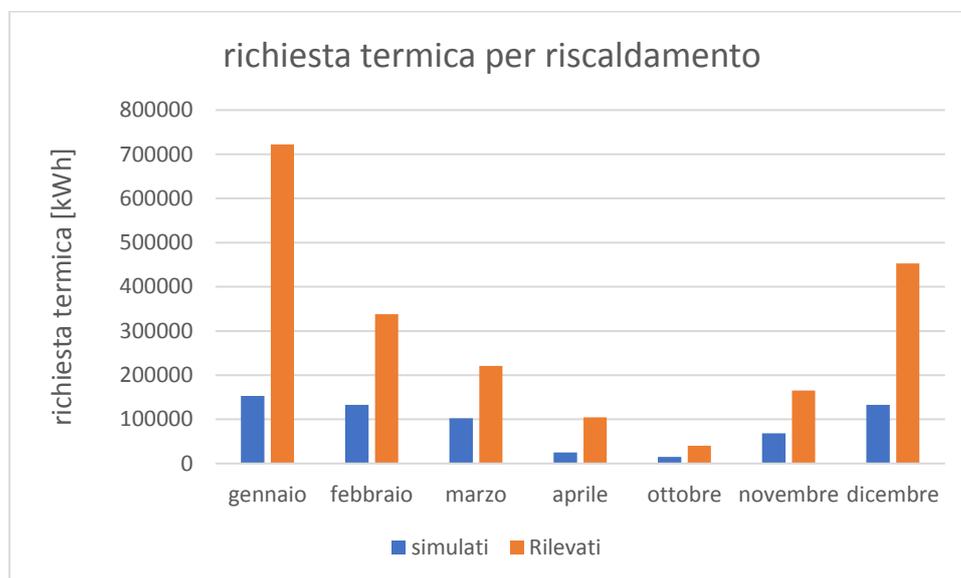


Figura 75 Richiesta termica per riscaldamento

mese	tot simulazione [MWh]	misurazioni [MWh]	%
gennaio	153	876	18%
febbraio	133	471	28%
marzo	102	323	32%
aprile	25	129	19%
ottobre	15	56	27%
novembre	69	234	29%
dicembre	133	585	23%

Tabella 73 Confronto tra consumi totali per il riscaldamento

## 6.2 Confronto nella stagione di raffrescamento

Come nel caso del confronto per riscaldamento si possono confrontare le potenze di picco calcolate dalla simulazione con le potenze nominali degli scambiatori di calore per ogni edificio.

edificio	taglie		Potenze di picco
Stecca 1	301000 Kcal/h	330 kW	535 kW
Stecca 2	284000 Kcal/h	350 kW	570 kW
pentagono	312000 Kcal/h	363 kW	660 kW

*Tabella 74 Confronto potenze di picco taglie scambiatori per il raffrescamento*

Come ottenuto dalle simulazioni, le potenze di picco sono superiori alle taglie degli scambiatori, quindi nei periodi in cui la potenza richiesta supera la taglia degli scambiatori, per coprire i fabbisogni dell'edificio si ricorre all'utilizzo dei chiller.

Per confrontare i consumi per raffrescamento si calcolano i consumi energetici da simulazione e li si moltiplica per un rapporto di efficienza energetica (EER energy efficiency ratio) per ottenere l'energia elettrica associata alla produzione dell'energia frigorifera.

Questo valore poi va confrontato con i consumi elettrici reali ricavati dai report dei consumi di energia elettrica.

I consumi di energia elettrica reali sono stati ricavati dai dati esposti in resoconti formulati con dati rilevati ad intervalli di 15 minuti; si sono poi associati i dati in modo da ottenere i valori orari di ogni singolo giorno dell'anno.

Per ottenere i consumi totali annuali si è calcolata la media oraria di consumi elettrici per ogni mese dell'anno.

Questi valori però non sono tutti imputabili all'impianto di raffrescamento ma anche all'illuminazione ed agli apparecchi elettronici; per ricavare solo i valori associati al raffrescamento si è preso il consumo di maggio, cioè il mese antecedente all'accensione del sistema di raffrescamento, e lo si è considerato come riferimento per i consumi relativi all'illuminazione e agli apparecchi elettrici, si è sottratto poi questo valore ai mesi successivi ricavando i valori di carico associati al solo sistema di raffrescamento.

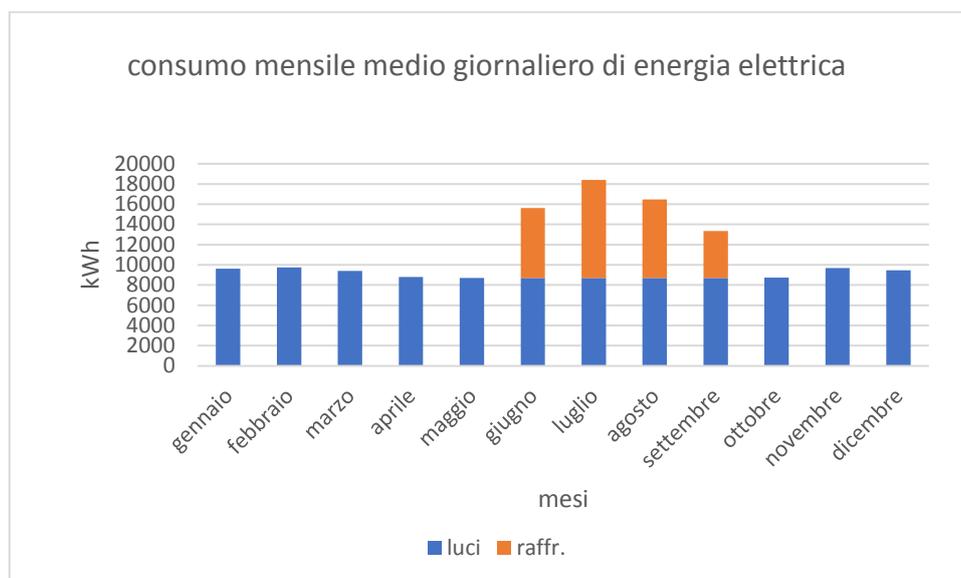


Figura 76 Consumo dell'energia elettrica mensile media giornaliera

Per ricavare dalla simulazione il valore di energia termica frigorifera si è sommato il valore orario di ogni mese dividendolo poi per il numero di giorni del mese ottenendo così il valore medio mensile.

Questo però è calcolato rispetto ai dati climatici di un file esterno che non rispecchia le condizioni del periodo reale di riferimento, per riportarlo quindi a valori reali lo si è modificato prendendo in considerazione le temperature medie giornaliere e la radiazione solare globale durante il periodo considerato. Questi valori di temperatura e radiazione solare del periodo reale di riferimento sono stati ricavati dal sito ARPAV [4].

In questo modo si sono ricavati valori di energia termica associati al fabbisogno per il raffrescamento, infine per passare ai consumi di energia elettrica si utilizza l'EER.

Avendo tre gruppi frigoriferi funzionanti a R407C si è assunto un indice di efficienza energetica stagionale pari a 3.

In questo modo si è trasformata la richiesta di energia termica in energia elettrica, che in questo modo può essere paragonata con l'energia elettrica utilizzata, ricavata dai report sui consumi.

Anche in questo caso purtroppo i dati del consumo di energia elettrica riportati nei report, non si riferiscono al singolo edificio ma all'intero complesso.

Per questo motivo il confronto risulta difficoltoso in quanto non si riesce a isolare i consumi relativi ai singoli edifici considerati.

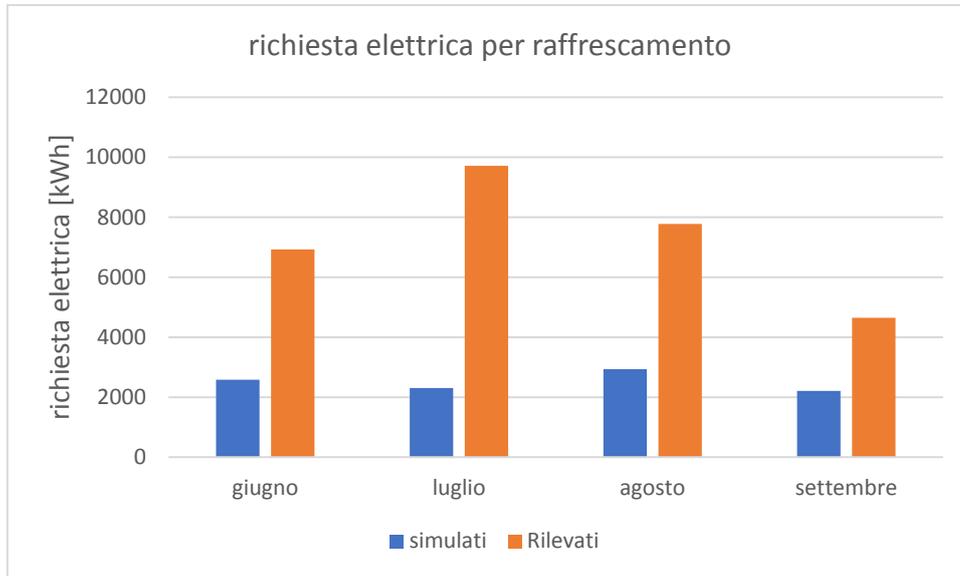


Figura 77 Richiesta elettrica per raffrescamento

Il confronto tra i consumi simulati e i consumi reali di energia elettrica sono riportati in tabella 75.

	giugno	luglio	agosto	settembre
Energia frigorifera simulazione [kWh]	7733	6907	8802	6636
Energia elettrica simulazione [kWh]	2578	2302	2934	2212
Energia elettrica contabilizzata [kWh]	6920	9712	7777	4647
<b>% del tot</b>	<b>37%</b>	<b>24%</b>	<b>38%</b>	<b>48%</b>

Tabella 75 Confronto consumi mensili energia elettrica

Si può solo verificare quale frazione di energia elettrica utilizzata per il raffrescamento è associata agli edifici Stecca 1, Stecca 2 e Pentagono.

## 7 Conclusioni

Con questo elaborato si sono analizzati i consumi energetici di tre edifici della sede universitaria di Agripolis; ne è seguita la costruzione di un modello che ne rappresenta i consumi reali.

Si sono inoltre proposti alcuni interventi di riqualificazione energetica atti a ridurre i consumi.

Attraverso l'analisi delle planimetrie e delle stratigrafie degli edifici Stecca 1, Stecca 2 e Pentagono si è costruito un modello che riproduca il comportamento di questi edifici dal punto di vista termico.

Il modello, ottenuto tramite software TRNSYS, è stato quindi utilizzato per calcolare il fabbisogno energetico annuale e la potenza di picco in riscaldamento e raffrescamento dei singoli edifici.

Per poter verificare che il modello combaci con dati reali si sono confrontati i risultati della simulazione con i dati di consumo rilevati al contatore del gas e coi dati di utilizzo dell'energia elettrica all'interno del Campus.

Le potenze di picco dei singoli edifici sono state confrontate con le taglie dei rispettivi scambiatori che ricevono il fluido termovettore (acqua) dall'impianto di teleriscaldamento.

Dal confronto risulta che le potenze di picco in regime invernale sono pari a circa l'80-90% della potenza nominale degli scambiatori; la rete di teleriscaldamento quindi riesce a soddisfare interamente la richiesta termica.

Per quanto riguarda il condizionamento estivo, le potenze di picco risultanti della somma del carico sensibile e latente sono maggiori del 60% delle taglie degli scambiatori negli edifici denominati Stecche e del 80% per l'edificio Pentagono.

La rete di teleraffrescamento non riesce quindi a fornire tutta la potenza richiesta che deve essere perciò integrata attraverso dei chiller ausiliari, installati a servizio dei vari locali che presentavano problemi di discomfort durante la stagione estiva.

Il confronto del fabbisogno globale annuo con i consumi reali è stato di difficile attuazione in quanto i consumi reali non sono disponibili per i singoli edifici modellizzati, ma solo globalmente per tutti gli edifici del campus.

Attraverso questo confronto pertanto è stato stimato il contributo dei tre edifici esaminati in circa il 25% del consumo totale di energia per il riscaldamento invernale e del 35% per il raffrescamento estivo del campus.

La simulazione energetica di tutti gli edifici permetterà una stima più accurata delle quote attribuibili ai singoli edifici, come già effettuato nell'ambito di altre tesi magistrali per l'area Piovego dell'Università di Padova.

Verificati i modelli si è passati poi a proporre delle misure di efficientamento energetico per ridurre i fabbisogni annuali degli edifici considerati.

Si sono quindi svolte delle simulazioni sugli edifici considerando tre scenari: cappotto esterno, sostituzione degli infissi e una combinazione di entrambi gli interventi.

Dalla simulazione risulta che i consumi per il riscaldamento invernale con la sostituzione degli infissi e con l'introduzione di un cappotto esterno diminuiscono rispettivamente del 30-40%. Mediante la combinazione dei due interventi si riesce a ridurre i consumi di oltre il 60%, offrendo quindi un risparmio sia dal punto di vista energetico sia dal punto di vista economico.

In questo elaborato non si è considerato l'isolamento del tetto poiché c'è la possibilità di installazione di impianto fotovoltaico e quindi questi valori devono considerarsi una stima cautelativa.

D'altra parte, i suddetti interventi sull'involucro edilizio portano a un aumento dei fabbisogni di raffrescamento nella stagione estiva del 5 e del 10% nel caso dell'inserimento del cappotto esterno o della sostituzione degli infissi mentre l'aumento è pari a 20% nel caso della soluzione combinata.

Per l'edificio Stecca 1 inoltre si è valutato il comfort termico delle singole zone nel periodo di riscaldamento, sia nella configurazione attuale, sia a valle delle ipotesi di efficientamento energetico proposte.

Dall'analisi risulta che i locali più sfavoriti risultano essere quelli rivolti a Nord, e specialmente all'ultimo piano in quanto il tetto costituisce un'ulteriore superficie disperdente che provoca una condizione di discomfort maggiore rispetto agli altri piani sottostanti.

Attuando le misure di efficientamento proposte l'indice di discomfort calcolato si riduce del 25-35% con l'inserimento del cappotto o la sostituzione degli infissi, e di circa il 70% nella soluzione combinata dei due.

L'attuazione di queste nuove configurazioni è quindi auspicabile, in quanto l'aumento dei consumi nel periodo di raffrescamento è comunque minore rispetto alla riduzione significativa dei consumi nel periodo invernale.

Un eventuale intervento di isolamento del tetto servirà a ridurre i consumi di riscaldamento e discomfort invernale.

L'eventuale applicazione di isolamento sul tetto dovrà essere compatibile con l'installazione di impianto fotovoltaico: si valuterà la possibilità di inserire un controsoffitto, se le altezze dell'ultimo piano lo consentono, oppure ci si orienterà all'installazione di pensiline fotovoltaiche.

Si dovrà inoltre tener conto di prevedibili problemi di discomfort durante la stagione estiva.

Per sopperire a tale problematica è auspicabile ipotizzare un miglioramento dell'impianto di ventilazione che preveda la possibilità di effettuare free-cooling durante le ore notturne.

Il presente lavoro intende fornire un supporto agli Uffici tecnici dell'Università in materia di riqualificazione energetica di edifici e impianti.

I risultati ottenuti in questo elaborato potranno essere disponibili per eventuali possibili interventi volti alla riduzione di consumi energetici del campus Agripolis.



## Bibliografia

- [1] Disegni relativi al progetto architettonico forniti dall'Ufficio Tecnico dell'Università degli Studi di Padova
- [2] Disegni impiantistici forniti dall'Ufficio Tecnico dell'Università di Padova
- [3] Manuale di Trnsys 17
- [4] dati metereologici provenienti da  
ARPAV [https://www.arpa.veneto.it/bollettini/storico/Mappa\\_2019\\_TEMP.htm?t=RG](https://www.arpa.veneto.it/bollettini/storico/Mappa_2019_TEMP.htm?t=RG)
- [5] Energy Efficiency Measures for a High-tech Campus in California Based on Total Performance Oriented Optimization and Retrofit (TPOR) Approach -Y. Lin, M. Liu, W. Yang - Procedia Engineering 121 (2015)
- [6] Strategies for a sustainable campus in Osaka University - Yukiko Yoshida, Yoshiyuki Shimoda, Takumi Ohashi - Energy and Buildings 147 (2017)
- [7] J. Zhao, Learning from the International Low-carbon Campuses, International Urban Planning 25 (2010) 106-110
- [9] <http://www.cens.unige.it/il-campus-di-savona-premiato-da-legambiente/>
- [8] Decreto interministeriale 26 giugno 2015 - Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici
- [10] <https://www.gre.ac.uk/sustain>
- [11] [https://www.osaka-u.ac.jp/en/oumode/campus\\_plan/files/ouhall.jpg/view](https://www.osaka-u.ac.jp/en/oumode/campus_plan/files/ouhall.jpg/view)
- [12] Quantifying potential savings from sustainable energy projects at a large public university: An energy efficiency assessment for texas state university - Milad Mohammadalizadehkorde, Russell Weaver - Sustainable Energy Technologies and Assessments 37 (2020)
- [13] Sustainable Campus Model at the University of Campinas Brazil: An Integrated Living Lab for Renewable Generation, Electric Mobility, Energy Efficiency, Monitoring and Energy Demand Management  
Luiz C. P. da Silva, Marcelo G. Villalva, Madson C. de Almeida José L. P. Brittes, Jorge Yasuoka, João G. I. Cypriano, Daniel Dotta, José Tomaz V. Pereira, Mauricio B. C. Salles, Giulianno Bolognesi Archilli, Juliano Garcia Campos  
Towards Green Campus Operations
- [14] Climate-neutral and sustainable campus Leuphana University of Lueneburg - O.Opel N.Strodel K.F.Werner J.Geffken A.Tribel W.K.L.Ruck - Energy Volume 141 15 December 2017

- [15] Towards a Smart Campus: Building-User Learning Interaction for Energy Efficiency, the Lisbon Case Study - Ricardo Gomes, Henrique Pombeiro, Carlos Silva, Paulo Carreira, Miguel Carvalho, Gonçalo Almeida, Pedro Domingues, Paulo Ferrão - Handbook of Theory and Practice of Sustainable Development in Higher Education
- [16] Future energy pathways for a university campus considering possibilities for energy efficiency improvements- Natasa Nord, Nina Holck Sandberg, Huy Ngo, Eirik Nesgård, Aleksandra Woszczek, Tymofii Tereshchenko, Jan Sandstad Næss and Helge Brattebø
- [17] <https://www.qualenergia.it/articoli/20150825-al-politecnico-di-milano-il-nuovo-impianto-di-trigenerazione-e-ledificio-pilota-l/>
- [18] TRNSYS - Transient System Simulation Tool [Computer software] (2017)
- [19] **ISO 18523-2:2018** Energy performance of buildings - Schedule and condition of building, zone and space usage for energy calculation Residential buildings
- [20] **UNI 10351**: Materiali e prodotti per edilizia - Proprietà termoigrometriche - Procedura per la scelta dei valori di progetto
- [21] **UNI EN ISO 7730** Ergonomia degli ambienti termici - Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale
- [22] **UNI/TS 11300-2** Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali
- [23] **UNI EN ISO 15927-6:2008** Prestazione termoigrometrica degli edifici - Calcolo e presentazione dei dati climatici - Parte 6: Differenze di temperatura cumulate (gradi giorno).
- [24] **D.M. 26 gennaio 2010** - Aggiornamento del decreto 11 marzo 2008 in materia di riqualificazione energetica degli edifici
- [25] **D.P.R. 26 agosto 1993, n 412** - Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia
- [26] <https://energyplus.net/weather>
- [27] **EN 16798** Energy performance of buildings - Ventilation for buildings