

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE  
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ENERGETICA

Analisi sperimentale e numerica  
del sistema di teleraffrescamento e teleriscaldamento  
del complesso universitario “Nord Piovego”

Relatore: prof. Michele De Carli

Correlatrice: ing. Samantha Graci

Laureando: Michael Campaci

Anno accademico: 2016-2017



# Sommario

Abstract	
1. ANALISI CASO STUDIO	1
1.1. Il complesso interdipartimentale “Nord Piovego”	1
1.1.1. La centrale Termica e la rete di teleriscaldamento	4
1.1.2. La centrale frigorifera e la rete di teleraffrescamento	8
1.1.3. La cabina elettrica	11
1.2. Gli edifici: caratteristiche geometriche, strutturali e impiantistiche	11
1.2.1. Il complesso interdipartimentale Vallisneri	11
1.2.2. Il complesso didattico Piovego (Aule Ugo Bassi)	23
1.2.3. Il centro linguistico di ateneo (CLA)	26
1.2.4. L’involucro	27
1.2.5. Ex dipartimento di ingegneria meccanica (DIM)	29
1.2.6. Psicologia 1	34
1.2.7. Psicologia 2	37
2. ANALISI DATI, METODI E MODELLI	39
2.1. Analisi dati	39
2.1.1. Consumi di gas naturale	39
2.1.2. Consumi di energia elettrica, fonte e metodologia	40
2.1.3. Analisi dettagliata delle curve di carico elettrico	45
2.2. Metodi	55
2.2.1. La modellazione degli edifici	58
2.2.2. La modellazione delle reti	67
2.3. Taratura dei modelli degli edifici	77
2.3.1. Profili di utilizzo degli edifici	77
2.3.2. Modifiche ai modelli degli edifici	80
3. DEFINIZIONE DEI FABBISOGNI DEGLI EDIFICI	85
3.1. Il complesso interdipartimentale Vallisneri	85
3.1.1. Fabbisogni mensili	85

3.1.2.	Fabbisogni medi orari.....	90
3.2.	Le aule Ugo Bassi.....	101
3.2.1.	Fabbisogni mensili .....	101
3.2.2.	Fabbisogni medi orari.....	103
3.3.	Il centro linguistico di ateneo .....	107
3.3.1.	Fabbisogni mensili .....	107
3.3.2.	Fabbisogni medi orari.....	109
3.4.	Fabbisogni complessivi riferiti ai dati climatici locali .....	116
3.4.1.	Fabbisogni mensili .....	116
3.4.2.	Fabbisogni medi orari.....	118
3.4.3.	Fabbisogni rete e macchine autonome .....	125
3.5.	Fabbisogni complessivi riferiti al TRY .....	130
4.	LE RETI DI TELERISCALDAMENTO E TELERAFFRESCAMENTO.....	133
4.1.	La rete di teleriscaldamento.....	133
4.1.1.	Rendimenti di rete e di generazione .....	133
4.1.2.	Potenza massima richiesta e scambiatori .....	136
4.2.	La rete di teleraffrescamento .....	137
4.2.1.	I rendimenti di rete .....	137
4.2.2.	Analisi sulla potenza frigorifera del sistema di raffrescamento .....	140
4.2.3.	Efficienza del sistema di teleraffrescamento.....	143
5.	CONCLUSIONI.....	151

## BIBLIOGRAFIA

## Abstract

Scopo del presente elaborato è quello di determinare le condizioni di esercizio e le dispersioni della rete di teleraffrescamento del complesso universitario interdipartimentale denominato “Nord Piovego”, oltre alla caratterizzazione delle prestazioni delle macchine frigorifere ad esso asservite, e di effettuare una revisione della rete di teleriscaldamento la cui analisi era già stata effettuata nella tesi “Analisi teorica e sperimentale della rete del complesso Nord Piovego” di Laura Colpo.

Al fine di raggiungere tali obiettivi sarà necessario innanzitutto determinare i fabbisogni lato involucro, per tale scopo si utilizzeranno i modelli degli edifici oggetto di analisi implementati nelle tesi di Davide Moro e Pasquale Rotolo. Questa tesi infatti intende proseguire un’attività avviata nei primi mesi del 2016 volta a determinare i fabbisogni del complesso “Nord Piovego” che ha come obiettivo quello di effettuare un adeguamento degli impianti termotecnici al servizio dello stesso e di proporre interventi di efficientamento energetico. L’area esaminata si presenta infatti come una delle più energivore dell’università di Padova e si compone di sette edifici appartenenti a diversi dipartimenti.

Gli edifici serviti dalla rete oggetto di analisi sono i seguenti:

- Complesso interdipartimentale di biologia “Vallisneri”
- Complesso didattico “Piovego” (aule Ugo Bassi)
- Centro linguistico di ateneo (CLA)
- Psicologia 1
- Psicologia 2
- Ex dipartimento di ingegneria meccanica, comprendente i seguenti edifici:
  - i. Corpo A (corpo uffici)
  - ii. Corpo B (officine di meccanica)
  - iii. Corpo C-D (Corpo didattico)
  - iv. Corpo E (ex dipartimento di fisica tecnica)

Non è stato invece analizzato il centro congressi, edificio realizzato nello stesso periodo di Psicologia 2 e del CLA e la cui sottostazione è in comune a quest’ultimo, poiché esso si è rivelato essere poco utilizzato e servito da macchine autonome.

Per garantire un adeguato approfondimento nello studio dell’intero complesso è stato deciso di dividere lo stesso in due rami, seguendo la traccia suggerita dal percorso della rete e una suddivisione basata sui fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento complessivi. Il presente elaborato si occuperà degli edifici Vallisneri ed Ugo Bassi mentre Edoardo Gazzea si occuperà del restante gruppo di stabili, il CLA è stato invece trattato da entrambi al fine di aver un riscontro sul fatto che il metodo di determinazione del fabbisogno degli edifici fosse lo stesso. La determinazione delle richieste di energia termica e frigorifera complessive e dei consumi di gas naturale e di energia elettrica permetterà di determinare le dispersioni delle reti di

distribuzione e gli indici di prestazione globali dei sistemi di teleriscaldamento e teleraffrescamento.

L'analisi dei consumi energetici e la modellazione dei fabbisogni negli edifici e delle reti, per mezzo di codici di analisi dinamica, sono state affiancate da monitoraggi di temperatura e portata realizzati sulle reti per verificarne il funzionamento e la gestione e per tarare i modelli prodotti. Le misure hanno permesso inoltre di individuare eventuali criticità delle reti, infatti, soprattutto a causa dei vari interventi di ampliamento del complesso susseguitesi negli anni, gli impianti, sia termico che frigorifero, si trovano occasionalmente nella condizione di non riuscire a soddisfare i carichi richiesti dagli edifici, soprattutto nei mesi in cui questi sono più ingenti.

## 1. ANALISI CASO STUDIO

In questo capitolo verrà presentato il complesso universitario interdipartimentale “Nord Piovego” a partire da una visione generale per poi arrivare ad una presentazione dei singoli edifici e degli impianti a loro servizio, verranno presentati anche gli edifici che non sono oggetto di analisi in questo elaborato al fine di fornire una panoramica più ampia sulle caratteristiche dell’area al fine di fornire le informazioni necessarie per valutare i fabbisogni complessivi che saranno illustrati nel paragrafo 3.4.

### 1.1. Il complesso interdipartimentale “Nord Piovego”

Il complesso universitario denominato “Nord Piovego” occupa un’area che si estende da Via Ugo Bassi dove si trovano l’omonimo edificio didattico sino al centro linguistico di ateneo che si affaccia su Via Venezia, la superficie coperta è di 76097 m<sup>2</sup>.

Tale zona, anche a causa del fatto che è un’area ad alta densità di edifici universitari dedicati a didattica, studi laboratori e uffici amministrativi, si rivela essere una tra quelle più energivore dell’intero ateneo. Un’accurata analisi delle prestazioni degli impianti tecnici a servizio della stessa si è resa quindi necessaria al fine di verificarne lo stato di fatto e di proporre soluzioni migliorative volte all’efficientamento energetico.

L’area universitaria è composta di sette edifici:

- Complesso interdipartimentale di biologia “Vallisneri”
- Complesso didattico “Piovego” (aule Ugo Bassi)
- Centro linguistico di ateneo (CLA)
- Psicologia 1
- Psicologia 2
- Ex dipartimento di ingegneria meccanica, comprendente i seguenti edifici:
  - Corpo A (corpo uffici)
  - Corpo B (officine di meccanica)
  - Corpo C-D (Corpo didattico)
  - Corpo E (ex dipartimento di fisica tecnica)
- Centro congressi

Non è stato analizzato il centro congressi del complesso, edificio realizzato nello stesso periodo di Psicologia 2 e del CLA e la cui sottostazione è in comune a quest’ultimo ma esso si è rivelato essere poco utilizzato e servito da macchine autonome.

L’intero complesso è servito da una rete di teleriscaldamento che corre parallelamente a quella di teleraffrescamento, le quali collegano la centrale termica e frigorifera alle sottostazioni dei rispettivi edifici, la fornitura di energia elettrica è attuata mediante l’*Anello di Media Tensione Nord Piovego* alla quale oltre agli stabili sopra elencati è anche collegata la mensa Esu Piovego.

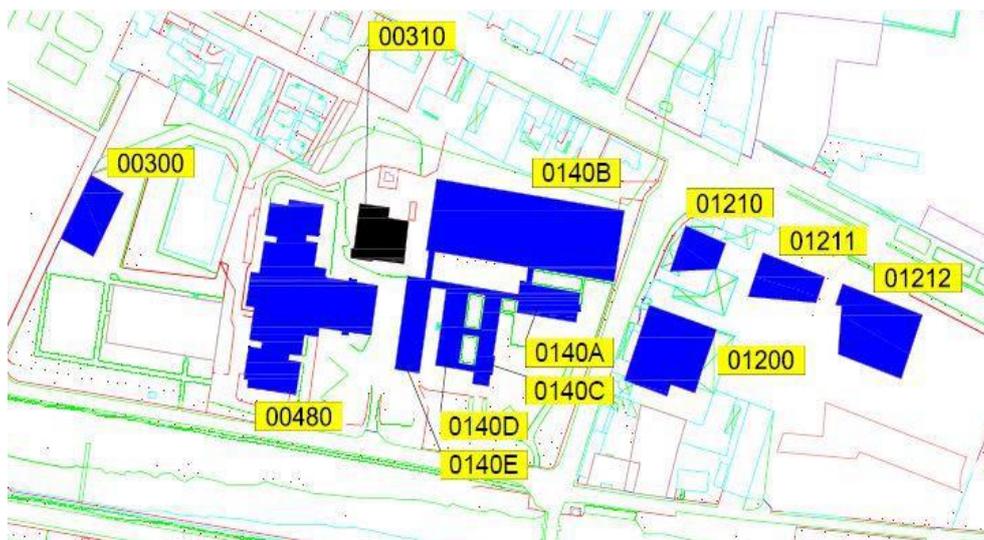


Figura 1: Estratto di mappa raffigurante il complesso universitario "Nord Piovego" (fonte Moro, Rotolo)

Nella figura precedente ogni edificio è identificato da un codice il cui riferimento è riportato nella tabella 1, in cui vengono inoltre riportati alcuni dati riguardanti le caratteristiche topografiche degli edifici.

Tabella 1: Codici edificio e caratteristiche geometriche (fonte Moro, Rotolo)

Codice	Descrizione Edificio	Superficie lorda	Volume edificio fuori terra	Volume edificio interrato	Altezza fuori terra
		m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m
00300	COMPLESSO DIDATTICO PIOVEGO (AULE UGO BASSI)	3840	12800	/	13.0
00480	COMPLESSO INTERDIPARTIMENTALE DI BIOLOGIA "A. VALLISNERI"	33006	101600	15200	30.0
00310	CENTRALE TERMICA E FRIGORIFERA				
00140	COMPLESSO INGEGNERIA MECCANICA	15556	69811	/	30.9
01200	PSICOLOGIA 1	7137	16547	8238	22.5
01210	PSICOLOGIA 2	7679	24255	3562	23
01211	CENTRO CONGRESSI	2173	9648	218	20.4
01212	CENTRO LINGUISTICO	6706	27007	/	24.2

Si nota immediatamente come il complesso Vallisneri sia l'edificio con la maggior superficie e cubatura, esso infatti costituisce il 43% dell'intera area.

La centrale termica, la centrale frigorifera e la cabina elettrica a servizio dell'intera zona sono inserite nello stesso edificio sebbene in compartimenti separati, lo stabile corrisponde all'edificio nero della figura 1, la cui pianta è riportata nella figura 2, i singoli compartimenti verranno illustrati nelle sezioni dedicate.

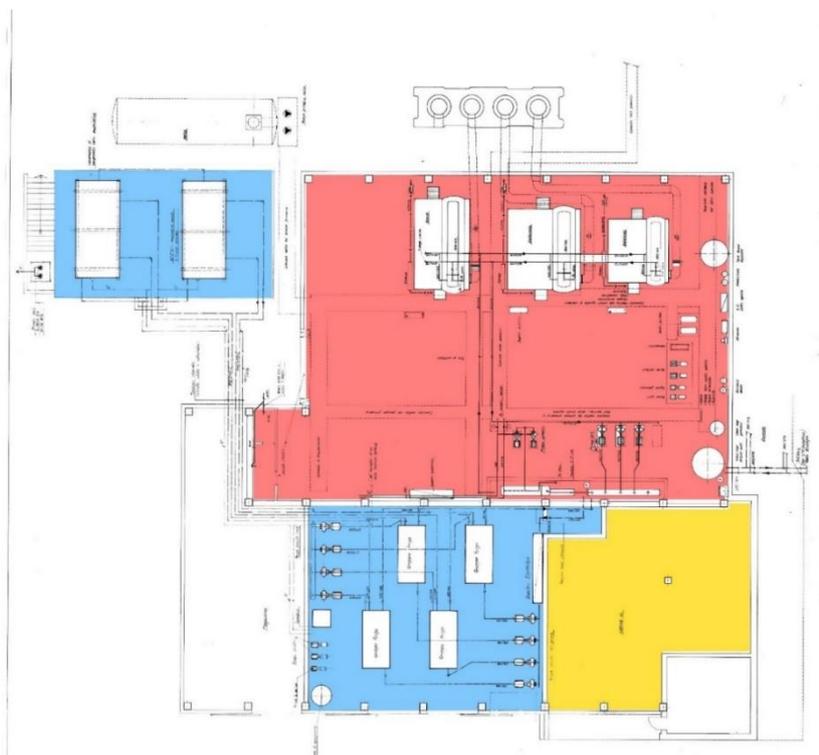


Figura 2: In rosso è raffigurata la centrale termica con le caldaie, in azzurro la Centrale Frigorifera con i 4 gruppi frigo e le torri evaporative mentre in giallo la cabina elettrica (fonte Moro, Rotolo)

Nella tabella 2 vengono invece riportate le tipologie di scambiatore, il loro numero e la potenza che questi rendono nominalmente disponibile ai secondari degli edifici a cui sono asserviti:

Tabella 2: Scambiatori allacciati alla rete teleriscaldamento, numero e potenza.

<b>Id</b>	<b>Sottostazione</b>	<b>Numero di unità</b>	<b>Tipologia di scambiatori</b>	<b>Taglia [kW]</b>	<b>Totale potenza installata [kW]</b>
1	PSICO 1	1	PIASTRE	330	330
2	PSICO 2	1	PIASTRE	720	720
3	CENTRO CONGRESSI+ CENTRO LINGUISTICO (CLA)	2	PIASTRE	700	1400
4	DIM-corpo uffici (DIM-A)	2	FASCIO TUBIERO	350	700
5	DIM-corpo aule (DIM-C-D)	3	FASCIO TUBIERO	300	900
6	DIM-officina (DIM-B)	1	FASCIO TUBIERO	930*	930*
7	EX DIPARTIMENTO DI FISICA TECNICA (DIM-E)	2	FASCIO TUBIERO	175	350
8	AULE VIA UGO BASSI	1	PIASTRE	600	750
			PIASTRE	150	
9	VALLISNERI	2	FASCIO TUBIERO	1600	3200
		1	FASCIO TUBIERO	800	800
		1	PIASTRE	800	800
<b>TOTALE</b>		<b>10762 Kw</b>			

\*A seguito della revisione della documentazione il valore è stato corretto rispetto le tesi precedenti.

## Capitolo 1. Analisi caso studio

### 1.1.1. La centrale Termica e la rete di teleriscaldamento

Nella centrale termica sono installati tre generatori di vapore, ciascuno dei quali alimenta uno scambiatore a fascio tubiero dedicato alla produzione dell'acqua surriscaldata per la rete di teleriscaldamento, gestita ad una pressione di 15 bar.

Le caratteristiche tecniche dei generatori di vapore sono le seguenti:

Tabella 3: Caratteristiche tecniche dei generatori di vapore (fonte Moro, Rotolo)

	<b>Generatore</b>	<b>Generatore</b>	<b>Generator</b>
Potenza Nominale [kW]	6000	5000	2500
Produzione di Vapore [t/h]	8	8	4
Pressione di Esercizio [bar]	15	15	15
Pressione di Bollo [bar]	18	18	18
Anno di Costruzione	1987	1973	1973

La potenza termica nominale della centrale descritta è quindi pari a 13.5 MW, ad ottobre 2017 i generatori sono stati però sostituiti, il primo era infatti andato incontro a rottura e i rimanenti due erano in condizioni precarie. Le nuove caldaie, alimentate ancora a gas naturale sono tre della medesima potenza pari a 3000 kW. Il continuo della trattazione fa comunque riferimento alla centrale termica precedente la sostituzione sia per quanto riguarda le caratteristiche tecniche sia per quanto riguarda e modalità d'esercizio.

L'operatività della centrale è attualmente diretta da conduttori di impianto che a turno si occupano della fase di avviamento e di chiusura, infatti sebbene le sottostazioni dei vari stabili siano attivate elettronicamente con timer preimpostati, le caldaie necessitano di un'accensione manuale che deve tener particolarmente conto dell'età delle stesse. Queste infatti necessitano di un avviamento graduale al fine di non porle in condizioni di stress meccanico e termico che potrebbero portare ad ulteriori guasti; deve altresì essere fatto presente che il conduttore deve essere presente per tutto il periodo di attività della centrale termica, l'assenza dell'addetto determina difatti lo spegnimento dell'intero impianto di teleriscaldamento, gli orari di accensione e spegnimento della centrale sono variabili a seconda della rigidità delle condizioni climatiche e saranno mostrati nel paragrafo 2.3.

La rete è attualmente esercita ad una temperatura di mandata attorno ai 100 °C, come registrato nei monitoraggi presentati nelle precedenti tesi, sebbene fosse stata originariamente progettata per essere gestita a 160 °C in mandata, tale valore è stato successivamente gradualmente abbassato sino aggiungere al valore odierno. L'acqua surriscaldata in uscita dai tre scambiatori è convogliata in un collettore da cui poi si diramano i due rami principali della rete ai quali si affianca il ramo di lunghezza ridotta che collega la centrale al corpo officine di meccanica, il DIM B. Tre pompe in parallelo permettono la circolazione del fluido vettore termico nei rami della rete, le tre macchine hanno le medesime caratteristiche e sono le seguenti:

- Prevalenza:  $h=35\text{m}$ ;
- Portata:  $\dot{m}=22.22\text{ l/s}$ ;
- Velocità:  $n=1450\text{ giri/min}$ .

All'interno della centrale termica è inoltre presente lo scambiatore di calore a fascio tubiero che serve il DIM B e le due pompe di circolazione del secondario dello stesso (una di riserva). Oltre

a questi elementi nella centrale termica sono presenti anche una caldaia per la produzione dell'acqua calda sanitaria per lo stabulario presente al 7° piano del Vallisneri, il vaso d'espansione dell'anello di acqua surriscaldata e un serbatoio per il reintegro. I condotti della rete sono inseriti all'interno di cunicoli interrati, percorribili anche a piedi, che collegano la centrale alle varie sottostazioni.

In figura 3 è illustrato il particolare della pianta della centrale termica, tra i principali elementi costitutivi della stessa si riconoscono nella parte alta i tre generatori di vapore precedentemente descritti, nella parte inferiore sono invece visibili, oltre i collettori di mandata e ritorno, le pompe di circolazione del fluido vettore termico della rete di teleriscaldamento, le due pompe e lo scambiatore dedicati al DIM-B.

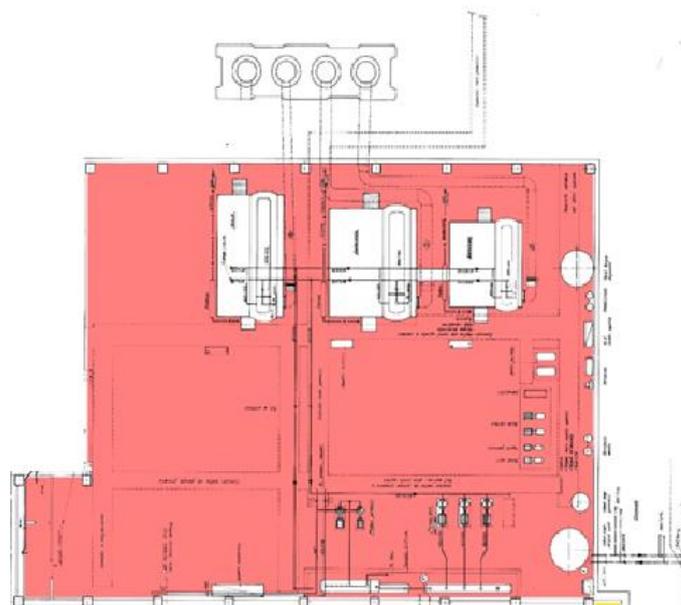


Figura 3: Pianta della centrale termica del complesso Nord Piovego

Le caratteristiche dei tratti di tubazione della rete, le cui caratteristiche sono stati in parte desunte dalla tesi di Laura Colpo e per le mancanti si è fatto riferimento alle misurazioni effettuate dall'ing. Samantha Graci Ph.D, correlatrice di questo elaborato, sono ora presentate:

Tabella 4: Caratteristiche linea 1, rete teleriscaldamento

LINEA 1 -- DIM_B					
	$\phi$ [mm]	$\dot{m}$ [l/s]	$\dot{m}$ [l/h]	$v$ [m/s]	L [m]
LINEA 56	107	6.73*	24236	0.75	25

\*Stimata ipotizzando un salto di 33 °C nel secondario

## Capitolo 1. Analisi caso studio

Tabella 5: Caratteristiche linea 2, rete teleriscaldamento

LINEA 2 -- DIM_E - VALLISNERI - AULE BASSI												
Sottostazione e tratto della rete			Diametro interno, portata, velocità e lunghezza					perdita di carico				
								distribuita	distrib. + conc.	scambiatori	per tronco, derivazione e totali	
			$\phi_i$ [mm]	$\dot{m}$ [l/s]	$\dot{m}$ [l/h]	$v$ [m/s]	L [m]	$\Delta p$ [Pa/m]	A/R +20% [Pa]	$\Delta p,ex$ [Pa]	$\Delta p$ [Pa]	$\Delta p$ tot [Pa]
	1	5A	163	18.4	66276	0.88	20	38.4	1843	0	1843	43695
	2	AH	163	18.4	66276	0.88	10	38.4	921	0	921	
DIM_E	3	HI	49	2.3	8136	0.99	9.4	192.6	4343	25000	29343	
	4	HL	163	16.2	58140	0.77	68	30.1	4904	0	4904	40931
VALLISNERI	5	LM	108	14	50400	1.53	25.4	180.9	11027	25000	36027	
	6	LN	103	2.2	7740	0.26	20	6.9	331	0	331	35653
	7	NO	103	2.2	7740	0.26	51.9	6.9	860	0	860	
AULE BASSI	8	OR	54	0.6	1980	0.24	91.5	13.7	3009	25000	28009	
	9	OR'	64	1.6	5760	0.5	91.5	43.1	9462	25000	34462	

Tabella 6: Caratteristiche linea 3, rete teleriscaldamento

LINEA 3 -- DIM_C/D - DIM_A - PISCO1 - PSICO2 - CLA												
Sottostazione e tratto della rete			Diametro interno, portata, velocità e lunghezza					perdita di carico				
								Distribuita	distrib. + conc.	scambiatori	per tronco, derivazione e totali	
			$\phi_i$ [mm]	$\dot{m}$ [l/s]	$\dot{m}$ [l/h]	$v$ [m/s]	L [m]	$\Delta p$ [Pa/m]	A/R +20% [Pa]	$\Delta p,ex$ [Pa]	$\Delta p$ [Pa]	$\Delta p$ tot [Pa]
	1	5A	153	18.1	64980	0.98	20	50.8	2439	0	2439	82403
	2	AB	153	18.1	64980	0.98	26.8	50.8	3268	0	3268	
DIM_C/D	3	BC	54	2.7	9540	1.16	25.7	259.3	15993	25000	40993	
	4	BD	133	15.4	55440	1.11	70.1	76.2	12815	0	12815	76696
DIM_A*	5	DE	44	3.5	12600	1.15	6.2	333.0	4954	25000	29954	
	6	DF	123	11.9	42840	1	97.7	69.6	16314	0	16314	63882
PSICO1	7	FG	49	1.8	6552	0.97	45	209.0	22568	25000	47568	
	8	FK	123	10.1	36288	0.85	20	51.0	2448	0	2448	30096
PSICO2	9	KG*	108	2.9	10512	0.32	10	9.7	232	25000	25232	
CLA	10	KK'	123	7.2	25776	0.6	41	26.9	2648	25000	27648	

\*La sottostazione presente due scambiatori in parallelo, non è stato possibile accedere alla tubazione a monte della suddivisione in parallelo, per cui il diametro e la velocità sono riferiti ad un singolo scambiatore, mentre la portata è la somma di quella che alimenta i due scambiatori, ovvero 1.75 l/s ciascuno. In tutti gli altri casi in cui sono presenti scambiatori in parallelo la misura è stata condotta sulla tubazione comune a monte delle divisioni.

OR = aule bassi – sottostazione piano terra; OR' = aule bassi sottostazione sul tetto

In figura 4 è illustrato lo schema della rete di teleriscaldamento in particolare di quest'ultima si distinguono le due linee principali e la terza linea, di lunghezza ridotta, a servizio del corpo officine di meccanica DIM-B:

- Linea 1: dedicata al DIM-B (linea arancione);
- Linea 2: alimenta il Complesso interdipartimentale di biologia “A. Vallisneri”, le Aule Ugo Bassi e DIM-E (linea rossa);
- Linea 3: serve i restanti corpi dell'ex Dipartimento di Ingegneria meccanica e gli edifici di Psicologia 1, Psicologia 2 e del Centro Linguistico (linea gialla).

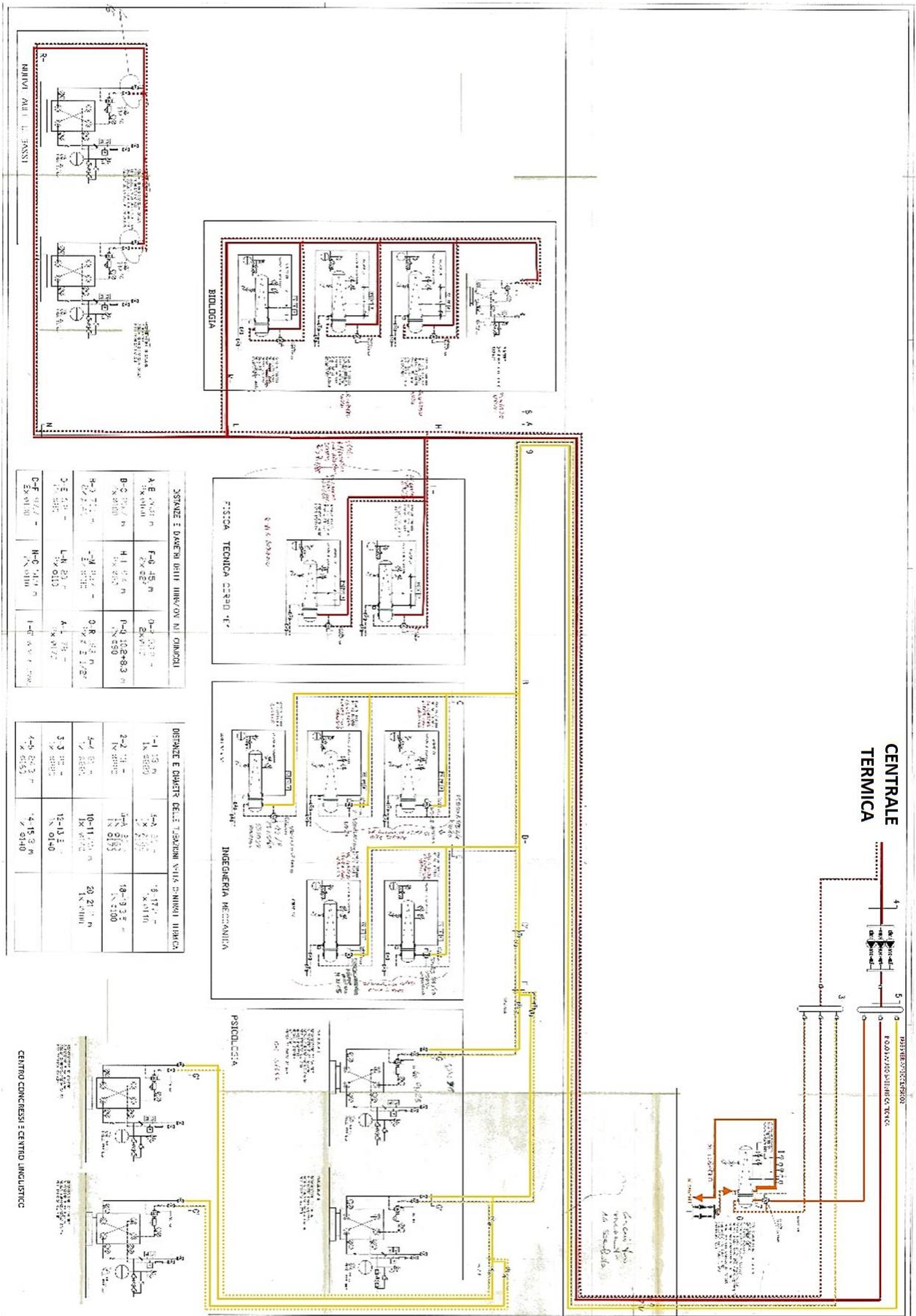


Figura 4 : Schema rete di teleriscaldamento (fonte Moro, Rotolo, Colpo)

## Capitolo 1. Analisi caso studio

### 1.1.2. La centrale frigorifera e la rete di teleraffrescamento

La centrale frigorifera si trova nello stesso stabile in cui è ubicata la centrale termica, essa consta di quattro macchine tre della potenza di 900 kW frigoriferi ciascuna che hanno mantenuto le caratteristiche originarie, il quarto gruppo, invece, ha recentemente subito un cambio di refrigerante. Essendo questo originariamente funzionante con R-22, come gli altri tre, e poiché questo fluido è stato bandito, non è stato possibile procedere ad un reintegro delle perdite, si è reso quindi necessario sostituirlo con il refrigerante R-134a, fluido compatibile con il compressore, che è di tipo a vite. La variazione del ciclo termodinamico imposto dal cambiamento di fluido ha comportato una minor spesa di energia meccanica e quindi elettrica per completare il ciclo stesso, che sebbene sia più efficiente del precedente, ha comportato anche una diminuzione della potenza frigorifera disponibile non quantificabile con precisione. Le caratteristiche tecniche nominali dei gruppi frigoriferi, prodotti da Trane Italia, sono le seguenti:

*Tabella 7: Caratteristiche dei gruppi frigoriferi della centrale frigorifera*

<b>N° gruppo frigorifero</b>	<b>Potenza elettrica nominale [kW]</b>	<b>Potenza frigorifera nominale [kW]</b>	<b>Fluido frigorifero</b>
1	270	900	R22
2	270	900	R22
3	270	900	R22
4*	270*	900*	R22/R134a*

\*Fluido frigorifero recentemente sostituito

Oltre ai quattro gruppi frigoriferi nella centrale sono presenti tutti gli ausiliari necessari al funzionamento della stessa, tra i più importanti vanno citati le quattro pompe di circolazione dell'acqua che raffredda l'acqua al condensatore proveniente dalle torri evaporative, della potenza di 11 kW, le quattro pompe di circolazione dell'acqua refrigerata della rete ognuna di potenza pari a 11 kW, l'addolcitore dell'acqua necessaria al reintegro dell'acqua persa nella torre, tutti gli organi elettrici di controllo del sistema di refrigerazione ed infine gli estremi della rete: i collettori di mandata e ritorno oltre ai primi tratti di tubazioni

Come è stato già accennato, il pozzo freddo dei condensatori delle macchine sono due torri evaporative in cui, in ognuna, la movimentazione dell'aria è consentita da due ventilatori.

L'utilizzo di torri evaporative va certamente a migliorare l'efficienza del sistema rispetto all'utilizzo di un condensatore ad aria, ma nei momenti in cui l'umidità relativa esterna è molto alta, cosa che accade frequentemente nell'area oggetto di studio, il sistema tende a faticare nel raffreddare adeguatamente il fluido refrigerante nel condensatore, ciò causa una diminuzione di efficienza del sistema.

Nel corso dell'attività di ispezione della centrale frigorifera e tramite colloqui con il personale del servizio manutenzione si è appreso che l'avviamento dei primi tre gruppi frigoriferi e delle pompe dell'acqua proveniente dalle torri evaporative è temporizzato, va sottolineato che sebbene solo tre gruppi siano in funzione vengono attivate comunque quattro pompe di circolazione, mentre l'attivazione delle pompe dell'acqua refrigerata a servizio della rete di teleraffrescamento avviene automaticamente solo per tre di esse, la quarta è invece solitamente attiva per tutta la stagione estiva 24 ore su 24. Il quarto gruppo viene invece attivato qualora la

potenza dei primi tre gruppi frigoriferi non sia sufficiente a soddisfare i fabbisogni del complesso. Infatti nel caso in cui questo venisse attivato con un carico ridotto tutti i gruppi comincerebbero a parzializzare a modulare la potenza frigorifera fornita ed elettrica assorbita, fatto che allo stato attuale causa problemi nella circolazione dell'olio nelle macchine, situazione che provoca il blocco delle stesse, rendendo necessario un successivo riavvio manuale. Inoltre, nel caso in cui l'operatore non venga avvisato tempestivamente della disfunzione dell'impianto, al successivo riavvio del sistema le macchine si trovano a dover sopperire ad un carico termico che si è andato ad accumulare nelle ore di assenza di funzionamento degli impianti di condizionamento ponendo l'impianto in condizione di ulteriore sofferenza. Deve essere specificato che il sistema non ha alcuna modalità di segnalazione automatica di malfunzionamento, l'unico modo per l'operatore di sapere se l'impianto stia effettivamente funzionando o meno sarebbe quello di essere sempre presente in centrale, ma non è più a servizio alcun conduttore della centrale frigorifera, oppure, come accade, intuire la disfunzione dal fatto che giungono lamenti dagli utenti degli edifici in cui la temperatura ha raggiunto livelli tali da creare discomfort. Spesso inoltre un'eventuale parzializzazione della potenza frigorifera si ha nelle prime ore di funzionamento, ore che nel periodo estivo coincidono solitamente con i valori di umidità relativa prossimi al 100%, in cui non si hanno ancora situazioni di forte caldo da parte degli utenti ma che permettono però un tale accumulo di calore da parte delle strutture che unito alla difficoltà di funzionamento del sistema, visto l'utilizzo di torri evaporative con le condizioni esterne precedentemente descritte, provocano l'impossibilità del sistema a riuscire a recuperare le condizioni di funzionamento ideali per tutto il corso della giornata.

Come detto il quarto gruppo viene usato in caso di necessità nelle ore di pieno carico, ma viene utilizzato anche all'inizio della stagione di raffrescamento, specie a maggio, quando i carichi sono ancora ridotti, oppure di notte nell'alta stagione estiva quando si rende necessario raffrescare parte del sistema anche di notte al fine di diminuire il carico termico che si andrebbe altrimenti ad affrontare nelle ore di maggior carico. Non è comunque chiaro se nelle notti le pompe di circolazione dell'acqua di torre e le torri stesse siano attive o meno, dalle informazioni carpite si crede che siano spente, poiché se fossero attive il rumore causato dalle torri creerebbe disagio al vicinato. Questo fa supporre che il fatto di lasciar attivo il quarto gruppo sia dovuto più al fatto che in questo modo sia già attivo nel momento in cui gli altri tre vengono attivati automaticamente più che ad una vera e propria intenzione nel raffrescare le strutture degli edifici durante la notte dato che, senza l'acqua dalle torri, i condensatori non lavorano in condizioni adeguate, rendendo la potenza frigorifera erogata molto ridotta.

La figura 5 rappresenta la pianta della centrale frigorifera e delle due torri evaporative che la servono, nell'immagine si possono riconoscere infatti nella parte superiore le torri stesse le cui tubazioni sono state spezzate per compattare l'immagine, nella parte inferiore si distinguono i quattro gruppi frigoriferi, sulla sinistra le pompe dell'acqua che raffredda il fluido frigorifero al condensatore e sulla destra le pompe di circolazione dell'acqua refrigerata di rete.

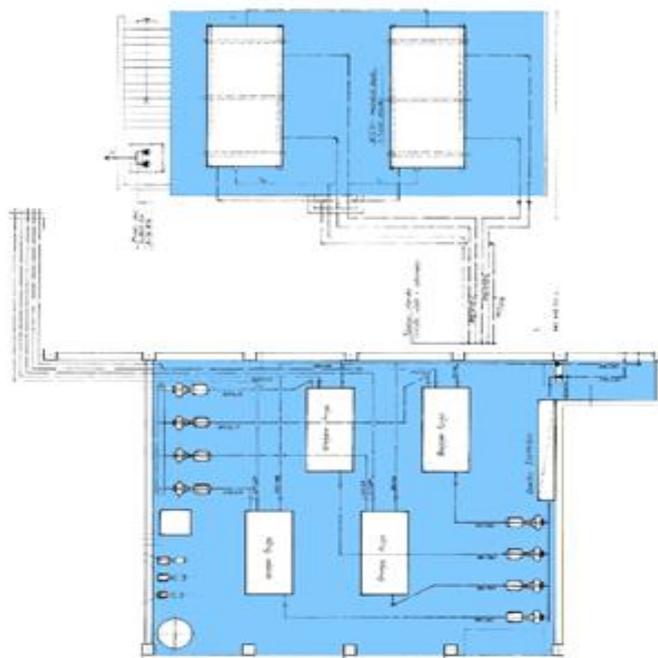


Figura 5: pianta della centrale frigorifera e delle torri evaporative

Le macchine della centrale forniscono la potenza frigorifera alle sottostazioni degli edifici tramite la rete di teleraffrescamento, questa però non serve il DIM-B. A differenza della soluzione adottata nel periodo invernale, che prevede la presenza di scambiatori in ogni sottostazione, viste anche le condizioni di esercizio della rete ad alta temperatura, la scelta impiantistica per il raffrescamento non prevede sempre la presenza di scambiatori al secondario, anzi questi sono presenti solo negli edifici di più recente costruzione, il CLA, Psicologia 1 e Psicologia 2, mentre negli altri edifici l'acqua refrigerata è spillata dalla rete. Gli edifici dotati di scambiatori, edificati successivamente agli altri e più distanti dalla centrale frigorifera sono spesso in condizioni di sofferenza nel periodo estivo, criticità erano comunque già presenti nelle Aule Bassi, queste infatti si trovano a valle del Vallisneri che, come vedremo, contribuisce per più di metà al fabbisogno complessivo di raffrescamento

Nella tabella 8 vengono riassunte, come fatto per la centrale termica, le caratteristiche ed il numero degli scambiatori presenti nelle sottostazioni

Tabella 8: Scambiatori collegati alla rete di teleraffrescamento, numero e potenza (fonte Moro, Rotolo)

Sottostazione	Numero	Tipologia	Taglia [kW]	Totale potenza installata [kW]
PSICO 1	2	PIASTRE	400 <sup>(*)</sup>	800 <sup>(*)</sup>
PSICO 2	1	PIASTRE	780	780
CENTRO CONGRESSI+ CENTRO LINGUISTICO	2	PIASTRE	550	1100

(\*)= la potenza del secondo scambiatore è stimata in mancanza di dati a riguardo

### 1.1.3. La cabina elettrica

L'energia elettrica è distribuita da ENEL. La cabina elettrica, adiacente alla centrale frigorifera, serve l'intero *Anello di Media Tensione Nord Piovego* il quale distribuisce l'energia elettrica in tutti gli edifici in media tensione da 10 kV. Il cablaggio corre nei cunicoli dove sono presenti i condotti della rete di teleriscaldamento e raffrescamento. La sottostazione comune del CLA e centro congressi è collegata in derivazione attraverso quella di PSICO-2. Anche la Mensa ESU Nord Piovego è allacciata alla cabina elettrica però, come verrà meglio spiegato nel paragrafo 2.1.2, i consumi della stessa non sono contabilizzati e quindi scorporati con cadenza periodica.

## 1.2. Gli edifici: caratteristiche geometriche, strutturali e impiantistiche

In questa sezione verranno presentate le caratteristiche salienti degli edifici serviti dalla rete oggetto di studio dal punto di vista geometrico, strutturale ed impiantistico in modo tale da permettere al lettore di comprendere quali siano i fattori che determinano i fabbisogni complessivi di riscaldamento e raffrescamento che verranno illustrati nel seguito della trattazione. Per gli edifici oggetto di analisi in questo elaborato la presentazione sarà approfondita, verranno infatti descritte le caratteristiche termofisiche dell'involucro e sarà fornita un'illustrazione accurata delle caratteristiche dell'impianto di climatizzazione che impattano nella determinazione dei fabbisogni dell'edificio. Con il termine di impianto di climatizzazione si indica, e si indicherà nel prosieguo della trattazione, l'impianto di riscaldamento, raffrescamento e ventilazione meccanica. Per una più esaustiva degli edifici del complesso si rimanda alle tesi citate in bibliografia di Pasquale Rotolo e Davide Moro. I cambiamenti effettuati rispetto ai dati presenti in queste tesi, saranno messi in evidenza in questo e nei successivi capitoli.

### 1.2.1. Il complesso interdipartimentale Vallisneri

#### 1.2.1.1. Caratteristiche geometriche e strutturali



Figura 6: Ala est e sud del Vallisneri (fonte Rotolo)

## Capitolo 1. Analisi caso studio

Il complesso interdipartimentale di biologia “A. Vallisneri” edificato all’inizio degli anni ’80 presenta una struttura portante in travi d’acciaio, tamponata da pannelli prefabbricati ed elementi finestrati modulari; Si presenta quindi come uno stabile leggero, costituito da nove piani, di cui uno interrato.

Nella tabella 9 sono riportate le superfici lorde per piano e le corrispondenti volumetrie.

Tabella 9: Superfici e volumi dei piani dell'edificio Vallisneri (fonte Rotolo)

	Superficie Lorda [m <sup>2</sup> ]	Volume [m <sup>3</sup> ]
Piano interrato	4750	15200
Piano terra	3880	12400
Piano Rialzato	3630	12400
Piano Primo-Sesto	3675	11760
Piano Settimo	1070	3425
<b>Totale</b>	<b>34200</b>	<b>114000</b>

La descrizione della struttura può essere sviluppata seguendo due criteri che vanno a dividere l’edificio secondo una sezione piana ed una sezione verticale:

Nella sezione piana si distinguono tre diverse zone: la nord e la sud simmetriche rispetto all’asse est-ovest, la est a sua volta solitamente specchiata sull’asse precedentemente citato e un corpo centrale che si prefigura come collegamento dei comparti precedentemente citati.

Nella figura 7 è visibile la divisione secondo la sezione orizzontale sopra descritta.

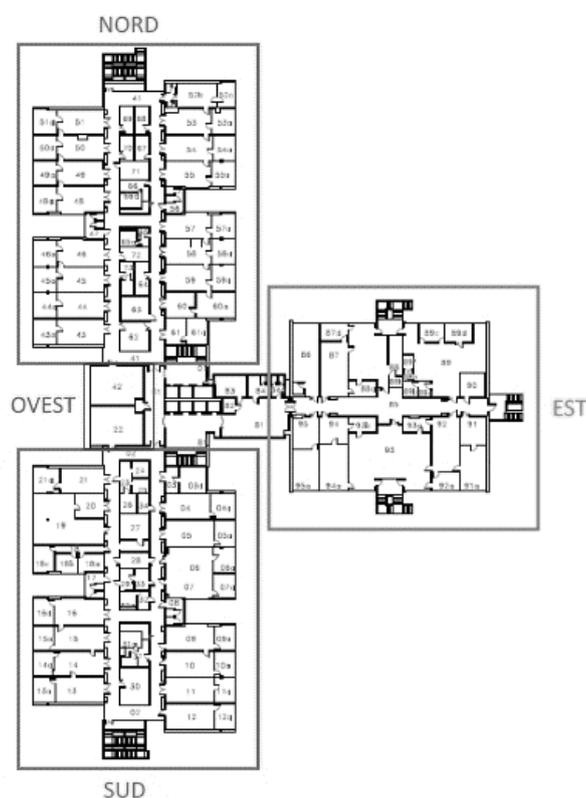


Figura 7: Sezione orizzontale del piano tipo, 1-6 (fonte Rotolo)

Nella sezione verticale si possono distinguere il piano terra e rialzato, che presentano una superficie in pianta ridotta rispetto ai piani superiori (eccetto lo stabulario), in cui si svolgono prevalentemente attività didattica e amministrativa, i piani dal primo al sesto in cui si svolgono prevalentemente attività di ricerca, l'ala est di questi piani non è attualmente utilizzata e perciò non viene riscaldata né raffrescata, in particolare questa zona non è allacciata alla rete di teleraffrescamento tramite la sottostazione dell'edificio. Fa eccezione l'ala est del sesto piano che ospita il CRIBI (centro ricerca interdipartimentale sulle biologie innovative), il quale è riscaldato nella stagione invernale e raffrescato durante la stagione estiva grazie un'unità di trattamento aria (in seguito UTA o CTA, centrale trattamento aria) posta sul tetto, raggiunta da uno stacco della rete da cui traggono inoltre origine le tubazioni del sistema di fan coil a supporto dell'ala est del sesto piano. Il settimo livello, oltre ad ospitare vari ausiliari degli impianti tecnici dell'edificio, è sede dello stabulario, questa zona è attualmente solo parzialmente utilizzata, ed è riscaldata grazie alla rete di teleriscaldamento ma è raffrescata grazie a macchine autonome.

Nella figura 8 è messa in evidenza la divisione secondo la sezione verticale.



Figura 8: Sezione verticale dell'edificio (fonte Rotolo)

Nell'immagine non è visibile il piano interrato, il quale comunque avrà una incidenza limitata sul corso della trattazione visto che è riscaldato e raffrescato da una macchina autonoma posta nelle vicinanze dello stesso, per la parte che ospita le zone adibite a laboratorio, mentre la sezione in cui sono presenti depositi libri e locali tecnici non è né riscaldata né raffrescata.

Vengono ora presentate le piante dei vari piani

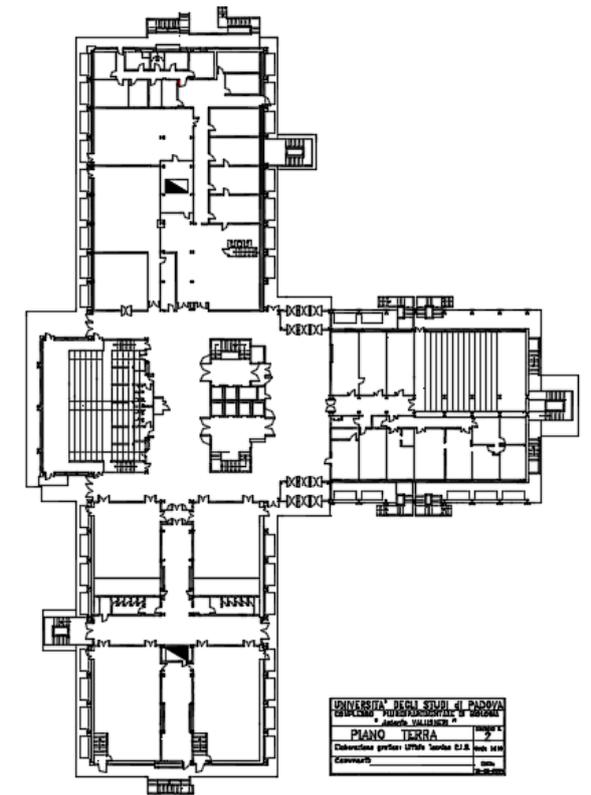


Figura 9: Pianta piano terra (fonte Rotolo)

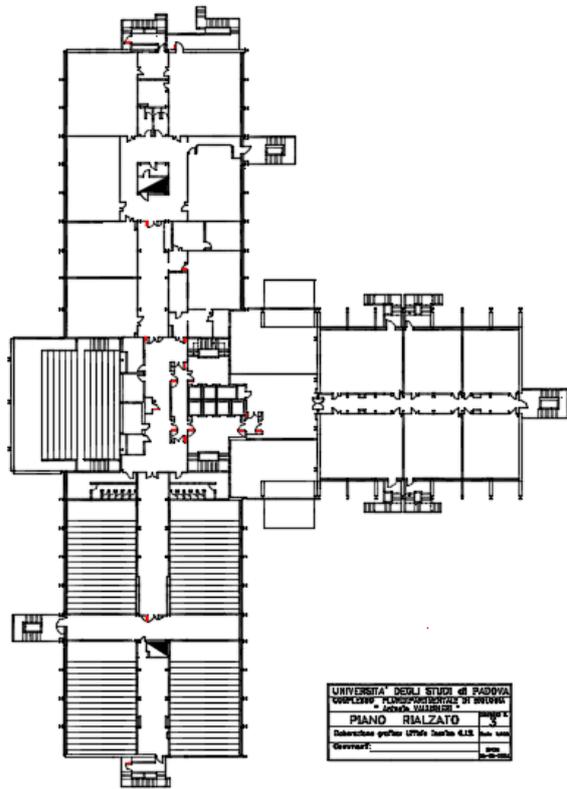


Figura 10: Pianta piano rialzato (fonte Rotolo)

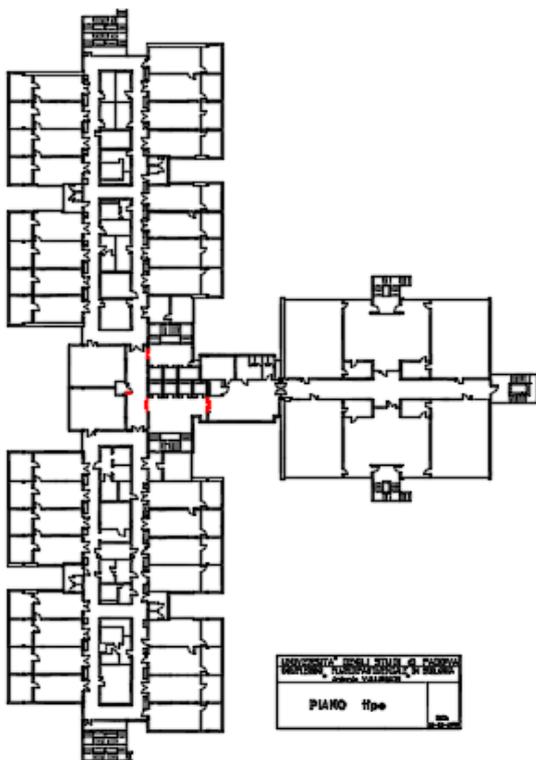


Figura 11: Pianta piani dal primo al sesto (fonte Rotolo) (la suddivisione interna dei locali può variare)

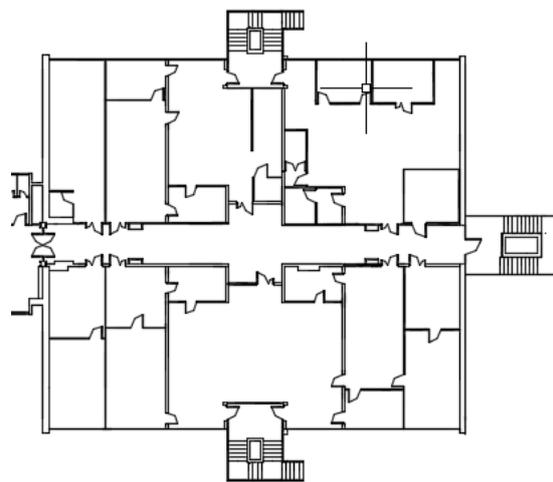


Figura 12: Pianta ala est sesto piano (CRIBI) (fonte Rotolo)

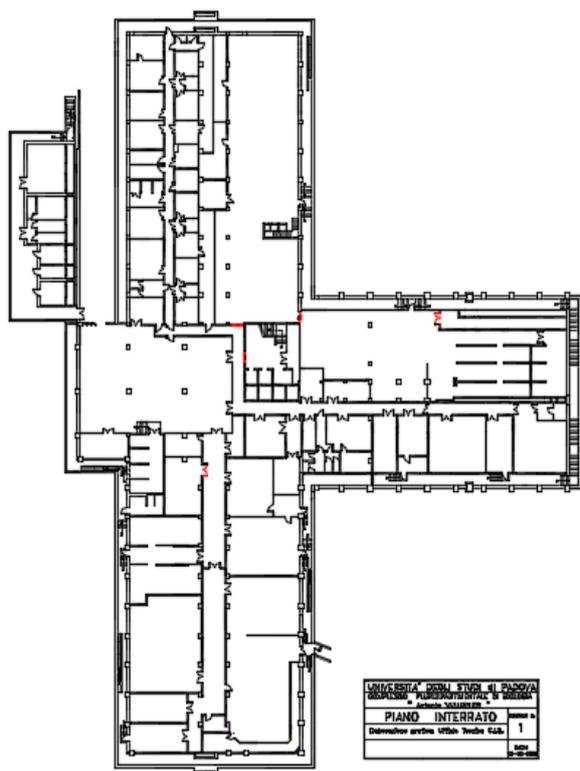


Figura 13: Pianta piano interrato (fonte Rotolo)

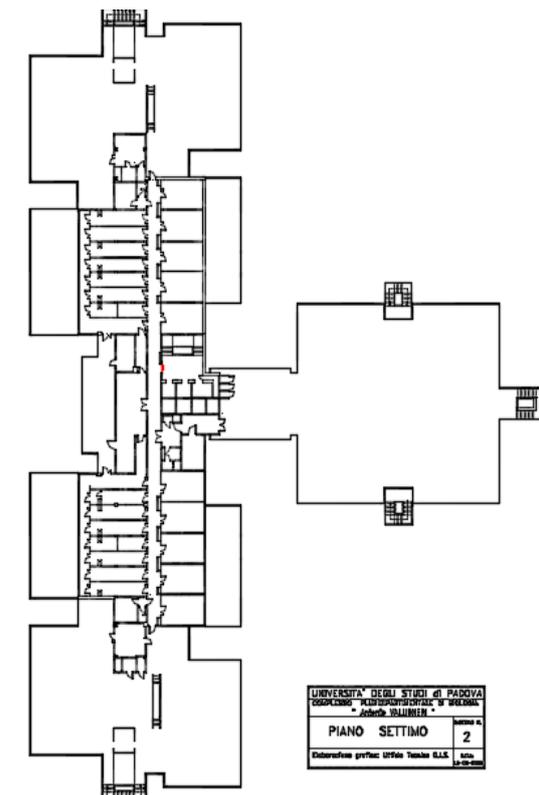


Figura 14: Pianta piano settimo stabulario (fonte Rotolo)

### 1.2.1.2. L'involucro

In questa sezione vengono presentate le caratteristiche termofisiche dell'involucro, la stratigrafia completa delle componenti non viene riportata per non appesantire la trattazione, per la consultazione di tali dati si rimanda alla tesi di Pasquale Rotolo citata in bibliografia.

Tabella 10: Trasmittanza termica componenti dell'involucro del Vallisneri (fonte Rotolo)

Posizione Componente edilizia	N° Codice	Descrizione componente edilizia	Trasmittanz a termica [W/(m2*K)]
Parete esterna dei piani dal 1° al 6°	1	Pannello in cls rifoderato con intercapedine d'aria	0.76
	2	Pannellatura in alluminio	1
	3	Finestre perimetrale "rossa"	3.42
Pareti esterne vani scala e corpo centrale	4	Cemento armato Vano Scale	3.15
	1	Pannello in cls rifoderato Pannello in cls rifoderato	0.76
Bretella collegamento ala est- corpo scientifico	5	Finestra con pannelli semplici	3.32
	6	Corpo finestrato	3.45
Parete esterna dei piani terra e primo	7	Pannello in cls rifodera semplice	0.64
	8	Finestra standard 1	2.34
	9	Corpo finestrato "Bussole"	2.93
Solaio copertura	10		0.35

Nella figura 15 viene mostrata la suddivisione della parete esterna del piano tipo

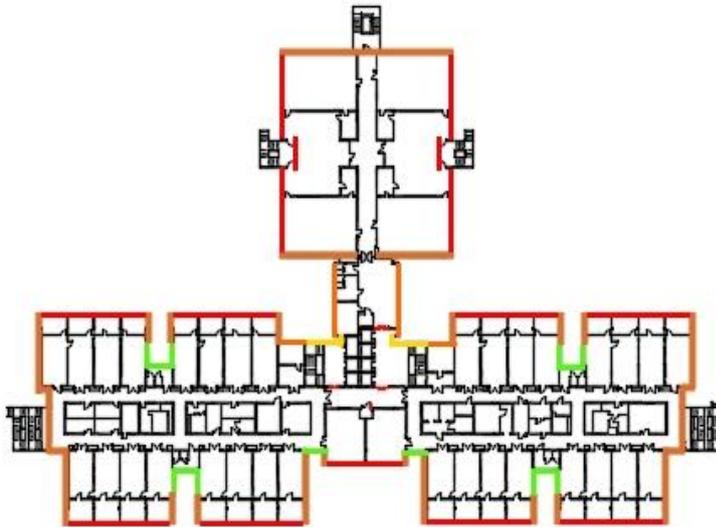


Figura 15: Distribuzione delle componenti edilizie dei piani dal 1° al 6° (fonte Rotolo)

I colori rappresentano i seguenti codici:

- *Rosso*: “Finestra perimetrale rossa”, codice 3
- *Giallo*: “Cemento armato Vano Scale”, codice 4
- *Arancio*: “Pannello in cls Rifodera semplice”, codice 7
- *Verde*: “Pannello in Alluminio”, codice 2
- *Marrone*: “Pannello in cls Rifoderato con intercapedine d’aria”, codice 1

### 1.2.1.3. Caratteristiche dell’impianto di climatizzazione

#### Presentazione generale

L’edificio sotto esame è il più ampio ed è stato più volte oggetto di ristrutturazione, e lo è tuttora, ciò ha comportato la presenza di una forte variabilità nell’impianto a servizio dello stesso. In questo paragrafo si elencheranno le caratteristiche principali degli impianti tecnici di interesse per la trattazione.

Il piano rialzato e la maggior parte del piano terra presentano impianti di riscaldamento e raffrescamento caratterizzati dalla presenza di UTA coadiuvate da fan coil nell’attività di riscaldamento invernale e raffrescamento estiva. I piani dal primo al sesto sono climatizzate da impianti a tutta aria, nelle zone nord e sud presentano inoltre dei reintegratori, quattro per piano di portata nominale 4500 m<sup>3</sup>/h ciascuno, atti appunto a reintegrare l’aria espulsa dalle cappe utilizzate nei laboratori.

I corridoi del piano terra, il vano scale e i servizi igienici sono riscaldati tramite la presenza di radiatori, nella stagione estiva non sono raffrescati.

Il piano interrato, come già accennato, è autonomo sia nella stagione invernale sia in quella estiva mentre lo stabulario è riscaldato grazie alla rete di teleriscaldamento ma è raffrescato da macchine autonome dedicate, essendo questa un’area di difficile accesso non è stato possibile osservarne l’impianto, le uniche informazioni a riguardo sono quelle presenti nei documenti cartacei.

La sottostazione dell’edificio, ubicata come la maggior parte dei locali tecnici nel piano interrato, è sede di tre scambiatori a fascio tubiero che riscaldano l’acqua circolante negli impianti tramite il calore ceduto dall’acqua surriscaldata proveniente dalla rete di teleriscaldamento. Un quarto scambiatore, a piastre, è stato aggiunto successivamente. Ogni scambiatore è indipendente dagli altri, ognuno può infatti essere attivato senza che gli altri lo siano.

I circuiti di riscaldamento collegati ai secondari degli scambiatori sono i seguenti:

- circuito che alimenta le batterie calde delle due UTA Nord e Sud
- circuito delle UTA a servizio delle aule del piano terra
- circuito delle 24 centraline a doppio condotto dei piani dal 1° al 6°
- circuito delle UTA dell'ala Est, dal 1° al 5° piano
- circuito caldo radiatori
- circuito caldo fan coil

Le caratteristiche degli scambiatori sopra citati sono le seguenti:

*Tabella 11: Caratteristiche degli scambiatori a servizio del Vallisneri (fonte Rotolo)*

	<b>Tipologia</b>	<b>Potenza nominale</b>
Scambiatore 1	Fascio Tubiero	1600
Scambiatore 2	Fascio Tubiero	1600
Scambiatore 3	Fascio Tubiero	800
Scambiatore 4	Piastre	800
<b>Totale</b>		<b>4800</b>

L'impianto di raffrescamento è invece costituito da:

- circuito che alimenta le batterie calde delle due UTA Nord e Sud
- circuito delle UTA a servizio delle aule del piano terra
- circuito delle 24 centraline a doppio condotto dei piani dal 1° al 6°
- circuito freddo fan coil
- circuito del locale microscopia

L'edificio viene raffrescato per spillamento da due stacchi della rete, uno, il principale serve tutte le utenze, tramite condotti che si diramano da un collettore posto nella sottostazione, ad eccezione del CRIBI il quale è servito da uno stacco dedicato che raggiunge l'UTA sul tetto dell'edificio ed il circuito di fan coil di questa ala.

Nella pagina seguente è raffigurato la rappresentazione schematica della sottostazione, per compattare tale immagine in un formato A4 si è rinunciato alla nitidezza della stessa, sono però comunque messe in risalto le componenti principali: pompe, collettori e scambiatori.

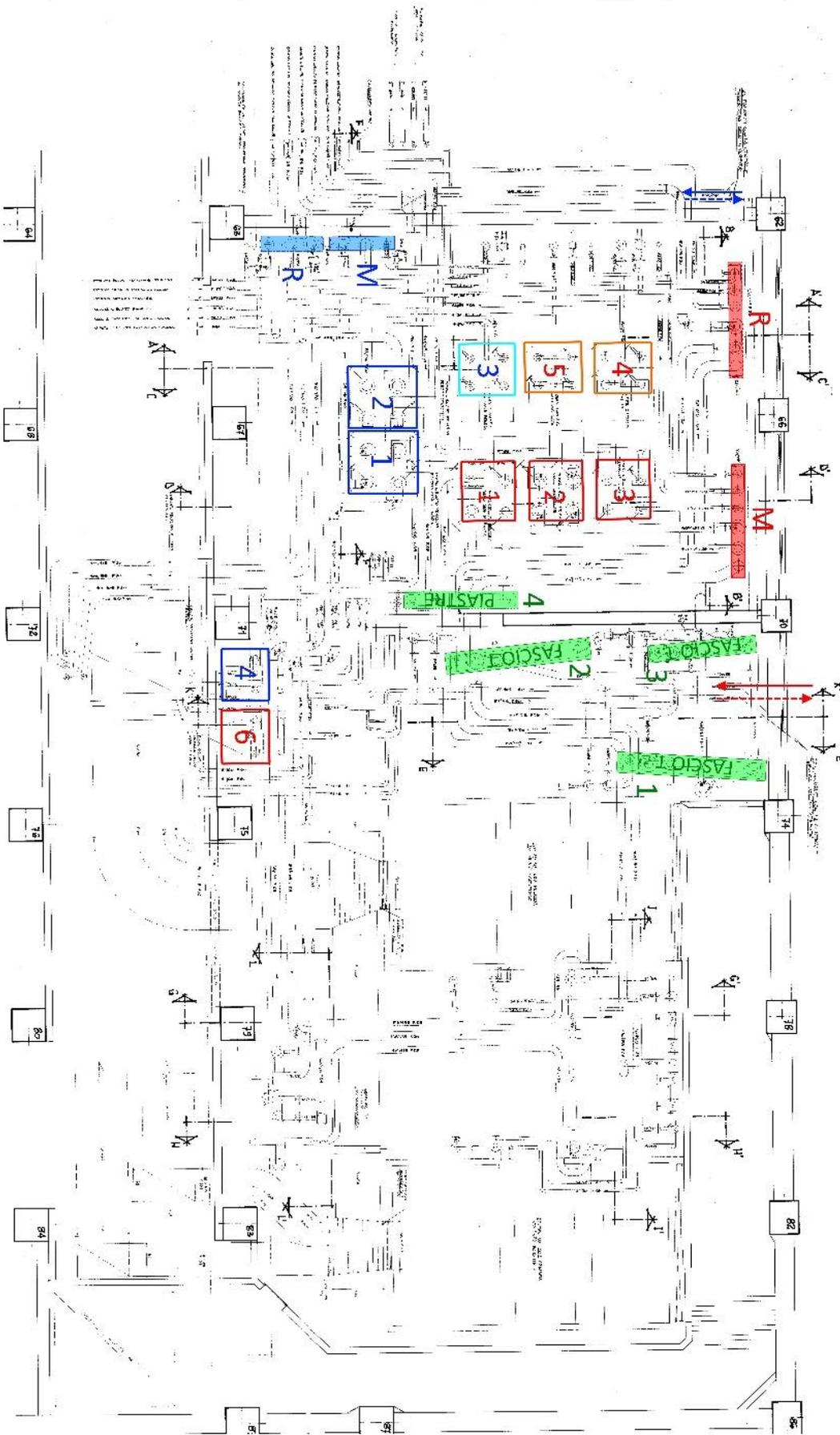


Figura 16: Sottostazione del Vallisneri (fonte Rotolo)

Presentazione dettagliata impianto piano terra

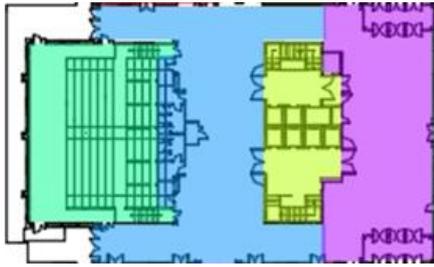


Figura 17: Piano terra corpo centrale (fonte Rotolo)

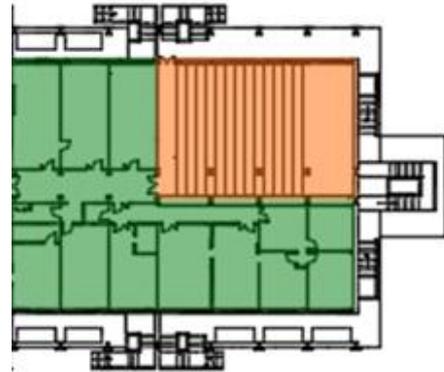


Figura 18: Piano terra ala est (fonte Rotolo)

L'aula E (zona arancio della figura 18), l'unica zona dedicata alla didattica dell'ala est del piano terra, è servita da un'UTA dedicata posizionata nel piano interrato, coadiuvata da fan coil nel periodo estivo, la portata di ventilazione è pari a 5000 m<sup>3</sup>/h. Il resto dell'ala è invece dedicato ad uffici amministrativi e portineria, queste zone sono servite da fan coil e radiatori, nel periodo estivo il raffrescamento è attuato per mezzo di macchine autonome, e non grazie alla rete del complesso come invece avviene nel periodo invernale. Queste macchine così come le altre a servizio dell'edificio verranno presentate alla fine del paragrafo.

Il corpo centrale presenta radiatori che riscaldano l'atrio ed i corridoi nella stagione invernale, in quella estiva questi ambienti non sono raffrescati. Le bussole d'entrata, visibili nelle estremità della zona viola della figura 17, sono dotate di un proprio impianto di termoventilazione, le cui centrali di trattamento d'aria sono poste nel piano interrato. L'aria calda introdotta nelle bussole funge da barriera nella stagione fredda dall'entrata dell'aria esterna causata dalle frequenti aperture delle porte. L'aula magna (la zona color verde acqua), essendo a gradoni come le quattro aule dell'ala sud, occupa anche parte della volumetria di competenza del piano rialzato, è raffrescata e riscaldata da un'UTA di portata nominale 7500 m<sup>3</sup>/h installata nel piano interrato. Poiché tale ambiente richiede di essere climatizzato anche nei momenti in cui le centrali sono spente sono stati installati due condizionatori split per una potenza frigorifera complessiva pari a 20 kW.

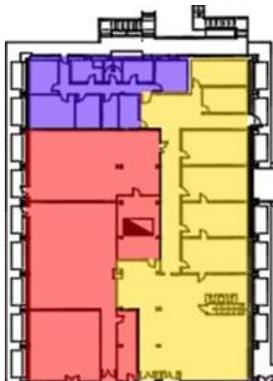


Figura 19: Piano terra ala nord (fonte Rotolo)

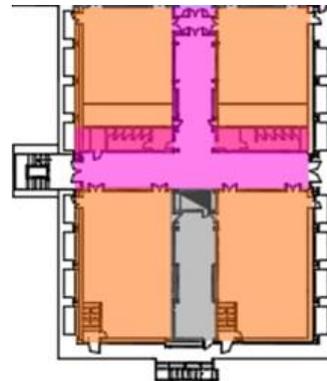


Figura 20: Piano terra ala sud (fonte Rotolo)

L'ala nord è servita da fan coil ad integrazione di aria primaria elaborata da quattro UTA, della portata complessiva di 4900 m<sup>3</sup>/h. Fa eccezione la zona denominata "uffici nord" (in viola nella figura 19), la quale è servita da una caldaia a metano e da un chiller nel periodo estivo

## Capitolo 1. Analisi caso studio

A sud, ognuna delle quattro aule è servita da un'UTA di portata pari a 5000 m<sup>3</sup>/h, poste al di sotto delle gradonate, si occupano sia del riscaldamento degli ambienti sia del loro raffrescamento. Nel piano rialzato nello spazio ricavato negli ambienti sovrastanti i corridoi dell'ala in esame e racchiuso tra le murature delle aule stesse sono stati ricavati i servizi, un vano tecnico e un'ambiente dedicato ad aula studio, questa è solamente riscaldata.

Presentazione dettagliata impianto piano rialzato

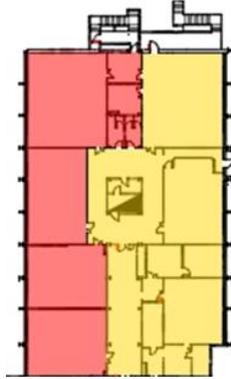


Figura 21: Ala nord piano rialzato (fonte Rotolo)

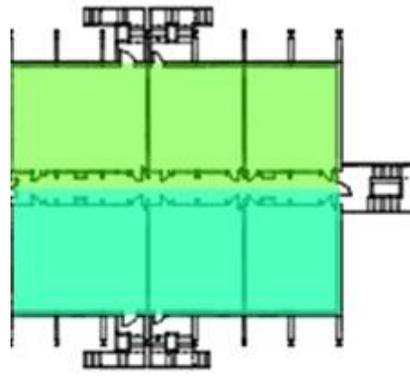


Figura 22: Ala est piano rialzato (fonte Rotolo)

L'ala nord del PR è stata oggetto di recente ristrutturazione, i lavori sono terminati agli inizi di ottobre, dal momento che il modello utilizzato prevede ancora la vecchia configurazione impiantistica e strutturale, è stato deciso di illustrare in questa sezione l'impianto prima del riammodernamento. L'impianto aeraulico si occupa del solo riscaldamento, il piano non è infatti raffrescato, ed è alimentato da sette UTA, due di portata nominale 1800 m<sup>3</sup>/h e cinque da 1000 m<sup>3</sup>/h.

L'ala est, composta da sei aule, presenta una configurazione analoga a quella nord dal punto di vista impiantistico, cambia solamente il numero delle centrali di trattamento aria, due di queste elaborano 1800 m<sup>3</sup>/h, le restanti quattro 1000 m<sup>3</sup>/h.

Presentazione dettagliata impianto piani dal primo al sesto

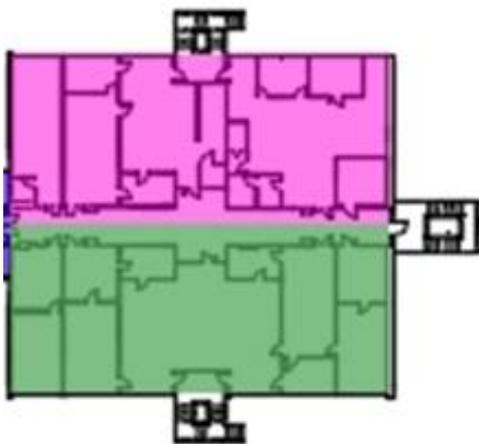


Figura 23: Ala est piano sesto, le ali est dal primo al quinto piano presentano una divisione interna diversa (fonte Rotolo)

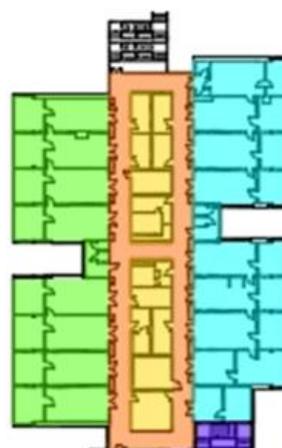


Figura 24: Ala nord (ala sud speculare) dei piani 1-6 (fonte Rotolo, )

L'ala est dei piani dal primo al quinto è ora inutilizzata perciò gli impianti a servizio sono inattivi, questi servivano in ogni caso al solo riscaldamento degli ambienti e non al loro raffrescamento. Queste sezioni erano servite da impianti a tutta aria alimentati dalle portate alimentate da sei UTA (per piano) di portata nominale 1000 m<sup>3</sup>/h.

Il sesto piano si differenzia dai sottostanti per il fatto di ospitare il CRIBI, questo viste le particolari attività che vi sono svolte necessità di un impianto termotecnico diverso da quello precedentemente illustrato, in particolare questo deve garantire anche il raffrescamento nel periodo estivo. L'UTA a servizio della zona è posta sulla copertura dell'edificio ed elabora una portata di 8800 m<sup>3</sup>/h e nel periodo estivo è aiutata nell'azione di raffrescamento da ventilconvettori, l'estrazione dell'aria viziata è attuata per mezzo di cappe filtranti

Le ali nord e sud, speculari, sono climatizzate per mezzo di un impianto a tutta aria, in ogni ala sono infatti presenti due centraline di piano a doppio condotto, 24 in totale, di portata rispettivamente 7000 e 7500 m<sup>3</sup>/h. Queste UTA hanno però solamente il compito di distribuire la quota di aria ricircolata e la quota di primaria elaborata nelle centrali di trattamento aria, situate nella sottostazione, della portata di 48000 m<sup>3</sup>/h per ala (96000 m<sup>3</sup>/h di aria di rinnovo per le ali nord e sud dei piani dal primo al sesto, 6000 m<sup>3</sup>/h per semipiano). Le centraline non hanno alcun canale di collegamento con l'aria esterna se non per quanto riguarda l'aria proveniente dai reintegratori, due per semipiano, ognuno della portata nominale di 4500 m<sup>3</sup>/h. Questi apparati servono per bilanciare la portata d'aria estratta per mezzo delle cappe, esse infatti sono dotate di sensori che attivano il reintegro in funzione della velocità di funzionamento. L'espulsione dell'aria avviene, oltre al sistema di cappe, grazie a due estrattori della portata pari a 26500 e 25400 m<sup>3</sup>/h, i quali spingono verso l'esterno l'aria incanalatasi nei cavedi dell'aria esausta per sovrappressione. Si fa infine presente che dal riesame della documentazione e dai colloqui con il personale tecnico si è appreso che la portata proveniente dai reintegratori è riscaldata per mezzo di resistenze elettriche, nei precedenti scritti questa era conteggiata come elaborata grazie allo scambiatore a piastre presente nella sottostazione, essa invece subisce solo un alzamento della temperatura dai 20 °C set point della resistenza, ai 22 °C temperatura mantenuta nell'edificio, nella cassetta di piano, nel regime estivo la portata di reintegro è invece climatizzata totalmente grazie alle batterie fredde delle cassette di piano.

La figura presentata nella pagina successiva e la didascalia sono interamente tratte dalla tesi di Pasquale Rotolo. Si è deciso di mostrare questa immagine poiché permette di capire tutti gli elementi dell'impianto a servizio delle ali nord e sud dell'edificio, queste sono infatti una dei fattori principali del dispendio energetico dell'intera area oggetto di analisi.

Oltre alle CTA analizzate ne sono presenti altre di cui, per il ridotto impatto che hanno nel bilancio totale, non sono state ricercate e quindi mostrate le caratteristiche, queste sono:

- Le due UTA dei depositi libri nel piano interrato
- La UTA dei locali NMR delle camere calde (dismessa)
- La UTA dei locali microscopia
- La UTA di recupero aria dell'impianto di ricircolo delle camere calde (locali radioattivi)

## Capitolo 1. Analisi caso studio

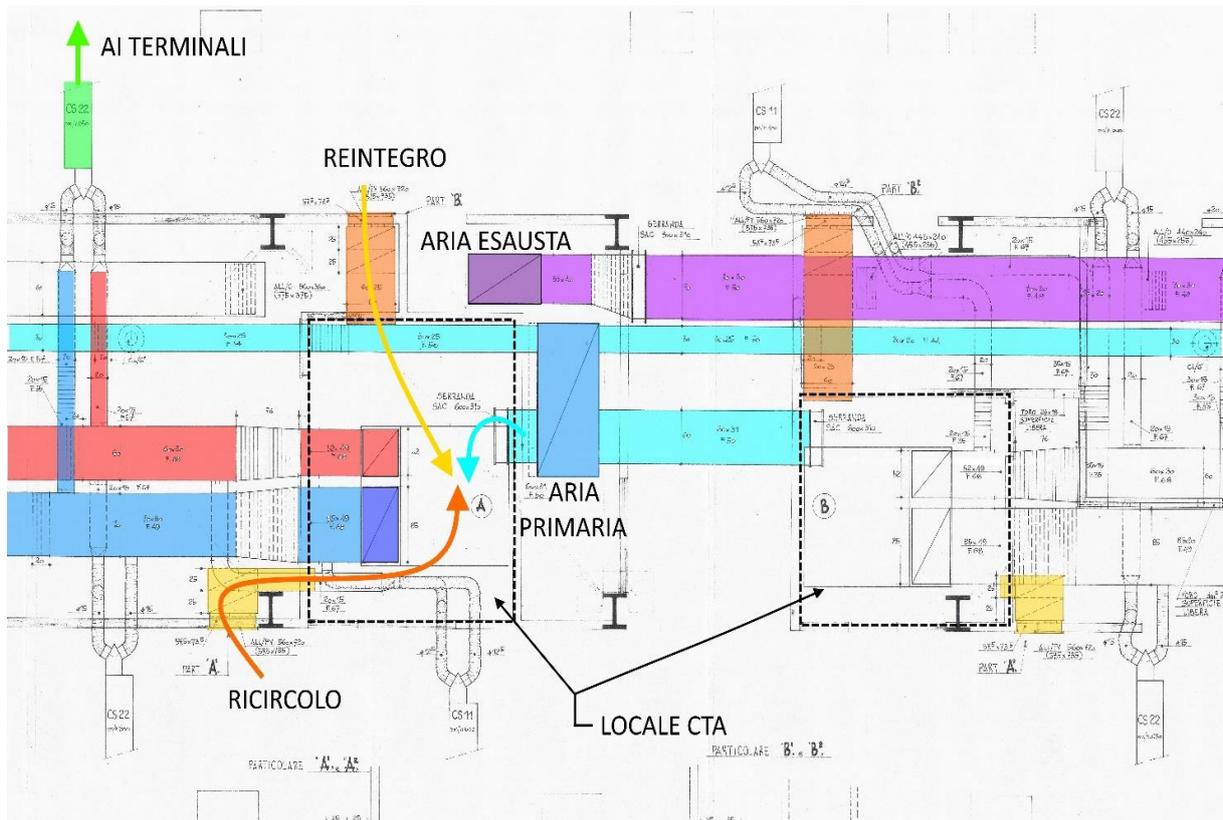


Figura 25: Descrizione dell'impianto Area Scientifica Nord/Sud (fonte Rotolo)

In figura 25 si nota la canalizzazione a doppio condotto con la cassetta di miscelazione (verde), il canale di aria esausta con relativo cavedio di espulsione (viola), cavedio e immissione dell'aria primaria (azzurro), canale di reintegro proveniente dai reintegratori di aria esterna posti nei locali WC (arancio scuro), le serrande di prelievo e canalizzazione dell'aria di ricircolo all'interno del locale CTA (giallo). (\*) i colori sulla Cta di destra sono invertiti. (fonte Rotolo)

Le macchine autonome a servizio dell'edificio sono le seguenti:

Tabella 12: Macchine autonome Vallisneri

Numero	Produttore	Potenza [kW] cooling/heating	Potenza elettrica [kW]	Ambiente servito
1	MTA	90/-	38	Stabulario Nord
2	Hidros	45/-	16	Stabulario Sud
1	Carrier	33/-	8.6	Biologia Lato Nord Microscopia
1	Tecnoclima	15/-	6	Piano 5 laboratorio radioattivo
1		60/98*	38	Laboratori interrato
1	Daikin PdC	20/26*	6	Laboratori interrato
2	Mitsubishi	14/-	5	Sale server
4		3.3/4.4*	1.1	5 piano ala est zone attive
2	Mitsui	10.7/14*	3.3	Aula magna
1		85/-	35	Uffici nord PTt

\*Potenza heating stimata come somma dell'assorbimento elettrico e della potenza frigorifera, valori in rosso stimati, le quattro macchine a servizio dell'ala est da sopralluogo sul tetto, uffici nord PT stimati da Rotolo

1.2.2. Il complesso didattico Piovego (Aule Ugo Bassi)

1.2.2.1. Caratteristiche geometriche e strutturali

Il complesso didattica Piovego, edificato a metà degli anni novanta, è costituito da quattro piani che presentano la stessa superficie sia in termini di metratura che forma, essi infatti hanno una pianta di forma rettangolare in cui l'asse maggiore è orientato in direzione SE-NO. La struttura è costituita da elementi prefabbricati.

In origine il piano terra costituiva il parcheggio coperto dello stabile, nel 2006 è stato oggetto di riqualificazione ed è diventato una zona dedicata aula didattica, come il resto dello stabile, esso, infatti, è composto di tre aule: una da 128 m<sup>2</sup> e capienza massima di 118 persone, e due aule di 65 m<sup>2</sup> e 59 posti a sedere, oltre ai servizi igienici e locali tecnici al servizio del piano.

Il primo piano è l'unico dei piani originari a presentare zone dedicate ai servizi igienici e alla guardiola, perciò lo spazio dedicato alle aule risulta minore rispetto ai piani superiori, in questo piano sono presenti due aule di circa 180 m<sup>2</sup> che possono ospitare fino a 166 studenti, i piani superiori invece si compongono di due aule di 270 m<sup>2</sup>.

In ogni piano sono presenti anche i corridoi di collegamento dei vari ambienti, però questi sono climatizzati solo al piano terra e primo piano, al secondo e terzo piano sfruttano l'aria calda o fredda proveniente dalle aule per mantenere condizioni di comfort ambientale.

Sul solaio di copertura insiste la sottostazione a servizio dell'edificio (ad esclusione del piano terra), questa è raggiunta sia dalla rete di teleraffrescamento che teleriscaldamento, il piano terra, invece, è raggiunto solamente dalla rete calda mentre è raffrescato grazie ad un gruppo frigorifero autonomo.

Ogni piano occupa una superficie lorda pari a 960 m<sup>2</sup>, l'edificio presenta un volume lordo di 12800 m<sup>3</sup>.

1.2.2.2. L'involucro

Le caratteristiche termofisiche dell'involucro in forma tabellare sono le seguenti:

*Tabella 13: Trasmittanze componenti dell'involucro Aule Ugo Bassi (fonte Rotolo)*

<b>Posizione Componente edilizia</b>	<b>Descrizione Componente edilizia</b>	<b>Trasmittanza termica [W/(m<sup>2</sup>*K)]</b>
Parete esterna	Parete in pannello	0.77
	Parete opaca continua in	1.25
	Parete vano scale	0.7
	Finestra di facciata	1.92
	Finestra delle aule	2.5
Copertura	Solaio	0.08

## Capitolo 1. Analisi caso studio



Figura 26: Il complesso didattico Piovego, Aule Bassi, (fonte Rotolo)

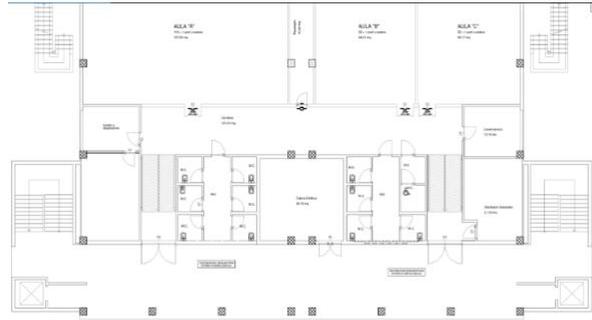


Figura 27: Pianta piano terra (fonte Rotolo)

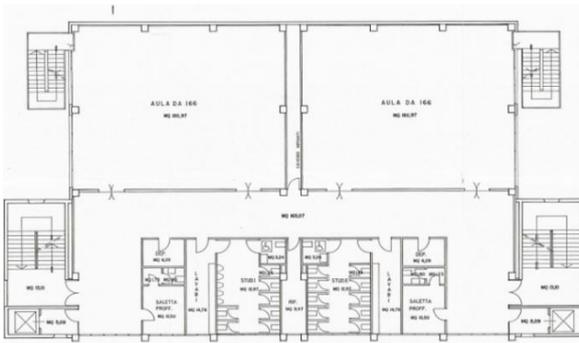


Figura 28: Pianta primo piano (fonte Rotolo)

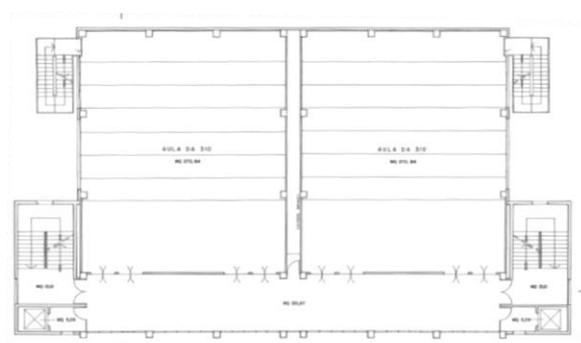


Figura 29: Pianta dei piani secondo e terzo (fonte Rotolo)

### 1.2.2.3. Caratteristiche dell'impianto di climatizzazione

#### Presentazione generale

La climatizzazione dell'edificio prevede la seguente configurazione:

- per le aule dal primo al terzo piano un impianto a tutta aria
- per i corridoi è previsto un impianto di riscaldamento a radiatori; l'aria proveniente per sovrappressione dalle aule raffresca le zone di passaggio
- per la zona comune del piano primo un impianto di ventilazione bilancia la quantità di aria estratta dai servizi igienici
- al piano terra invece sono presenti ventilconvettori ad integrazione di aria primaria.

Le componenti principali della sottostazione sulla copertura sono:

- lo scambiatore di calore a piastre per l'alimentazione del circuito di riscaldamento il cui primario è alimentato dalla rete e presenta una potenza nominale di 600 kW
- le sei UTA dedicate alla climatizzazione delle aule
- l'unità di trattamento aria della zona comune e servizi del primo piano
- L'addolcitore, il dosatore di prodotti anticorrosivi, le pompe di circolazione, il gruppo di pressurizzazione, i vasi d'espansione ed il quadro di controllo

Al piano terra le due UTA sono situate in locali tecnici dedicati, Il secondario del circuito caldo è alimentato da uno scambiatore a piastre di potenza pari a 150 kW.

Il circuito di climatizzazione estiva, come detto in precedenza, non è dotato di scambiatore, il raffrescamento dell'edificio infatti si ha, come avviene per il Vallisneri, per spillamento dalla rete della portata di acqua fredda proveniente dalla centrale frigorifera.

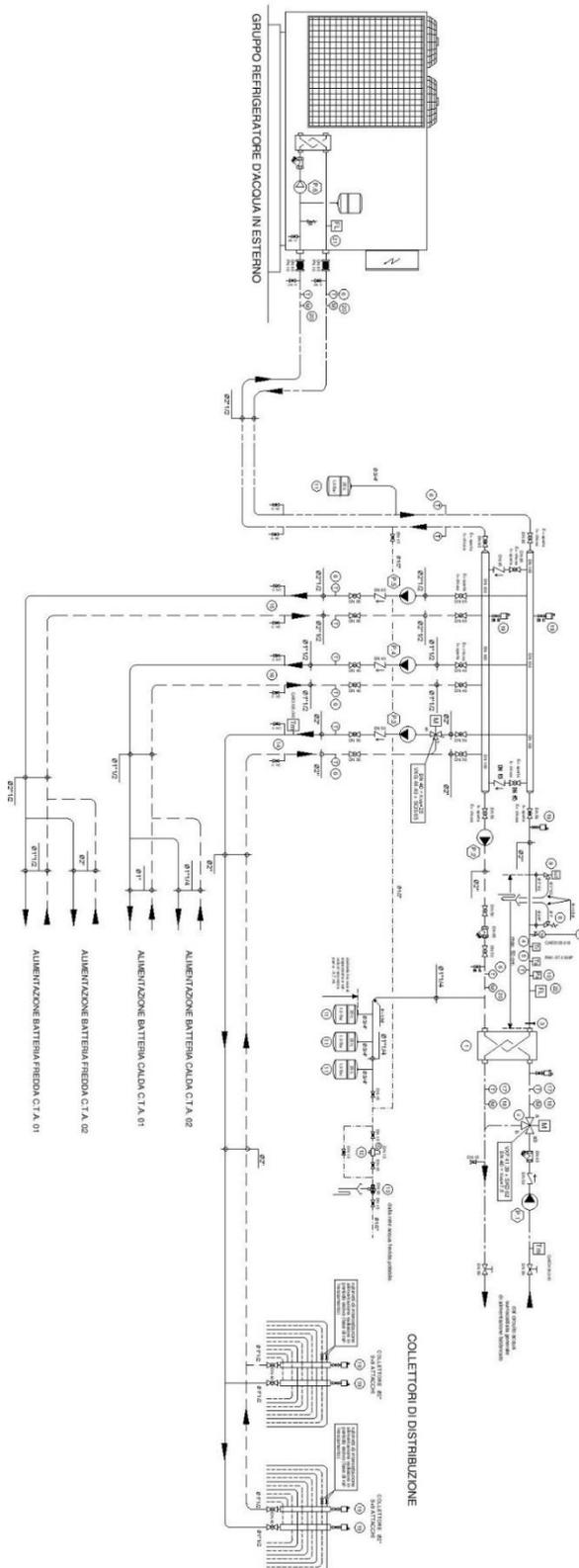


Figura 30: Impianto piano terra (fonte Rotolo)

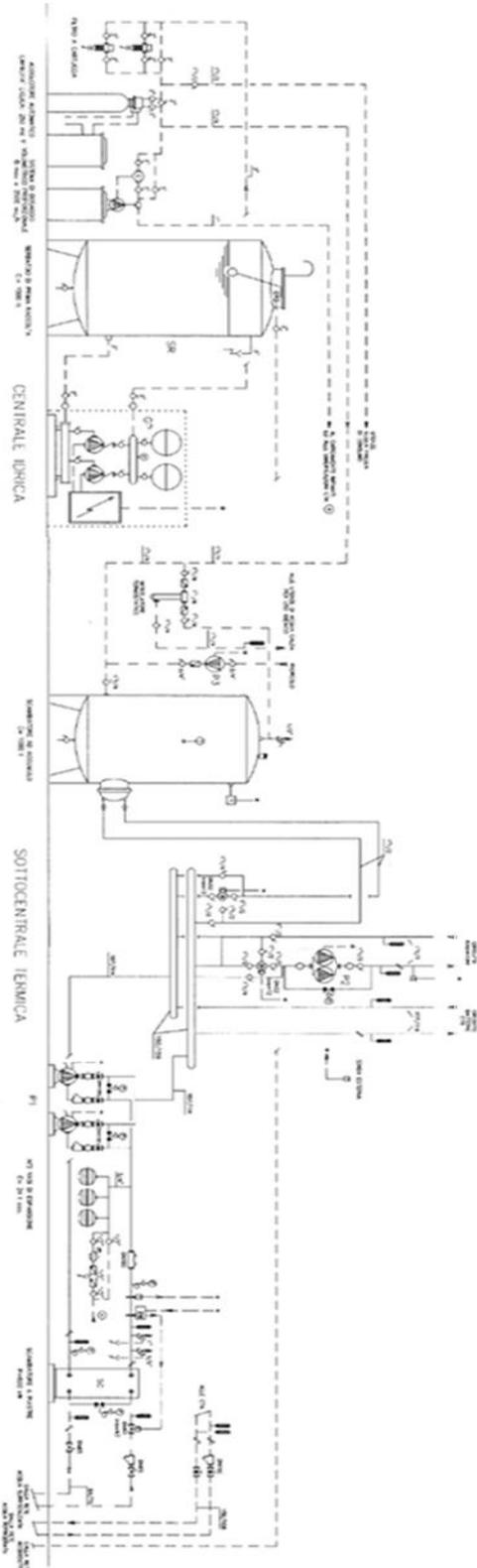


Figura 31: Sottostazione piani dal primo al terzo (fonte Rotolo)

### Presentazione dettagliata

Ognuna delle aule dal primo al terzo piano sono dotate di UTA dedicata, ciò permette di controllare le condizioni termoisometriche di ogni zona indipendentemente dalle altre. Queste macchine sono dotate di recuperatore, attivo nella stagione invernale, al fine di ridurre i consumi viste le ingenti portate delle stesse. Queste infatti elaborano una portata per le aule del primo piano pari a 5810 m<sup>3</sup>/h e per le aule del secondo e terzo piano di 10850 m<sup>3</sup>/h per una portata complessiva di 55020 m<sup>3</sup>/h. Il recuperatore delle CTA funziona solo nel periodo invernale fino a quando la temperatura esterna è inferiore ai 20 °C.

I corridoi sono climatizzati grazie all'aria che defluisce in essi per sovrappressione dalle aule, i servizi del primo piano sono riscaldati con radiatori e ventilati grazie ad un UTA da 3000 m<sup>3</sup>/h di portata.

Come è stato già accennato il piano terra, visto il recente cambio di destinazione d'uso, presenta un impianto tra i più moderni del complesso, questo utilizza come terminali delle aule fan coil, attivi sia nella stagione invernale che estiva, ad integrazione di aria primaria elaborata da due CTA della portata complessiva 5950 m<sup>3</sup>/h equamente divisa. Vista la ridotta portata elaborata, le UTA non presentano recuperatore. Il raffrescamento del piano terra avviene per mezzo della macchina descritta nella tabella 14. La potenza frigorifera sotto citata è riferita a condizioni della temperatura di condensazione di 35 °C, nelle quali si ha un assorbimento di 52.2 kW.

Tabella 14: Macchine autonome aule Ugo Bassi

Numero	Produttore	Potenza [kW] cooling/heating	Ambiente servito
1	Clima Veneta	106.1/-	Piano terra

### 1.2.3. Il centro linguistico di ateneo (CLA)

#### 1.2.3.1. Caratteristiche geometriche e strutturali

L'edificio si affaccia su Via Venezia, dalla quale risulta accessibile, ed è ubicato nell'area conosciuta come "Cittadella dello Studente", è stato acquistato con la formula "chiavi in mano", la costruzione dello stesso è stata ultimata nel 2012: La superficie al lordo delle murature è di 6706 m<sup>2</sup> per un volume di 27007 m<sup>3</sup>. Lo stabile si compone di uno spazio interrato in cui è situata la sottostazione a servizio dei sette piani fuori terra che completano l'edificio, il punto di prelievo dell'energia elettrica, comune a quello del centro congressi, è collegato in derivazione a quello di Psicologia 2.

L'edificio, come è lecito attendersi vista la giovane età, è stato costruito ponendo particolare attenzione alle prestazioni energetiche sia da un punto di vista dell'involucro che impiantistico. Per quanto riguarda le caratteristiche strutturali questo si presenta con una struttura portante e pilastri a sezione variabile in calcestruzzo inserite in un involucro con un elevato livello di isolamento la cui stratigrafia verrà presentata dopo la descrizione dei piani che compongono l'edificio.

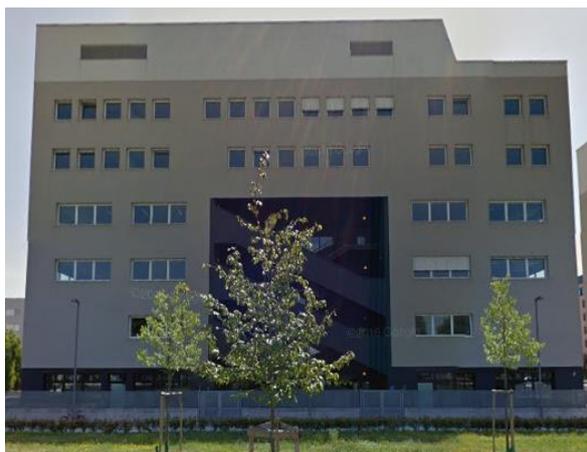


Figura 32: Facciata del CLA che affaccia su Via Venezia (Google Maps)



Figura 33: Pianta piani terra e primo (fonte Moro)



Figura 34: Pianta piani secondo e terzo (fonte Moro)



Figura 35: Pianta piani quarto e quinto (fonte Moro)

La composizione dei piani è la seguente:

- il piano terra, comprende l'ingresso, la portineria, i servizi, una sala di controllo e quattro aule didattiche,
- il piano primo ospita prevalentemente aule,
- i piani dal secondo al quarto ospitano laboratori linguistici, informatici e aule didattiche;
- al piano quinto sono presenti uffici e studi,
- all'interno piano in copertura sono poste le centrali di trattamento aria.

#### 1.2.4. L'involucro

Come detto, l'edificio è di recente costruzione e nella sua progettazione e quindi è stata prestata particolare attenzione nel contenimento dei consumi energetici.

Tabella 15: Trasmittanze componenti involucro CLA (fonte modello TRNSYS Moro)

Posizione Componente edilizia	Descrizione Componente edilizia	Trasmittanza termica
Parete esterna	Tipo 1	0.36
	Tipo 2	0.25
	Tipo 3	0.41
	Serramenti	1.17
Copertura	Tetto	0.51

## Capitolo 1. Analisi caso studio

### 1.2.4.1. Caratteristiche dell'impianto di climatizzazione

Nella sottostazione sono presenti quattro scambiatori di calore, due a servizio del circuito freddo e due al circuito caldo nei quali primari scorrono i fluidi provenienti dalla centrale termica e frigorifera tramite le rispettive reti.

Dal collettore a valle degli scambiatori hanno origine:

- il circuito dell'acqua calda per l'alimentazione delle batterie calde delle CTA,
- il circuito radiatori,
- il circuito dei fan coil,
- il circuito dell'acqua refrigerata per l'alimentazione delle batterie fredde delle CTA.

Nella sottostazione sono inoltre presenti due pompe di circolazione (una di riserva), necessarie alla circolazione del fluido nei secondari, oltre ai vasi d'espansione, gli apparati per il trattamento dell'acqua d'impianto e il quadro elettrico.

Nel fabbricato sono previste due tipologie di condizionamento:

- ventilconvettori ad integrazione di aria primaria per aule, uffici e corridoi,
- per i vani scale e i servizi igienici del quinto piano invece, si utilizzano radiatori, i servizi degli altri piani sono sprovvisti di terminali e tenuti in leggera depressione per effettuare la ripresa dell'aria esausta.

I primi quattro piani sono riscaldati e raffrescati, come detto, da un sistema di fan coil ad integrazione di aria primaria elaborata da tre UTA, dotate di recuperatore, inserite nel vano tecnico nell'ultimo piano dell'edificio. Ogni UTA elabora una portata volumetrica massima di 12200 m<sup>3</sup>/h il cui ventilatore è regolato dall'azione di un inverter che ne determina la portata effettivamente elaborata.

I piani quarto e quinto, meno affollati, hanno una portata di ventilazione ridotta rispetto ai sottostanti, essi sono infatti serviti da un'unica CTA che elabora una portata costante di 12000 m<sup>3</sup>/h anch'essa dotata di recuperatore. Anche in questi piani sono presenti fan coil attivi sia nel periodo estivo che invernale.

A servizio dell'edificio, che, non essendo frequentato come gli altri edifici presentati, soffre meno nel periodo estivo rispetto agli altri stabili della "Cittadella dello studente", vi sono solo otto macchine autonome di potenza ridotta:

Tabella 16: Macchine autonome CLA (fonte Moro)

Numero	Produttore	Potenza [kW] cooling/heating	Ambiente servito
8	Toshiba	2.5/3.2	Sala server / Cabina elettrica

Da questo punto della trattazione sino alla fine del capitolo saranno presentati in termini generali gli edifici oggetto della tesi di Edoardo Gazzea, verranno forniti al lettore gli elementi necessari per comprendere come si siano ottenuti i dati sui fabbisogni energetici dell'intera area, per una trattazione più specifica degli edifici non oggetto di analisi di questo elaborato si rimanda quindi alla tesi sopra citata oppure a quella di Davide Moro.

Per ogni edificio verranno presentate le piante degli edifici in cui è rappresentata la divisione in zone utilizzate per la simulazione, saranno fornite le tabelle riassuntive delle macchine autonome a servizio di questi stabili, con l'indicazione, quando è stato possibile riferirla dall'autore della tesi da cui sono stati tratti questi dati, di quale sia la zona servita da esse. Il documento da cui sono stati queste informazioni è l'elaborato di Davide Moro.

### 1.2.5. Ex dipartimento di ingegneria meccanica (DIM)

#### 1.2.5.1. Corpo A (DIM-A)

##### Caratteristiche geometriche e strutturali

Il DIM-A è l'appendice est dell'ex dipartimento di ingegneria meccanica ed è sede di studi, oltre ad ospitare la segreteria di tale dipartimento. L'edificio ha un'altezza di 30.9 m e si compone di otto piani fuori terra. La superficie lorda è di 4318 m<sup>2</sup> ed il volume è pari a 14587 m<sup>3</sup>. I piani possono essere schematicamente suddivisi nel seguente modo:

- il piano terra in cui sono presenti la Biblioteca "Enrico Bernardi", la portineria, il corridoio di collegamento agli altri corpi e la sottostazione termica,
- i piani superiori sono costituiti da due ali di studi che si affacciano rispettivamente a nord e sud e dalla segreteria del dipartimento di ingegneria industriale.
- all'ottavo piano hanno sede un locale tecnico e un deposito



Figura 36: DIM-A (corpo uffici) (fonte Moro)



Figura 37: Pianta piano terra (fonte Moro)



Figura 38: Pianta piani dal primo al settimo (fonte Moro) (la suddivisione interna dei locali può variare)

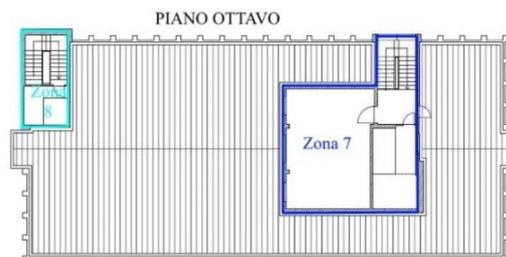


Figura 39: Pianta piano ottavo (fonte Moro)

## Capitolo 1. Analisi caso studio

### Caratteristiche generali dell'impianto di climatizzazione

Tra gli elementi principali da citare della sottostazione termica presente al piano terra dell'edificio ci sono: l'UTA del piano terra, due scambiatore a fascio tubiero dedicati al circuito caldo, le pompe di circolazioni del secondario ed il quadro di controllo del locale tecnico; è qui inoltre presente il punto di prelievo della rete del freddo, il fluido spillato da questa viene infatti utilizzato per il raffrescamento degli ambienti senza che vi sia l'intermediazione di uno scambiatore tra circuito primario e secondario.

L'acqua calda sanitaria è fornita per mezzo di bollitori elettrici, dal punto di vista impiantistico si sono riscontrate tre soluzioni di climatizzazione degli ambienti:

- un sistema misto aria primaria-fan coil per le zone adibite ad ufficio
- un sistema a tutta aria che serve la biblioteca
- radiatori per il riscaldamento dei vani scala e dei servizi

Oltre alla UTA del piano terra ne sono presenti altre due, la prima a servizio rispettivamente dei piani primo e secondo, con una portata volumetrica di 8000 m<sup>3</sup>/h, priva di recuperatore e batteria fredda, il carico estivo di questi piani è affidato infatti ai soli fan coil, e la seconda, dotata di recuperatore, che fornisce l'aria primaria ai piani dal terzo al settimo per una portata complessiva di 10700 m<sup>3</sup>/h, in questi piani gli elevati carichi estivi hanno imposto la scelta dell'installazione di una batteria fredda a supporto dei ventilconvettori.

Come ultima nota sull'edificio sono presentate le caratteristiche conosciute dei sistemi integrativi a servizio della biblioteca "Bernardi":

Tabella 17: Macchine autonome del DIM-A (fonte Moro)

Numero	Produttore	Potenza [kW] cooling/heating	Ambiente servito
1	Clima Roca York S. L.	17.2/-	Biblioteca Bernardi

#### 1.2.5.2. Corpo B, officine di meccanica (DIM-B)

##### Caratteristiche geometriche e strutturali

L'edificio, situato più a nord di tutti gli stabili dell'ex dipartimento di meccanica, è composto di due piani per un'altezza massima di 14 m che si raggiunge in corrispondenza della torre. Due aule della capienza massima di 194 e 200 studenti, vari laboratori, una stazione meteo, officine e uffici compongono il piano terra mentre il primo piano ospita prevalentemente zone dedicate ad uffici. L'edificio presenta una superficie lorda di 3927 m<sup>2</sup> e un volume di 31157 m<sup>3</sup>.

L'involucro non è dotato di alcun tipo di isolamento termico, i serramenti sono costituiti, per la maggior parte, da vetri singoli con telai metallici solo alcuni sono stati sostituiti in seguito a rottura con doppi vetri.



Figura 40: DIM-B, facciata nord (fonte Moro)

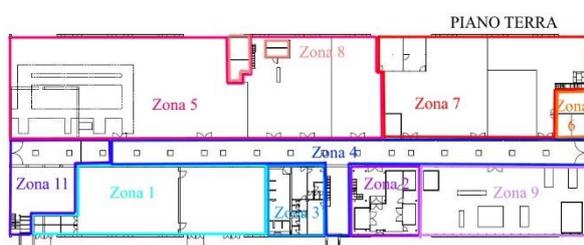


Figura 41: Pianta piano terra (fonte Moro)



Figura 42: Pianta primo piano (fonte Moro)

### Caratteristiche generali dell'impianto di climatizzazione

Per riscaldare le aule e le officine, data l'elevata altezza degli stessi, si è optato per le strisce radianti installate a soffitto, i ventilconvettori si occupano del raffrescamento estivo in questi ambienti, il circuito freddo non è però collegato alla rete di teleraffrescamento a differenza di quello caldo il cui scambiatore è situato all'interno della centrale termica del complesso dove si trovano anche le pompe di circolazione del fluido termovettore nel secondario. Le due aule sono inoltre dotate di sistema di ventilazione di cui si occupano due UTA poste sul tetto dell'edificio con portata rispettivamente pari a 5800 e 6800 m<sup>3</sup>/h. I box sono condizionati con split mentre gli uffici presentano un'UTA dedicata e ventilconvettori. Il corridoio non presenta alcun terminale d'impianto.

Le macchine, che si occupano in autonomia del raffrescamento di tutti gli ambienti e del riscaldamento delle zone non servite dalle termostrisce sono le seguenti:

Tabella 18: Macchine autonome a servizio del DIM-B (fonte Moro)

Numero	Produttore	Potenza [kW] cooling/heating	Ambiente servito
4	Daikin Europe	12.8/-	Aule M9-M10
1	LG	5.3/6.1	Box zona est
4	Aermec	5.2/5.8	Box zona nord
1	Carrier	31.7/-	Box zona est
2	Clima Roca York	17.9/18	Officina
1	RHOSS	6.5/7.6	Ufficio piano
1	-	8/-	Cabina elettrica

## Capitolo 1. Analisi caso studio

### 1.2.5.3. - Corpo C-D (DIM C-D)

#### Caratteristiche geometriche e strutturali

Il DIM C-D costituisce il corpo centrale dell'insieme di edifici di cui fa parte, formato da due ali unite per mezzo di bretelle, ospita varie aule, due di capienza di 268 persone, altre cinque della capienza variabile tra i 20 e 50 studenti, due aule pc e un'aula disegno oltre ad altri ambienti dedicati a laboratorio e studio. L'edificio si sviluppa su quattro piano per un'altezza complessiva di 13.5 m, una superficie lorda di 4632 m<sup>2</sup> e volume pari a 14692 m<sup>3</sup>.



Figura 43: DIM C-D (fonte Moro)



Figura 44: Pianta piano terra (fonte Moro)

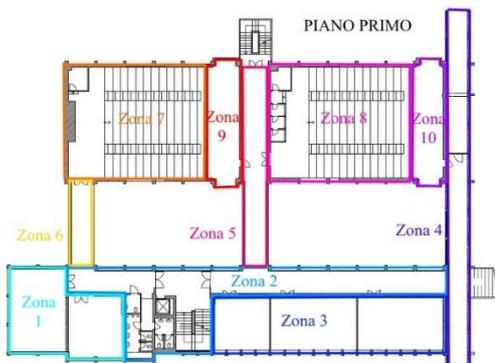


Figura 45: Pianta primo piano (fonte Moro)

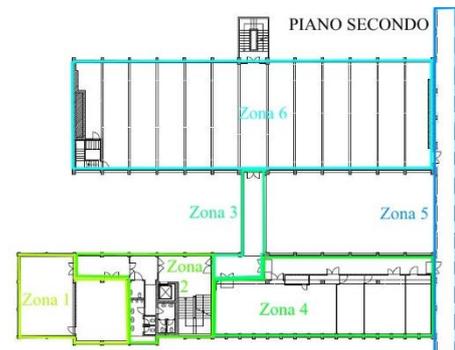


Figura 46: Pianta piani secondo e terzo (fonte Moro)

I primi due piani risalgono agli anni settanta, il terzo e quarto piano sono invece più recenti, la stratigrafia delle murature perimetrali degli ultimi due piani è, dall'esterno verso l'interno, composta da lastre di calcestruzzo, un'intercapedine d'aria, uno strato di polistirene espanso ed uno strato di cartongesso. La stratigrafia dei primi due livelli è la stessa del DIM-A essendo questi due piani stati edificati nello stesso periodo del corpo uffici.

#### Caratteristiche generali dell'impianto di climatizzazione

La sottostazione è situata al piano terra dell'ala D, qui sono installati tre scambiatori a fascio tubiero, il primario è alimentato dalla rete di teleriscaldamento, la circolazione del secondario è permessa da quattro pompe, di cui una di riserva, le quali inviano la portata ad un collettore dal quale si diramano cinque linee. Come avviene per gli altri edifici facenti parte del DIM la refrigerazione avviene per spillamento dalla rete di teleraffrescamento. Nello stabile non è prodotta ACS.

L'impianto termotecnico prevede per:

- le aule a gradoni un impianto a tutta aria;
- il polo informatico fan coil ad integrazione di aria primaria;
- l'aula disegno un impianto a tutta aria a cui sono stati aggiunti due climatizzatori a supporto;
- le aule del corpo C sono servite da radiatori per il riscaldamento e ventilconvettori per il raffrescamento;
- corridoi e servizi, sono alimentati unicamente da radiatori.

Le UTA delle aule a gradoni sono dotate di recuperatore e possono elaborare rispettivamente 5000 e 8800 m<sup>3</sup>/h mentre quelle a servizio dell'aula disegno e del polo di calcolo presentano portate uguali pari a 6100 m<sup>3</sup>/h.

Visti gli ingenti carichi estivi, che ponevano in condizioni di sofferenza l'intero impianto, in particolare la sezione a servizio della facciata sud, si è deciso perciò di aggiungere dei sistemi integrativi rispetto l'impianto originario e questi sono presentati nella tabella 19:

Tabella 19: Macchine autonome del DIM C-D (fonte Moro)

Numero	Produttore	Potenza [kW] cooling/heating	Ambiente servito
1	Mitsubishi	14.8/-	Aula D1
1	Mitsubishi	15/-	Aula D1
1	HidROS	90/-	Facciata sud: Polo informatico, Ingresso, Aula M6 e Sala lettura, Laboratorio L.I.M e Sala seminari, Aula M7
1	-	8/-	Cabina elettrica

#### 1.2.5.4. Corpo E (DIM-E)

Caratteristiche geometriche e strutturali

Il corpo E rappresenta l'ala ovest del DIM ed ospita l'ex dipartimento di fisica tecnica. Il piano terra dell'edificio è sede di officine e laboratori i tre piani superiori ospitano invece uffici e sale riunioni.

L'altezza dell'edificio è pari a 17 m, esso presenta una superficie lorda di 2679 m<sup>2</sup> e un volume di 9376 m<sup>3</sup>. La forma in pianta è rettangolare ed omogenea in altezza, l'asse maggiore segue l'orientazione nord-sud. L'edificio è stato costruito nello stesso periodo dei piani secondo e terzo del corpo C-D e le strutture esterne presentano la stessa stratigrafia. I serramenti sono composti di telaio in alluminio con doppi vetri.



Figura 47: Facciata ovest DIM-E (fonte Moro)



Figura 48: Pianta piano terra (fonte Moro)



Figura 49: Pianta primo piano (fonte Moro)



Figura 50: Pianta piani secondo e terzo (la suddivisione interna degli spazi può variare)(fonte Moro)

### Caratteristiche generali dell'impianto di climatizzazione

La sottostazione è divisa in due livelli, uno al piano terra ed uno al piano seminterrato, al suo interno sono presenti due scambiatori a fascio tubiero, il raffrescamento avviene per spillamento il cui circuito si dirama da un collettore così come avviene per il secondario caldo la cui circolazione è permessa da elettropompe. L'ACS è prodotta mediante bollitori elettrici.

Gli uffici e le sale riunioni sono climatizzate per mezzo di un circuito aeraulico alimentato da un'UTA situata al piano terra, dotata di recuperatore, di portata volumetrica pari a 8700 m<sup>3</sup>/h e da un circuito di fan coil il cui circuito inoltre si occupa in autonomia del condizionamento dei corridoi.

Le macchine a servizio esclusivo dell'edificio sono le seguenti:

Tabella 20: Macchine autonome del DIM-E (fonte Moro)

Numero	Produttore	Potenza [kW] cooling/heating	Ambiente servito
1	-	5.3/-	Sala server
1	-	12/-(**)	Laboratorio di conduttività

\*\*materiale fornito dall'ufficio manutenzione

### 1.2.6. Psicologia 1

#### 1.2.6.1. Caratteristiche geometriche e strutturali

L'edificio, situato all'estremità di Via Venezia che prosegue nella Via del Portello, è stato acquistato dall'Università di Padova nel 1992 con la formula del "chiavi in mano".

Lo stabile si compone:

- del piano interrato in cui sono presenti laboratori, lo stabulario e i locali tecnici,
- del piano terra che ospita sale conferenza, la direzione e uffici amministrativi,
- del primo piano con locali destinati a studi, laboratori ed aule informatiche;
- una torre composta di cinque piani dedicati a studi.
- un ulteriore volume in copertura in cui sono alloggiati le UTA.

I primi due piani fuori terra, a pianta quadrata di lato circa 36 m, hanno dimensioni più ampie dei piani superiori, questi infatti risultano alla vista come una torre di forma rettangolare con lato corto di 12 m e lato lungo di misura pari a quella della base dell'edificio, l'intero edificio si estende per una superficie pari a 7137 m<sup>2</sup> e presenta un volume di 24785 m<sup>3</sup>. L'altezza massima è di 26.6 m.

L'edificio presenta strutture portanti verticali in calcestruzzo armato a sezione variabile, l'involucro è ben isolato, gli infissi presentano telai in alluminio con taglio termico e vetrocamere tipo "Thermoplus".



Figura 51: Facciata est di Psicologia 1 (fonte Moro)



Figura 52: Pianta piano terra (fonte Moro)



Figura 53: Pianta primo piano (fonte Moro)



Figura 55: Pianta piano tipo torre (fonte Moro)

## Capitolo 1. Analisi caso studio

### Caratteristiche generali dell'impianto di climatizzazione

La sottostazione dell'edificio ospita al suo interno uno scambiatore a piastre a servizio del circuito caldo e due a servizio del circuito freddo, le pompe di circolazione due UTA e gruppo di controllo dell'impianto.

L'impianto di riscaldamento e condizionamento si può così suddividere:

- gli studi, i corridoi e gli atri sono climatizzati con un sistema di aria primaria e fan coil
- i vani scale e i servizi igienici sono riscaldati da radiatori, le riprese dell'aria sono presenti in questi ambienti che vengono mantenuti in leggera depressione.
- lo stabulario deve essere mantenuto alla temperatura di 30 °C per tutto l'arco dell'anno, per questo oltre ad essere servito dall'impianto aeraulico nelle ore di chiusura della centrale nel periodo invernale oppure al di fuori della stagione invernale è climatizzato da una macchina autonoma e con l'ausilio di resistenze elettriche.



Figura 56: Pianta del piano interrato (fonte Moro)

Questo edificio nella stagione estiva si trova spesso in condizioni di non riuscire a vedere soddisfatto il proprio fabbisogno frigorifero con l'ausilio della sola rete di teleraffrescamento, per questo nel corso degli anni sono stati installate numerose macchine frigorifere a supporto:

Tabella 21: Macchine autonome di Psicologia 1 (fonte Moro)

Numero	Produttore	Potenza [kW] cooling/heating	Ambiente servito
3	Fujitsu	3.4/4	Laboratori primo piano
2	Fujitsu	2.5/3.2	Laboratori piano terra
1	Fujitsu	5.2/6.3	Laboratorio/Sala pc
1	Mitsubishi Electric	7.1/8	Cabina elettrica
1	A/S	4.5/4.8	-
1	Panasonic	2.6/3.6	Sala server piano terra
1	Mitsubishi	13/-(**)	-
1	Daikin	2.6/-(**)	-
1	Mitsui	13/-(*)	Sala pc

\*Dato stimato \*\*materiale fornito dall'ufficio manutenzione

### 1.2.7. Psicologia 2

#### Caratteristiche geometriche e strutturali

La struttura portante dell'edificio, così come accade per l'involucro e per i serramenti, rispecchia le caratteristiche del CLA. La superficie lorda è pari a 7679 m<sup>2</sup> per un volume di 27817 m<sup>3</sup> (comprensivi dei locali interrati), articolati su otto piani, sette fuori terra, per un'altezza complessiva di 23 m. Vengono ora presentate le piante di piano e la fotografia della facciata che aggetta a NE, su via Venezia.



Figura 57: Facciata NE Psicologia 2 (Google Maps)



Figura 58: Pianta piano interrato (fonte Moro)



Figura 59: Pianta piano terra (fonte Moro)



Figura 60: Pianta primo piano (fonte Moro)



Figura 61: Pianta piani 2-3-4 (la divisione interna può variare) (Moro)



Figura 62: Pianta quinto piano (Biblioteca) (fonte Moro)

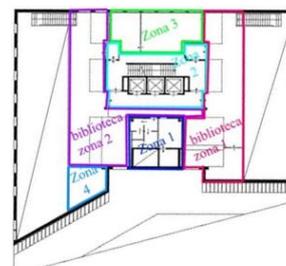


Figura 63: Pianta sesto piano (fonte Moro)

I piani possono essere descritti schematicamente come segue:

- il piano interrato è sede degli archivi di biblioteca e segreteria, oltre alla sottostazione,
- il piano terra è composto dall'atrio d'ingresso, i vani scala e l'ufficio tecnico,
- al primo piano si trovano prevalentemente studi,
- i piani dal secondo al quarto sono dedicati alla didattica,
- il quinto piano ospita la biblioteca del dipartimento,
- il sesto piano costituisce il piano rialzato della biblioteca ed è composto da uffici e locale stampa oltre al vano tecnico a servizio dei questo e del sottostante piano.

## Capitolo 1. Analisi caso studio

In ogni piano sono presenti i servizi, nel volume che sovrasta il sesto piano sono presenti due UTA collegate all'impianto aeraulico dei piani dedicati ad aule e alla biblioteca, di portate rispettivamente pari a 26000 m<sup>3</sup>/h, dotata di recuperatore, e 4000 m<sup>3</sup>/h.

### Caratteristiche generali dell'impianto di climatizzazione

L'edificio è dotato di scambiatori a piastre, uno per il circuito freddo e uno per quello caldo, i cui primari sono collegati alle reti provenienti dalle centrali del complesso, oltre agli scambiatori nella sottostazione sono presenti:

- Le elettropompe del circuito caldo e freddo
- la centrale di trattamento aria dedicata ai piani terra e primo per una portata complessiva di 8500 m<sup>3</sup>/h, e l'UTA a servizio a servizio degli archivi, portata 2000 m<sup>3</sup>/h.
- tutti gli ausiliari asserviti all'impianto tecnico come i vasi d'espansione, il quadro elettrico di controllo, l'addolcitore e l'impianto di pressurizzazione.

L'acqua calda sanitaria è prodotta con scaldabagni elettrici, l'impianto di climatizzazione può essere suddiviso con la seguente schematizzazione:

- il piano interrato presenta radiatori ed un sistema di termoventilazione
- il piano terra e primo sono condizionati con fan coil ad integrazione di aria primaria
- i piani dal secondo al quarto presentano ventilconvettori coadiuvati da un impianto ad aria primaria a portata variabile
- la biblioteca ed il sesto piano presenta lo stesso impianto del piano terra e primo
- i vani scali sono riscaldati con termosifoni

Così come avviene per Psicologia-1 gli ingenti carichi estivi non sono pienamente bilanciati dalla potenza frigorifera che giunge dalla centrale frigorifera, inoltre l'edificio presenta l'esigenza di essere climatizzato anche quando la centrale termica o frigorifera è spenta qualora in esso si tengano conferenze nei fine settimana, per sopperire a tali esigenze sono state installati i sistemi integrativi elencati nella tabella 22:

Tabella 22: Macchine autonome Psicologia 2 (fonte Moro)

Numero	Produttore	Potenza cooling/heating [kW]	Ambiente servito
2	Domus	7/7.9	Segreteria e ufficio
4	Fuji Electric	7/7.9	Aule didattiche dei piani
2	Aermec	2.4/-	Centrale telefonica/ Gruppo di continuità/ Cabina elettrica
1	Mitsubishi	7/7.9	
1	Carrier	7/7.9	Sala server
1	Daikin	7/7.9	
1	Mitsubishi	3.6/4.1	Sala server

## 2. ANALISI DATI, METODI E MODELLI

In questo capitolo saranno fornite informazioni riguardanti i dati ricercati e analizzati dall'autore e di quelli che sono stati recuperati dalle precedenti tesi che si sono occupate del complesso interdipartimentale "Nord Piovego". Dai documenti appena citati, in particolare, sono stati recuperati i modelli degli edifici e della rete di teleriscaldamento, alla fine del capitolo verranno introdotte le modifiche apportate a questi resesi necessarie in seguito alla revisione della documentazione tecnica e delle informazioni ricavate dall'attività di ispezione e analisi dati. Verranno inoltre illustrati i metodi seguiti nella raccolta delle informazioni e nella loro successiva elaborazione.

### 2.1. Analisi dati

In questo paragrafo sono descritti i dati utilizzati nell'elaborato e le analisi effettuate su essi.

#### 2.1.1. Consumi di gas naturale

Al fine di verificare l'attendibilità dei risultati ottenuti e per valutare l'efficienza del sistema di teleraffrescamento e teleriscaldamento si sono utilizzati i dati climatici dell'ARPAV, provenienti dalla stazione meteorologica di Legnaro, le fatture delle società SoEnergy, per i consumi di combustibile, e le letture dei contatori fornite da ENEL per quanto riguarda l'energia elettrica. Poiché l'analisi preliminare dei fabbisogni invernali, che era stata effettuata dai precedenti elaborati, si basava sui consumi e sui dati climatici del 2015 tranne per i mesi di gennaio e febbraio che erano relativi al 2016 si è deciso di mantenere questi mesi come riferimento nell'opera di raffinamento della determinazione dei fabbisogni stessi, sono stati inoltre scelti come riferimento i mesi estivi del 2015 come cartina tornasole della bontà dello studio effettuato sulla rete di teleraffrescamento.

L'analisi sui consumi di gas è stata ereditata dagli elaborati precedenti citati in bibliografia, questa consiste, oltre all'aver riportato il consumo da  $\text{Sm}^3$  in kWh tramite gli opportuni coefficienti, nel sottrarre la media dei consumi estivi di gas naturale dai mesi invernali poiché è stato ritenuto che questa fosse la miglior stima del consumo di combustibile, dovuto alla produzione di ACS per lo stabulario del complesso interdipartimentale di biologia. Un'ulteriore correzione si è resa necessaria quando, nel corso delle valutazioni effettuate nella stesura del presente elaborato è risultato che il 2016 era un anno bisestile, cioè, al fine di riportare i fabbisogni determinati a partire del Test Reference Year (TRY) che conta febbraio composto di 28 giorni, ha imposto di ridurre i consumi del mese in questione diminuendoli di 1/29. I consumi di gas naturale per il riscaldamento degli edifici sono quindi:

*Tabella 23: Consumo mensile di gas naturale della centrale termica per il riscaldamento del complesso*

Mese	Consumo GN [MWh]	Mese	Consumo GN [MWh]
Gennaio	1419	Ottobre	237
Febbraio	1113	Novembre	952
Marzo	660	Dicembre	1301
Aprile	202		

### 2.1.2. Consumi di energia elettrica, fonte e metodologia

L'analisi sui consumi elettrici è stata invece effettuata grazie alla collaborazione dell'autore con Edoardo Gazzea. Infatti per aver un termine di confronto tra i fabbisogni dell'intero complesso ottenuti e i carichi elettrici assorbiti era necessario avere un punto di partenza comune dato proprio dalla stima dei consumi di energia elettrica dovuti al raffrescamento dell'area analizzata, per la loro determinazione si è proceduto nel seguente modo:

1. Si sono analizzati i consumi orari di energia elettrica dall'aprile 2015 al marzo 2016, poiché i dati forniti da ENEL sono su base annuale con questi mesi (non è stato possibile avere i consumi anteriori ad aprile 2015).
2. Si sono calcolate le medie dei consumi orari dei periodi in cui non erano attivi né gli impianti di riscaldamento né quello di raffrescamento degli edifici, in modo tale da conoscere i consumi dovute alle attività del complesso non imputabili alla climatizzazione degli stessi. Questo calcolo è stato effettuato per i giorni dal lunedì al venerdì, per i sabati e per le domeniche in modo tale da sottrarli ai corrispettivi estivi. Il periodo di ferie estiva è stato rapportato ai consumi dei sabati mentre quello dei giorni di festa a quello delle domeniche. Si precisa che i consumi dovuti alla ventilazione meccanica degli edifici è compresa in queste medie orarie, è stato infatti deciso di non imputare alla climatizzazione degli edifici le richieste di energie elettrica dei ventilatori delle UTA poiché queste sono costantemente attive in ogni edificio del complesso indipendentemente dal fatto che gli impianti di riscaldamento o raffrescamento siano funzionanti o meno.
3. Al fine di scorporare i consumi dovuti alla didattica e alla mensa, che come detto in precedenza è allacciata allo stesso anello del complesso, sono stati valutati i profili di assorbimento elettrico in particolari condizioni: per quanto riguarda i consumi legati alla didattica la stima è stata tratta dalla valutazione che la data 9/04/15, un giovedì, rappresenta il giorno di rientro dalle vacanze pasquali di quell'anno accademico, i consumi del giorno precedente a tale data quindi sono quindi epurati dalla didattica, o più in generale dalla presenza degli studenti, se non del tutto assente molto ridotta. La differenza dei consumi delle ore 16 tra i due giorni è stata scelta come indicativa dell'energia elettrica utilizzata nell'ora dalla didattica, questo valore è pari a 128 kWh. La scelta dell'orario è stata fatta considerando che nelle ore successive la presenza degli studenti va diminuendo e nelle ore precedenti la presenza dei carichi della mensa influenza i dati.
4. Il punto 3 porta alla stima dei consumi legati alla cucina del ristorante "Nord Piovego", chiusa l'8/04 e aperta il 9/04 come riscontrabile nei calendari di apertura della struttura, che, dalla differenza delle fatturazioni delle ore dalle 9 alle 14 delle due giornate e tolti i consumi della didattica, stimati nel capoverso precedente, in tali ore risultano pari:

*Tabella 24: Stima dei consumi di energia elettrica della cucina della mensa*

Ora	9	10	11	12	13	14
Consumo EE [kWh]	10	46	97	152	169	166

5. Una volta stimati i fabbisogni dell'energia elettrica legati all'attività di ristorazione si è potuto cercare di quantificare quelli legati all'attività di raffrescamento. è stato notato infatti che i consumi dei sabati estivi presentavano un andamento pressoché costante nelle ore dalle 8 alle 16, come visibile dalle figure 64 e 65:

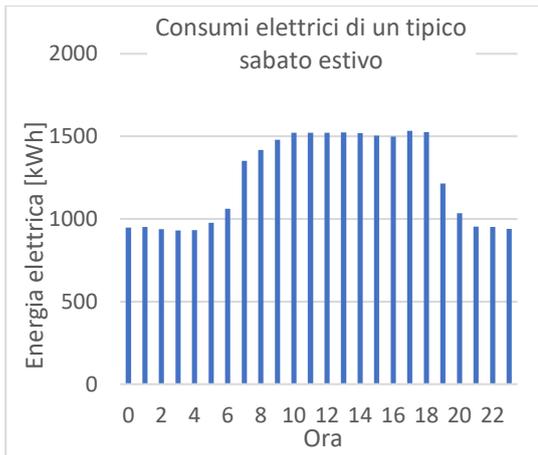


Figura 64: Profilo orario del consumo elettrico di un tipico sabato estivo

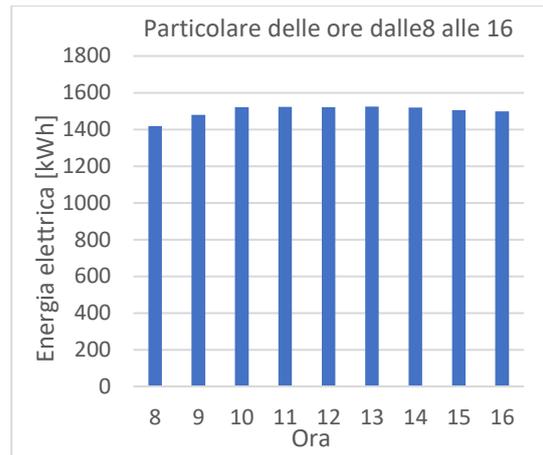


Figura 65: Particolare ore dalle 8 alle 16 della figura 64

Questo in combinazione al fatto che dal calendario il sabato 24/06/17 la mensa risultava eccezionalmente aperta, ha portato al seguente calcolo: è stato sottratto il valore del consumo delle ore 15 da quello delle ore precedenti sino alle ore 9 in modo tale da ricavare per differenza il consumo legato alla presenza della mensa nell'assorbimento elettrico, si è poi sottratto il valore orario, precedentemente illustrato, dell'energia elettrica usata dalla cucina. I consumi dovuti al raffrescamento sono i seguenti:

Tabella 25: Stima dei consumi di energia elettrica dovuti al raffrescamento della mensa

Ora	9	10	11	12	13	14
Consumo EE [kWh]	160	138	117	140	167	141

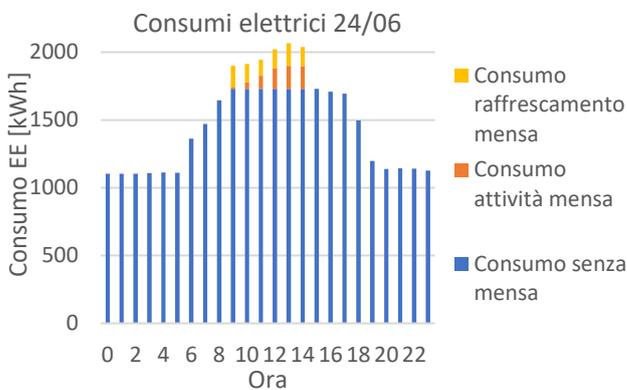


Figura 66: Consumi elettrici 24/06/17

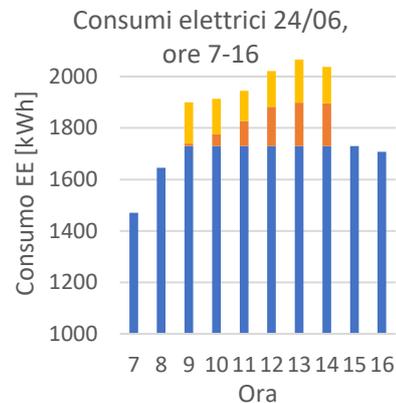


Figura 67: Particolare ore 7-16 della fig.67

L'ingente energia assorbita dal sistema di raffrescamento la prima si stima essere dovuta all'avviamento dell'impianto, in quel momento infatti si deve riportare l'intero edificio alla temperatura di set point dello stesso. Si fa infine presente che il giorno in questione era particolarmente caldo.

È utile sottolineare che tutte le considerazioni sono frutto di stime, sebbene esse siano seguite a ragionamenti logici e valutati con attenzione esse restano comunque in parte arbitrarie. Se nel caso della stima dei consumi della didattica questo fosse praticamente inevitabile, per quelli della mensa si è tentato di avere dei dati più attendibili: è stato infatti contattato

l'ufficio dell'ESU preposto al pagamento della quota della fattura emessa da Edison, ma si è appreso che il saldo della stessa è fatto dall'università, solo in un successivo momento l'ESU storna la propria quota con una cadenza che è annuale o anche di durata maggiore.

- Una volta ottenute le stime dei consumi relativi alla mensa e alla didattica sono stati corretti i consumi ricavati al punto 2, tenendo conto della temperatura esterna e se il periodo fosse di piena attività, parziale o di ferie della struttura.

Sono infine mostrati i consumi mensili di energia elettrica filtrati in forma tabellare sia comprensivi di ausiliari sia quella epurata dei loro assorbimenti, verranno però mostrati solo i consumi relativi alle ore di funzionamento della centrale frigorifera, al di fuori di questi orari infatti i consumi non hanno alcuna rilevanza.

Tabella 26: Consumi elettrici mensili filtrati, con e senza assorbimenti degli ausiliari

Consumi filtrati di energia elettrica con ausiliari				Consumi filtrati di energia elettrica senza ausiliari			
Mese	Consumo [MWh]	Mese	Consumo [MWh]	Mese	Consumo [MWh]	Mese	Consumo [MWh]
Maggio	42	Agosto	236	Maggio	33	Agosto	181
Giugno	190	Settembre	137	Giugno	131	Settembre	91
Luglio	400			Luglio	330		

\*consumi limitati alle ore di funzionamento della centrale frigorifera

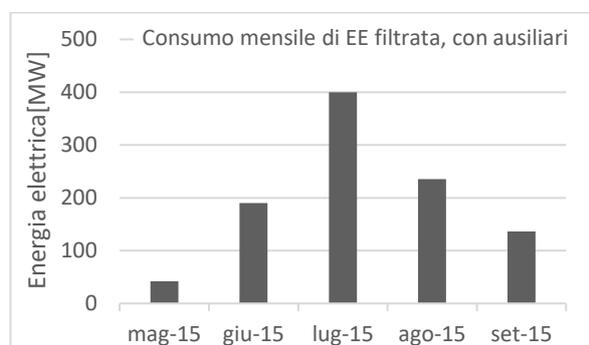


Figura 68: Consumo mensile di energia elettrica filtrata, con ausiliari

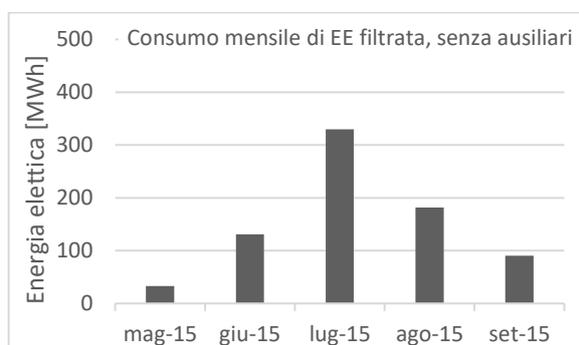


Figura 69: Consumo mensile di energia elettrica filtrata, senza ausiliari

Si vede come, soprattutto nei mesi più freschi, il consumo dovuto agli ausiliari sia tutt'altro che trascurabile, e nel mese più caldo, con maggior utilizzo degli stessi, questo sia pari a 70 MWh. Si precisa che nel valutare i consumi degli ausiliari è stato tenuto conto che nei periodi di ferie solo il Vallisneri è attivo, che ad agosto le aule Bassi sono chiuse e per maggio si è applicato un fattore 0.3 alla potenza degli ausiliari per tener conto del fatto che non tutte le sottostazioni erano attive.

Al termine di questa sezione sono presentate in forma tabellare le potenze nominali assorbite dagli ausiliari. Si evidenzia che non è stato possibile recuperare i consumi dei terminali, split e ventilconvettori e comunque, anche se fossero stati noti, la modalità di funzionamento sarebbe rimasta incognita. La stima dell'assorbimento degli ausiliari dei secondari è stata pertanto condotta considerando le pompe in esercizio continuo durante il periodo di climatizzazione. Le

caratteristiche geometriche e meccaniche dei componenti delle sottostazioni sono stati derivati dai progetti, senza verificare eventuali modifiche successive, tuttavia, dal personale tecnico si è appreso che, solitamente la sostituzione dei componenti avviene con ricambi aventi le stesse caratteristiche. In tabella 27 è presentato l'elenco delle macchine frigorifere autonome installate nel complesso, già presentate nel capitolo 1 (i valori in grassetto di tutte le tabelle sono stimati).

Tabella 27: Riassunto macchine autonome del complesso

Edificio	Potenza frigorifera [kW]	Edificio	Potenza frigorifera [kW]
Vallisneri	455.6	DIM-E	17.3
Ugo Bassi	106.1	Psicologia-1	63.2
DIM-A	17.2	Psicologia-2	71.4
DIM-B	159.3	CLA	20
DIM-C-D	127.8	Centro congressi	130
<b>Potenza frigorifera totale sistemi integrativi [kW]</b>		<b>Potenza elettrica stimata dei sistemi integrativi [kW]*</b>	
1167.9		<b>418.4</b>	

\*Stima a partire dalle potenze elettriche conosciute, calcolato l'EER medio lo si è applicato alle macchine di cui non si conosceva l'assorbimento elettrico

Tabella 28: Potenza elettrica assorbita dalle pompe delle centrali termica e frigorifera

Centrale termica	Pompe Potenza [kW]	Centrale frigorifera	Pompe Potenza [kW]		Pompe Potenza [kW]
Circolazione acqua surriscaldata	33	Circolazione acqua refrigerata	44	Circolazione acqua torri evaporative	44

Tabella 29: Ausiliari ventilazione, potenza elettrica nominale assorbita

Ventilazione Potenza [kW]	Descrizione	Ventilazione Potenza [kW]	Descrizione	Ventilazione Potenza [kW]	Descrizione
<b>Vallisneri</b>		<b>Ugo Bassi</b>		<b>DIM-A</b>	
<b>69.2**</b>	UTA	<b>25.2</b>	UTA PT	7.0	UTA
20.5	Estrazione	<b>2.7</b>	UTA P1-2-3	0.2	Estrazione
<b>DIM-B</b>		<b>DIM-C-D</b>		<b>DIM-E</b>	
5.8	UTA	8.1	UTA	4.0	UTA
				1.1	Estrazione
<b>Psicologia-1</b>		<b>Psicologia-2</b>		<b>CLA</b>	
<b>20.5</b>	UTA	<b>20.5</b>	UTA	<b>22.3</b>	UTA
<b>7.8</b>	Estrazione	<b>7.8</b>	Estrazione	<b>10.4</b>	Estrazione
<b>Totale Ventilazione [kW]</b>					
233.1					

\*(cifre in grassetto stimate a partire dai valori del Vallisneri UTA NORD (SUD) per proporzione sulla portata elaborata, PSI-1 come PSI-2, \*\*Stimata ad esclusione delle UTA NORD e SUD conosciute)

Capitolo 2. Analisi dati, metodi e modelli

Tabella 30: Potenza elettrica nominale assorbita dagli ausiliari delle sottostazioni

<b>Circuito Caldo</b>	<b>Pompe</b>	<b>Circuito Freddo</b>	<b>Pompe</b>	<b>Circuito Comune</b>	<b>Pompe</b>
Potenza	Descrizione	Potenza	Descrizione	Potenza	Descrizione
kW		kW		kW	
<b>Vallisneri</b>					
1.1	fan coil	1.1	fan coil		
11	Primario	11	Primario		
5.5	Aria primaria	7.5	Aria primaria		
2.2	circuito piastre				
3	Termoventilazione				
<b>Ugo Bassi</b>					
Piani 1-3					
2.2	Primario	2.2	Primario		
PT					
0.24	Primario	0.88	Primario		
0.26	secondario	0.40	Batterie fredde		
0.16	Batterie calde				
<b>DIM A</b>					
				2.2	Primario
				1.1	Secondario
<b>DIM B</b>					
5.5	Pompe pannelli				
<b>DIM CD</b>					
				1.5	Primario
				0.7	Secondario
<b>DIM E</b>					
2.2	Primario	1.1	Primario		
1.1	Fan coil	2.2	Fan coil		
<b>Psicologia-2</b>					
1.5	Primario	2.2	Primario	3	Circuito acqua calda/refr
0.25	Radiatori	3	Batterie fredde		
0.7	Secondario				
1.1	Batterie calde				
<b>Psicologia-1*</b>					
1.5	Primario	2.2	Primario	3	Circuito acqua calda/refr
0.25	Radiatori	3	Batterie fredde		
0.7	Secondario				
1.1	Batterie calde				
<b>CLA</b>					
4.0	Primario	18.5	Primario	3	Circuito acqua calda/refr
0.25	Radiatori				
<b>Totale caldo [kW]</b>		<b>Totale freddo [kW]</b>		<b>Totale comune [kW]</b>	
45.8		55.3		14.5	

\*(ipotizzato come PSI-2, non ci sono dati a riguardo)

2.1.3. Analisi dettagliata delle curve di carico elettrico

2.1.3.1. Profili di consumo elettrico generali

Di seguito sono riportati in forma grafica i dati riguardanti i consumi elettrici del complesso, in calce ad ogni grafico verranno messi in risalto i punti salienti (per non appesantire la trattazione, in qualche occasione verranno riportati solo i grafici relativi ai giorni dal lunedì al venerdì, si ricorda che i sabati comprendono i periodi di ferie mentre le domeniche le festività):

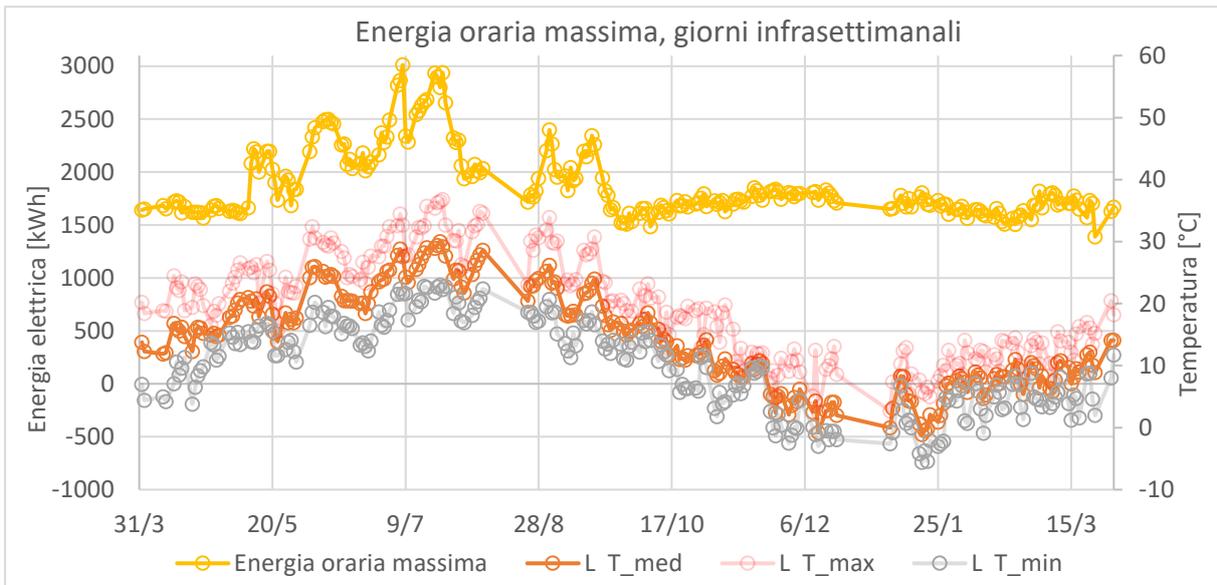


Figura 70: Energia oraria massima, giorni infrasettimanali

In figura 70 si nota come anche nel periodo invernale ci sia una relazione tra temperatura esterna e consumi elettrici, a temperature minori corrispondo carichi maggiori: ciò si reputa essere dovuto principalmente al maggior assorbimento di energia da parte dei reintegratori.

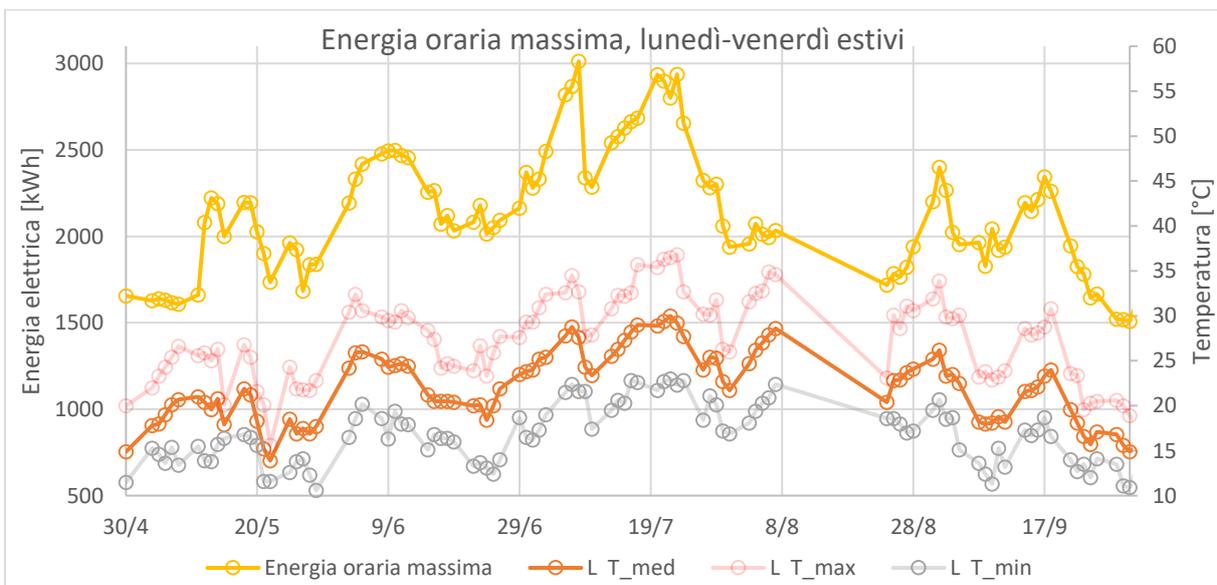


Figura 71: Energia oraria massima, giorni infrasettimanali (Particolare stagione raffrescamento)

La figura 71 rappresenta il particolare del periodo estivo del primo, in questo sono rappresentati solo i giorni dal lunedì al venerdì non festivi, si vede come ci sia una relazione marcata tra temperatura media, e massima, giornaliera con il profilo della massima energia oraria assorbita dal complesso, nel primo ed ultimo tratto questo legame si perde, infatti in quelle date il raffrescamento degli edifici non è attivo.

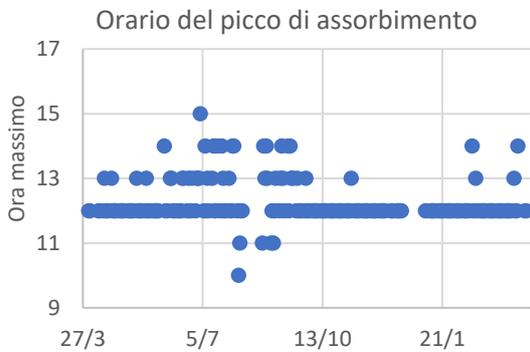


Figura 72: Orario del picco di assorbimento elettrico, giorni compresi dal lunedì al venerdì non festivi

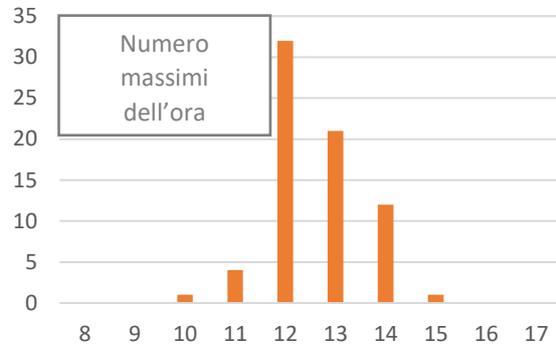


Figura 73: Istogramma degli orari di energia massima assorbita nel periodo di raffrescamento attivo, lunedì-venerdì non festivi

In figura 72 e 73 si vede come gli orari degli assorbimenti massimi si hanno quasi esclusivamente alle ore 12 nella mezza stagione ed in quella invernale, ciò è dovuto alla combinazione dei consumi della mensa e dell'attività di tutte le strutture del complesso. Nella stagione estiva, come rappresentato in particolare dall'istogramma di destra, l'ora in cui si ha il maggior utilizzo di energia elettrica assume valori più vari, ciò dipende dal fatto che essa è molto influenzata dal raffrescamento perciò nel momento in cui le condizioni esterne sono più critiche per l'impianto ne determinano un maggior consumo; come si vede in ogni caso il massimo si ha sempre, come ci si aspettava, in un orario compreso tra le 10 e le 15.

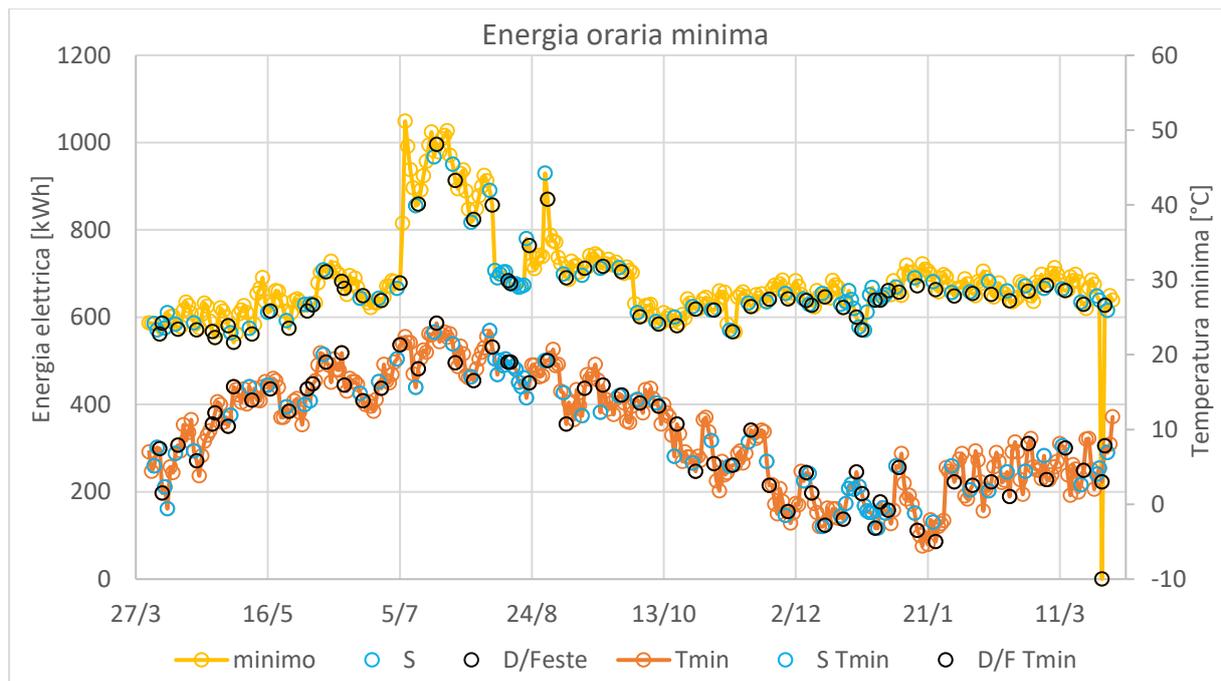


Figura 74: Energia elettrica oraria minima

In figura 74 sono inseriti i valori della minima energia oraria assorbita nell'arco delle 24 ore di ogni data compresa nelle ascisse. Si nota come i carichi dei sabati e delle domeniche nel periodo invernale siano sempre inferiori a quelli dei giorni infrasettimanali e che i carichi minimi delle mezze stagioni siano minori dei loro omologhi quando sono attivi gli impianti di riscaldamento e raffrescamento, parte della motivazione può essere ricercata dal consumo di macchine autonome come lo stabulario di psicologia 1, e forse dello stabulario del Vallisneri sebbene non sia certo che questo fosse o meno riscaldato nelle ore di spegnimento della centrale termica. Il carico minimo si ha solitamente in un orario compreso tra le 3 e le 4, non è chiaro a cosa sia dovuto un carico minimo così elevato, come si vede raramente scende sotto i 600 kWh. Questo è certamente in parte dovuto alle sale server, ai numerosi frigoriferi presenti nel complesso di biologia e alle macchine frigorifere autonome in funzione anche nelle ore notturne, ma solamente questi fattori non sembrano essere sufficienti per formare un tale ammontare. In ogni caso poiché la determinazione delle cause del carico minimo non era impattante per gli scopi di questo elaborato non è stato approfondito l'argomento.

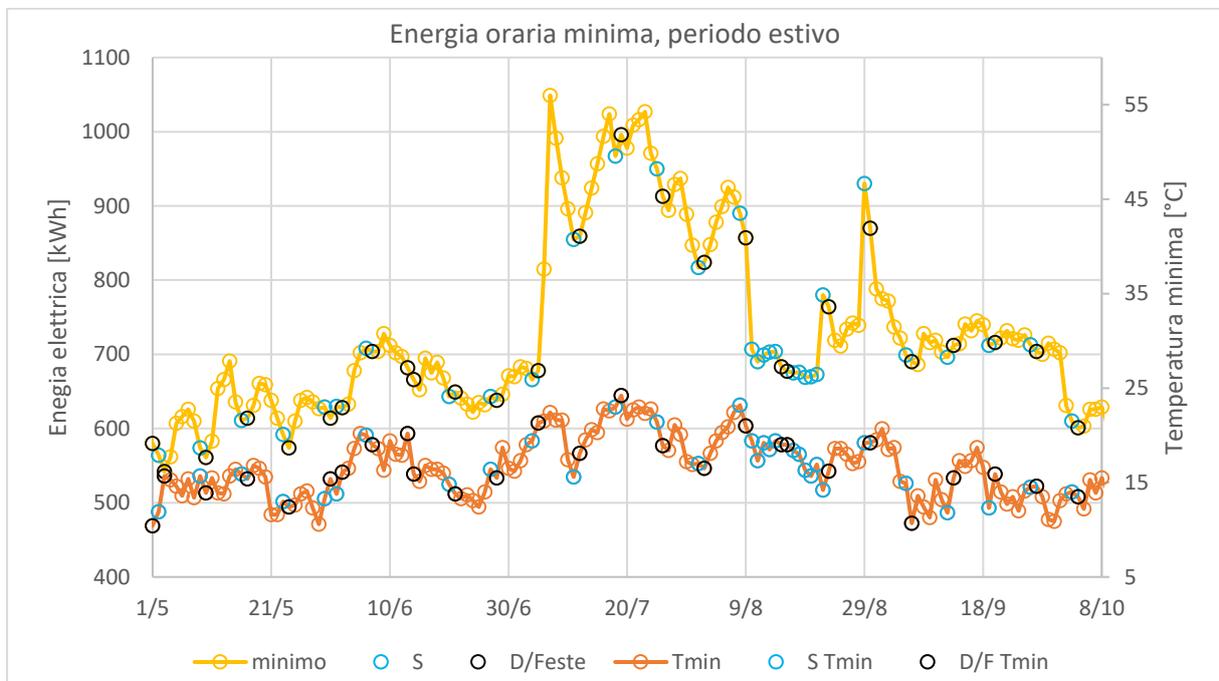


Figura 75: Energia elettrica oraria minima, particolare della stagione di raffrescamento

Il particolare dell'assorbimento minimo della stagione estiva è più interessante per gli scopi di questo elaborato, si ha infatti prova del fatto che nelle ore notturne dei periodi particolarmente caldi si ha effettivamente in funzione un gruppo frigorifero, in particolare nell'anno considerato questo è accaduto dal 7/07 al 9/08, la domenica precedente le ferie estive. Si vede inoltre come nel periodo di ferie i consumi minimi orari fossero particolarmente bassi.

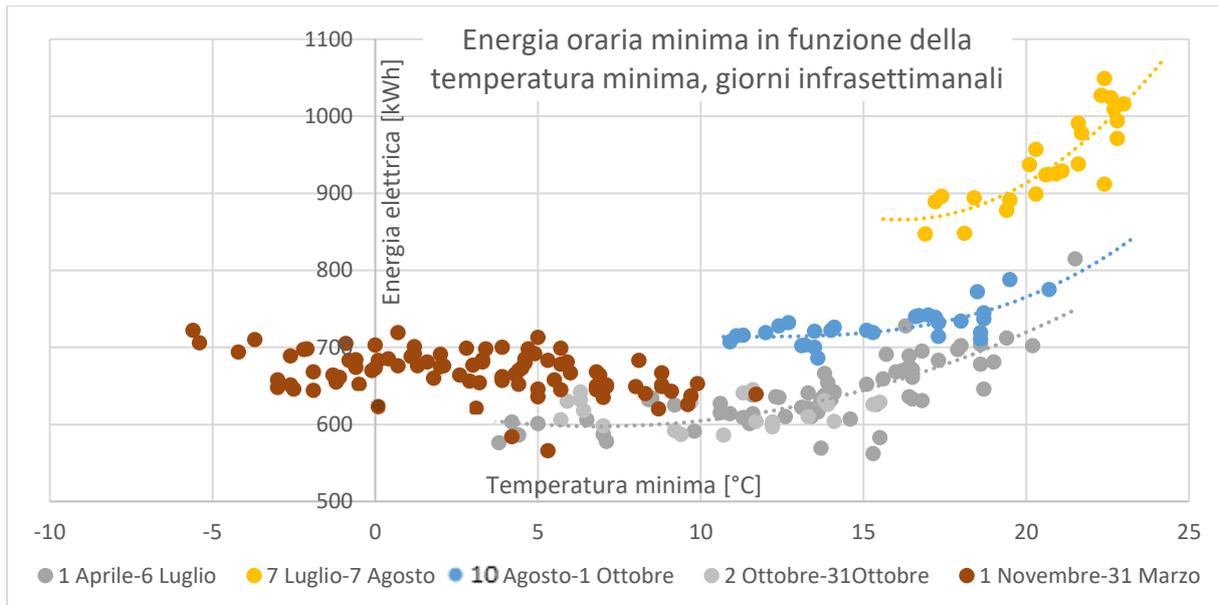


Figura 76 Energia elettrica oraria minima assorbita in funzione della temperatura minima giornaliera, lunedì-venerdì

In figura 76 mostra le considerazioni precedentemente espresse da un altro punto di vista, qui le ascisse sono infatti le temperature minime giornaliere e non più le date. I valori sono scomposti in periodi che permettono di meglio comprendere il loro andamento:

- I valori gialli corrispondono al periodo in cui un gruppo frigorifero è lasciato sempre in funzione, si vede che l'assorbimento elettrico è proporzionale alla temperatura esterna.
- Il fatto che i valori blu e una parte dei valori grigi, quella corrispondente alle temperature più alte, siano maggiori di quelli invernali o delle mezze stagioni si spiega considerando il fatto che in questo periodo probabilmente si procede alla ventilazione degli edifici nelle ore notturne al fine di raffrescarli e la quarta pompa della centrale frigorifera è sempre in funzione, il loro andamento crescente invece è in parte dovuto al comportamento dei frigoriferi del Vallisneri, ad impianto di raffrescamento spento questo è influenzato dalla temperatura esterna, e dalle macchine autonome in servizio.
- La restante parte dei grigi corrispondente alle mezze stagioni, presenta i valori minimi più bassi dell'anno, con andamento crescente con la temperatura, le ragioni sono le stesse spiegate al punto precedente.
- I punti marroni sono rappresentativi della stagione invernale, il fatto che risultino maggiori dei consumi delle mezze stagioni può essere spiegato dal funzionamento dei sistemi integrativi per la climatizzazione.

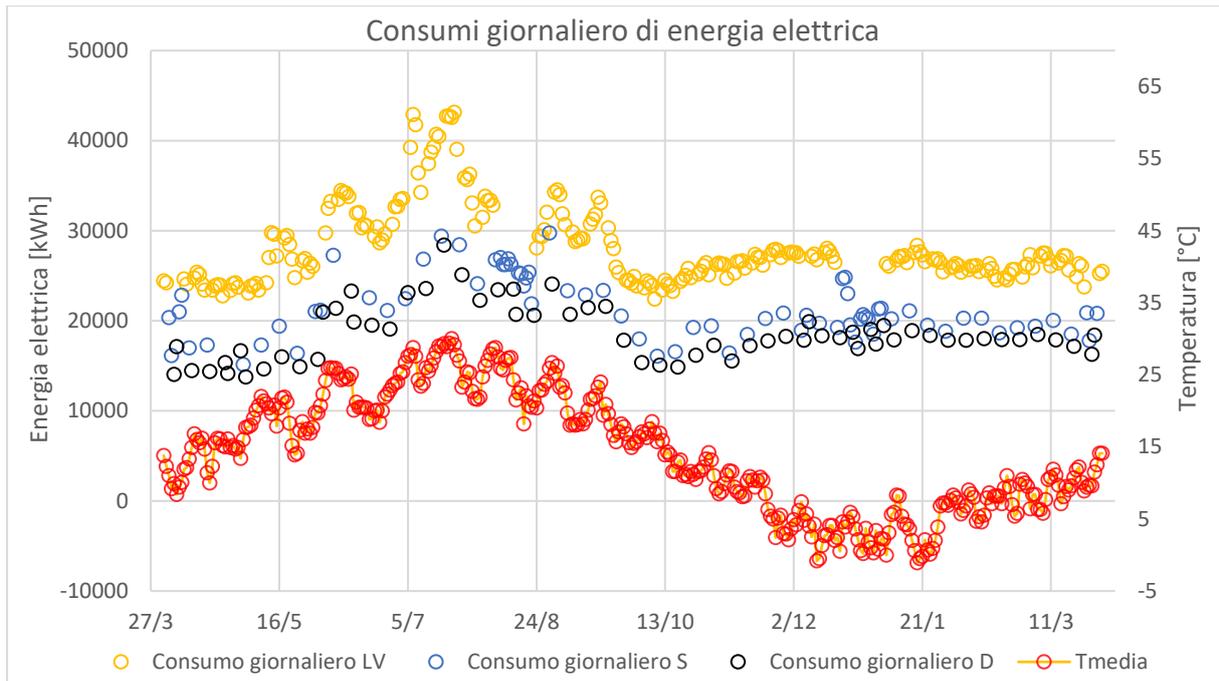


Figura 77: Consumo giornaliero di energia elettrica

La figura 77 può essere visto come il riassunto delle considerazioni fatte sulle energie orarie minime e massime, si può notare infatti come nel periodo invernale i consumi siano inversamente proporzionali alla temperatura esterna, ciò è dovuto principalmente al maggior assorbimento da parte dei reintegratori del complesso di biologia. Nel periodo estivo invece, come ci si attende, i consumi crescono all'aumentare della temperatura media a causa del maggior fabbisogno di raffreddamento e al peggioramento delle prestazioni dei gruppi frigoriferi. Gli assorbimenti minori si hanno nelle mezze stagioni, i sabati e le domeniche presentano consumi decisamente minori rispetto i giorni di piena attività, i massimi nell'anno cadono in corrispondenza del periodo si raffreddamento attivo anche nelle ore notturne.

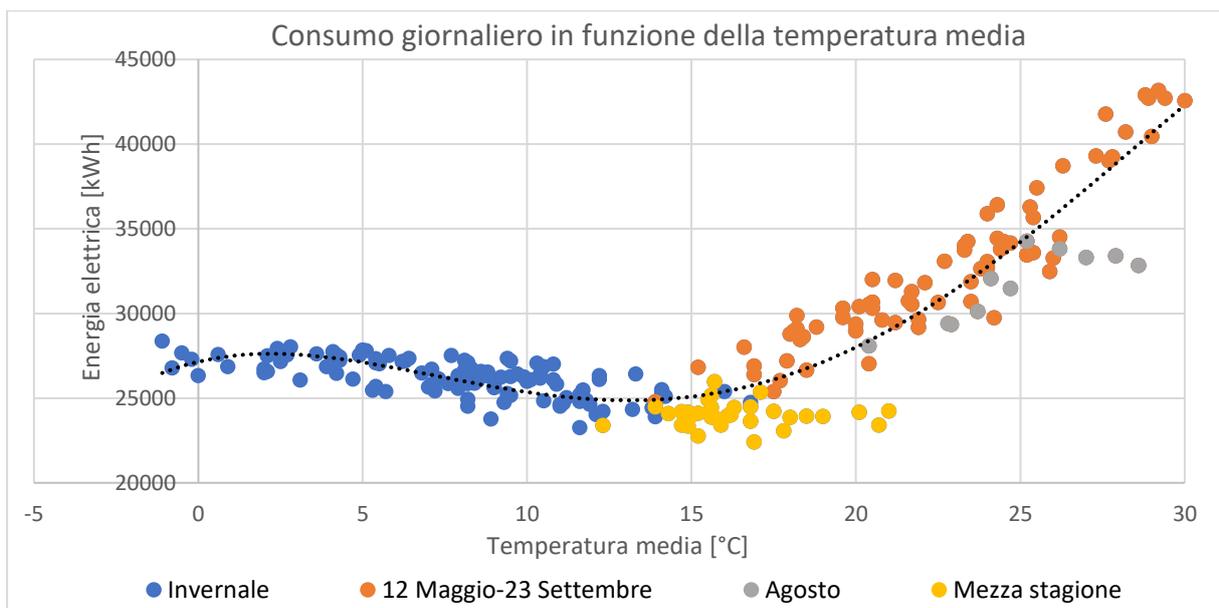


Figura 78: Assorbimento giornaliero di energia elettrica in funzione della temperatura media, giorni infrasettimanali

Come in precedenza si cambia punto di vista sull'analisi dei consumi. In figura 78 sono graficati gli assorbimenti giornalieri di energia elettrica in funzione della temperatura media esterna, per i gironi infrasettimanali: i punti marroni corrispondono alla stagione estiva, è evidente la forte dipendenza dalla temperatura esterna, meno marcata ed inversa è quella della stagione invernale rappresentata dai punti blu. I consumi nella mezza stagione sono indipendenti dalle condizioni ambientali. I punti grigi riferiscono al mese di agosto e sono differenziati dal rimanente periodo estivo per tener conto che diverse strutture del complesso in questo periodo sono scarsamente utilizzate; ciò comporta minori consumi dovuti sia al minor utilizzo di energia elettrica degli utenti sia al minor fabbisogno di raffrescamento degli edifici per i minori carichi interni ed inoltre il complesso didattico Ugo Bassi è chiuso.

### 2.1.3.2. Stima dei profili elettrici per il raffrescamento

Di seguito sono mostrati i grafici relativi ai consumi estivi di energia elettrica, filtrati con il metodo illustrato sezione 2.1.2. L'ordine seguito nella presentazione è il quanto più possibile concorde con quello appena utilizzato al fine di permettere al lettore, qualora lo volesse effettuare, un rapido confronto, si precisa che i valori illustrati sono comprensivi degli ausiliari, si reputa infatti utile rappresentare l'intero fabbisogno di energia elettrica dovuto all'impianto di raffrescamento del complesso comprensivo dei relativi ausiliari:

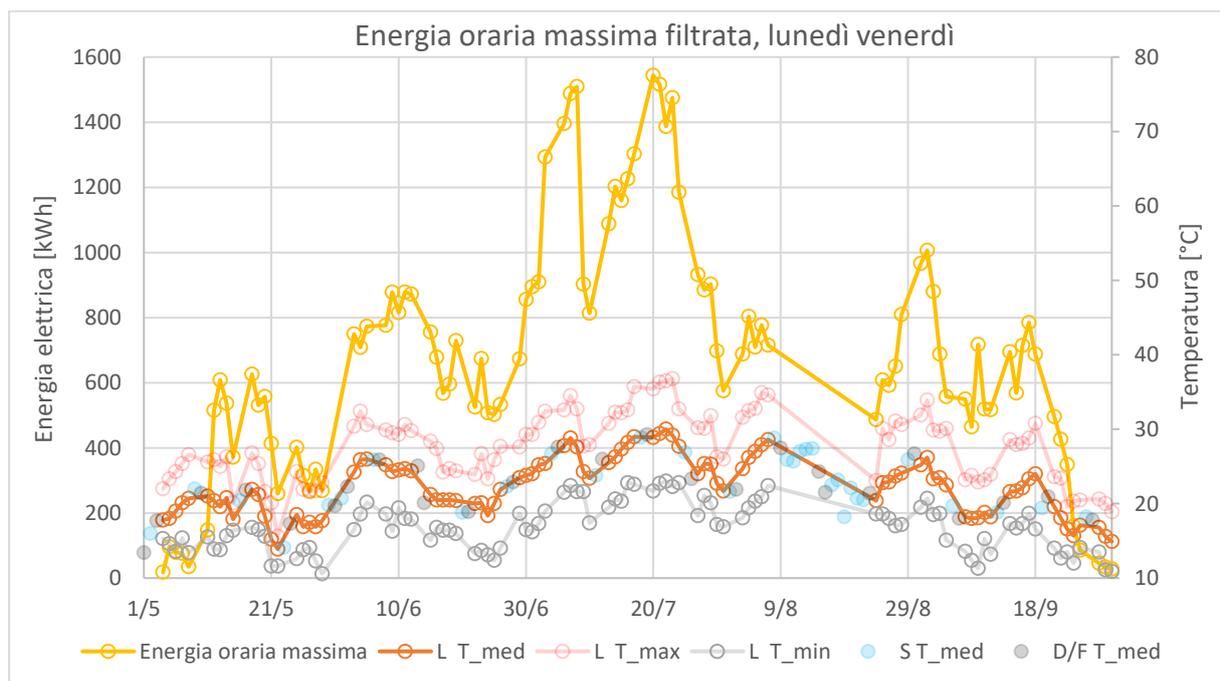


Figura 79: Energia oraria massima filtrata, giorni dal lunedì al venerdì

Nella figura 79 sono mostrate le energie orarie massime a seguito dei filtri applicati. Si vede come gli assorbimenti elettrici abbiano un legame stretto con le temperature esterne infatti aumentano al crescere della temperatura. Si può inoltre notare come il valore di picco, pari a 1544 kWh, sia simile all'energia assorbita dalla centrale frigorifera in condizioni nominali considerando i quattro gruppi frigo ( $270 \times 4 = 1080$  kW), le pompe di circolazione di circolazione della rete e le pompe delle torri evaporative (88 kW in totale), la potenza assorbita dagli ausiliari al netto della ventilazione (70 kW), poiché questa nelle ore diurne è attiva anche nella mezza stagione, e le macchine autonome (potenza nominale complessiva di 420 kW). Considerando il

fatto che non tutte le macchine funzionino contemporaneamente alla potenza nominale, il valore ottenuto sembra essere aderente alla realtà e raffrontabile ad una potenza media di 1544 kW nell'ora. Nei tratti iniziali e finali del grafico si vede come si perde la relazione tra temperatura esterna e consumi, l'impianto è infatti spento.

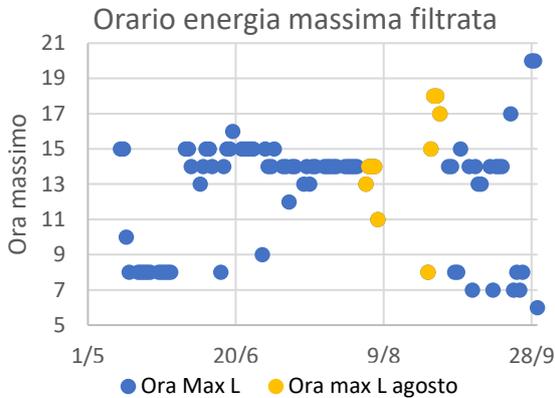


Figura 80: Orario dell'energia elettrica filtrata oraria massima, giorni compresi dal lunedì al venerdì

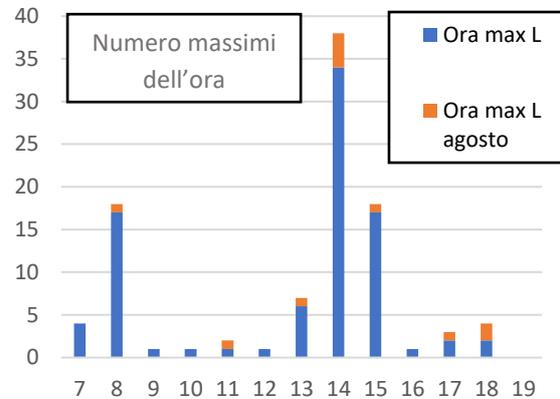


Figura 81: Istogramma degli orari di energia elettrica filtrata massima assorbita nel periodo di raffrescamento attivo, lunedì-venerdì

Dal grafico a dispersione si nota come valutando i soli consumi legati al raffrescamento degli edifici il massimo assuma valori più vari rispetto a quanto mostrato negli omologhi presentati nella sezione 2.1.3.1. A maggio il picco si verifica prevalentemente alle ore 8, ciò può essere ricondotto al fatto che l'assorbimento massimo si ha nel momento dell'accensione dell'impianto che si trova a fronteggiare la potenza di ripresa dell'intero sistema di teleraffrescamento. Nei mesi di giugno e luglio invece il massimo cade in corrispondenza dell'intervallo tra le 13 e le 15 come atteso dato che queste sono le ore più calde; ad agosto il comportamento è invece variabile poiché in questo mese i carichi interni sono molto ridotti, ciò comporta, similmente a maggio, che il carico maggiore si abbia anche nel momento di avvio dell'impianto. A settembre infine si riscontra un comportamento misto tra quelli sopra descritti, variabile, probabilmente, in funzione della maggior o minor presenza di utenti nel complesso. Quando il massimo risulta in orari insoliti come le 18 si ha probabilmente un parziale fallimento del filtro imposto, questo infatti essendo calibrato per aderire alla rappresentazione di condizioni medie può non rispecchiare le condizioni operative in ogni giorno del periodo considerato. I giorni di rientro dalle ferie e di settembre, periodi in cui il filtro perde parzialmente di efficacia, presentano infatti condizioni del tutto particolari. I punti nell'estremità destra del grafico sono al di fuori del periodo di accensione della centrale frigorifera, in questi si è persa infatti ogni validità del filtro imposto non essendo il sistema di raffrescamento attivo in queste date.

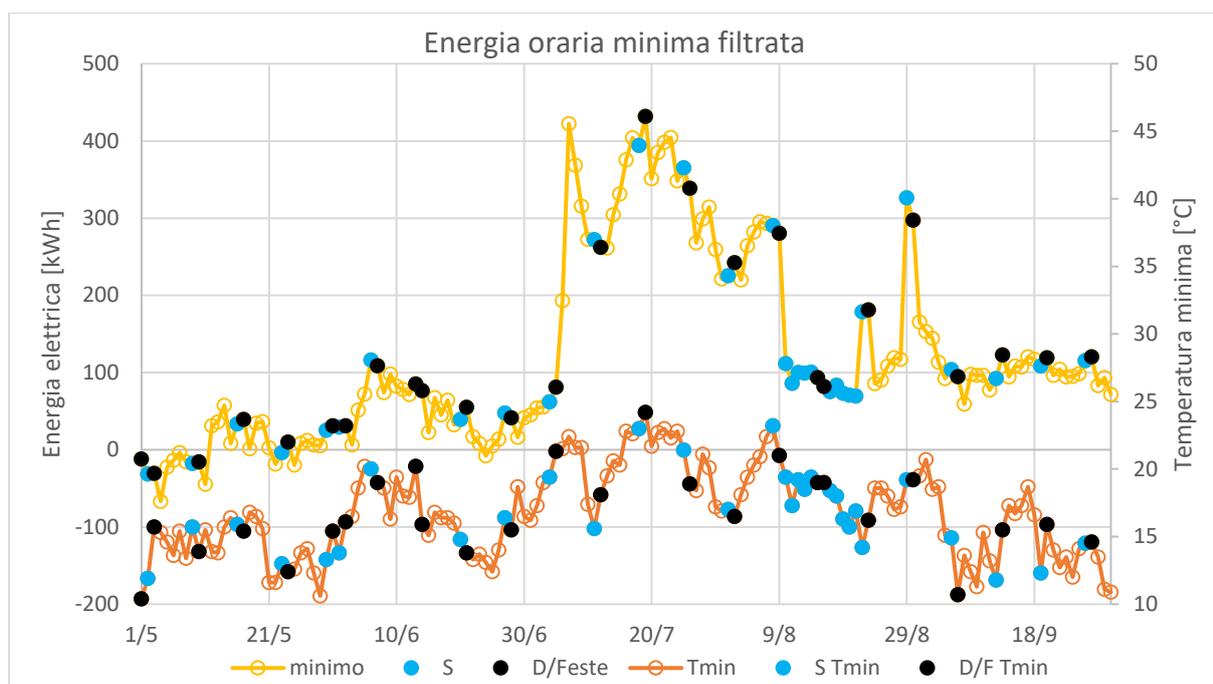


Figura 82: Energia oraria minima filtrata

In figura 82 Sono qui rappresentate, per ogni giorno estivo, le energie minime orarie assorbite a seguito della decurtazione dei consumi non dovuti al raffrescamento del complesso. Ricordando che un gruppo frigorifero assorbe 270 kW, si nota come i consumi orari nel periodo dal 7/07 al 9/08 siano simili a questo valore di potenza attivo nell'ora sommato ai consumi degli ausiliari del Vallisneri (89.7 kW), o forse di parte del sistema di ventilazione meccanica dell'intero complesso (233.1 kW), negli altri periodi gli assorbimenti sono simili alle sole UTA addizionate ai consumi della pompa sempre attiva. Si può notare come nonostante le temperature in questo periodo non fossero sempre particolarmente alte, come ad esempio sabato 11/07, il gruppo frigorifero fosse comunque attivo nelle ore notturne, ciò è dovuto al fatto che, come detto, la sua attivazione non è regolata da un sistema di controllo automatico ma la sua accensione è manuale e, una volta azionato, non viene prontamente spento nel caso in cui non sia necessario. Dal momento che nelle ore notturne non si è dovuta apportare alcuna correzione dovuta all'attività di didattica o alla mensa, si può dedurre dai valori appena presentati come le correzioni spiegate nel punto 2 della scaletta di spiegazione del filtro applicato ai consumi, forniscano risultati aderenti alla realtà.

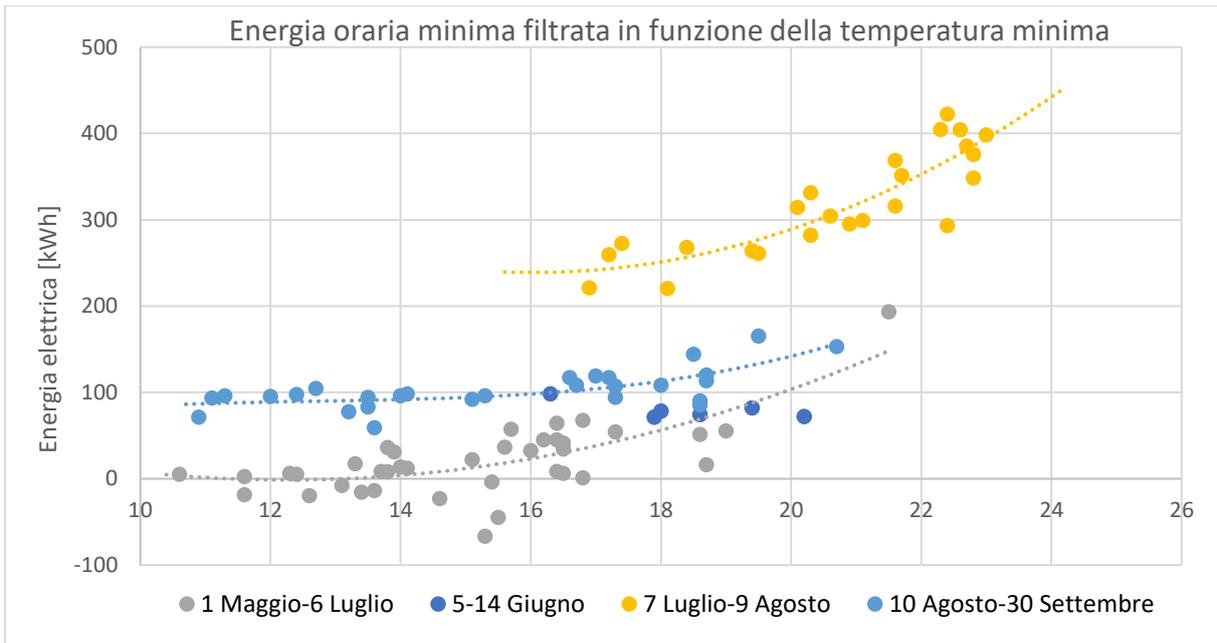


Figura 83: Energia oraria minima giornaliera in funzione della temperatura minima, giorni dal lunedì al venerdì

Il commento al grafico è lo stesso di quello fornito per l'omologo senza filtri applicati limitatamente ai periodi considerati in questo diagramma.

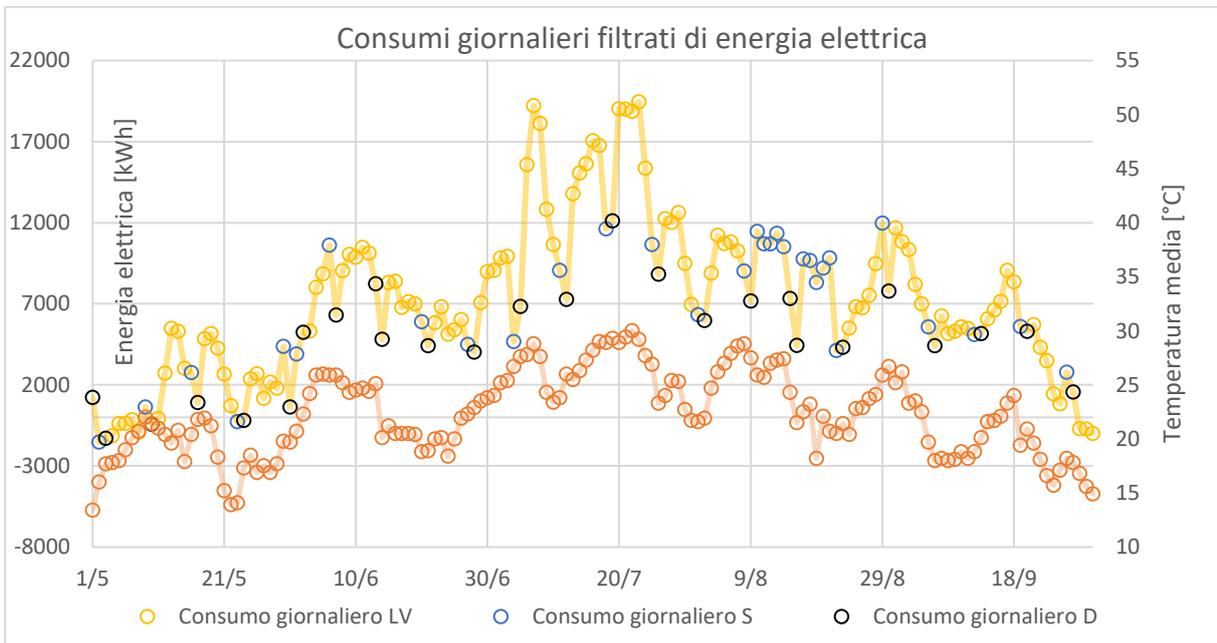


Figura 84: Consumi giornalieri filtrati di energia elettrica

Nella rappresentazione dei consumi di energia elettrica imputati al sistema di teleraffrescamento si vede che i consumi dipendono dalla temperatura esterna, relazione che risulterà più stretta in figura 85, e che i sabati e le domeniche come ci si attendeva presentano consumi molto ridotti rispetto agli altri giorni, infatti nel fine settimana e festivi si hanno carichi interni molto ridotti o sottostazioni spente. La figura 85 è un particolare del numero 84.

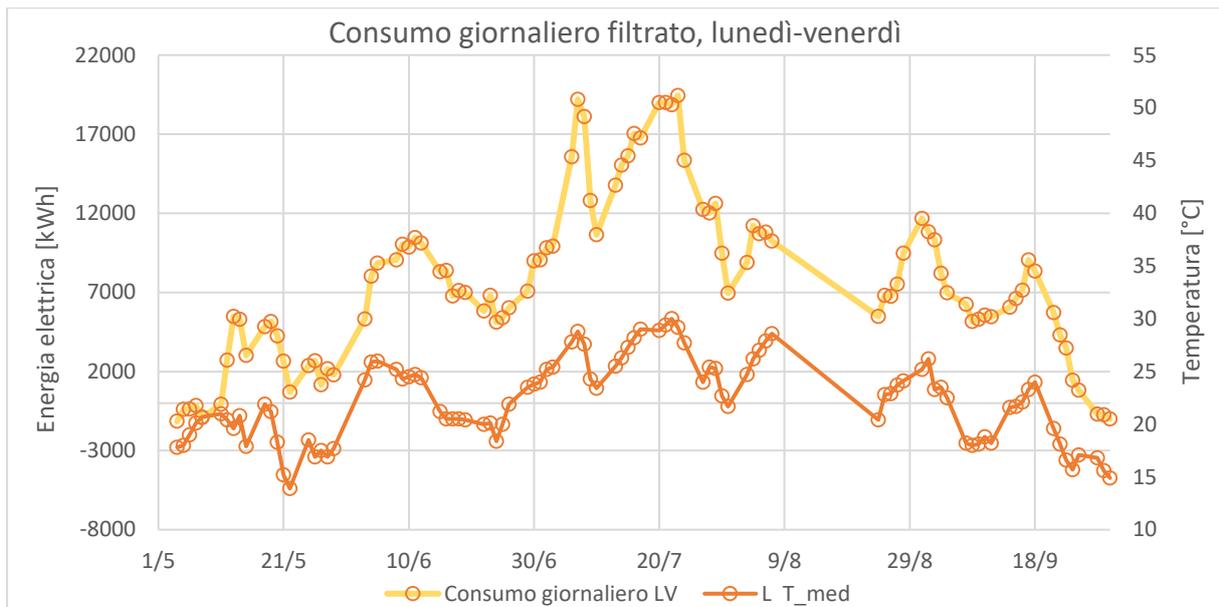


Figura 85: Consumo filtrato di energia elettrica, giorni infrasettimanali

Come anticipato questo diagramma è un approfondimento del precedente, qui sono infatti mostrati i consumi dei giorni infrasettimanali, si nota come il legame nei giorni di pieno carico con la temperatura esterna sia particolarmente marcato, l'andamento è infatti sovrapponibile per tutto il periodo in cui il raffrescamento è attivo. Nei primi punti del grafico e negli ultimi si vede come i valori siano negativi, questo è infatti dovuto al fatto che in quelle date il raffrescamento degli edifici non è attivo, i filtri applicati perdono quindi di efficacia.

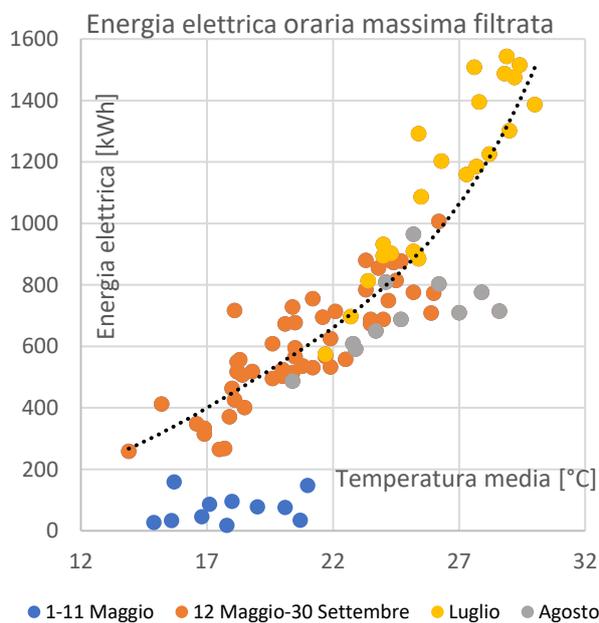


Figura 86: Energia elettrica filtrata oraria massima, in funzione della temperatura media

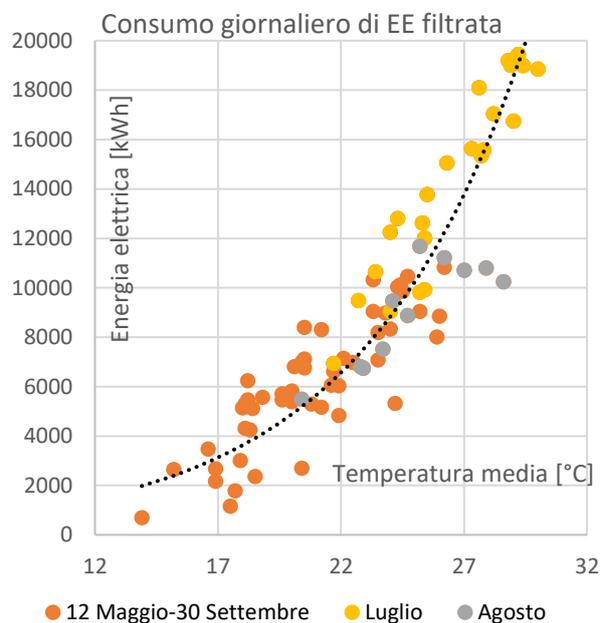


Figura 87: Consumo giornaliero di energia elettrica filtrata, in funzione della temperatura media

Nei grafici precedenti si vedono le energie massime orarie a sinistra, e i consumi giornalieri di energia elettrica a destra, gli andamenti sono quelli attesi, cioè crescenti all'aumentare della temperatura, i valori di agosto escono parzialmente dalla tendenza per i fatti già spiegati

2.2. Metodi

In questa sezione sono presentate le metodologie usate per l’analisi dei dati climatici, gli strumenti ed i software utilizzati dall’autore nella raccolta dei dati e nella loro rielaborazione.

Una volta determinati i consumi elettrici e di gas naturale dovuti al raffrescamento del complesso, illustrati nel paragrafo 2.1, si deve volgere lo sguardo ai dati climatici. Al fine di confrontare i risultati della simulazione basata sul Test Reference Year (TRY) è necessario normalizzare i risultati ottenuti creando delle relazioni tra i dati presenti nel TRY e quelli forniti dall’ARPAV. Per il periodo invernale è stato usato il classico rapporto dei gradi giorno (GG), per i due set di dati di dati sono stati quindi calcolate la somma mensile delle differenze tra 20 °C, scelto come valore rappresentativo delle condizioni di set point degli impianti di riscaldamento degli edifici, e la temperatura oraria esterna, questo quando la temperatura media giornaliera è inferiore ai 12 °C. Una volta ottenute queste sommatorie il rapporto di esse ci indica se il mese dell’anno esaminato è, a parità di condizioni d’esercizio, più o meno dispendioso da un punto di vista di fabbisogno energetico per riscaldamento rispetto a quello dell’anno di riferimento. I rapporti GG\_Legnaro / GG\_Tessera ottenuti sono i seguenti:

Tabella 31: Rapporto gradi giorno

Mese	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile
GG_Legnaro / GG_Tessera	0.94*	1.08	1.04	0.97	0.78	0.79	1.00*

\*per i mesi di ottobre e aprile e GG sono stati calcolati solamente nei periodi di attività della centrale termica

Per il periodo estivo la normalizzazione dei risultati è stata più complessa: la somma degli apporti dovuti alla trasmissione di calore tra ambienti interni ed esterni e dei carichi dovuti alla radiazione solare sono stati riparametrizzati valutando il rapporto mensile, tra i due set di dati posseduti, della sommatoria oraria delle temperature sole-aria (Tsa) calcolate come  $Tsa = Text + \frac{\alpha \cdot I}{he}$ , dove per Tsa si intende la temperatura sole-aria, Text la temperatura esterna,  $\alpha$  il fattore di assorbimento della radiazione solare (posto pari a 0.4) e  $he$  il coefficiente liminare esterno (posto uguale a 10 W/(m2\*°C). I rapporti tra le temperature sole aria mensili dei due set di dati climatici sono:

Tabella 32: Rapporto temperature sole-aria

Mese	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Tsa_Legnaro / Tsa_Tessera	1.32	1.38	1.38	1.31	1.30

Si nota come prosegue la tendenza dei mesi primaverili che dal rapporto dei GG si nota essere stati più caldi nel 2015 rispetto a quelli del TRY, infatti i mesi estivi presentano Tsa molto più alte nel caso dei dati dell’ARPAV, i mesi di piena stagione invernale invece presentavano rapporti vicini all’unità.

Poiché si è deciso di dividere i fabbisogni di raffrescamento dovuti alla ventilazione meccanica degli edifici ci si è resi conto che utilizzare il rapporto delle temperature sole-aria per la normalizzazione dei fabbisogni estivi non forniva risultati veritieri: si creava infatti il paradosso per cui la quota di free cooling, vista come negativa nel bilancio, aumentava di valore assoluto usando i rapporti sopra mostrati in tabella, nonostante le temperature esterne fossero maggiori.

Si è quindi preferito agire sulle temperature esterne del TRY normalizzandole affinché fornissero un numero di Cooling Degree Day (CDD) simile a quelle dei dati relativi a Legnaro. Al fine di rendere più aderente alla realtà la trasformazione delle temperature esterne valutate per la ventilazione estiva si sono riparametrizzati i profili di temperatura mantenendo la temperatura media mensile come base e ricalcolato rispetto il valore di base le escursioni positive e negative rispetto le medie ottenute dal rapporto dei due file climatici.

Terminata la normalizzazione delle temperature esterne un ulteriore problema si è posto per i valori dell'umidità dell'aria: poiché, come vedremo, il carico latente è tutt'altro che trascurabile, l'adattamento dei valori del file climatico a quelli rilevati dalle centraline dell'ARPAV è di primaria importanza. Sono stati provati vari metodi, che non vengono qui illustrati per non dilungare inutilmente lo scritto, infine è stato deciso di determinare il valore medio mensile dell'umidità specifica dell'aria esterna come media del valore massimo e minimo giornaliero e questo è stato applicato per tutti gli orari. Così facendo si è perso il legame stretto tra l'orario ed il relativo fabbisogno dovuto alla deumidificazione ma i risultati dei fabbisogni mensili risultano più aderenti alla realtà rispetto a qualsiasi altra metodologia adottata. Di seguito sono riportati i valori del titolo (x) minimo, massimo e medio di ogni mese estivo, come si può notare, la variabilità maggiore si ha nel mese di maggio e, fortunatamente, questo presenta il minor fabbisogno di deumidificazione, addirittura praticamente assente, questo infatti è calcolato solo qualora la temperatura esterna fosse superiore alla temperatura di set point di 26 °C. È stato infatti assunto che le UTA attivino la circolazione di acqua refrigerata nelle batterie fredde solo quando la temperatura dell'aria esterna superi tale valore.

Tabella 33: Valori medi mensili del titolo dell'umidità dell'aria esterna, ARPAV Legnaro 2015

	<b>x_min</b>	<b>x_max</b>	<b>x_med</b>
<b>Mese</b>	$g_v/kg_a$	$g_v/kg_a$	$g_v/kg_a$
Maggio	9.8	14.0	11.9
Giugno	11.2	10.5	10.9
Luglio	13.0	12.0	12.5
Agosto	14.6	13.2	13.9
Settembre	10.1	8.9	9.5

Si precisa che comunque dato che l'orario di funzionamento è limitato, tranne nel mese di luglio in cui l'impianto è attivo 24/h su24, la variabilità risultata ancora più ridotta, il valore medio non è quindi molto distante dal rappresentare le condizioni reali, specialmente nel caso in cui la variabilità tra minimo e massimo sia ridotta. Dal momento che in regime invernale l'umidificazione è disattivata il valore dell'umidità dell'aria non ha alcun significato nel calcolo dei fabbisogni, perciò in questa stagione il problema non si pone.

Una volta illustrate le metodologie adottate per la normalizzazione dei fabbisogni ottenuti a partire dal TRY a quelli locali, si esporranno ora quelle adottate per la determinazione delle caratteristiche del sistema di teleraffrescamento. Scopo primario dell'attività svolta infatti è quello di determinare il rendimento dell'intero sistema, per questo è stato necessario innanzitutto reperire informazioni tramite gli uffici tecnici sulle caratteristiche dei componenti della centrale, della rete e delle sottostazioni degli edifici per quello che riguardava il circuito freddo e queste sono già state illustrate nel primo capitolo. Il passo successivo è stato quello della misurazione delle portate transitanti nei condotti della rete, a tal fine è stato usato un misuratore di portata ad ultrasuoni.

Per effettuare le misurazioni si è dovuto procedere alla rimozione dell'isolamento delle tubazioni grazie all'aiuto del personale dell'ufficio tecnico, a causa della presenza di amianto nelle condotte principali della centrale non si è potuta misurare la relativa portata, questa è stata comunque ricavata come somma dei rami a valle. Nelle sottostazioni degli edifici invece le tubazioni sono in rame, acciaio o ferro non si sono quindi riscontrati particolari problemi nell'acquisizione dei dati. La portata nella rete può assumere due valori poiché le pompe lavorano ad un numero di giri costante e, come detto nei capitoli precedenti, queste vengono accese secondo due modalità: negli orari di piena attività della centrale frigorifera sono attive quattro pompe, nelle ore notturne è attiva una sola pompa. Le misurazioni sono state effettuate nelle ore in cui la centrale frigorifera era a regime quindi le portate ricavate erano quelle indotte dal funzionamento delle quattro pompe. Bisogna inoltre far notare che a differenza di quanto è avvenuto nella misurazione delle portate della rete di teleriscaldamento, in quella di teleraffrescamento non si hanno avuto problemi legati all'evaporazione del gel conduttore applicato sulla tubazione: questa sostanza è infatti indispensabile per l'acquisizione del segnale da parte dei trasduttori. Quando è stato possibile si è scelto il metodo riflesso per il rilevamento della portata, si sono cioè posti i trasduttori nello stesso lato del tubo, con il metodo diretto si trovano invece dalle parti opposte. Il primo metodo, chiamato riflesso poiché il segnale giunge al trasduttore ricevitore tramite riflessione sulla tubazione, è il più preciso ma anche quello per cui si fatica maggiormente nella ricerca del segnale da parte del ricevitore, per questo nei casi in cui le tubazioni presentavano ruggine in superficie si è optato per il metodo diretto. Si precisa infine che il misuratore in questione non influisce in alcun modo sulla portata misurata, essendo infatti la rilevazione effettuata all'esterno della tubazione non è indotta alcuna perdita di carico. Per i monitoraggi della temperatura d'esercizio della rete, sia nel tratto di mandata che ritorno, sono stati due diversi strumenti, il primo installato in centrale sul condotto principale e il secondo è stato spostato nelle varie sottostazioni per permettere l'acquisizione delle temperature delle tubazioni locali del primario e del secondario. Il monitoraggio delle sottostazioni è stato eseguito per almeno 24 ore ciascuna. L'acquisitore in centrale ha invece proceduto alla registrazione dei valori per sette giorni consecutivi. Sebbene la sezione appropriata dei dati raccolti fosse la precedente si è preferito rimandare la presentazione del monitoraggio della centrale, sia frigorifera che termica, al paragrafo 2.2.2 poiché ciò permetterà di comprendere meglio le decisioni prese per simulare il comportamento della rete sia in regime estivo che invernale.

Per la simulazione dinamica dei fabbisogni energetici degli edifici si sono sfruttati i modelli ereditati dai precedenti elaborati, questi sono stati implementati nel software TRNSYS (TRaNsient SYstem Simulation). Le simulazioni sono state effettuate su base oraria ad eccezione del modello di rete invernale, nel quale si è reso necessario usare un time step di 15 minuti per meglio rappresentare le fasi di avviamento e chiusura della centrale termica, ulteriori dettagli verranno forniti nella sezione 2.2.2. Del pacchetto TRNSYS in particolare sono state usate le sottostrutture TRNBuild e Simulation Studio: le caratteristiche, geometriche e strutturali di ogni zona in cui è stato suddiviso l'edificio (o una sua frazione) così come i set point degli impianti di riscaldamento e raffrescamento, i carichi interni, le portate d'infiltrazione e di ventilazione sono inserite nella prima sottostruttura che genererà un modello virtuale dell'edificio utilizzabile dalla seconda tramite l'apposita type. Per type si intende una libreria che può avere come input dati inseriti direttamente nel Simulation Studio oppure attinti da un

file esterno. Anche TRNBuild può attingere da file esterni tramite Simulation Studio, ad esempio tutti i parametri di funzionamento dell'impianto termotecnico e i valori dei carichi interni sono stati inseriti con file di tipo .txt generati da appositi fogli di calcolo. Si precisa però che il calcolo del fabbisogno dovuto alla ventilazione meccanica delle zone dotate di tale sistema non è stato calcolato con l'ausilio del software TRNSYS ma con appositi fogli di calcolo, per ulteriori dettagli si veda il capoverso precedente relativo alla ventilazione.

Come ultima nota del paragrafo si descrive il metodo utilizzato per determinare il rendimento d'impianto degli edifici: la traccia seguita è quella fornita nella tesi di Laura Colpo, la quale ha determinato un rendimento d'impianto pari al 91%, in altre parole i fabbisogni lato involucro degli edifici sono aumentati del 10% per tener conto delle perdite degli impianti di climatizzazione. Si rimanda all'elaborato citato per la descrizione del procedimento seguito nella determinazione di tale valore di rendimento.

### 2.2.1. La modellazione degli edifici

In questo paragrafo verrà presentata la modellazione degli edifici del complesso di competenza di questo elaborato utilizzata nel software TRNSYS, ancora una volta si rimanda alle tesi di Moro e di Gazzea citate in bibliografia per i restanti edifici. Si precisa che i dati, grafici e tabellari che seguiranno, sono tratti dagli elaborati che per primi si erano occupati del complesso, qualora siano state applicate delle modifiche queste verranno messe in evidenza in questo paragrafo e nel 2.3.

Oltre alla 56a che richiama il modello creato in TRNBuild per la modellazione degli edifici sono state utilizzate le seguenti type:

- Type 15-3 la quale richiama il Test Reference Year, in questo caso il Venezia Tessera realizzato dal prof. Livio Mazzarella, che contiene dati come la radiazione, diretta e diffusa, la temperatura esterna e l'umidità, tali valori sono stati ricavati come la media dei dati raccolti nel ventennio compreso tra 1951 e 1970.
- Type 9, utilizzata per richiamare i file esterni contenenti i dati che devono essere importati.
- Type 77, calcola la temperatura del terreno alla profondità desiderata a partire dei valori della temperatura media e dell'escursione annuale.
- Type 65c e 25c utilizzate per stampare i risultati a schermo e su file esterno

I file esterni sono stati creati con l'utilizzo di due software Excel e Matlab: il primo a partire dalle schedule e dai valori a regime imposti creava colonne di input da 8760 valori l'una, le ore in un anno, il secondo in questa occasione è stato utilizzato per importare i dati dai fogli di calcolo e poi stamparli su documenti di testo utilizzabili dal software TRNSYS al fine di sveltire le operazioni di creazione di quest'ultimi. Gli stessi software sono stati utilizzati anche al fine di rielaborare e importare sui fogli di calcolo i dati stampati su documento di testo da TRNSYS.

Nella è rappresentato la scheda di Simulation Studio rappresentativa del piano primo di Ugo Bassi, la cui ossatura è ripresa, per gli edifici di competenza di questa tesi, dall'elaborato di Pasquale Rotolo a cui sono state effettuate varie modifiche.

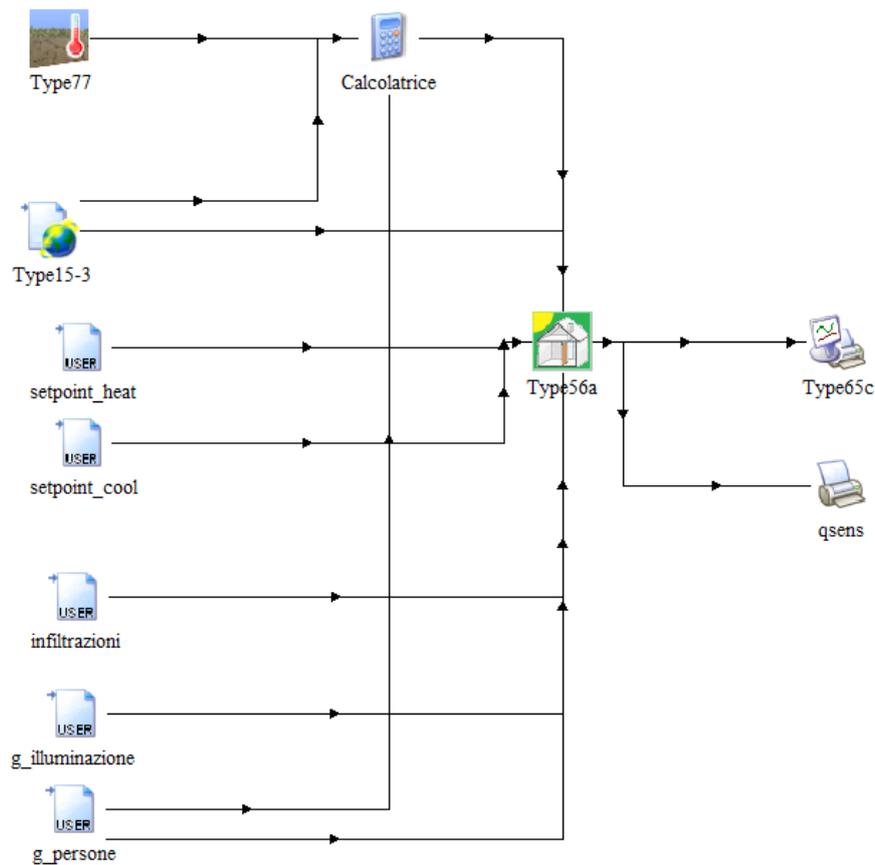


Figura 88: Esempio di schermata di lavoro di Simulation Studio (tratta da Rotolo con modifiche)

Nel lato sinistro si riconoscono, in basso le type 9, utilizzate in questo caso per richiamare i carichi interni, le portate d'infiltrazione ed i valori di set point dell'impianto, in alto le type 15-3 e 77 le type per il calcolo della temperatura del terreno e quella in cui sono racchiusi i dati climatici. La calcolatrice nella parte alta centrale, la type 56a, nel mezzo dell'immagine, che permette di interfacciare le strutture TRNBuild e Simulation Studio ed infine sulla destra le stampanti degli output.

2.2.1.1. Il complesso interdipartimentale Vallisneri

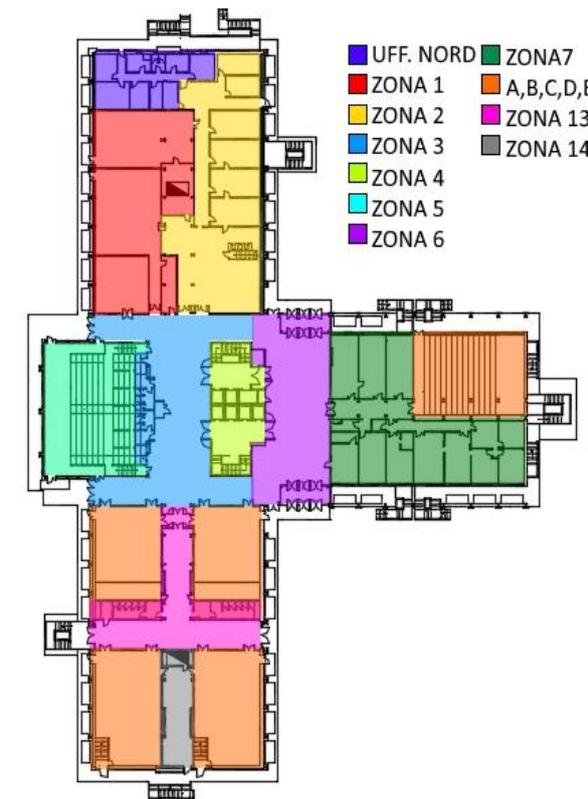


Figura 89: Suddivisione in zone del piano terra (fonte Rotolo)

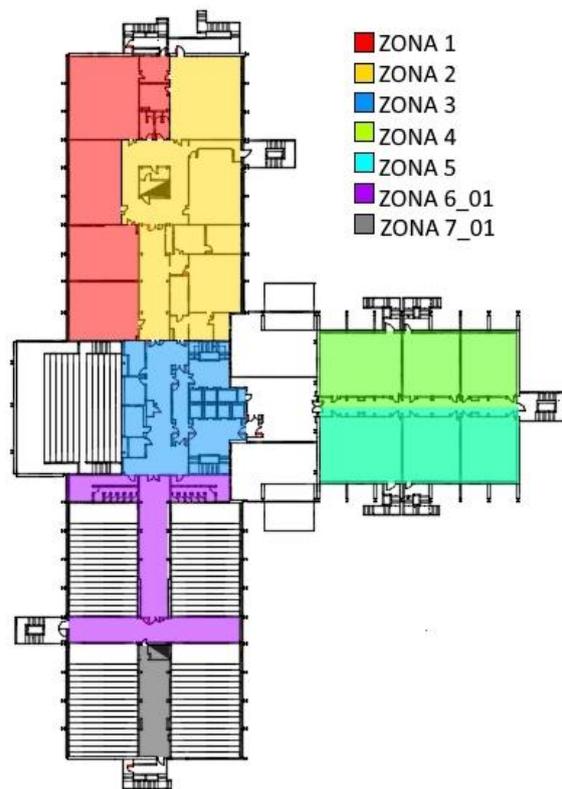


Figura 90: Suddivisione in zone del piano rialzato (fonte Rotolo)

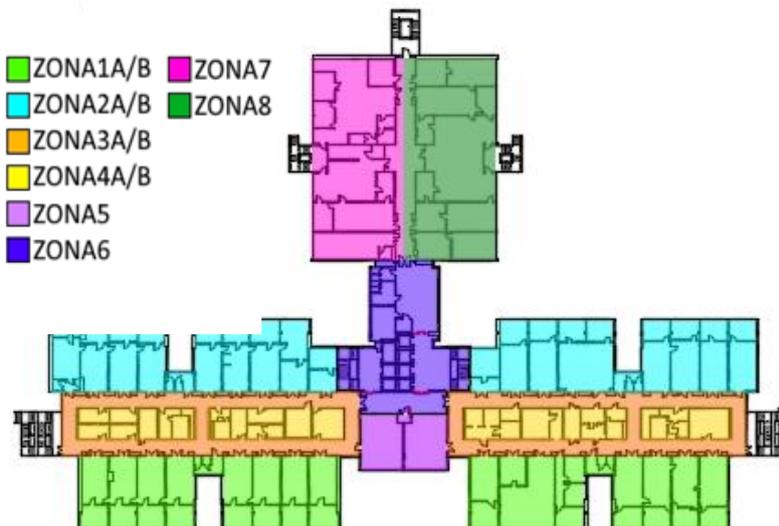


Figura 91: Suddivisione in zone piani dal primo al sesto (fonte Rotolo)

Le figure precedenti spiegano in formato grafico la divisione in zone utilizzata per la simulazione, nelle tabelle seguenti verranno invece illustrate le caratteristiche geometriche degli ambienti, le portate di ventilazione e i carichi interni considerati, i quali fanno riferimento ai valori specifici che verranno presentati nella tabella 34.

Tabella 34: Valori utilizzati per la determinazione dei carichi interni, Vallisneri e aule Ugo Bassi (fonte Rotolo)

POT. SPEC. ILLUINAZIONE	10	[W/m <sup>2</sup> ]
POT. COMPUTER	150	[W]
POT. PERSONE	65	[W]
% OCCUPAZIONE BIBL.	0.7	[-]
% OCCUPAZIONE AULE	0.6	[-]
STIMA N° PC UFFICI	1	pc ogni persona

Tabella 35: Caratteristiche geometriche, ventilazione e carichi interni delle zone 1-8 del piano terra (tratta da Rotolo con modifiche)

PT		UFF NORD	ZONA1	ZONA2	ZONA3	ZONA4	ZONA5	ZONA6	ZONA7	ZONA8
Descrizione		uffici	bibliot.	uffici	atrio	scale	aula m.	atrio	uffici	aula
Superficie	[m <sup>2</sup> ]	133	348	404	371	89	305	641	410	220
Volume	[m <sup>3</sup> ]	398	953	1211	1113	266	916	1922	1231	660
N° persone	/	16	129	18	0	0	144	0	28	120
Illuminazione	[kW]	1.3	3.5	4.0	3.7	0.9	3.1	6.4	4.1	2.2
Computer	[kW]	2.4	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	0.0
Persone	[kW]	1.0	8.4	1.2	0.0	0.0	9.4	0.0	1.8	7.8
Ventilazione	[m <sup>3</sup> /h]	0	3600	1300	0	0	7500	0	0	5000
Ricircolo	%	/	0	0	/	/	0	/	/	0

Tabella 36: Caratteristiche geometriche, ventilazione e carichi interni zone 9-7\_01 piano terra (Rotolo, modificata)

PT		ZONA9	ZONA10	ZONA11	ZONA12	ZONA13	ZONA14	ZONA6_01	ZONA7_01
Descrizione		aula	aula	aula	aula	atrio	tecnico	bibliot.	tecnico
Superficie	[m <sup>2</sup> ]	133	348	404	371	89	305	641	410
Volume	[m <sup>3</sup> ]	398	953	1211	1113	266	916	1922	1231
N° persone	/	16	129	18	0	0	144	0	28
Illuminazione	[kW]	1.7	1.7	1.7	1.7	2.2	0.7	2.5	0.7
Computer	[kW]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Persone	[kW]	8.2	7.8	8.2	8.2	0.0	0.0	5.2	0.0
Ventilazione	[m <sup>3</sup> /h]	5000	5000	5000	5000	0	0	0	0
Ricircolo	%	0	0	0	0	/	/	/	/

Tabella 37: Caratteristiche geometriche, ventilazione e carichi interni del piano rialzato (Rotolo modificata)

PR		ZONA1	ZONA2	ZONA3	ZONA4	ZONA5
Descrizione		aule	aule	scale	aule	aule
Superficie	[m <sup>2</sup> ]	447	566	275	272	272
Volume	[m <sup>3</sup> ]	1475	1867	907	897	897
N° persone	/	203	142	0	136	136
Illuminazione	[kW]	4.5	5.7	2.7	2.7	2.7
Computer	[kW]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Persone	[kW]	13.2	9.2	0.0	8.9	8.9
Ventilazione	[m <sup>3</sup> /h]	3800	4800	0	3800	3800
Ricircolo	%	25	25	/	25	25

\*Ventilazione attiva solo nella stagione di riscaldamento

## Capitolo 2. Analisi dati, metodi e modelli

Tabella 38: Caratteristiche geometriche, ventilazione e carichi interni delle zone 1-6 dei piani dal primo al sesto (tratta da Rotolo con modifiche)

P 1-2-3-4-5-6		ZONA1a	ZONA2a	ZONA3a	ZONA4a	ZONA5	ZONA6
Descrizione		lab\uff	lab\uff	corrido	spina	riunioni	scale
Superficie	[m <sup>2</sup> ]	358	360	231	151	143	230
Volume	[m <sup>3</sup> ]	1074	1080	694	454	429	690
N° persone	/	30	30	0	0	20	0
Illuminazione	[kW]	3.6	3.6	2.3	1.5	1.4	2.3
Computer	[kW]	4.5	4.5	0.0	0.0	3.0	0.0
Persone	[kW]	2.0	2.0	0.0	0.0	1.3	0.0
Ventilazione	[m <sup>3</sup> /h]	4000	4000	0	0	0	0
Ricircolo	%	0	0	/	/	/	/

Tabella 39: Caratteristiche geometriche, ventilazione e carichi interni delle zone 7-4b dei piani dal primo al quinto  
\*Le zone 7 ed 8 non sono utilizzate. (tratta da Rotolo con modifiche)

P 1-2-3-4-5		ZONA7	ZONA8	ZONA1b	ZONA2b	ZONA3b	ZONA4b
Descrizione		aule	aule	lab\uff	lab\uff	corrid.	spina
Superficie	[m <sup>2</sup> ]	335	335	358	360	231	151
Volume	[m <sup>3</sup> ]	1004	1004	1074	1080	694	454
N° persone	/	/	/	30	30	0	0
Illuminazione	[kW]	/	/	3.6	3.6	2.3	1.5
Computer	[kW]	/	/	4.5	4.5	0.0	0.0
Persone	[kW]	/	/	2.0	2.0	0.0	0.0
Ventilazione	[m <sup>3</sup> /h]	<b>3000</b>	<b>3000</b>	4000	4000	0	0
Ricircolo	%	<b>25</b>	<b>25</b>	0	0	/	/

\*I Dati in grassetto sono lo stato di fatto delle UTA che ora sono però inattive

Tabella 40: Caratteristiche geometriche, ventilazione e carichi interni delle zone 7-4b del sesto piano (tratta da Rotolo con modifiche)

P 6		ZONA7	ZONA8	ZONA1b	ZONA2b	ZONA3b	ZONA4b
Descrizione		lab\uff	lab\uff	lab\uff	lab\uff	corridoi	spina
Superficie	[m <sup>2</sup> ]	335	335	358	360	231	151
Volume	[m <sup>3</sup> ]	1004	1004	1074	1080	694	454
N° persone	/	70	70	30	30	0	0
Illuminazione	[kW]	3.3	3.3	3.6	3.6	2.3	1.5
Computer	[kW]	10.5	10.5	4.5	4.5	0.0	0.0
Persone	[kW]	4.6	4.6	2.0	2.0	0.0	0.0
Ventilazione	[m <sup>3</sup> /h]	4400	4400	4000	4000	0	0
Ricircolo	%	0	0	0	0	/	/

\*Le zone 7 ed 8 del sesto piano ospitano il CRIBI, le zone mancanti come P 1-5

Le portate di ventilazione sono state oggetto di revisione nel presente elaborato queste quindi possono differire da quelle presentate nei precedenti scritti. Il valore delle zone 1 e 2 (comprese le b) si riferiscono all'aria primaria elaborata dalle UTA nel piano interrato, si è preferito utilizzare questo valore, di cui si è certi, anziché ipotizzare una portata delle cassette di piano ed il ricircolo da esse effettuato, che in ogni caso avrebbe dovuto condurre alla stessa portata di aria di rinnovo.

La portata relativa ai reintegratori è stata assunta con un valore medio pari ad 1/4 della nominale, cioè 4500 m<sup>3</sup>/h rispetto ai 18000 nominali, il valore è ovviamente di difficile determinazione dato che esso è collegato al funzionamento delle cappe ad attivazione manuale. Si precisa che comunque questo ha un impatto limitato sulla simulazione della rete di teleriscaldamento, come è desumibile dalle informazioni nel capitolo riguardante l'impianto termotecnico dell'edificio in questione. L'ultima nota riguarda i valori di set point del sistema di condizionamento: questi sono stati scelti, e non modificati, dall'autore dell'elaborato che ha trattato per primo il Vallisneri, Pasquale Rotolo, sulla base dei monitoraggi del funzionamento di alcuni terminali. I valori di set point sono di 22 °C per le zone adibite ad aule ed ufficio e 20 °C per i corridoi nel regime invernale e 26 °C nel regime estivo. Si è appreso da colloqui che le temperature degli ambienti però spesso sono regolati non da un termostato ma manualmente dagli utenti in base alle sensazioni di caldo o freddo, è stato comunque deciso di mantenere i valori di set point originari perché reputati i più verosimili.

Il primo piano presenta un modello diverso dai superiori solo per quanto riguarda il fatto che parte del solaio su cui poggia si affaccia direttamente all'esterno essendo il piano rialzato di superficie ridotta dei superiori, tutte le altre caratteristiche sono identiche. Per quanto riguarda la modellizzazione dello stabulario, questa è stata effettuata tramite l'espedito di eguagliarla a metà dell'ala nord del piano sesto e dell'atrio, non avendo infatti conoscenza delle caratteristiche dell'ambiente se non dal punto di vista geometrico dalla documentazione cartacea, dal momento che l'accesso a tale struttura è limitato, si è reputato che questo fosse il metodo più adeguato e allo stesso tempo più pratico per includerlo nella simulazione. Dal momento che in regime estivo lo stabulario è autonomo e viste le ridotte dimensioni si può comunque affermare che l'incertezza dei consumi legati a questo ambiente non infici i risultati dell'edificio di cui fa parte e tanto meno del complessivo su cui si basa l'analisi effettuata sulle reti di teleriscaldamento e teleraffrescamento.

### 2.2.1.2. Le aule Ugo Bassi

Di seguito è riportata la modellizzazione delle aule Ugo Bassi, prima verrà mostrata la divisione in zone degli edifici, poi i valori attribuiti a tali ambienti in forma tabellare allo stesso modo di quanto è stato fatto per il complesso di biologia.

## Capitolo 2. Analisi dati, metodi e modelli

Tabella 41 Caratteristiche geometriche, ventilazione e carichi interni del piano terra (fonte rotolo)



Figura 92: Suddivisione in zone del piano terra (fonte Rotolo)

PT		ZONA1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4
Descrizione		Aule	Aule	Servizi	Servizi
Superficie	[m <sup>2</sup> ]	128	128	113	113
Volume	[m <sup>3</sup> ]	346	346	304	304
N°persone	/	119	118	0	0
Illuminazion	[kW]	1.3	1.3	1.1	1.1
Computer	[kW]	0	0	0	0
Persone	[kW]	7.7	7.7	0	0
Ventilazione	[m <sup>3</sup> /h]	2975	2975	0	0
Ricircolo	%	25	25	/	/

Tabella 42: Caratteristiche geometriche, ventilazione e carichi interni del primo piano, (fonte rotolo)



Figura 93: Suddivisione in zone del primo piano (fonte Rotolo)

P1		ZONA1	ZONA2	ZONA3	ZONA4
Descrizione		Aule	Aule	Servizi	Servizi
Superficie	[m <sup>2</sup> ]	192	192	138	138
Volume	[m <sup>3</sup> ]	644	644	373	373
N°persone	/	166	166	0	0
Illuminazion	[kW]	1.9	1.9	1.4	1.4
Computer	[kW]	0	0	0	0
Persone	[kW]	10.8	10.8	0	0
Ventilazione	[m <sup>3</sup> /h]	5810	5810	1500	1500
Ricircolo	%	25	25	0	0

Tabella 43: Caratteristiche geometriche, ventilazione e carichi interni dei piani secondo e terzo (fonte Rotolo)



Figura 94: Suddivisione in zone del primo piano (fonte Rotolo)

P 2-3		ZONA1	ZONA2	ZONA3	ZONA4
Descrizione		Aule	Aule	Corrid	Corrid
Superficie	[m <sup>2</sup> ]	271	271	66	66
Volume	[m <sup>3</sup> ]	814	814	200	200
N°persone	/	310	310	0	0
Illuminazion	[kW]	2.7	2.7	0.7	0.7
Computer	[kW]	0	0	0	0
Persone	[kW]	20.2	20.2	0	0
Ventilazione	[m <sup>3</sup> /h]	10850	10850	0	0
Ricircolo	%	25	25	/	/

In questi modelli non è stata fatta alcuna modifica, deve essere fatta solo una precisazione sulle portate di ventilazione del primo piano: questa nelle tabelle della tesi di Pasquale Rotolo era riportata pari a 5610 m<sup>3</sup>/h probabilmente in seguito ad un errore di battitura. Nell'edificio i valori di set point, uguali a quelli del Vallisneri, sono mantenuti da un sistema di controllo automatico non ci sono quindi incertezze come nello stabile precedentemente citato.

2.2.1.3. Il centro linguistico di ateneo (CLA)

Vengono ora presentati i modelli dell'edificio come fatto per i precedenti. Le immagini sono riportate in formato compatto, queste sono comunque visibili, con dimensioni maggiori nel capitolo relativo alla presentazione degli edifici. I dati sono tratti dalla tesi di Davide Moro citata in bibliografia,, i valori di set point dell'impianto dell'edificio sono di 20 °C per le aule e gli uffici e 18 °C per i corridoi nella stagione invernale e di 26 °C per tutti gli ambienti nell'estiva. La portata di ventilazione è ottenuta moltiplicando la portata delle UTA al servizio del piano per un fattore pari alla superficie dell'ambiente divisa per la totale del piano, delle portate di ventilazione bisogna precisare che è stata variata la percentuale di ricircolo del quarto e quinto piano che è stata alzata al 50%,

Tabella 44: Divisione in zone del CLA e valori utilizzati per la determinazione dei carichi interni (fonte Moro)



Figura 95: Divisione in zone dei piani terra e primo (fonte Moro)



Figura 96: Divisione in zone dei piani secondo e terzo (fonte Moro)



Figura 97: Divisione in zone dei piani quarto e quinto (fonte Moro)

Tipologia Carico	Valore	Unità di misura
POT. SPEC. ILLUMINAZIONE CORRIDOI	10	[W/m <sup>2</sup> ]
POT. SPEC. ILLUMINAZIONE AULE DIDATTICHE	20	[W/m <sup>2</sup> ]
POT. SPEC. ILLUMINAZIONE UFFICI	15	[W/m <sup>2</sup> ]
POT. SPEC. ILLUMINAZIONE AULE PC	10	[W/m <sup>2</sup> ]
CARICHI INTERNI LOCALI ELETTRICI	2000	[W]
POT. SPEC. COMPUTER	150	[W]
POT. SPEC. PERSONE	65	[W]
% OCCUPAZIONE AULE	0.6	[-]
STIMA N° PERSONE	1	[px/(20m <sup>2</sup> )]
STIMA N° PC- AMB UFFICI	1	pc ogni persona
STIMA N° PC -AMB. BIBL.	1/2	pc ogni persona

Tabella 45: Caratteristiche geometriche, ventilazione e carichi interni del piano terra e primo (fonte Moro)

## Capitolo 2. Analisi dati, metodi e modelli

P T-1		ZONA1	ZONA2	ZONA3	ZONA4	ZONA5	ZONA6	ZONA7
Superficie	[m <sup>2</sup> ]	307	173	273	135	76	69	12
Volume	[m <sup>3</sup> ]	815	541	899	445	250	279	53
N° persone	/	0	69	158	90	48	0	0
Illuminazione	[kW]	5.1	3.0	5.5	2.7	1.5	0.7	0.1
Computer	[kW]	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Persone	[kW]	0.0	4.5	10.3	5.9	3.1	0.0	0.0
Ventilazione	[m <sup>3</sup> /h]	3029	2012	3342	1654	927	1039	197
Ricircolo	%	25	25	25	25	25	25	25

Tabella 46: Caratteristiche geometriche, ventilazione e carichi interni del piano secondo e terzo (fonte Moro)

P 2-3		ZONA1	ZONA2	ZONA3	ZONA4	ZONA5	ZONA6	ZONA7	ZONA8
Superficie	[m <sup>2</sup> ]	288	126	154	74	19	147	257	78
Volume	[m <sup>3</sup> ]	756	377	463	221	74	442	771	329
N° persone	/	0	28	14	0	0	36	63	0
Illuminazione	[kW]	4.9	1.3	1.5	0.7	0.2	1.5	2.6	0.8
Computer	[kW]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Persone	[kW]	0.0	1.8	0.9	0.0	0.0	2.3	4.1	0.0
Ventilazione	[m <sup>3</sup> /h]	2688	1340	1645	787	262	1569	2741	1168
Ricircolo	%	25	25	25	25	25	25	25	25

Tabella 47: Caratteristiche geometriche, ventilazione e carichi interni del piano quarto e quinto (fonte Moro con modifiche)

P 4-5		ZONA1	ZONA2	ZONA3	ZONA4	ZONA5	ZONA6	ZONA7	ZONA8
Superficie	[m <sup>2</sup> ]	142	147	127	84	119	81	77	348
Volume	[m <sup>3</sup> ]	397	412	356	235	333	325	214	865
N° persone	/	9	12	12	5	13	0	4	0
Illuminazione	[kW]	2.1	2.2	1.9	1.3	1.8	0.8	0.8	5.5
Computer	[kW]	1.4	1.8	1.8	0.8	2.0	0.0	0.6	0.0
Persone	[kW]	0.6	0.8	0.8	0.3	0.8	0.0	0.3	0.0
Ventilazione	[m <sup>3</sup> /h]	760	788	680	449	636	622	410	1655
Ricircolo	%	<b>50</b>							

\*Valore variato rispetto ai modelli precedenti

### 2.2.2. La modellazione delle reti

In questo paragrafo verranno presentati i modelli delle reti. A differenza di quanto viene fatto per gli edifici in cui le correzioni ai loro modelli saranno oggetto di un paragrafo dedicato, essendo queste varie, le modifiche al modello della rete di teleriscaldamento, essendo queste limitate, verranno mostrate nella presente sezione dello scritto. Infine verrà descritto il modello della rete di teleraffrescamento utilizzato al fine di perseguire gli scopi prefissati in questo progetto.

#### 2.2.2.1. Il modello della rete di teleriscaldamento

Oltre a quelle presentate nella sezione relativa ai modelli degli edifici, sono state utilizzate le seguenti type:

- Type Pipe: rappresenta un condotto, discretizzato in segmenti, in ingresso richiede, oltre le caratteristiche termofisiche del fluido che in essi scorre e la temperatura dell'ambiente in cui sono inseriti, i valori di lunghezza, diametro e coefficiente di scambio termico degli stessi. Fornisce in output il valore delle perdite termiche grazie alla conoscenza della portata transitante e della temperatura del fluido all'inizio della tubazione. Tra i valori forniti è stata utilizzata la temperatura del fluido in uscita dal condotto.
- Type Heat Exchanger: rappresentativa di uno scambiatore di calore, richiede in input le temperature in ingresso del primario e secondario e grazie all'efficienza impostata, in questo caso pari a 0.8, calcola i valori delle temperature di uscita e tramite ed il calore scambiato in esso. I fluidi sono assunti in controcorrente.
- Type Flow Diverter/Mixer: rappresentano le diramazioni delle tubazioni oppure le loro unioni.

Al fine di rendere più chiaro il prosieguo della trattazione viene ora riportata l'immagine della schermata di lavoro di Simulation Studio raffigurante il modello citato nel titolo del paragrafo, le immagini sono tratte dalla tesi Laura Colpo.

## Capitolo 2. Analisi dati, metodi e modelli

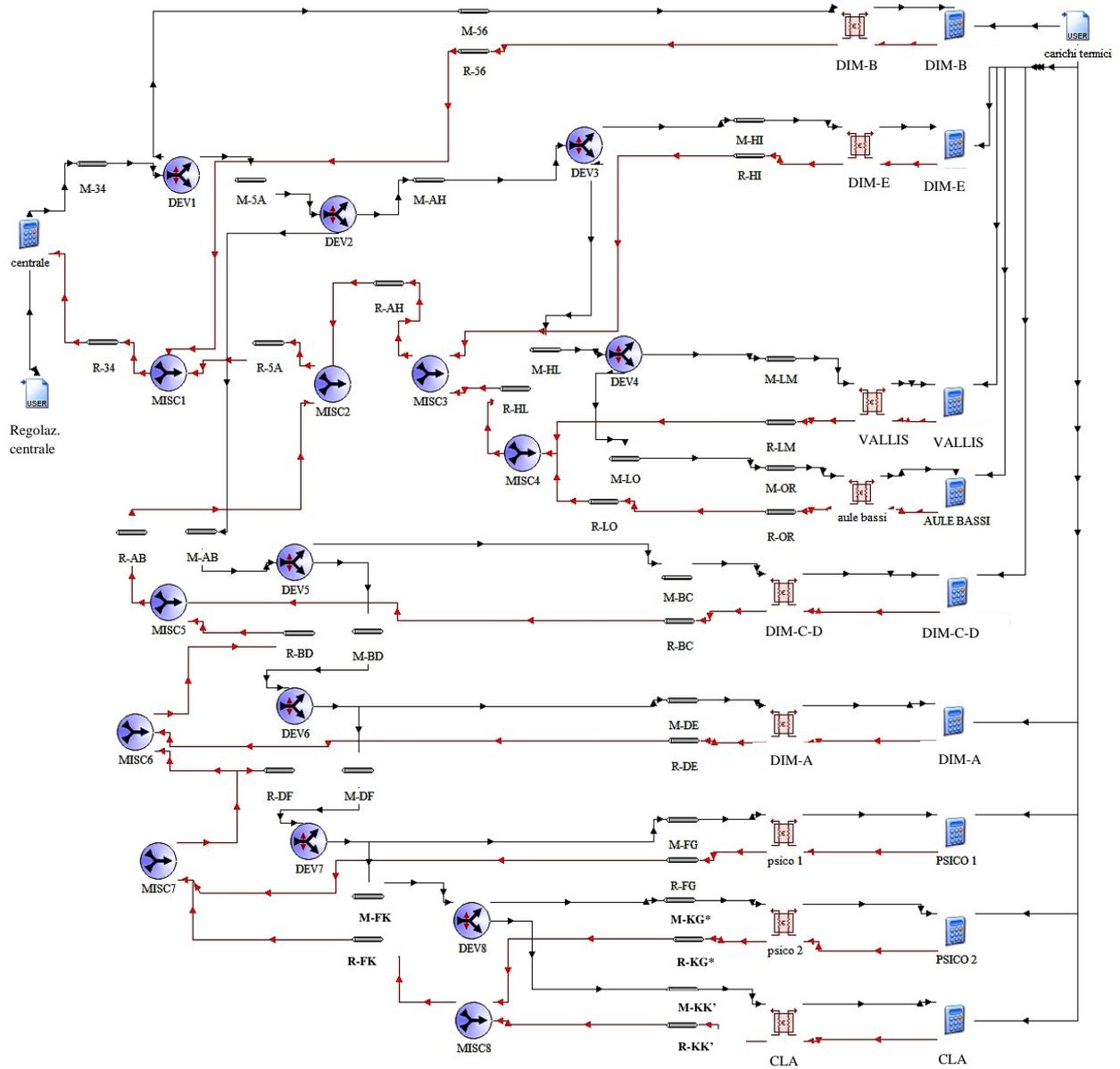


Figura 98: Modello della rete di teleriscaldamento (Immagine Laura-Colpo modificata)

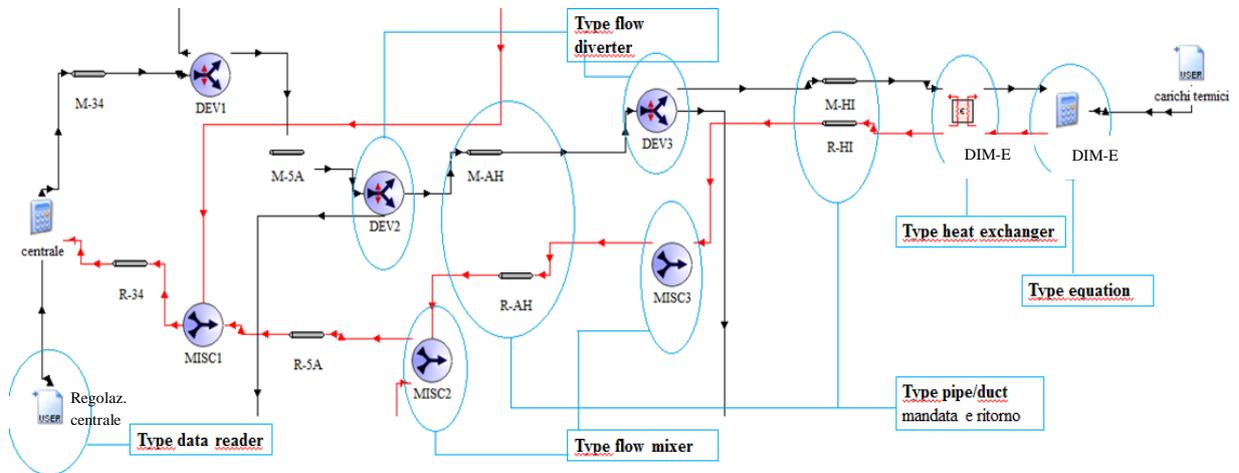


Figura 99: Dettaglio type (Immagine Lura-Colpo modificata)

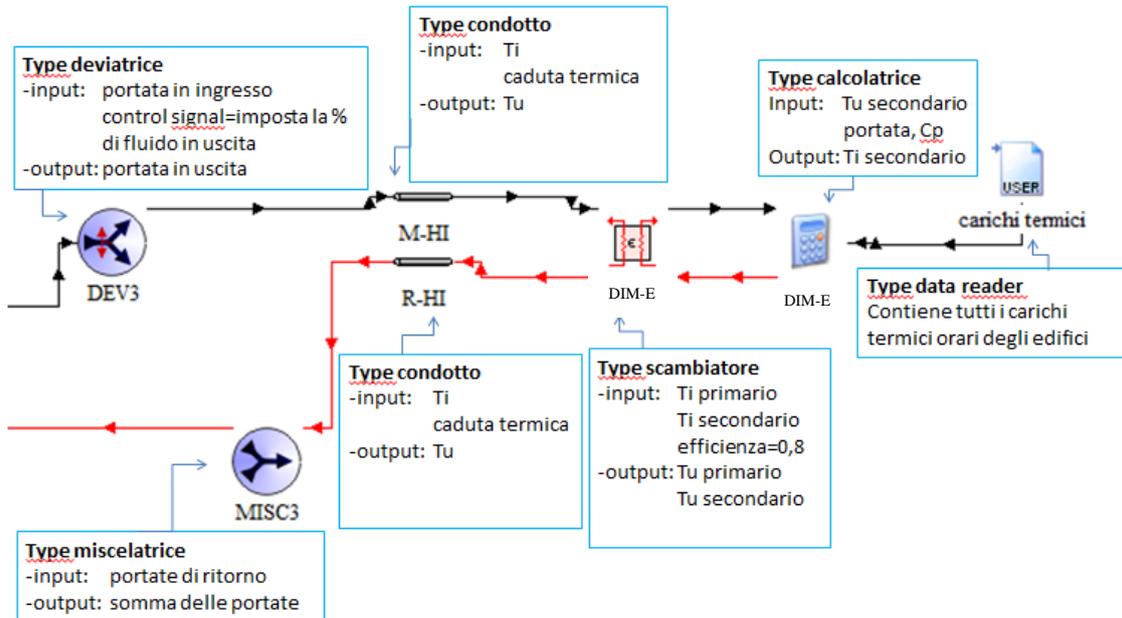


Figura 100: Dettaglio type (Immagine Lura-Colpo modificata)

La temperatura dell'ambiente in cui sono inserite le tubazioni è stata calcolata come media della temperatura del terreno, calcolata con la relativa type, e dell'aria esterna. Questo ha permesso di simulare la presenza delle tubazioni nei cunicoli, che sebbene interrati sono di ampie dimensioni e consentono flussi d'aria provenienti dall'esterno, in particolare dai collegamenti con le sottostazioni e le centrali.

Oltre ai dati di input dei carichi termici richiesti alla rete, variati in seguito dell'attività di correzione dei modelli degli edifici, alla rete sono state apportate le seguenti modifiche:

- Alla luce delle nuove informazioni sulla lunghezza e diametro delle tubazioni, mostrate nelle prime pagine di questo elaborato, si sono modificati tali valori quando fossero risultati diversi da quelli precedentemente inseriti. Inoltre sono stati modificati i coefficienti di perdita delle tubazioni, i valori inseriti sono i seguenti:

Tabella 48: Coefficiente di perdita dei tratti della rete di teleriscaldamento

Tratto	U [W/(m <sup>2</sup> ·°C)]	Tratto	U [W/(m <sup>2</sup> ·°C)]	Tratto	U [W/(m <sup>2</sup> ·°C)]
3-A	2.4	L-M	1.9	D-E	1.6
5-A	2.1	L-O	1.9	D-F	2.1
A-H	2.1	O-R	1.7	F-G	1.6
56	2.1	A-B	2.1	F-K	1.9
H-I	1.7	B-C	1.6	K-G*	1.7
H-L	2.1	B-D	2.0	K-K''	1.9

- Si è cercato di imitare le modalità di esercizio della rete rilevate nei precedenti monitoraggi: la temperatura della stessa a centrale attiva è stata alzata a 100 °C, nei momenti di avvio dell'impianto si è tentato di riprodurre le condizioni reali impostando la potenza massima erogabile nella prima ora di accensione ad un valore tale da comportare gli aumenti di temperatura dell'acqua surriscaldata rilevati nell'attività di rilevamento dati condotta da Laura Colpo.

- È stato deciso di simulare il fatto che la centrale venga chiusa sempre un'ora prima delle sottostazioni degli edifici, non si è certi che questo avvenga sempre ma non essendoci registri è stato reputato corretto applicare questa modalità d'esercizio. L'ultima ora di funzionamento sarà quindi caratterizzata dal fatto che la rete sarà in grado di cedere calore negli scambiatori solo fin quando la sua temperatura si mantiene sopra i 35 °C, valore impostato per tener conto che al di sotto di tale temperatura l'acqua nelle batterie calde non riesce a cedere calore in modo efficiente all'aria elaborata. Ciò comporta, nei mesi in cui i carichi richiesti sono maggiori, che l'inerzia termica della rete non sia sufficiente al loro soddisfacimento, specialmente nell'ultima mezz'ora di funzionamento, la simulazione è stata infatti estesa a quarti d'ora per meglio simulare l'accensione e la chiusura della centrale.

Vengono ora presentati i monitoraggi dei condotti della centrale termica e quello di una sottostazione, il DIM C-D, effettuato da Laura Colpo, riportati nel documento citato in bibliografia, su cui ci si è basati per calibrare le modalità di funzionamento della centrale termica e della relativa rete di teleriscaldamento.

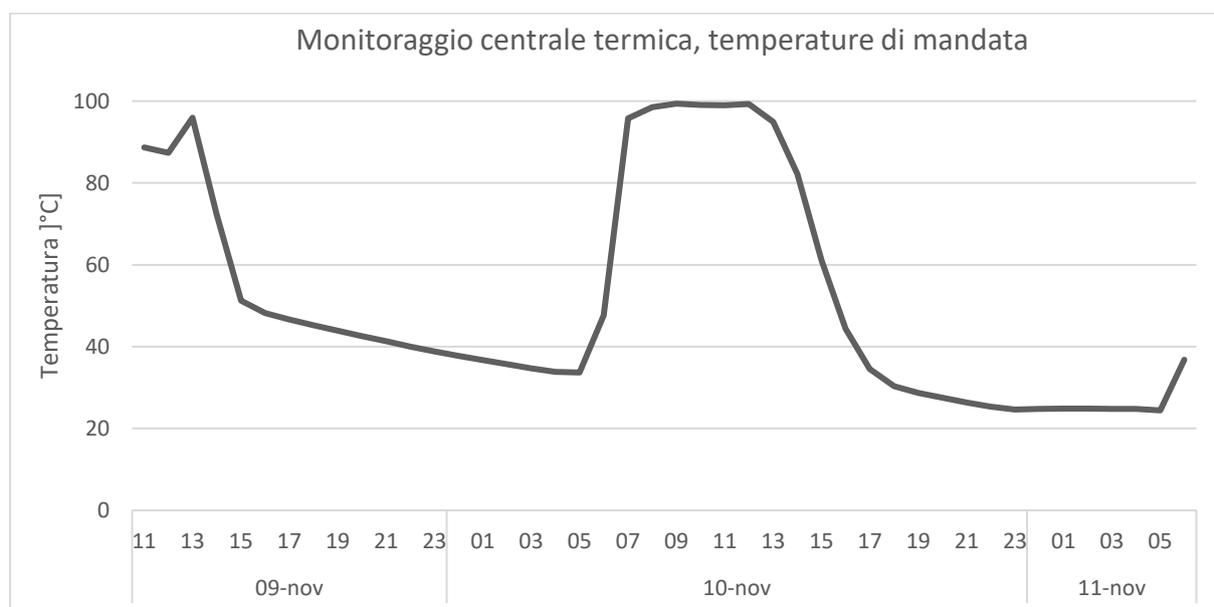


Figura 101: Monitoraggio della temperatura di mandata centrale (fonte Colpo)

Dalle misurazioni si nota come l'avvio della centrale termica avvenga alle cinque con l'avvio delle pompe di circolazione e della caldaia di potenza minore, si vede infatti come la pendenza nel primo tratto di salita sia minore, in precedenza negli schedule infatti l'orario di avvio sarà individuato nelle ore sei poiché questa è l'ora in cui entrano in funzione le due caldaie di potenza termica maggiore, le cinque si prefigurano come una sorta di preriscaldamento della centrale termica e le sei come un riscaldamento della rete. L'orario di chiusura è invece molto anticipato rispetto a ciò che si reputa essere il funzionamento classico, probabilmente ciò è dovuto ad un mancato cambio turno: la discesa della temperatura di rete comincia infatti circa otto ore dopo le prime manovre di accensione, durata di una normale giornata lavorativa del conduttore.

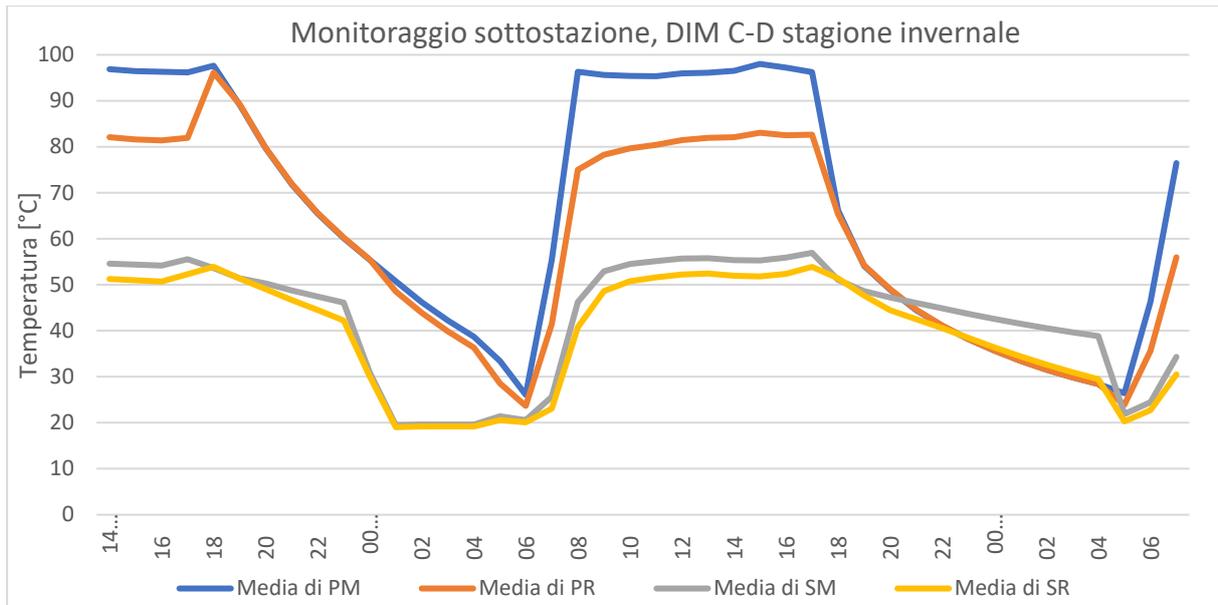


Figura 102: Monitoraggio DIM C-D (P=primario S=secondario M=mandata R=ritorno) (12-14 dicembre) (fonte Colpo)

Viene qui riportato solo un esempio di monitoraggio di sottostazione in regime invernale, per gli altri monitoraggi si rimanda alla tesi di Laura Colpo.

Al secondario dello scambiatore la temperatura comincia a salire con un'ora di ritardo rispetto all'attivazione delle caldaie (6:00), mentre alla chiusura mostra un comportamento più vario. Si precisa che entrambe le giornate sono giorni feriali del mese di dicembre 2016 in cui lo spegnimento della centrale è avvenuto alle 17. Si osservi che gli schedule di centrali presentati di seguito, ed impiegati nella modellazione, riferiscono invece al periodo novembre 2015-febbraio 2016. Il giorno 12/12 i secondari sono stati spenti in contemporanea al primario e ciò non ha consentito che la temperatura di ritorno si portasse ad un valore pari a quella di mandata, il giorno successivo invece i secondari sono stati disattivati in seguito allo spegnimento della centrale e ciò ha provocato il crollo della temperatura di rete. Non è dato sapere il numero di secondari ancora attivi, si vede però che lo scambio termico tra primario e secondario continua per un periodo di circa 45 minuti dopo lo spegnimento della centrale.

Entrambe le misurazioni mostrate fanno intuire come sia stato complicato redigere uno schedule veritiero: nelle tre giornate monitorate si verificano tre diverse modalità di funzionamento, sommando a questo le considerazioni effettuate da Moro e Rotolo che sottolineavano come in qualche occasione l'impianto fosse attivo anche di notte, ne risulta una situazione di forte incertezza sulla gestione dell'impianto.

#### 2.2.2.2. Il modello della rete di teleraffrescamento

Dal momento che la rete corre parallelamente a quella di teleriscaldamento, le lunghezze dei tubi sono rimaste invariate a parte il primo tratto in centrale di lunghezza comunque ridotta e la linea del DIM-B che in questa è assente non essendo esso servito nella stagione estiva dalla rete. Il modello creato va quindi ad utilizzare lo scheletro dello schema precedente modificando solamente i diametri ed i valori dei coefficienti di perdita dei condotti. Un'altra modifica consiste nella modellazione della centrale, per la frigorifera a differenza di quanto fatto per la termica è stato infatti impostato il valore massimo della potenza di centrale, 3600 kW nelle ore

## Capitolo 2. Analisi dati, metodi e modelli

di funzionamento a regime, 900 kW nei periodi di funzionamento notturno, questo ha permesso di calcolare la temperatura di mandata a partire da quella di ritorno con la precisazione che il valore della temperatura di mandata è limitato inferiormente a 7 °C. Nei momenti in cui la centrale è spenta la temperatura di mandata dalla centrale è assunta uguale a quella di ritorno. Le caratteristiche dei condotti inseriti nei modelli sono ora presentati in forma tabellare:

Tabella 49: Caratteristiche linea 2, rete teleraffrescamento

LINEA 2 -- DIM_E - VALLISNERI - AULE BASSI									
Sottostazione e tratto della rete			Diametro interno, portata, velocità, lunghezza e coefficienti di perdita						Potenza
			$\phi_i$ [mm]	$\dot{m}$ [l/s]	$\dot{m}$ [l/h]	$v$ [m/s]	$L$ [m]	$U$ [W/(m <sup>2</sup> *K)]	Pf [kW]
COLLETORE	0		310.0	135.9	489204	1.80			2844
	1	5°	260.0	85.1	306450	1.60	20	2.3	
	2	AH	260.0	85.1	306450	1.60	10	2.3	
DIM_E	3	HI	92.5	7.9	28530	1.18	9.4	1.6	166
	4	HL	261.3	77.2	277920	1.44	68	2.3	
VALLISNERI	5	LM	261.3	71.5	257400	1.33	25.4	2.3	1496
	6	LN	156	5.7	20520	0.30	20	1.8	
	7	NO	156	5.7	20520	0.30	51.9	1.8	
AULE BASSI	8	OR	156	5.7	20520	0.30	91.5	1.8	119

Tabella 50: Caratteristiche linea 3, rete teleraffrescamento

LINEA 3 -- DIM_C/D - DIM_A - PISCO1 - PSICO2 - CLA									
Sottostazione e tratto della rete			Diametro interno, portata, velocità, lunghezza e coefficienti di perdita						Potenza
			$\phi_i$ [mm]	$\dot{m}$ [l/s]	$\dot{m}$ [l/h]	$v$ [m/s]	$L$ [m]	$U$ [W/(m <sup>2</sup> *K)]	Pf [kW]
	1	5°	207.0	50.8	182754	1.51	20	2.3	
	2	AB	207.0	50.8	182754	1.51	26.8	2.0	
DIM_C/D	3a	BC	49.4	1.5	5454	0.79	25.7	1.8	32
			54.5	0.9	3186	0.38	25.7	1.8	19
	4	BD	207.0	48.4	174114	1.44	70.1	2.0	
DIM_A*	5	DE	83.7	7.3	26298	1.33	6.2	1.5	153
			54.5	2.4	8496	1.01	6.2	1.5	49
	6	DF	207.0	38.7	139320	1.15	97.7	2.0	
PSICO1	7	FG	135.4	14.0	50400	0.97	45	1.7	293
	8	FK	207.0	24.7	88920	0.73	20	2.0	
PSICO2	9	KG*	157.7	9.3	33480	0.48	10	1.8	195
CLA	10	KK'	207.0	15.4	55440	0.46	41	2.0	322

Come fatto per la rete di teleriscaldamento vengono ora mostrati i grafici relativi alle misurazioni effettuate, verranno esaminate più sottostazioni rispetto a quanto fatto in precedenza poiché questi monitoraggi sono stati effettuati in prima persona nell'ambito delle attività svolte in questo elaborato. Tm e Tr sono rispettivamente le temperature di mandata e ritorno nelle sottostazioni, queste si riferiscono al circuito primario qualora esse siano dotate di scambiatore.

Nella figura 103 è mostrato il modello della rete di teleraffrescamento.

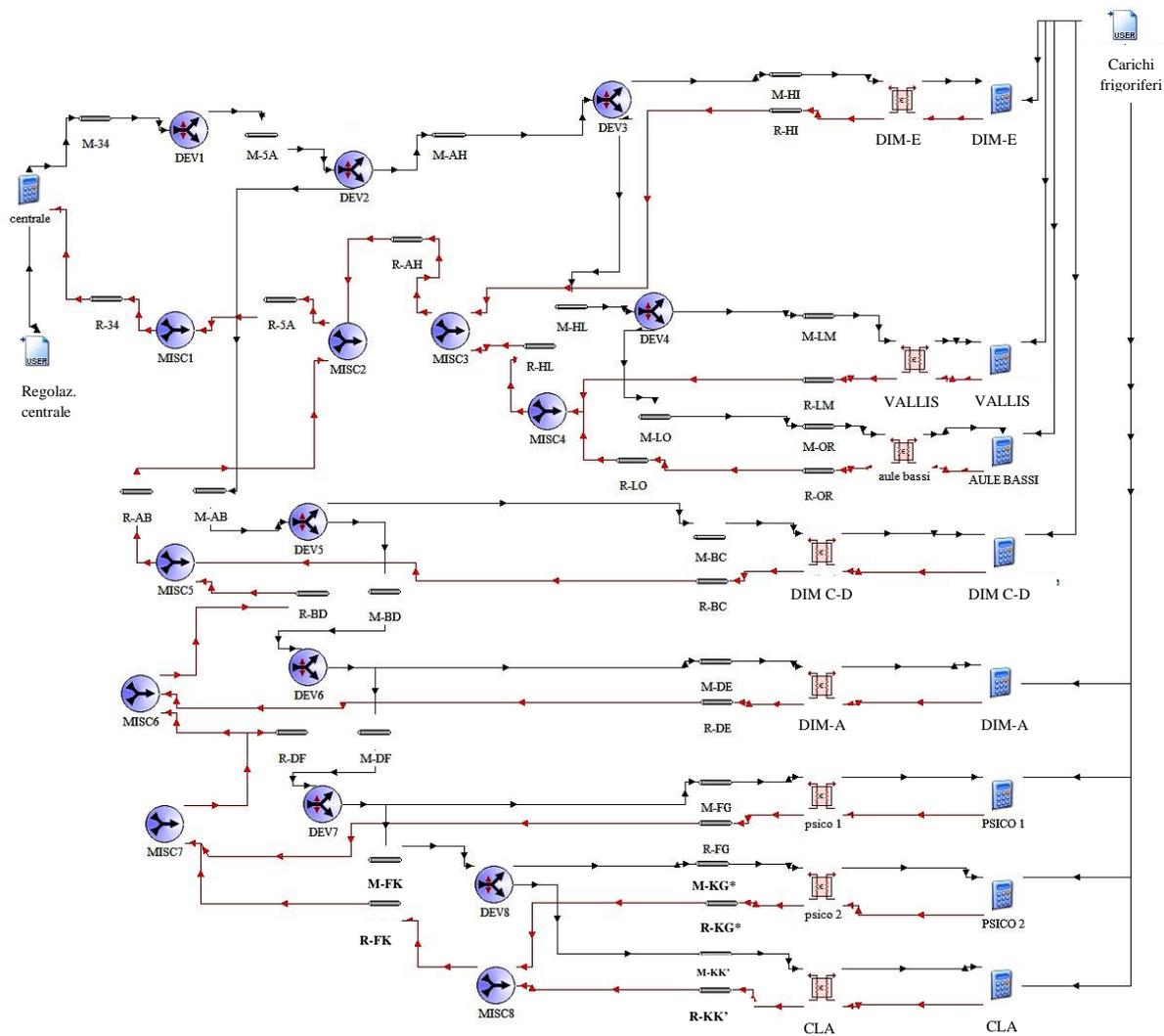


Figura 103: Modello rete teleraffrescamento

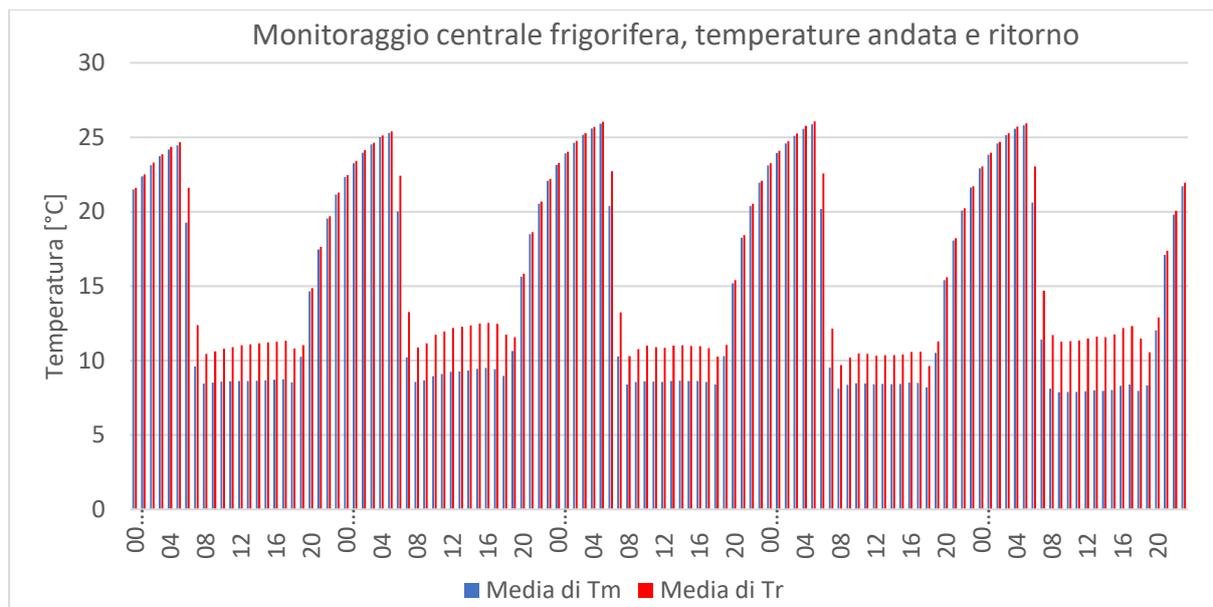


Figura 104: Monitoraggio centrale frigorifera, temperature di mandata e ritorno (27-31 luglio)

Il monitoraggio mostrato, come si evince dalla didascalia, riguarda gli ultimi cinque giorni di luglio, in particolare il 29 e 30 erano un sabato e una domenica. Il commento a questo grafico è riassunto nel successivo. Si ricorda che la centrale frigorifera è l'unica struttura ad essere stata monitorata per un periodo superiore ad un giorno.

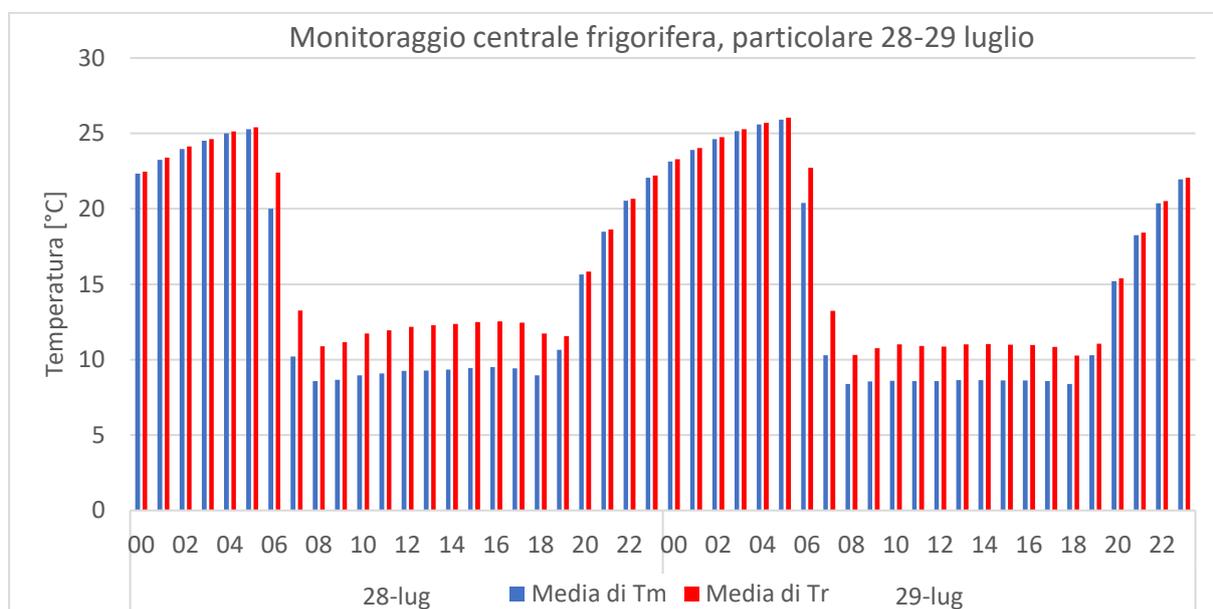


Figura 105: Monitoraggio centrale frigorifera, temperature di mandata e ritorno. Particolare 28-29 luglio

Il 28 luglio era un venerdì mentre il 29 un sabato, come ci si attende il salto termico tra andata e ritorno è maggiore nel venerdì, in questo giorno infatti tutte le sottostazioni sono attive mentre il sabato non tutte lo sono, inoltre i carichi interni sono molto ridotti il weekend. Le temperature medie e massime del 28 erano pari a 28 °C e 32 °C mentre quelle del giorno successivo erano inferiori di 2 °C, quindi anche i fattori climatici hanno contribuito ad aumentare i valori della temperatura di ritorno il venerdì. L'andamento dei valori di temperatura di mandata è spiegabile con una duplice motivazione:

- La temperatura esterna il 28, come detto, era molto alta ciò ha comportato difficoltà nel raffreddamento dell'acqua di torre e quindi difficoltà dei gruppi frigo nel mantenere le condizioni imposte di mandata a 7 °C
- I carichi frigoriferi da soddisfare erano ingenti ciò provocava che la temperatura di ritorno raggiungesse valori tali che i gruppi non erano in grado di riportarla al valore voluto nella mandata.

Gli andamenti notturni sono invece di difficile spiegazione: lo scambio termico col terreno infatti non può essere l'unica causa dell'innalzamento della temperatura dell'acqua di rete, ciò è provato dai risultati delle simulazioni che mostrano un aumento della temperatura molto più ridotto. L'andamento dei monitoraggi della centrale può essere dovuto al fatto che alcuni secondari fossero, o più probabilmente il solo impianto del Vallisneri, questo è infatti lasciato attivo nelle ore successive allo spegnimento dei tre gruppi della centrale controllati automaticamente. Il secondario dell'edificio cercava di raffreddare sfruttando l'inerzia termica della rete, nelle prime ore ciò avviene con una certa efficacia, quando la temperatura di rete si alza lo scambio assume valori sempre più ridotti e questo spiega il valore decrescente della derivata della curva secondo un andamento esponenziale della primitiva.

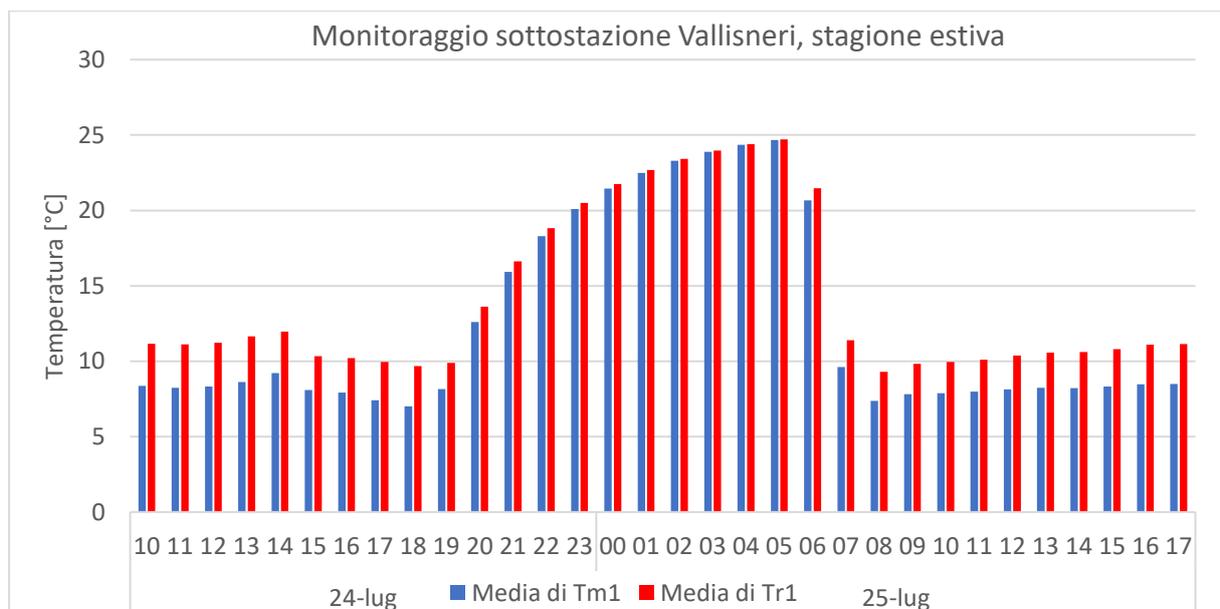


Figura 106: Monitoraggio sottostazione Vallisneri, temperature di mandata e ritorno

L'andamento delle misurazioni effettuate al complesso di biologia è del tutto simile a quello visto in precedenza, è inoltre da considerare il fatto che questo edificio contribuisce in buona parte al fabbisogno complessivo quindi il suo comportamento rispecchia in buona parte quello di tutto il sistema.

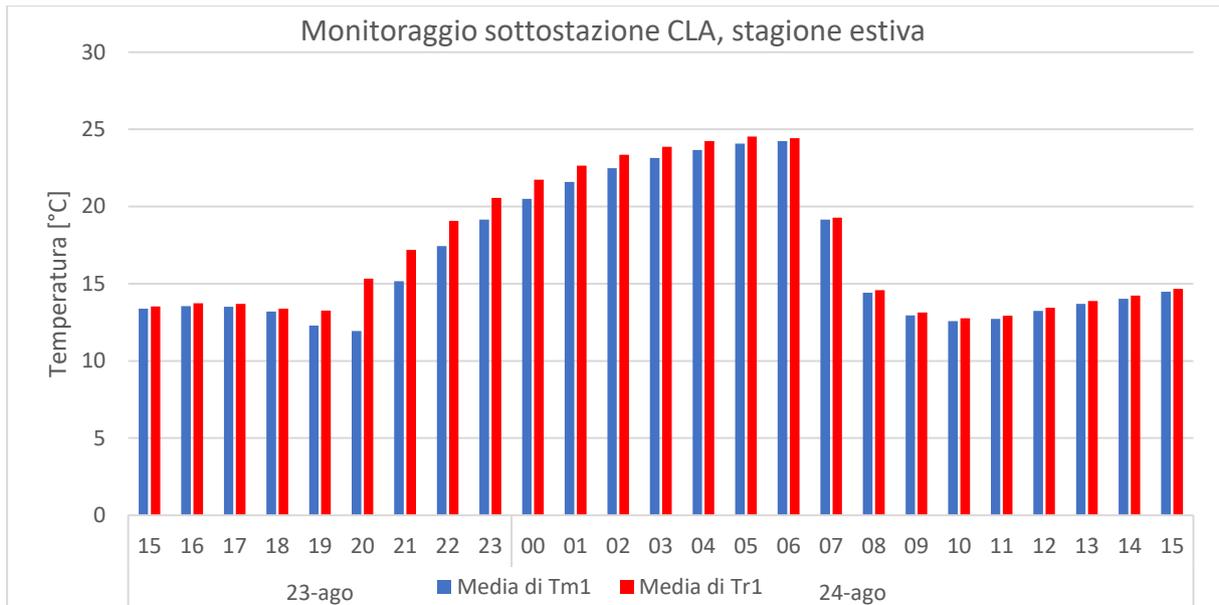


Figura 107: Monitoraggio sottostazione CLA, temperature di mandata e ritorno

Dal monitoraggio di questa sottostazione si può solamente evincere che il centro linguistico di ateneo era chiuso in tali date, non c'è infatti scambio termico nello scambiatore.

Monitoraggi sottostazioni DIM-A DIM-E Psicologia 2, stagione estiva

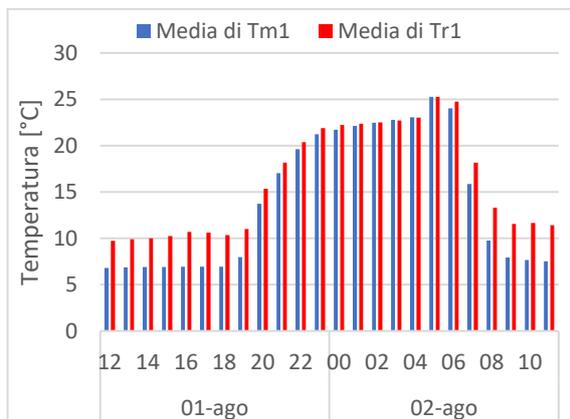


Figura 108: Monitoraggio sottostazione DIM-A

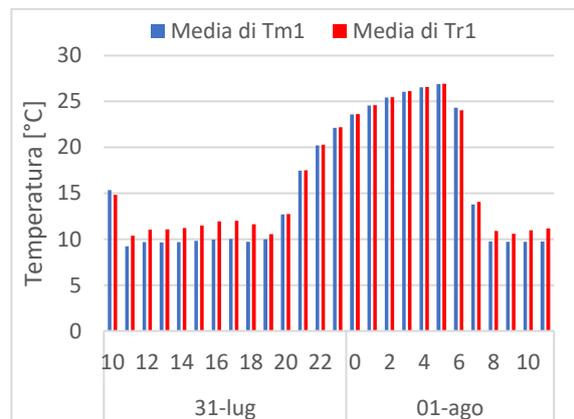


Figura 109: Monitoraggio sottostazione DIM-E

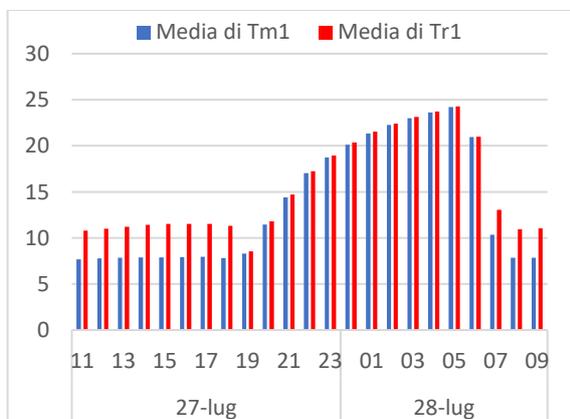


Figura 110: Monitoraggio sottostazione Psicologia 2

Le figure 108, 109 e 110 riguardano le sottostazioni indicate nella didascalia, sono stati riportati con una grandezza ridotta poiché presentano tutti andamenti simili, ed il loro commento sarebbe del tutto identico a quello della misurazione relativa alla centrale, che non viene quindi ripetuto.

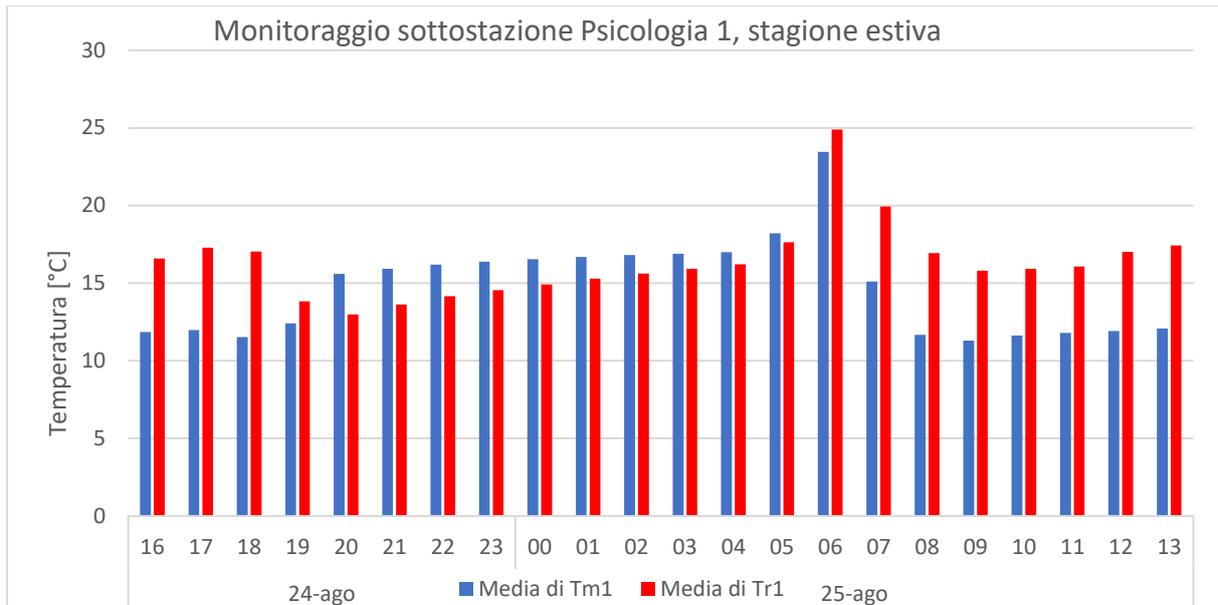


Figura 111: Monitoraggio sottostazione Psicologia 1, temperature di mandata e ritorno

Questa misurazione fornisce invece indicazioni interessanti: in queste date le pompe della centrale erano spente, ciò si desume dal fatto che a partire dalle ore 6, momento di accensione delle pompe dell'acqua refrigerata si ha un repentino rialzo della temperatura dovuto al miscelamento dell'acqua che in precedenza era stagnante nello scambiatore con il resto della rete che evidentemente si trovava mediamente a temperatura maggiore. Ciò dimostra che l'indicazione che la quarta pompa venga lasciata sempre attiva durante la stagione di raffrescamento non sia del tutto vera, infatti in questo caso probabilmente era stata spenta nel periodo di ferie dell'ateneo e al rientro non è stata più riaccesa almeno fino alle date indicate nell'asse orizzontale del grafico in figura 111.

### 2.3. Taratura dei modelli degli edifici

In questo capitolo sono elencate le correzioni effettuate ai modelli ereditati a seguito di una riesamina degli stessi, della nuova documentazione acquisita e dei colloqui effettuati. Le modifiche hanno permesso di fornire risultati più aderenti alla realtà

#### 2.3.1. Profili di utilizzo degli edifici

Una volta esaminati i risultati delle prime simulazioni in regime invernale effettuati con lo schedule originario ci si è accorti che questi conducevano addirittura ad un rendimento di generazione superiore all'unità, tutt'altro che veritiero dato che le caldaie in funzione all'epoca non solo non sfruttano la condensazione dei fumi ma da esse ci si aspettava rendimenti piuttosto bassi. Gli orari di accensione e spegnimento nella stagione di raffrescamento non erano stati ricercati con attenzione non essendo i fabbisogni estivi scopo primario di quelli elaborati. Si è inoltre notato che era stato trascurato il cambio dell'ora da solare e legale e viceversa: dal momento che nelle precedenti tesi ci si era concentrati sui fabbisogni invernali questo aveva un impatto limitato solo ai mesi ottobre e aprile (e gli ultimi giorni di marzo), che rappresentano una frazione esigua rispetto al totale soprattutto in termini di consumo di combustibile e quindi di energia necessaria per il riscaldamento. In regime estivo tener conto del cambio di orario è invece di fondamentale importanza per mantenere la relazione tra orari di funzionamento e

condizioni esterne. Si coglie l'occasione per precisare che quando si mostreranno i risultati delle simulazioni questi faranno riferimento sempre all'ora solare, quando si farà riferimento all'ora "Orologio" si intende l'ora letta nell'orologio in quel momento dell'anno quindi sarà la solare fino al cambio solare-legale e quella legale fino al successivo cambio in cui torna in vigore la solare; questo nomenclatura permette di evitare di spiegare ogni volta di quale regime orario si stia parlando. Il periodo invernale è stato diviso in bassa ed alta stagione poiché questa è la divisione utilizzata dal personale tecnico per la gestione del funzionamento della centrale termica e delle sottostazioni: la bassa stagione comprende gli intervalli di giorni dal 15 al 31 ottobre e dal 15 marzo al 14 aprile, l'alta è il periodo compreso tra questi periodi. La stagione estiva ha richiesto una divisione mensile delle modalità d'esercizio: maggio (dal 12), giugno e i tre mesi da luglio a settembre (fino al 23). Si precisa però che gli orari di funzionamento che verranno esposti sono validi solo per il periodo di dodici mesi considerato nelle simulazioni, questi infatti sono calibrati in base ai registri della centrale termica, in cui però sono presenti solo gli orari di accensione del primo generatore di vapore, e all'analisi sui consumi elettrici. Nel regime invernale la documentazione ha permesso di risalire all'accensione della centrale, o, come detto, almeno al primo generatore di essa, ma non sono state trovate informazioni a riguardo dell'accensione delle sottostazioni, queste infatti sono regolate da un sistema automatico i cui orari sono preimpostati, ma non sono stati trovati indizi su questi valori poiché vengono scelti dall'operatore in base alle esigenze contingenti dell'edificio e degli utenti.

I seguenti schedule verranno presentati secondo l'ora orologio, saranno mostrati quelli della centrale e delle sottostazioni, di questi verrà presentata la versione standard valida per tutti gli edifici del complesso ad eccezione del Vallisneri che segue un regime operativo particolare:

Tabella 51: Schedule centrale, regime invernale

BASSA STAGIONE			ALTA STAGIONE		
Lunedì-Venerdì	Sabato	Domenica	Lunedì-Venerdì	Sabato	Domenica
6-16	7-13	/	6-18	6-16	6-16

Tabella 52: Schedule centrale, regime estivo

MAGGIO	GIUGNO	LUGLIO-AGOSTO- SETTEMBRE**
Orario Settimanale*	Orario Settimanale	Orario Settimanale
7:30-16	6:30-18:30	5:30-18:30

\*non attiva nelle domeniche del mese, \*\*dal 7 luglio al 9 agosto attiva 24/24h.

Tabella 53: Schedule sottostazione standard, regime invernale

BASSA STAGIONE			ALTA STAGIONE		
Lunedì-Venerdì	Sabato*	Domenica	Lunedì-Venerdì	Sabato*	Domenica
7-17	8-14	/	7-19	7-17	/

\*Ugo Bassi chiusa il sabato, chiuse nei periodi di ferie natalizia e nelle festività

Tabella 54: Schedule sottostazione Vallisneri regime invernale

BASSA STAGIONE			ALTA STAGIONE		
Lunedì-Venerdì	Sabato*	Domenica	Lunedì-Venerdì	Sabato*	Domenica
7-17	8-14	/	7-19	7-17	7-17

\*Aperta anche nei periodi di ferie e nelle festività

Tabella 55: Schedule sottostazione standard, regime estivo

<b>MAGGIO</b>	<b>GIUGNO</b>	<b>LUGLIO-AGOSTO- SETTEMBRE*</b>
Lunedì-Sabato*	Lunedì- Sabato*	Lunedì- Sabato*
8-16	7-18:30	6-18:30

\*Domenica chiuse, Ugo Bassi chiusa anche il sabato

Tabella 56: Schedule sottostazione Vallisneri, regime estivo

<b>MAGGIO</b>	<b>GIUGNO</b>	<b>LUGLIO-AGOSTO- SETTEMBRE*</b>
Lunedì- Sabato*	Orario Settimanale	Orario Settimanale
8-16	7-18:30	6-18:30

\* dal 7 luglio al 9 agosto attiva 24/24h

Come si può notare dalle tabelle nel regime invernale è stato assunto che la centrale sia accesa circa un'ora prima delle sottostazioni, di ciò si ha conforto anche dai consumi elettrici invernali in cui si vede inizialmente l'aumento dovuto alle pompe e gli altri ausiliari della centrale termica e nell'ora successiva l'aumento dovuto agli ausiliari delle sottostazioni. Per quanto riguarda la chiusura si è deciso di simulare lo spegnimento della centrale sessanta minuti prima delle sottostazioni, questo permette infatti di sfruttare l'inerzia termica della rete, si suppone che questa operazione sia effettivamente svolta anche se non è certo che ciò avvenga sempre. Si precisa che comunque gli schedule sono tarati in modo da fornire fabbisogni mensili veritieri, senza dover necessariamente corrispondere giorno per giorno al reale funzionamento, legame che comunque si è già perso nel momento in cui si confronta un TRY, seppur normalizzato, con i consumi specifici di un anno. In ogni caso rispecchiare il vero funzionamento degli impianti sarebbe praticamente impossibile senza un registro accurato di tutte le sottostazioni, ad esempio come è stato visto nei monitoraggi della rete invernale di Laura Colpo è successo che la centrale termica sia stata spenta con molto anticipo rispetto all'orario consueto, probabilmente a causa di un mancato cambio turno del conduttore, oppure che non sia stata spenta di notte per evitare che la mattina si trovasse ad affrontare un ingente carico che avrebbe potuto metterla in difficoltà e causare rotture, questo è visibile nei monitoraggi nella tesi di Davide Moro.

Degli orari di funzionamento degli impianti nel periodo estivo si ha invece maggior certezza poiché basato sull'analisi dei carichi elettrici, l'unica precisazione va fatta su maggio poiché la chiusura e l'accensione della centrale possono variare di mezz'ora dal momento che in tale periodo l'attivazione era manuale, l'orario riportato è quindi quello medio.

Nelle successive tabelle saranno invece illustrati gli schedule relativi all'attività degli utenti nelle strutture che influenza il valore dei carichi interni degli edifici, verrà messa in risalto la differenziazione attuata come al solito per il Vallisneri ma anche per le zone dedicate ad ufficio e a didattica, quando è presente un valore minore dell'unità significa che i valori, presentati nelle tabelle 57-60 riguardanti i carichi interni, sono modulati di tale valore:

Tabella 57: Schedule standard attività

GIORNI	ZONE UFFICI		ZONE DIDATTICA	
	ORARIO	VALORE	ORARIO	VALORE
LUNEDÌ-VENERDÌ	8-18:30	1	8-18:30	1
SABATO	8-14	0.1	/	/
DOMENICA	/	/	/	/

Tabella 58: Schedule attività Vallisneri, piano terra

PIANO TERRA		STANDARD	ALTA STAGIONE ESTIVA
GIORNI	ORARIO	VALORE	VALORE
LUNEDÌ-VENERDÌ	8-18:30	1	0.3
SABATO	8-14	0.3	0.3
DOMENICA	8-14	0.1	0.1

Tabella 59: Schedule attività Vallisneri, piano rialzato

PIANO RIALZATO		STANDARD	ALTA STAGIONE ESTIVA
GIORNI	ORARIO	VALORE	VALORE
LUNEDÌ-VENERDÌ	8-18:30	1	0.1
SABATO	8-14	0.1	0.1
DOMENICA	8-14	0	0

Tabella 60: Schedule attività Vallisneri, piani dal primo al sesto (stabulario compreso)

PIANI 1-6		STANDARD	ALTA STAGIONE ESTIVA
GIORNI	ORARIO	VALORE	VALORE
LUNEDÌ-VENERDÌ	8-18:30	1	1
SABATO	8-14	0.3	0.3
DOMENICA	8-14	0.2	0.1

Si precisa che i valori e gli orari sono stati desunti dall'esperienza sul campo accumulata in cinque anni di studio, quasi sempre presso gli edifici del complesso sotto analisi, dell'autore di questo scritto e dell'autore di quello complementare, Edoardo Gazzea e delle indicazioni della correlatrice Ing. Samantha Graci Ph.D, non essendoci statistiche o registri accessibili per tali dati. In particolare i valori frazionari sono quelli con il maggior grado di incertezza anche perché questi ad esempio devono tener conto del fatto che nonostante la presenza del personale sia ridotta l'illuminazione è comunque attiva nella zona considerata. Per non appesantire il calcolo infatti si è scelto di applicare un solo valore di modulazione a tutti i carichi interni siano essi dovuti alle apparecchiature informatiche, all'illuminazione o alla presenza delle stesse persone.

### 2.3.2. Modifiche ai modelli degli edifici

A parte le modifiche relative all'implementazione dello stabulario nel modello del complesso di biologia, non sono state effettuate altre modifiche per quanto riguarda la modellazione geometrica degli edifici di competenza di questa tesi rispetto a quella eredita dai lavori di Pasquale Rotolo e Davide Moro. Dei modelli sono stati controllate le stratigrafie e, a campione, le componenti strutturali degli edifici e queste corrispondevano sempre allo stato di fatto, una più accurata riesamina dei modelli avrebbe tolto troppo tempo ad altre attività e in ogni caso esulava dagli scopi primari di questo elaborato.

Le modifiche maggiori sono state fatte sui calcoli in post-processo: è stato infatti deciso di non effettuare, per le motivazioni esposte nel capitolo 2, il calcolo dei fabbisogni dovuti alla ventilazione meccanica non tramite Simulation Studio ma di utilizzare fogli di calcolo dedicati. Il procedimento utilizzato, elencato per punti, è il seguente:

Nel regime invernale:

- È stato calcolato il fabbisogno orario relativo alla ventilazione dell'edificio con la formula  $E_{vent} = m_{aria} * cp_{aria} * (t_{set} - t_{ext})$ , in cui per  $m_{aria}$  si intende la massa d'aria elaborata nell'ora dalle UTA calcolata come prodotto, esteso nell'ora, della portata volumetrica e della densità dell'aria, per  $cp_{aria}$  il calore specifico a pressione costante dell'aria, per  $t_{set}$  la temperatura di set point dell'impianto e  $t_{ext}$  la temperatura esterna dell'ora considerata.
- Dal momento che gli umidificatori non sono attivi non è stata calcolata la quota di fabbisogno legata al calore latente.

Nel regime estivo il procedimento è stato più laborioso:

- Si è calcolato il fabbisogno orario dovuto alla quota di calore sensibile legata ventilazione come  $E_{vent\_sens} = m_{aria} * cp_{aria} * (t_{ext} - t_{set})$ .
- Quando il risultato della formula si rivela negativo si è in presenza di free-cooling, cioè la ventilazione va a raffreddare l'edificio. Fintanto che andava a contrastare i fabbisogni indotti dagli apporti dovuti alla radiazione solare ed i carichi interni, il contributo di raffreddamento gratuito viene conteggiato per intero, invece negli orari in cui questo si rivela maggiore in valore assoluto del calore da asportare dall'edificio questo veniva considerato solamente per la frazione che annullava tale apporto. In altre parole non è stato considerato l'overcooling, cioè il raffreddamento dell'edificio al di sotto della temperatura di set point. Tale fenomeno è presente soprattutto nei mesi di maggio, giugno e settembre, e nelle ore mattutine di luglio e agosto, ovviamente in tutti i periodi l'overcooling è limitato se non del tutto assente nelle ore centrali delle giornate di tutti i mesi ad esclusione di maggio.
- Solamente quando il calore sensibile è risultato positivo è stato calcolato il fabbisogno legato alla deumidificazione, infatti, come già spiegato nella sezione 2.2, è stato assunto che le UTA attivassero la circolazione di acqua refrigerata nella batteria solo nel momento in cui la temperatura dell'aria si rivelasse superiore ai 26 °C. La formula utilizzata per il calcolo è  $E_{vent\_lat} = m_{aria} * (x_{ext} - x_{set}) * r$ , per  $x_{ext}$  si intende l'umidità specifica dell'aria esterna, per  $x_{set}$  l'umidità specifica calcolata come umidità specifica dell'aria alla temperatura di bulbo secco di 26 °C e umidità relativa pari al 50%, per  $r$  il calore di vaporizzazione dell'acqua. Si sono infine sommati i due contributi.

Per entrambi i regimi si è tenuto conto della frazione recuperata e della quota di ricircolo.

Vanno ricordate tutte le note sui valori delle temperature e la relativa normalizzazione, così come quella dei valori dell'umidità specifica, illustrate nel paragrafo 2.2, a cui si rimanda per la trattazione. Si annota solamente che anche nel caso del regime invernale si è stati costretti a filtrare il risultato relativo alla ventilazione poiché in alcune ore di aprile, si aveva un fenomeno analogo ma opposto all'overcooling, si aveva cioè l'aria esterna a temperature maggiori del valore di set point dell'edificio e questa andava ad alzare la temperatura dello stabile al di sopra di questo valore, il fenomeno comunque si ribadisce essere limitato, nella stagione di riscaldamento, a pochissime ore.

È stato deciso di calcolare il contributo dovuto alla frazione di calore sensibile legato alla ventilazione con la differenza della temperatura esterna e la temperatura di set point dell'ambiente interno, senza considerare che l'aria delle UTA è introdotta ad una temperatura inferiore d'estate e maggiore nella stagione invernale rispetto a quella mantenuta negli ambienti. Se si fosse considerato un diverso punto di funzionamento delle CTA si sarebbe imputato al fabbisogno per la ventilazione anche la quota attribuita al calcolo mediante Simulation Studio che andava a simulare un impianto in grado di mantenere la temperatura impostata senza ulteriori fonti di calore.

Per quanto riguarda sistemi a tutta aria (ad esempio Aule Bassi) si sottolinea come nelle tesi precedenti non sia stato considerato che tali sistemi fanno fronte a tutte le dispersioni termiche dell'edificio comprese le perdite attraverso l'involucro, stimate per mezzo dell'analisi dinamica; pertanto nel valutare il risparmio energetico realizzato dai recuperatori di calore è necessario contabilizzare l'intero fabbisogno servito dall'impianto, compresa tale quota.

Nel corso dell'attività di ispezione svolta da Pasquale Rotolo è stata rilevata la presenza di numerosi frigoriferi e freezer nei piani dal primo al sesto del Vallisneri, questi erano stati solamente mappati ma non si era tenuto conto della loro presenza dal punto di vista dei carichi interni dell'edificio. Dal momento che questi presentano un carico non trascurabile soprattutto nel periodo estivo in cui determinano un aumento del fabbisogno frigorifero si è proceduto ad una stima dei carichi da essi indotti nel seguente modo: si sono valutati visivamente alcuni delle macchine presenti, una volta preso coscienza della tipologia di queste si è effettuata una ricerca sui consumi di macchine simili, la potenza nominale di esse infatti è solo un'indicazione della potenza frigorifera necessaria ma non esaustiva dell'energia media consumata nell'ora, dato utile alla determinazione dei fabbisogni. Non è infatti dato sapere per quanto tempo il compressore funzioni nell'ora se non monitorando il funzionamento di ogni macchina che oltretutto varierebbe anche a seconda delle condizioni dell'ambiente in cui è inserita, che, come detto in precedenza, non è regolata da un termostato. L'unico produttore che forniva un consumo medio giornaliero di frigoriferi progettati per attività di laboratorio è Kirsch-medical, dalle caratteristiche tecniche dei prodotti di questa azienda sono tratti i seguenti valori:

*Tabella 61: Energie medie orarie dei frigoriferi del Vallisneri*

Energie medie orarie [kWh]							
Freezer 0° C	0.1	Freezer 20° C	0.09	Freezer -40° C	0.4	Freezer -80° C	<b>0.8</b>
Frigo combinato	0.05	Celle frigo	<b>0.09</b>	Armadi termostatici	<b>0.05</b>	Incubatori	0.2

Si precisa che è stato assunto un consumo per i frigo a -80 °C un consumo doppio per i -40°C, per quello degli armadi termostatici uguale a quello dei frigoriferi combinati e per quello delle celle frigo uguale a quello dei frigoriferi a -20 °C.

Sono di seguito riportate le tabelle dei frigoriferi del Vallisneri divise per zone e per piano, in queste è riportato il numero di macchine ed al termine delle colonne il valore dell'energia oraria media della zona dell'intestazione. Nel modello che identificava i piani dal primo al quinto è stata utilizzata una media dei valori sotto riportati, il piano sesto invece che gode sia di un modello sia di un file generatore di input specifico si sono utilizzati invece i relativi valori.

Tabella 62: Frigoriferi primo e secondo piano

ZONA	PIANO 1						PIANO 2					
	1a	2a	4°	1b	2b	4b	1a	2°	4a	1b	2b	4b
N° Freezer 0° C	4	1	0	3	0	1	1	3	2	4	7	0
N° Freezer -20° C	4	2	0	3	5	0	3	5	0	2	5	3
N° Freezer -40° C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
N° Freezer -80° C	1	2	5	0	1	0	0	1	2	2	1	0
N° Frigo combinato	9	9	1	6	3	0	8	7	3	6	4	1
N° Celle frigo	0	0	2	1	1	6	0	1	3	0	1	7
N° Armadi termos.	0	0	0	3	0	0	1	2	2	0	0	3
N° Incubatori	1	0	3	2	1	0	1	4	3	2	0	1
<b>Energia media oraria totale zona[kWh]</b>	<b>2.2</b>	<b>2.2</b>	<b>4.6</b>	<b>1.5</b>	<b>1.6</b>	<b>0.7</b>	<b>1.0</b>	<b>2.9</b>	<b>2.8</b>	<b>3.2</b>	<b>2.2</b>	<b>1.3</b>

Tabella 63: Frigoriferi terzo e quarto piano

ZONA	PIANO 3						PIANO 4					
	1a	2a	4a	1b	2b	4b	1a	2°	4a	1b	2b	4b
N° Freezer 0° C	2	0	0	0	0	0	2	1	0	2	6	5
N° Freezer -20° C	2	1	2	1	0	0	2	1	2	2	1	3
N° Freezer -40° C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
N° Freezer -80° C	1	3	0	1	2	1	0	0	2	0	0	1
N° Frigo combinato	5	6	3	4	2	1	3	3	0	1	5	1
N° Celle frigo	0	0	4	0	0	0	0	0	1	0	1	2
N° Armadi	1	1	0	0	1	0	2	2	2	2	0	0
N° Incubatori	2	2	1	2	0	1	0	0	0	1	2	2
<b>Energia media oraria totale zona[kWh]</b>	<b>1.8</b>	<b>3.1</b>	<b>0.9</b>	<b>1.4</b>	<b>1.6</b>	<b>1.0</b>	<b>0.6</b>	<b>0.4</b>	<b>1.9</b>	<b>1.1</b>	<b>1.4</b>	<b>2.2</b>

Tabella 64: Frigoriferi quinto e sesto piano

ZONA	PIANO 5						PIANO 6							
	1a	2a	4a	1b	2b	4b	1a	2a	4a	1b	2b	4b	7	8
N° Freezer 0° C	0	3	3	0	3	1	2	3	2	2	2	1	2	3
N° Freezer -20° C	5	3	0	2	4	1	2	0	2	1	0	3	4	3
N° Freezer -40° C	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N° Freezer -80° C	1	0	1	1	2	0	0	1	0	0	0	1	2	0
N° Frigo combinato	5	5	1	3	6	0	6	3	3	5	4	0	2	3
N° Celle frigo	0	0	4	3	0	5	0	0	3	0	0	1	1	0
N° Armadi termostatici	2	1	0	1	0	1	0	0	0	3	2	0	1	0
N° Incubatori	0	1	4	5	1	3	0	0	1	0	2	0	8	1
<b>Energia media oraria totale zona[kWh]</b>	<b>1.5</b>	<b>1.1</b>	<b>3.0</b>	<b>2.4</b>	<b>2.7</b>	<b>1.3</b>	<b>0.7</b>	<b>1.2</b>	<b>1.0</b>	<b>0.7</b>	<b>0.9</b>	<b>1.2</b>	<b>3.9</b>	<b>0.9</b>

L'energia media oraria stimata totale delle macchine sopra illustrate è pari a 66.3 kWh, il valore è circa 1/10 del carico minimo che si ha nei periodi che non coinvolgono il raffrescamento

notturno, nonostante si possa valutare che i consumi descritti siano basati sui dati di prodotti di nuova generazione e quindi, probabilmente più performanti, il consumo dei frigoriferi non è certamente in ogni caso sufficiente a spiegare l'elevato valore del consumo di base del complesso.

Un'ulteriore modifica effettuata nel calcolo in post-processo è la divisione delle zone servite da macchine autonome dai consumi complessivi, al fine di valutare l'effettiva energia fornita e richiesta dalle reti. Se nel regime invernale questa modifica ha avuto poco impatto, essendo lo stabulario di Psicologia 1 l'unica zona di rilevanza servita da apparati dedicati, lo scorporo nella stagione estiva risultava di particolare importanza dal momento che interi piani degli edifici sono raffrescati senza l'ausilio della rete di teleraffrescamento ed in molte altre zone c'è una collaborazione tra questa e le macchine aggiunte negli anni per soddisfare le esigenze di raffrescamento dovute agli ingenti carichi estivi. Si precisa che nel caso di sistemi integrativi a servizio di ambienti destinati a scopi speciali, quali zone server, camere climatiche oppure zone dedicate a laboratorio e con carichi particolari come camere radioattive presenti nel complesso di biologia è stato usato l'espedito di non inserire i fabbisogni ad essi dovuti nella simulazione assumendo che questi siano interamente soddisfatti dalle macchine asservite a tali ambienti. Dal momento che i carichi interni sopra citati sono di difficile determinazione, se non con monitoraggio lunghi e complessi per una frazione esigua rispetto al totale dei fabbisogni, si è reputato che questo fosse il sistema più pratico e corretto per considerare la loro presenza.

### 3. DEFINIZIONE DEI FABBISOGNI DEGLI EDIFICI

Al fine di determinare il rendimento del sistema di teleraffrescamento e teleriscaldamento del complesso Nord Piovego è necessario partire da dati sui fabbisogni il più possibile aderenti alla realtà. Sebbene per il regime invernale questi fossero già stati determinati preliminarmente, le correzioni effettuate descritte nei capitoli precedenti hanno comportato un cambiamento radicale rispetto ai valori indicati nei precedenti elaborati. Di seguito quindi verranno riportati oltre ai fabbisogni estivi, di competenza esclusiva di questo elaborato, anche i valori relativi alla stagione invernale. Inizialmente verranno mostrati i valori degli edifici di competenza di questo elaborato ed in seguito quelli relativi all'intera area, per i valori specifici degli altri edifici si rimanda alla tesi di Edoardo Gazzea. I risultati relativi al TRY saranno forniti solamente in forma sintetica nella presentazione dei risultati complessivi, quelli normalizzati ai dati climatici di Legnaro verranno invece presentati dettagliatamente perché sono quelli utilizzati per determinare i rendimenti dell'intero sistema.

#### 3.1. Il complesso interdipartimentale Vallisneri

Il Vallisneri è l'edificio più energivoro dell'intero complesso tanto che, come vedremo più in dettaglio nel seguito della trattazione, è responsabile per più del 50% del fabbisogno dell'intera area oggetto di analisi, sia nella stagione invernale che nell'estiva. Come si è potuto notare dai capitoli precedenti, la sua modellazione è stata seguita con molta attenzione tanto da creare molto spesso schedule dedicati a questa struttura e ricercarne il più possibile le modalità di gestione e le caratteristiche dell'impianto di climatizzazione.

##### 3.1.1. Fabbisogni mensili

Vengono ora riportati i fabbisogni mensili di questo edificio, sono mostrati sia i fabbisogni comprensivi dei rendimenti d'impianto sia i fabbisogni lato involucro suddiviso nelle componenti che partecipano alla determinazione dello stesso.

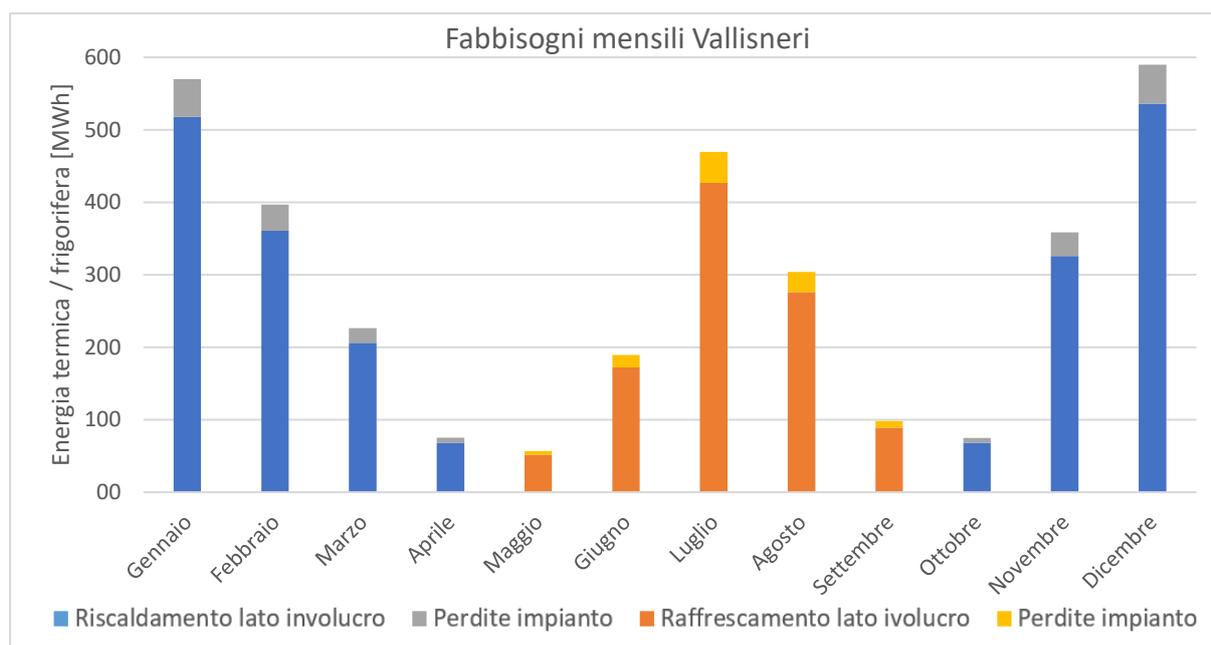


Figura 112: Fabbisogni mensili Vallisneri, comprensivi di rendimento d'impianto

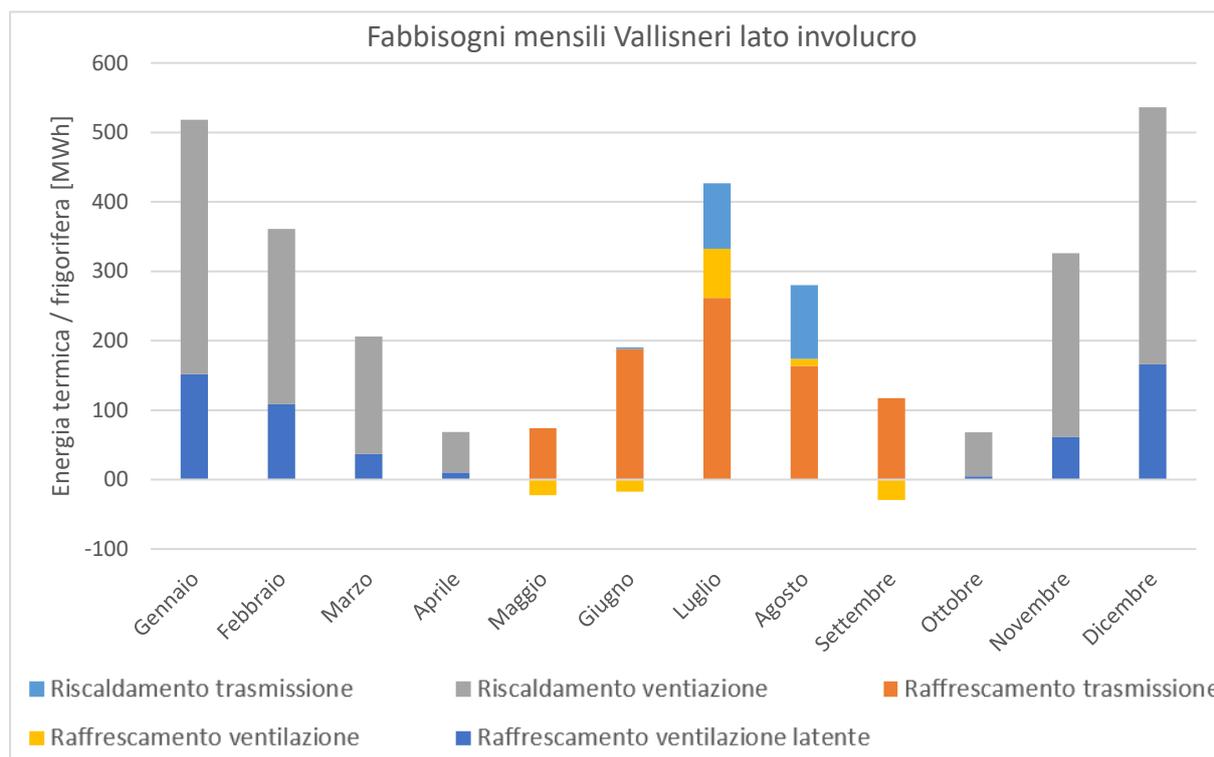


Figura 113: Fabbisogni mensili Vallisneri, lato involucro

### Metodologia analisi dei fabbisogni

Si è deciso di inserire la spiegazione dei grafici in questa sezione anche se ciò spezzava il ritmo della trattazione al fine di rendere più chiara la spiegazione tramite un esempio che si spera essere sufficientemente esplicativo combinato alla descrizione generale. Questa resta valida per tutti i futuri grafici e non verrà quindi ripetuta in seguito, si torna ora alla scaletta dell'elaborato analizzando i fabbisogni mensili del complesso di biologia.

Si è deciso di presentare due grafici e non solo uno a descrizione dei fabbisogni mensili dell'edificio al fine di rendere più chiara la determinazione delle componenti: il primo grafico permette una lettura immediata dei fabbisogni complessivi dell'edificio con l'unica indicazione della quota lato involucro e la quota dovuta alle perdite d'impianto, il secondo invece va a scorporare il primo dei due fattori prima descritti. Il fatto che gli apporti abbiano tutti lo stesso segno a parte la quota sensibile della ventilazione è dovuto alla convenzione che viene adottata in questo elaborato che consiste nell'indicare come positivi i fabbisogni che devono essere soddisfatti dagli impianti.

Nel secondo grafico, come detto, si ha la suddivisione dei vari apporti che sommati costituiscono le voci dei fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento lato involucro. Nella stagione invernale sono presenti solo due fattori, quelli dovuti a trasmissione e quelli dovuti alla ventilazione, nel periodo estivo a questi si aggiunge il contributo dovuto alla quota di calore latente della ventilazione. Si precisa che per trasmissione si intende l'insieme degli apporti dovuti a conduzione attraverso le superfici esterne dell'edificio, gli apporti solari e i carichi interni e quindi questi possono avere segno diverso a seconda della stagione, infatti nella stagione invernale carichi interni e la radiazione solare diminuiscono tale quota mentre nel periodo estivo la accrescono. L'ultima nota a descrizione dei grafici riguarda il valore della

quota sensibile della ventilazione, nel periodo estivo infatti questa assume valore negativi nei mesi più freschi e ciò è dovuto al contributo del free cooling che si ha specialmente a maggio e nelle prime e nelle ultime ore di funzionamento dell'impianto nella piena stagione estiva. Si nota anche però come la quota di raffrescamento gratuito a maggio sia addirittura minore di settembre che però ha un fabbisogno complessivo ben maggiore: ciò è spiegabile considerando che l'overcooling, come già detto in precedenza nella sezione 2.2, è escluso dal conteggio, quindi si sfruttano i contributi positivi della ventilazione soltanto fin quando questi vanno a bilanciare gli apporti dovuti a radiazione solare e ai carichi interni e non oltre; poiché a maggio queste quote sono ridotte lo è anche la quota di free cooling che può essere sfruttata. Sempre nel paragrafo 2.2 viene spiegata la determinazione del carico latente legato alla ventilazione, ancora una rivolta si rimanda a tale paragrafo per la spiegazione.

#### Analisi dei fabbisogni mensili

Dai grafici 112 e 113 si nota come nella stagione di riscaldamento la maggior parte del fabbisogno sia dovuto alla ventilazione meccanica dell'edificio, si deve ricordare che le UTA non sono dotate di recuperatore mentre nel periodo estivo la quota dovuta alla ventilazione sensibile è un contributo positivo nei mesi più freschi e comunque poco impattante nei mesi di piena estate, nei quali però si ha un elevato contributo dovuto al calore latente. Gli andamenti nell'anno delle richieste mensili di energia per il riscaldamento e raffrescamento hanno l'andamento atteso, più alto nei mesi più caldi e più freddi, va ricordato che il Vallisneri è l'unico edificio che presenta valori di carichi interni molto simili per tutta la durata dell'anno, i piani dal primo al sesto infatti sono attivi tutto l'anno, questo determina una certa linearità nell'andamento annuale dei fabbisogni. In forma tabellare i valori ottenuti sono i seguenti:

Tabella 65: Fabbisogni mensili, divisi in contributi, del Vallisneri

Vallisneri	Fabbisogno Complessivo	Fabbisogno Trasmissione	Fabbisogno ventilazione sensibile	Fabbisogno ventilazione latente	Perdite Impianto
Mese	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
Gennaio	570	152	366	0	52
Febbraio	397	109	252	0	36
Marzo	227	37	169	0	21
Aprile	75	10	58	0	7
Maggio	57	74	-23	0	5
Giugno	190	187	-17	2	17
<b>Luglio</b>	<b>470</b>	<b>262</b>	<b>71</b>	<b>94</b>	<b>43</b>
<b>Agosto</b>	<b>304</b>	<b>161</b>	<b>10</b>	<b>105</b>	<b>28</b>
Settembre	98	118	-29	0	9
Ottobre	75	5	64	0	7
Novembre	359	62	264	0	33
Dicembre	590	166	370	0	54
Stag. Riscald.	2293	541	1543	0	210
<b>Stag.Raffresc.</b>	<b>1118</b>	<b>802</b>	<b>12</b>	<b>201</b>	<b>102</b>

\*Il complessivo può differire di un'unità dalla somma dei contributi per gli arrotondamenti

\*\* I valori in grassetto comprendono anche il funzionamento "notturno"

### Capitolo 3. Definizione dei fabbisogni degli edifici

Nel caso del Vallisneri è particolarmente interessante soffermarsi ad analizzare anche i valori assoluti dei valori rappresentati nella tabella 65: nei mesi più freddi, gennaio e dicembre la richiesta di energia termica lato involucro supera abbondantemente i 0.5 TWh, aggiungendo le perdite legate all'impianto si avvicina addirittura ai 0.6 TWh, nel periodo estivo a luglio il consumo supera i 470 MWh, questo edificio è infatti il più esteso dell'intero complesso, inoltre come già detto, è attivo tutto l'anno, domeniche e ferie comprese. Un altro fatto di cui tenere conto è il fatto che le richieste di energia frigorifera risentono del funzionamento "notturno" in particolare il valore della ventilazione sensibile a luglio e agosto risulta particolarmente basso per l'elevato free cooling che si ha nelle ore notturne, bisogna però considerare che nelle prime ore di funzionamento a carico ridotto dell'edificio i carichi sono ancora elevati e non trascurabili. Va ricordato infine che le modalità di gestione dell'attività del quarto gruppo non è del tutto chiara, quindi i fabbisogni "notturni" qui descritti non è detto che siano soddisfatti per intero, soprattutto nelle prime ore dalla chiusura degli altri tre gruppi. Nelle ore più fresche il solo fatto di ventilare l'edificio è invece spesso sufficiente a fornire l'energia frigorifera richiesta per bilanciare gli altri apporti ed in particolare il calore rilasciato dalle strutture accumulato durante le giornate più soleggiate.

Inoltre i consumi presentati non includono l'ala est dei piani dal primo al quinto e per quanto riguarda il solo raffrescamento è escluso anche il piano rialzato, per ulteriori precisazione si rimanda al capitolo di presentazione del complesso di biologia; se si includessero anche queste zone nella simulazione i fabbisogni lato involucro sarebbero i seguenti:

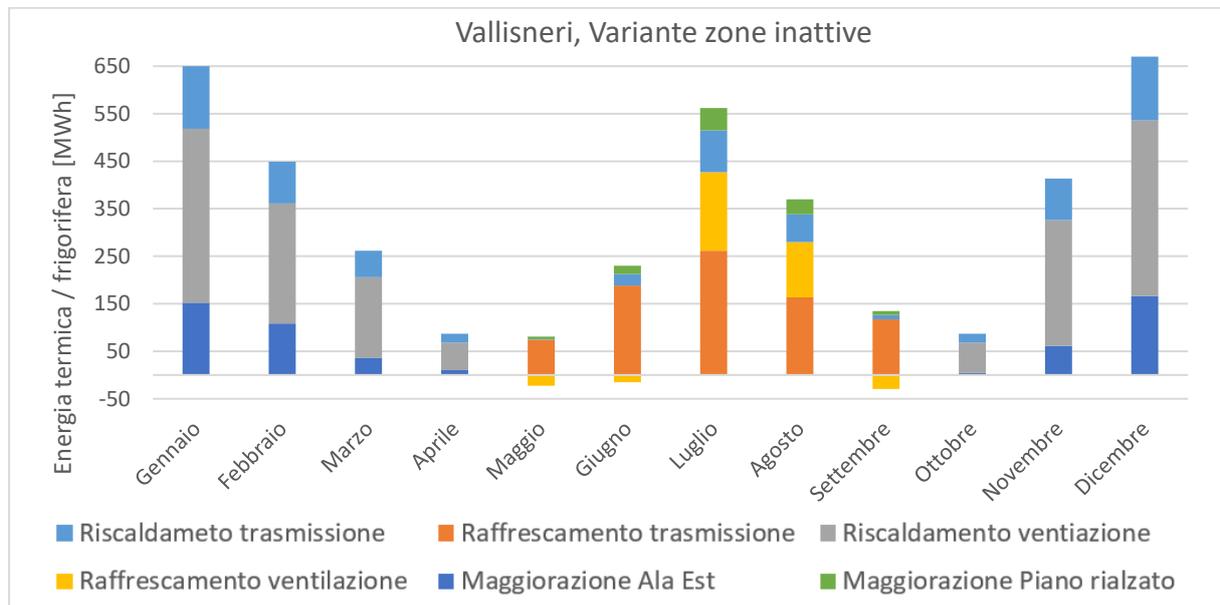


Figura 114: Simulazione fabbisogni mensili Vallisneri con aree attualmente inattive

La maggiorazione percentuale, in forma tabellare, dei consumi legata all'attivazione degli impianti nelle zone precedentemente citate è la seguente:

Tabella 66: Maggiorazione percentuale dei fabbisogni per ala est e piano rialzato

Mese	Maggiorazione %	Mese	Maggiorazione %	Mese	Maggiorazione %
Gennaio	25%	Maggio	12%	Settembre	20%
Febbraio	25%	Giugno	24%	Ottobre	28%
Marzo	27%	Luglio	32%	Novembre	27%
Aprile	27%	Agosto	32%	Dicembre	25%

In termini assoluti:

Tabella 67: Maggiorazione dei fabbisogni lato involucro per ala est e piano rialzato

Mese	Maggiorazione [MWh]	Mese	Maggiorazione [MWh]	Mese	Maggiorazione [MWh]
Gennaio	132	Maggio	6	Settembre	18
Febbraio	89	Giugno	42	Ottobre	19
Marzo	56	Luglio	135	Novembre	87
Aprile	19	Agosto	90	Dicembre	134

\*non sono state espresse le perdite d'impianto poiché queste sono legate all'eventuale ristrutturazione delle zone in oggetto e dei relativi impianti tecnici a servizio

Per simulare l'ala est è stato esteso il fabbisogno di questa sezione del sesto piano ai piani sottostanti sino al piano rialzato, la cui ala nord è stata assimilata all'analogia dei piani dal primo al quinto. Risulta evidente che questa stima è del tutto indicativa poiché non si conosce come sarà la ristrutturazione sia delle strutture sia degli impianti, si è cercato comunque di accomunare i fabbisogni delle zone inattive a quelli più somiglianti.

Oltre alle esigenze di riscaldamento soddisfatte dalla centrale termica per mezzo dell'utilizzo del calore ceduto dalla rete di teleriscaldamento e quindi grazie all'uso di gas naturale il Vallisneri prevede l'utilizzo di reintegratori i quali utilizzano energia elettrica, il consumo mensile dei reintegratori è il seguente:

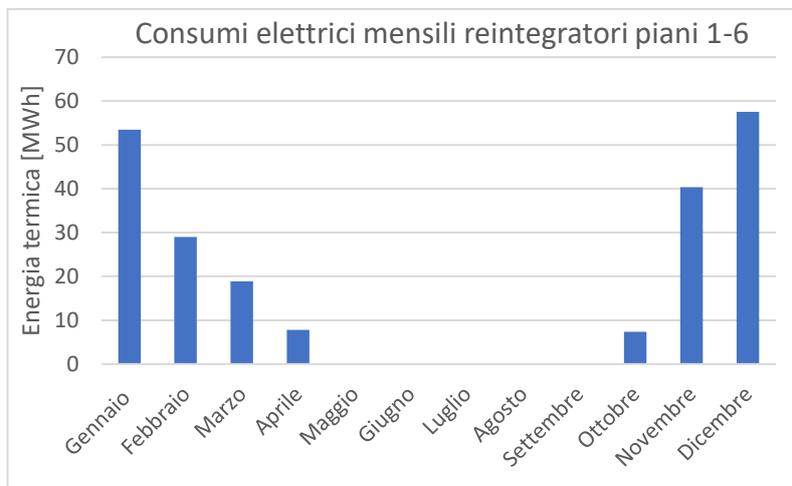


Figura 115: Consumi mensili di energia elettrica dei reintegratori

Mese	Consumo [MWh_el]
Gennaio	53.5
Febbraio	29.0
Marzo	18.9
Aprile	7.8
Maggio	0.0
Giugno	0.0
Luglio	0.0
Agosto	0.0
Settembre	0.0
Ottobre	7.4
Novembre	40.4
Dicembre	57.5

Si precisa che la portata utilizzata per la determinazione del fabbisogno è ¼ della nominale, ancora una volta si tratta di una stima dato che la portata effettiva è determinata dalle modalità di funzionamento delle cappe a servizio delle ali nord e sud dei piani considerati.

Verranno ora presentati i fabbisogni orari medi mensili dell'edificio, nella trattazione i valori estivi saranno divisi dagli invernali e per ognuno sarà mostrato sia la versione relativa ai giorni infrasettimanali, ai sabati ed alle domeniche. Come fatto per i fabbisogni mensili verranno descritti sia quelli comprensivi dei rendimenti d'impianto sia quelli lato involucro suddivisi nei vari contributi. Questa modalità di presentazione verrà applicata a tutti gli edifici e anche all'intero complesso. I Risultati verranno mostrati in forma grafica, di immediata lettura, la forma tabellare invece visto l'elevato numero di dati non viene presentata per non appesantire.

## Capitolo 3. Definizione dei fabbisogni degli edifici

### 3.1.2. Fabbisogni medi orari

I grafici relativi ai fabbisogni orari medi riportano le elaborazioni dei giorni infrasettimanali perché più rappresentativi della conduzione dell'edificio, mentre la presenza dei sabati e domeniche avrebbe creato confusione nella lettura. Tali giornate sono comunque visibili nei dettagli mensili, riportati al termine del presente paragrafo.

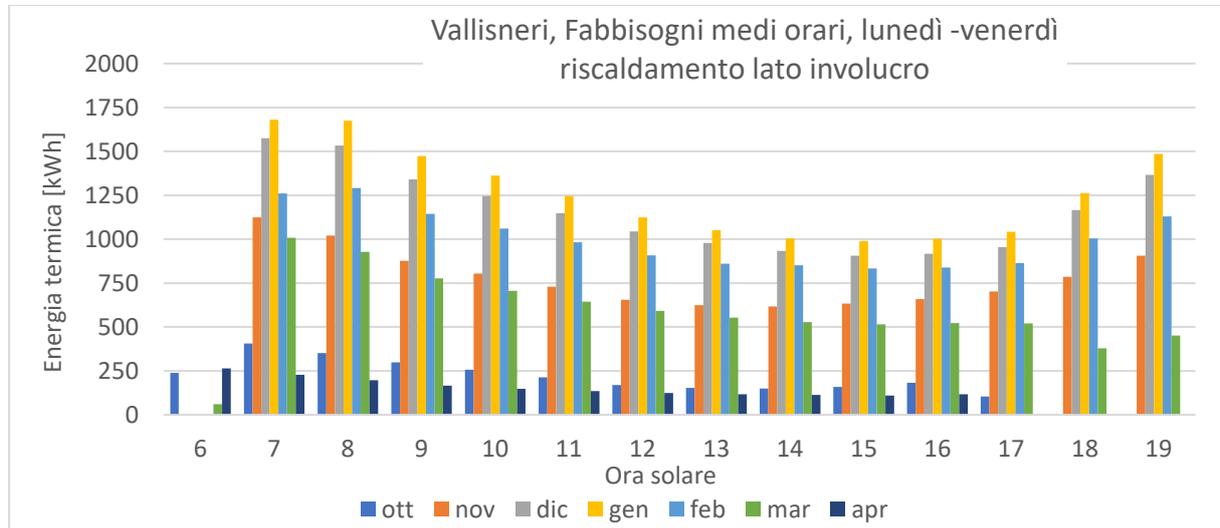


Figura 116: Vallisneri, fabbisogni orari medi mensili di riscaldamento lato involucro, giorni dal lunedì al venerdì

Il profilo parabolico dei fabbisogni è dovuto all'azione combinata della temperatura esterna, minore alla mattina e alla sera, e alle schedule imposto ai carichi interni che nelle prime e nelle ultime ore assumono valori ridotti se non nulli. Le ore 6 sono rappresentative dei soli mesi in cui si ha in vigore l'ora legale, si ricorda infatti che i risultati presentano nell'asse delle ascisse l'ora solare, si è reputato infatti che questo fosse il metodo più chiaro di rappresentazione, al fine di illustrare il comportamento dell'edificio nel modo più possibile aderente alla realtà. Nei mesi di aprile ed ottobre, ed in parte a marzo, l'andamento tipico ad U è meno accentuato poiché l'ora di chiusura degli impianti è anticipata rispetto all'alta stagione invernale e per il cambio dell'ora, ciò è maggiormente visibile nel dettaglio mensile:

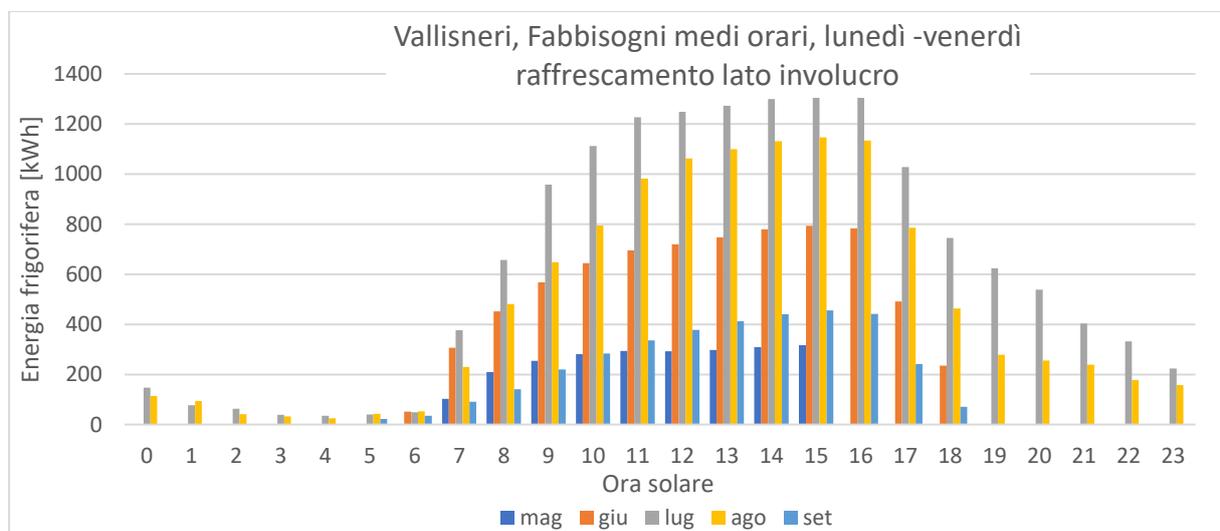


Figura 117: Vallisneri, fabbisogni orari medi mensili di raffrescamento lato involucro, giorni dal lunedì al venerdì

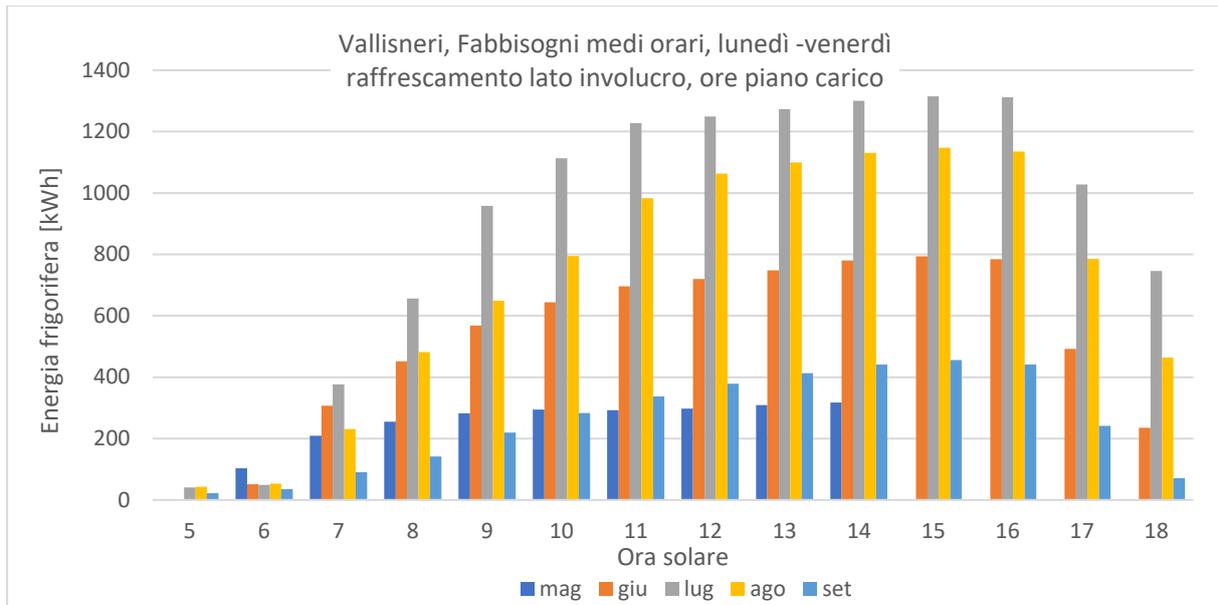


Figura 118: Vallisneri, fabbisogni orari medi mensili di raffrescamento lato involucro, giorni dal lunedì al venerdì, particolare ore a pieno carico

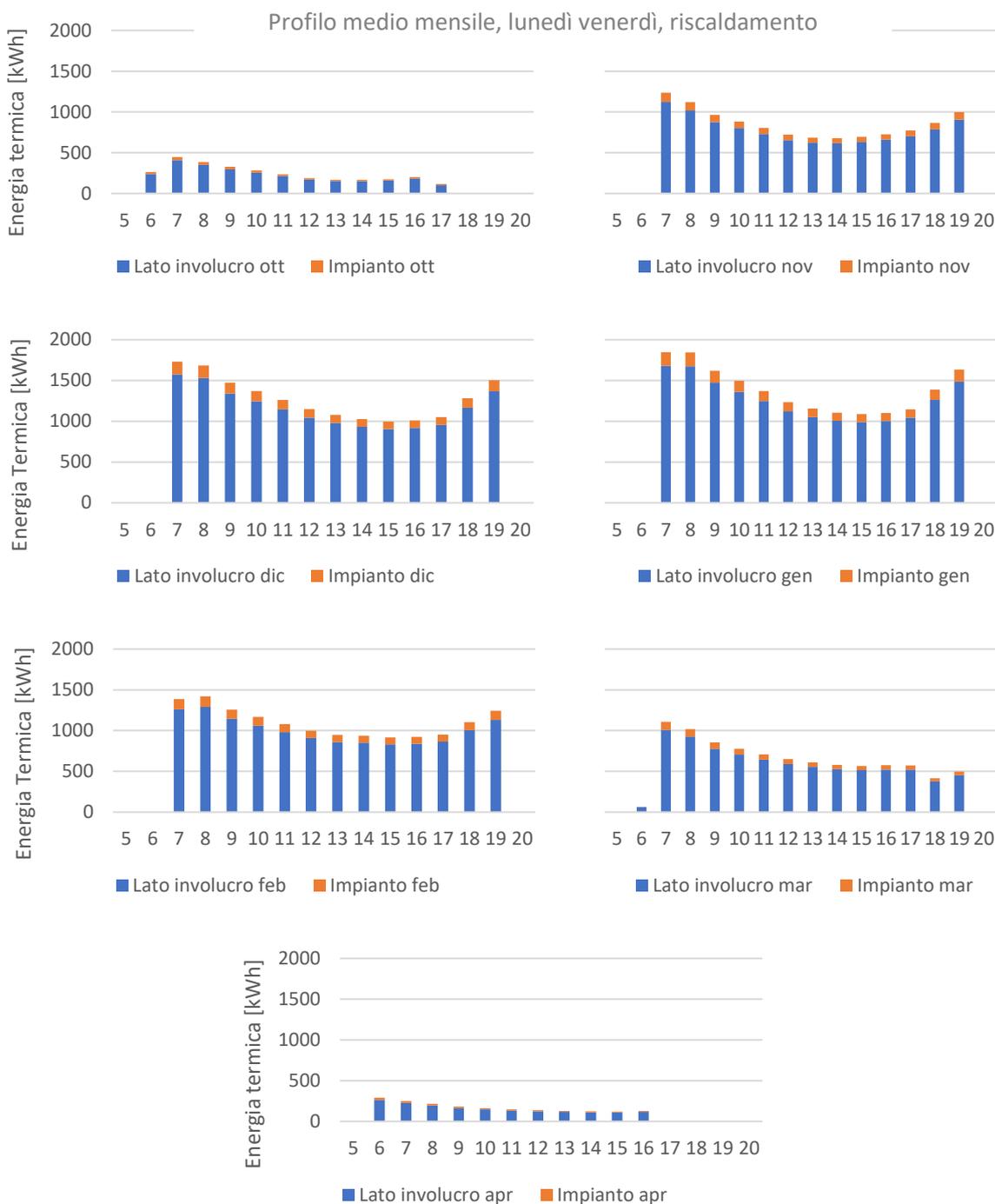
Gli andamenti di fabbisogni medi orari estivi sono quelli attesi, una curva crescente, con pendenza via via minore dalle ore 5-6 sino alle 15-16, ed in seguito decrescente, sino alla mattinata successiva. Il profilo descritto è tipico di un edificio soggetto alla combinazione di carichi solari ed interni: il crollo delle 17 è dovuto infatti alla diminuzione dei carichi interni che vanno ad annullarsi alle 18. Si ricorda che i grafici seguono l'ora solare.

A partire dalla Figura 119 sono mostrati gli andamenti dei giorni medio mensili dei profili discussi in precedenza. Si precisa che nel caso dei grafici riguardanti i sabati e le domeniche, visto il ridotto campione di dati presente, la media risente molto dai dati climatici presenti nel TRY, è stato deciso comunque di mostrarli al fine di esprimere delle considerazioni sull'applicazione degli schedule e dei loro effetti che altrimenti non si noterebbero.

Dei prossimi set di grafici verranno messi in risalto le caratteristiche peculiari dell'insieme di grafici presente nella pagina, qualora fosse opportuno far notare degli aspetti interessanti.

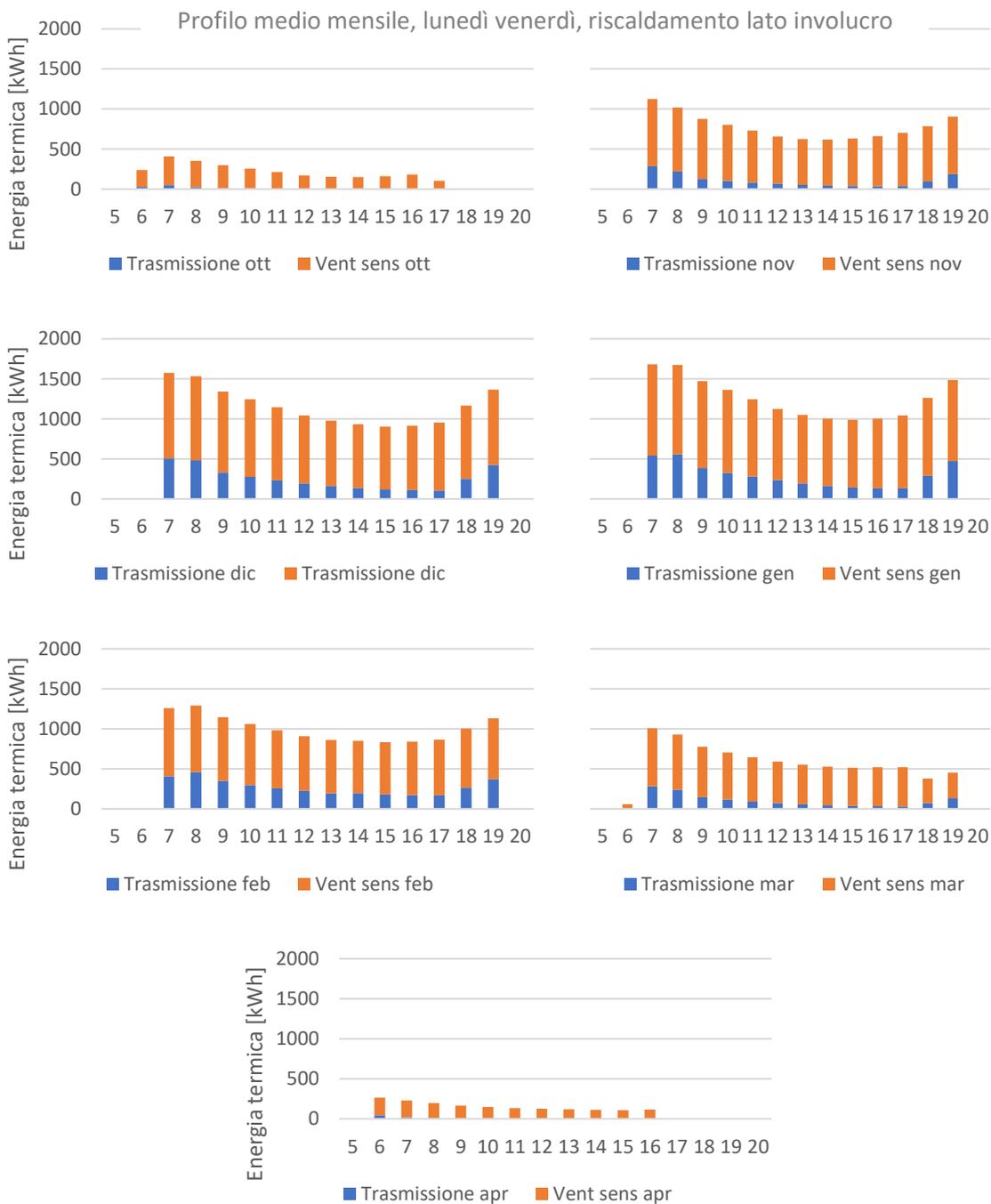
### Capitolo 3. Definizione dei fabbisogni degli edifici

Figura 119: Vallisneri, fabbisogni medi orari lunedì venerdì, dettaglio mensile riscaldamento (ora solare)



Di questi grafici bisogna annotare il fatto che a marzo ed ottobre il valore delle ore 6 risulta ridotto perché pochi giorni di questi mesi sono interessati dall'ora legale, le ore 8 presentano in qualche occasione un fabbisogno superiore alle ore 7 poiché il software TRNSYS impiega più di un'ora di simulazione a raggiungere l'equilibrio termico nell'edificio. Queste considerazioni valgono in generale per tutti i grafici presentati.

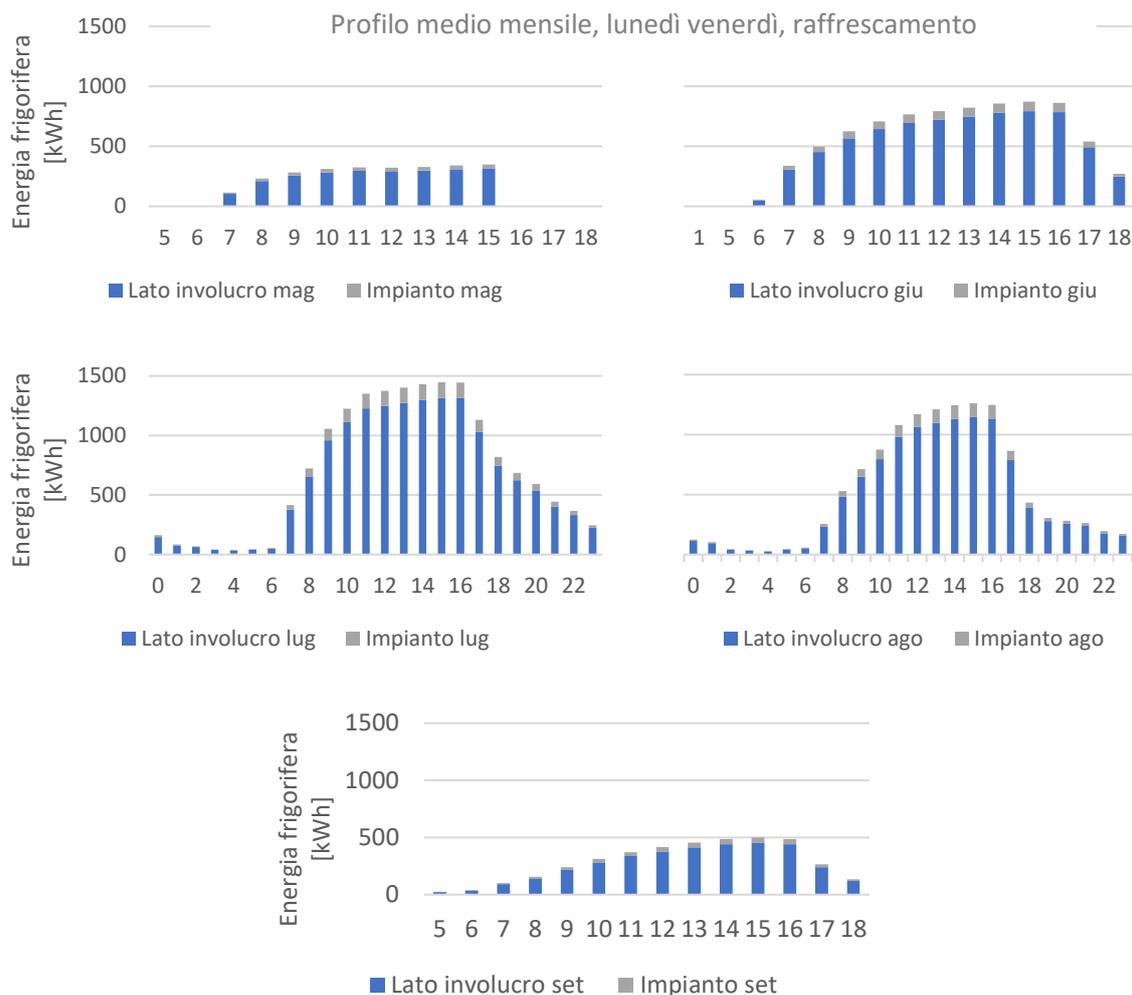
Figura 120: Vallisneri, fabbisogni medi orari lunedì venerdì, dettaglio mensile riscaldamento lato involucro (ora solare)



Le note a commento sono uguali a quelli del set di grafici 119, resta da sottolineare come nei mesi di aprile e ottobre il fabbisogno sia quasi totalmente dovuto alla ventilazione meccanica, i carichi interni e i carichi solari vanno infatti completamente a compensare le perdite per conduzione.

### Capitolo 3. Definizione dei fabbisogni degli edifici

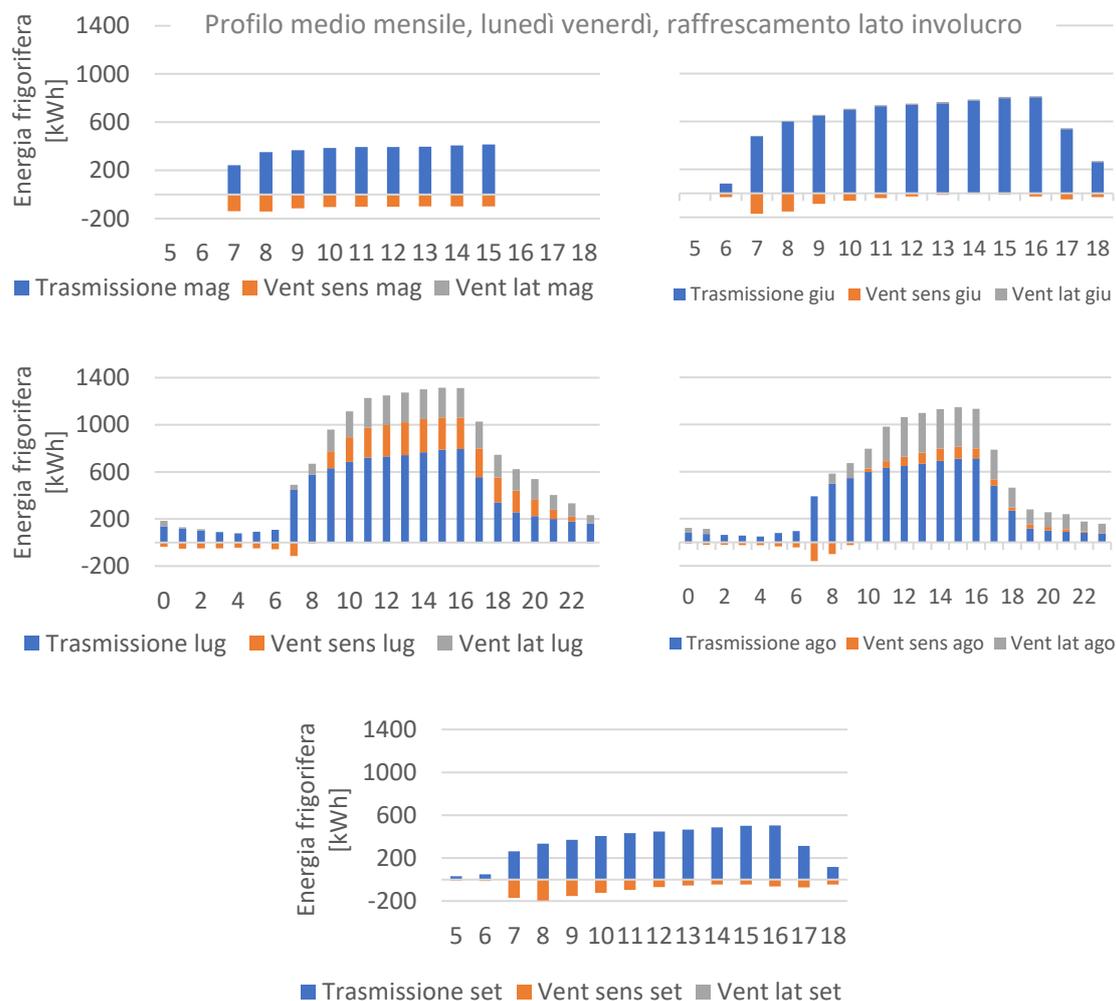
Figura 121: Vallisneri, fabbisogni medi orari lunedì venerdì, dettaglio mensile raffrescamento (ora solare)



Gli istogrammi qui riportati presentano le caratteristiche che sono già state illustrate nella presentazione generale comprensiva di tutti i mesi estivi, si deve solo sottolineare il fatto che ad agosto il numero di giorni di funzionamento “notturno” è limitato, quindi i valori indicati possono soffrire più di altri della ridotta dimensione del campione di dati.

Il commento dettagliato relativo al profilo orario del complesso di biologia prosegue nella pagina successiva e verrà ampliato riferendosi ai vari contributi che lo vanno a comporre, questo sarà più articolato, ed essendo di primaria importanza per lo scopo principale di questa tesi, verrà sviluppato con una porzione di testo maggiore rispetto a quello relativo ai precedenti gruppi di grafici.

Figura 122: Vallisneri, fabbisogni medi orari lunedì venerdì, dettaglio mensile raffrescamento lato involucro (ora solare)



Il profilo orario della quota di calore sensibile della ventilazione è spiegabile con le note già più volte riportate, cioè che questa viene conteggiata solo fintanto che questa va a bilanciare carichi solari o interni, questo spiega il fatto nelle ore 5 o 6 sia notevolmente minore, in valore assoluto, rispetto a quello delle ore successive.

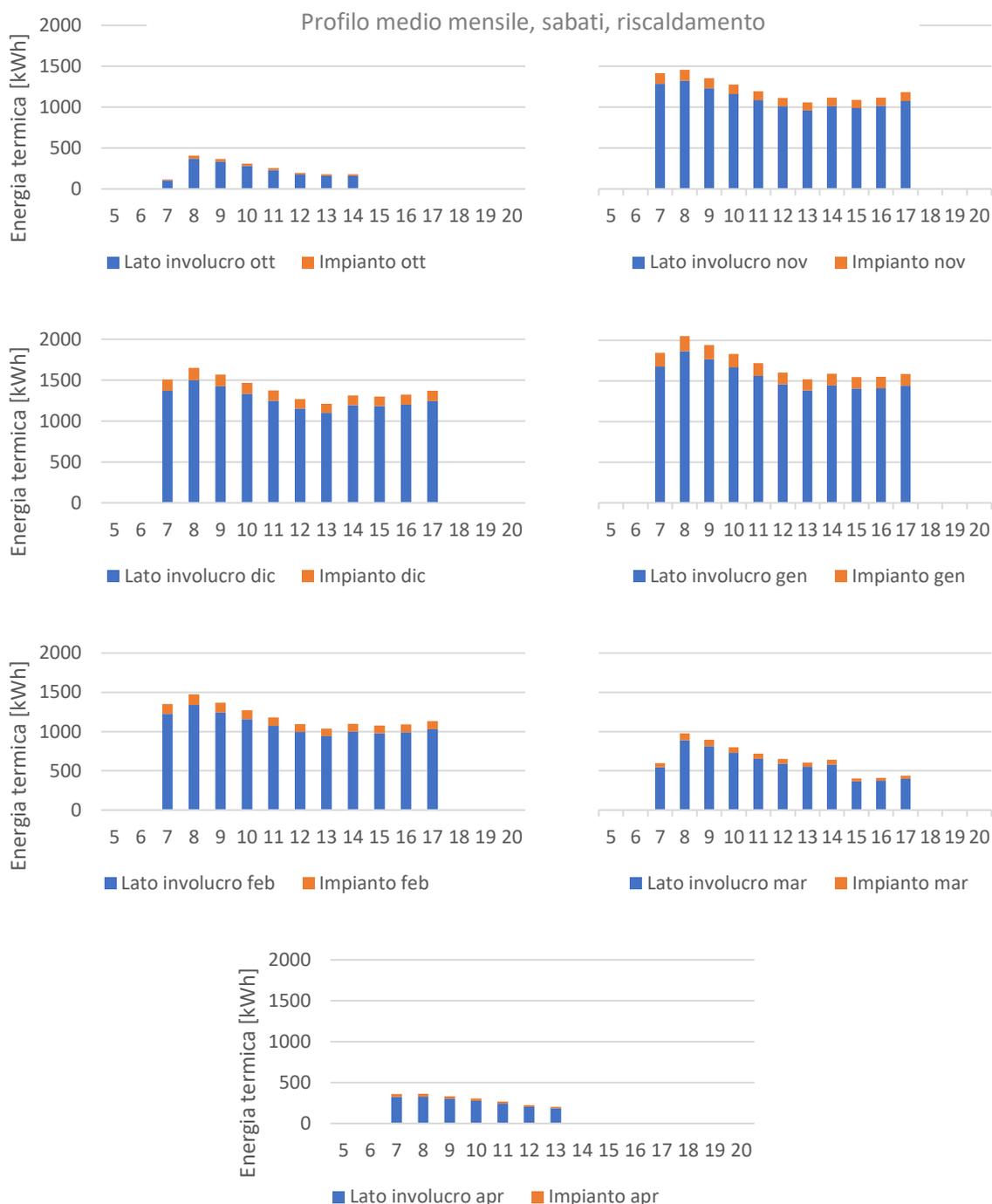
Il carico latente legato alla ventilazione invece risente molto delle assunzioni fatte nella normalizzazione del valore dell'umidità solare, non viene qui rispiegato il metodo adottato, ma si sottolinea che è questa la motivazione per cui il valore di questo contributo si presenta poco variabile nelle ore di pieno carico, una maggiore variabilità si ha nelle ore meno calde poiché spesso in queste non si superano i 26 °C.

Il contributo definito come trasmissione ha invece l'andamento atteso, dato principalmente dalla combinazione dell'azione della radiazione solare e dei carichi interni, nel periodo estivo, soprattutto nell'alta stagione, la conduzione ha infatti un'influenza limitata, viste anche le ore di funzionamento dell'impianto. La combinazione dei carichi solari e quelli dovuti alla presenza di irraggiamento determinano sia la rampa della mattina sia la discesa che comincia alle ore 17 solari, 18 legali.

### Capitolo 3. Definizione dei fabbisogni degli edifici

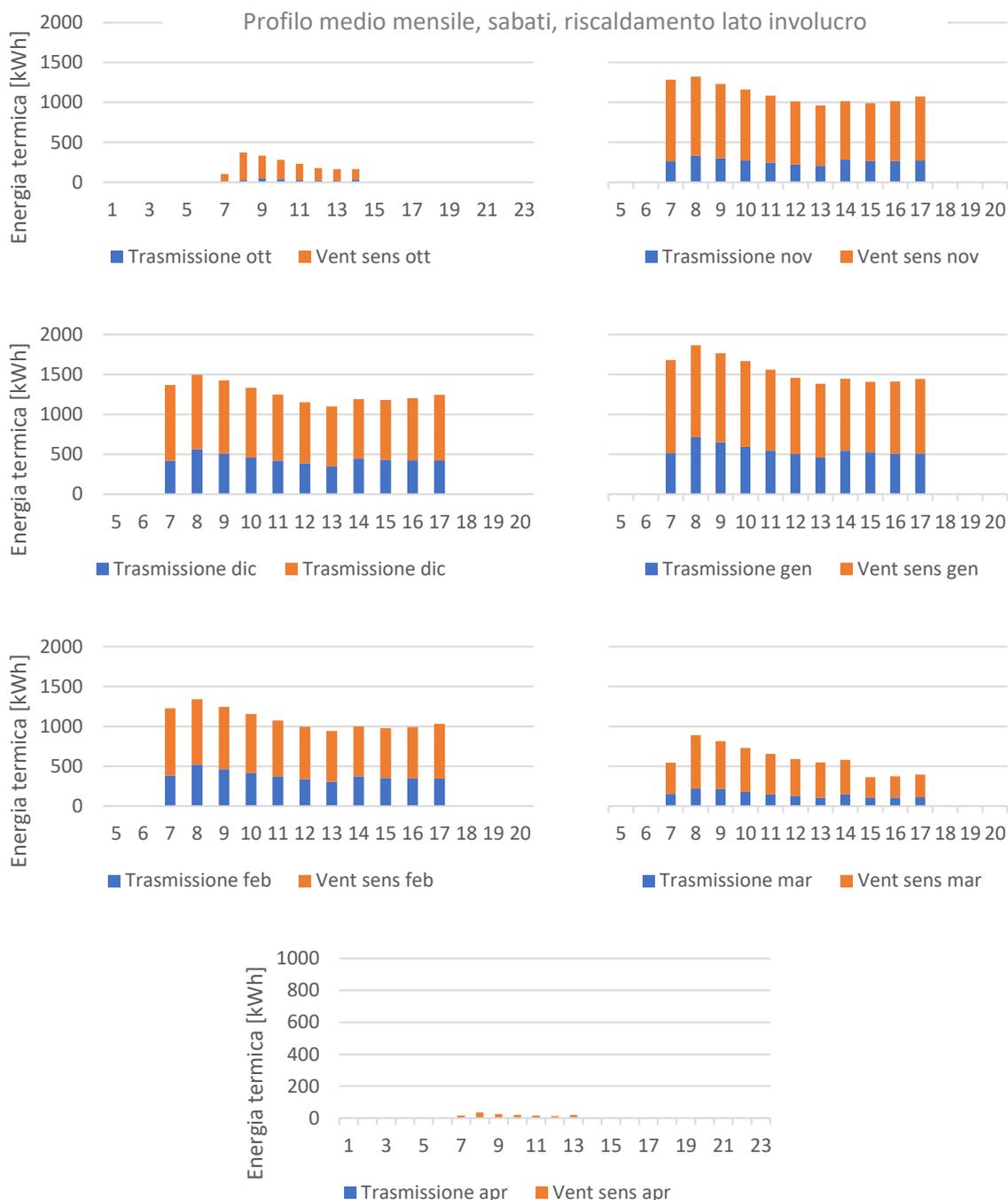
Si precisa che nei grafici successivi per sabati si intendono solamente i sabati e non anche, come fatto finora le giornate di ferie, queste verranno mostrate nelle figure 126 e 127.

Figura 123: Vallisneri, fabbisogni medi orari sabati, dettaglio mensile riscaldamento (ora solare)



I fabbisogni dei sabati presentano valori maggiori rispetto ai corrispettivi infrasettimanali a causa del valore minore di carichi interni impostato per queste giornate. Si fa comunque notare che il Vallisneri è l'edificio che risente in maniera meno rilevante di questa diminuzione. Sono fatte salve le note per i giorni dal lunedì al venerdì.

Figura 124: Vallisneri, fabbisogni medi orari sabati, dettaglio mensile riscaldamento lato involucro (ora solare)



Si anticipa in questa pagina il commento ai grafici in figura 125. Considerando che essendo pochi i giorni del mese che corrispondono ai sabati e contando anche il fatto che quelli corrispondenti a festività o periodi di ferie sono esclusi dai grafici sopra presentati, si intuisce come i dati climatici influenzino molto il comportamento orario illustrato. Quello che però è di particolare interesse notare e del tutto indipendente dalle condizioni esterne è che l'impostazione dello schedule ha influenzato notevolmente il profilo orario infatti alle ore 13 solari si ha un aumento dei fabbisogni dovuto all'uscita del personale impiegato nell'edificio.

### Capitolo 3. Definizione dei fabbisogni degli edifici

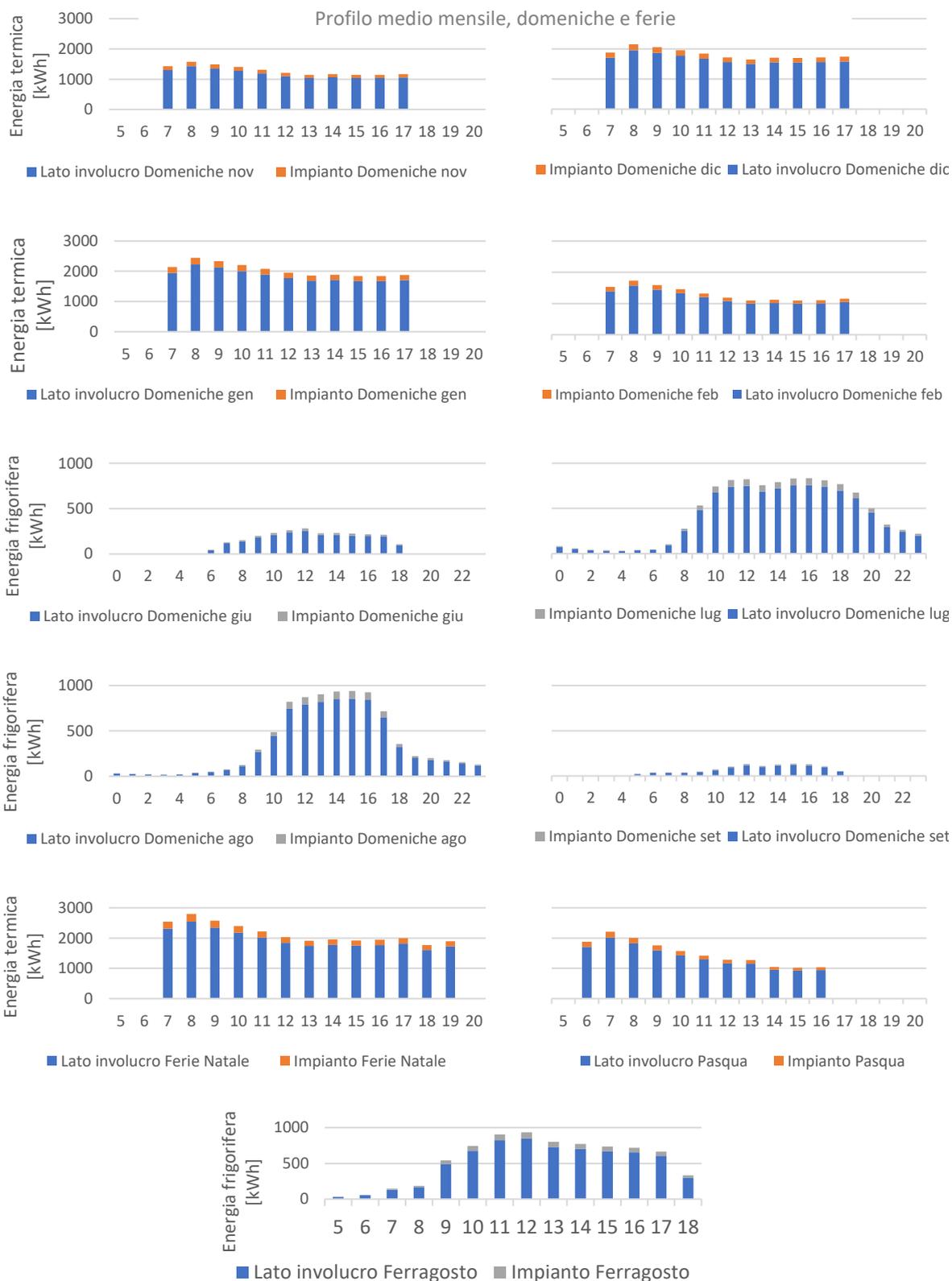
Figura 125: Vallisneri, fabbisogni medi orari sabati, dettaglio mensile raffrescamento (ora solare)



Al termine del paragrafo relativo al Vallisneri sono riportati i fabbisogni orari medi mensili relativi ai periodi di ferie e delle domeniche comprensive dei giorni di festa, queste sono

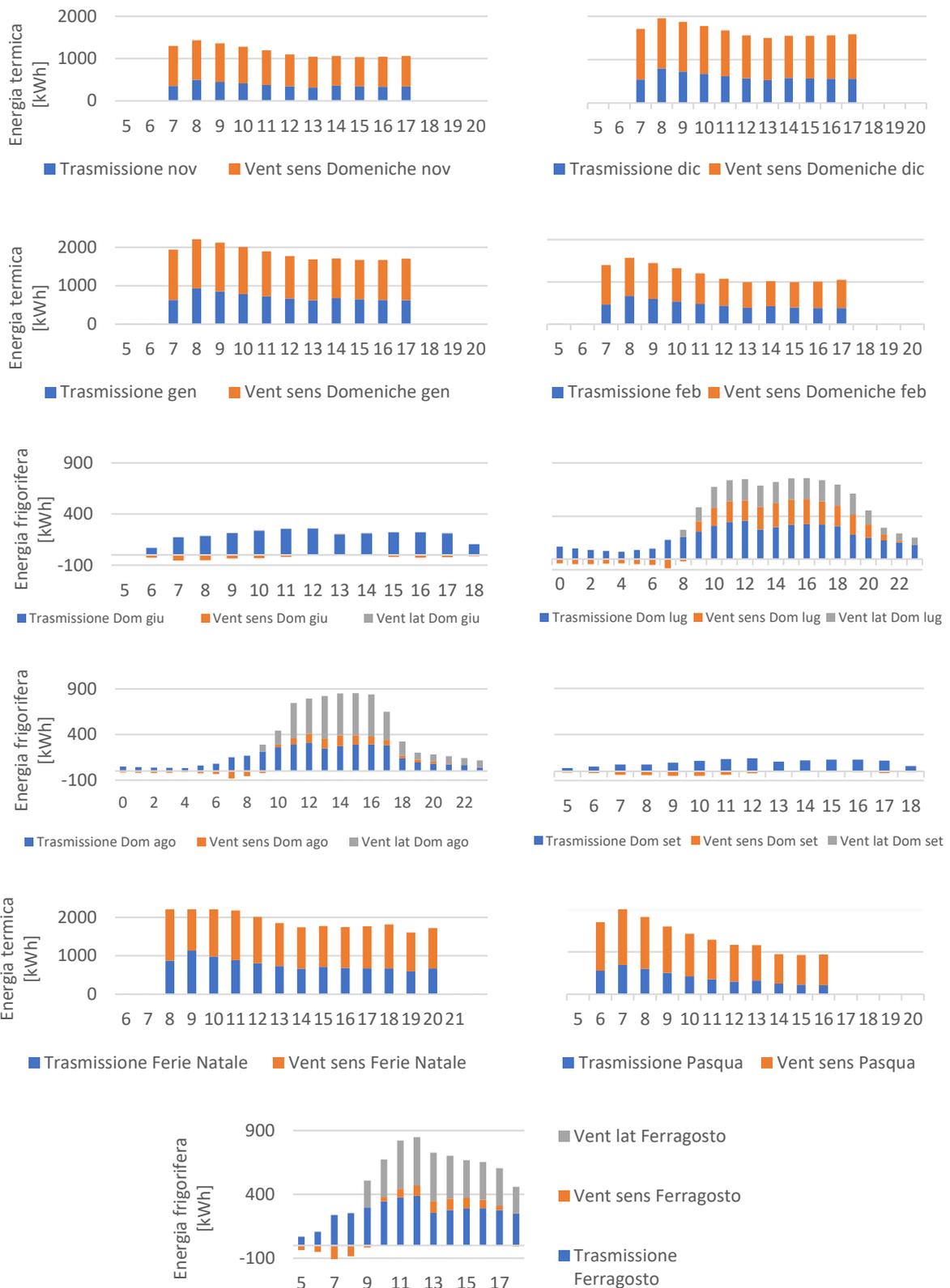
indicative anche dei fabbisogni dell'intero complesso poiché in questi giorni l'unico edificio attivo è proprio il Vallisneri. Verranno accorpati sia i fabbisogni invernali che gli estivi:

Figura 126: Vallisneri, fabbisogni medi orari ferie e domeniche (comprese feste), dettaglio mensile (ora solare)



### Capitolo 3. Definizione dei fabbisogni degli edifici

Figura 127: Vallisneri, fabbisogni medi orari ferie e domeniche (comprese festività), dettaglio mensile lato involucro (ora solare)



Si fa notare come i valori dei fabbisogni orari invernali siano maggiori di domenica rispetto agli altri giorni per la minore influenza dei carichi interni, nel periodo estivo invece questo provoca una minore necessità di raffreddamento. I valori relativi alla ventilazione non variano, se non per le temperature esterne diverse, ciò che cambia è il valore del contributo trasmissione.

### 3.2. Le aule Ugo Bassi

Il secondo edificio di competenza di questo elaborato è rappresentato dalle aule Ugo Bassi, come suggerisce il nome, è uno stabile completamente dedito all'attività di didattica, i fabbisogni dell'edificio in entrambi i regimi sono quindi molto influenzati dal calendario accademico. Un'altra caratteristica che condiziona molto i valori ottenuti è la tipologia d'impianto, a parte il piano terra, l'edificio è servito da un impianto a tutta aria con elevate portate per garantire una notevole quantità di aria di rinnovo, le aule infatti possono ospitare un gran numero di studenti. Per maggiori dettagli si rimanda ai capitoli dedicati all'edificio.

#### 3.2.1. Fabbisogni mensili

Per la presentazione dei valori ottenuti si utilizzerà la stessa scaletta usata per il Vallisneri, ad eccezione del paragrafo relativo alle indicazioni sulla lettura dei grafici che non verrà ripetuto.

I fabbisogni mensili dell'edificio sono i seguenti:

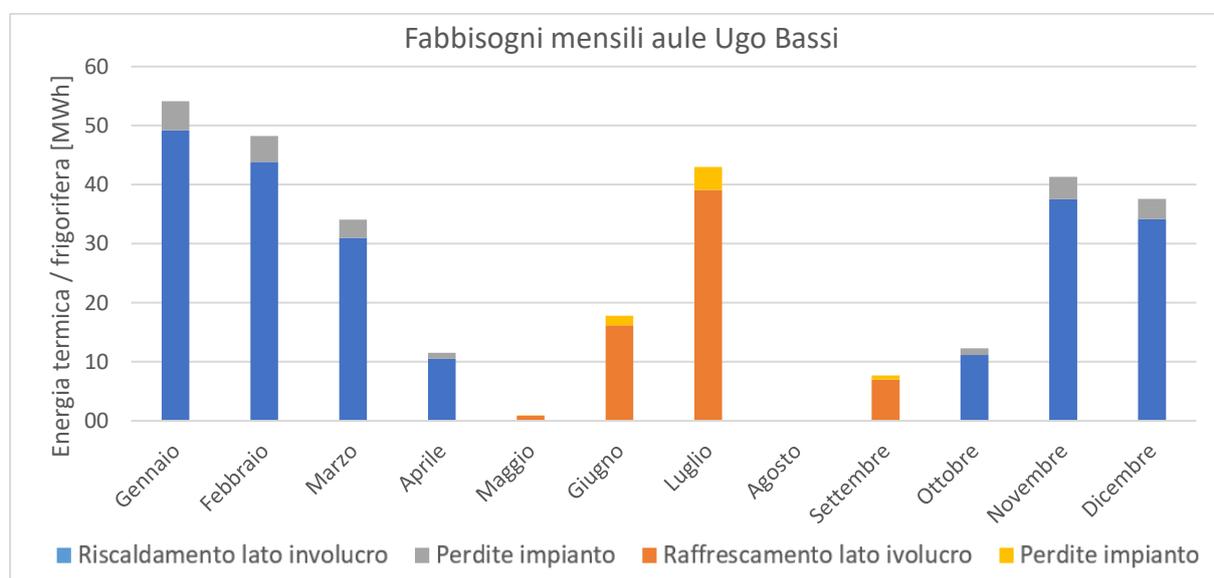


Figura 128: Fabbisogni mensili aule Ugo Bassi, comprensivi di rendimento d'impianto

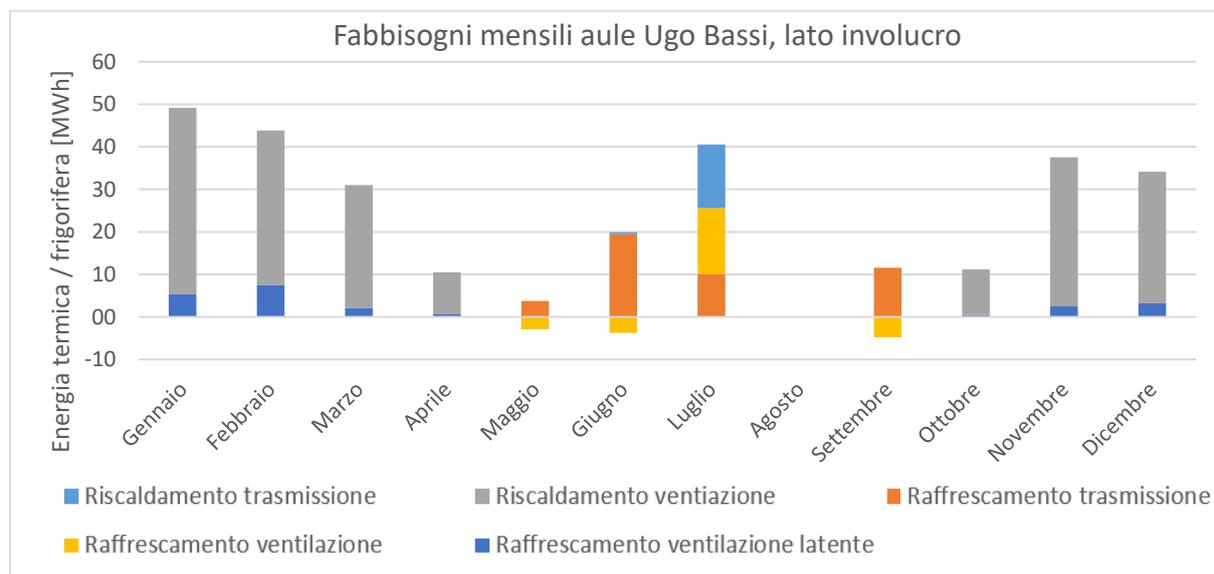


Figura 129: Fabbisogni mensili aule Ugo Bassi, lato involucro

### Capitolo 3. Definizione dei fabbisogni degli edifici

Come anticipato all'inizio di questa sezione il comportamento dell'edificio è influenzato dal valore dei carichi interni regolati dal calendario accademico, febbraio presenta un fabbisogno particolarmente alto, considerando anche che è composto di 28 giorni, a causa della sospensione delle lezioni, a dicembre invece la richiesta di energia per il riscaldamento è ridotta per la presenza delle vacanze di Natale periodo in cui la sottostazione dell'edificio è chiusa, gennaio è a sua volta influenzato da esse ma per un numero minore di giorni. Ad agosto l'edificio era chiuso e ciò spiega il valore nullo. A luglio il valore del contributo trasmissione è piuttosto limitato e ciò è dovuto allo schedule applicato all'edificio che per questo mese prevedeva un valore molto ridotto di carichi interni. Da notare che la combinazione di struttura leggera e di tipologia d'impianto porta ad avere un elevato sbilanciamento tra fabbisogni di ventilazione e quelli denominati per trasmissione. I risultati ottenuti vengono presentati ora in forma tabellare:

*Tabella 68: Fabbisogni mensili, divisi in contributi, delle aule Ugo Bassi*

<b>Aule Bassi</b>	<b>Fabbisogno Complessivo</b>	<b>Fabbisogno Trasmissione</b>	<b>Fabbisogno ventilazione sensibile</b>	<b>Fabbisogno ventilazione latente</b>	<b>Perdite Impianto</b>
<b>Mese</b>	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
Gennaio	54.1	5.4	43.8	0	4.9
Febbraio	48.3	7.4	36.5	0	4.4
Marzo	34.1	2.1	28.9	0	3.1
Aprile	11.5	0.8	9.7	0	1.0
Maggio	0.9	3.8	-2.9	0.0	0.1
Giugno	17.8	19.5	-3.7	0.5	1.6
Luglio	43.0	9.6	15.0	14.5	3.9
Agosto	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Settembre	7.7	11.7	-4.7	0.0	0.7
Ottobre	12.3	0.4	10.7	0	1.1
Novembre	41.3	2.5	35.1	0	3.8
Dicembre	37.6	3.2	31.0	0	3.4
Stag. Riscald.	239.2	21.8	195.7	0.0	21.7
Stag. Raffresc.	69.4	44.6	3.7	15	6.3

\*Il complessivo può differire di un decimale dalla somma dei contributi per gli arrotondamenti

Della tabella 68 è interessante commentare i valori assoluti, si vede che i fabbisogni di raffrescamento a luglio, sebbene i carichi interni impostati nella simulazione siano molto ridotti, per rappresentare il fatto che le lezioni sono sospese, siano del tutto comparabili ai valori di richiesta di energia termica nei mesi più freddi. Altro elemento da notare è che i fabbisogni complessivi dell'edificio sono inferiori al 10% rispetto a quelli del complesso di biologia. Un altro aspetto che verrà spiegato meglio in seguito è la differenza sostanziale dei fabbisogni per ventilazione e per trasmissione, soprattutto nella stagione invernale in cui quest'ultimo contributo è praticamente annullato nei mesi di ottobre ed aprile grazie all'elevato valore dei carichi interni dovuto alla presenza di aule molto ampie in tutti i piani del complesso.

A termine della presentazione generale dei fabbisogni mensili sono mostrati i fabbisogni del piano terra solo per ciò che riguarda la stagione estiva, poiché essi sono soddisfatti da un sistema dedicato di raffrescamento e non dalla rete e inoltre potranno fornire uno spunto interessante per la valutazione sull'influenza della tipologia d'impianto sui valori ottenuti. Se ne anticipa qui il commento: si potrà notare infatti che per il piano terra, in cui è presente una minor portata

di ventilazione dal momento che l'impianto non è a tutta aria ma prevede anche ventilconvettori, presenta un equilibrio maggiore tra i contributi di ventilazione e trasmissione rispetto a quelli mostrati in precedenza.

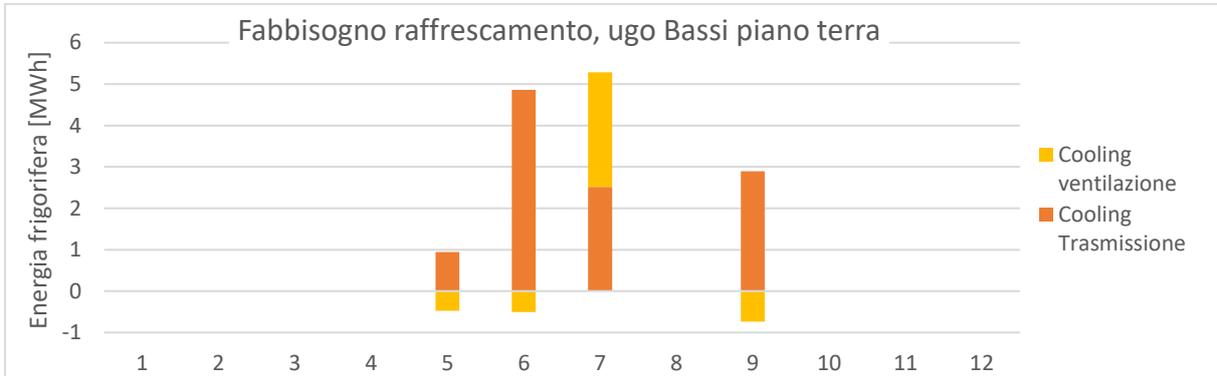


Figura 130: Fabbisogni mensili aule Ugo Bassi, lato involucro, particolare piano terra

### 3.2.2. Fabbisogni medi orari

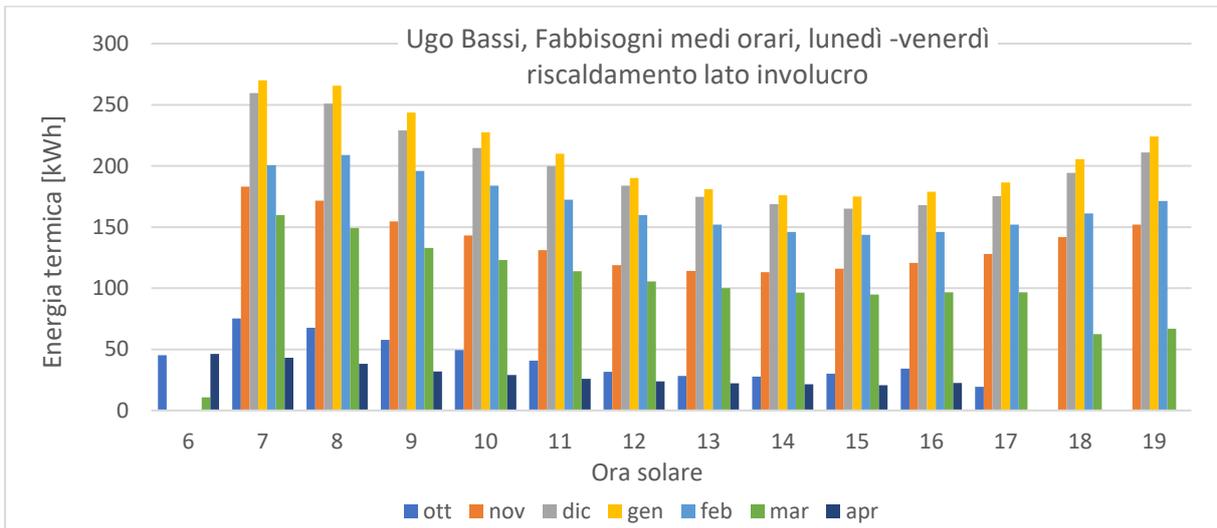


Figura 131: Ugo Bassi fabbisogni orari medi mensili di riscaldamento lato involucro, giorni dal lunedì al venerdì

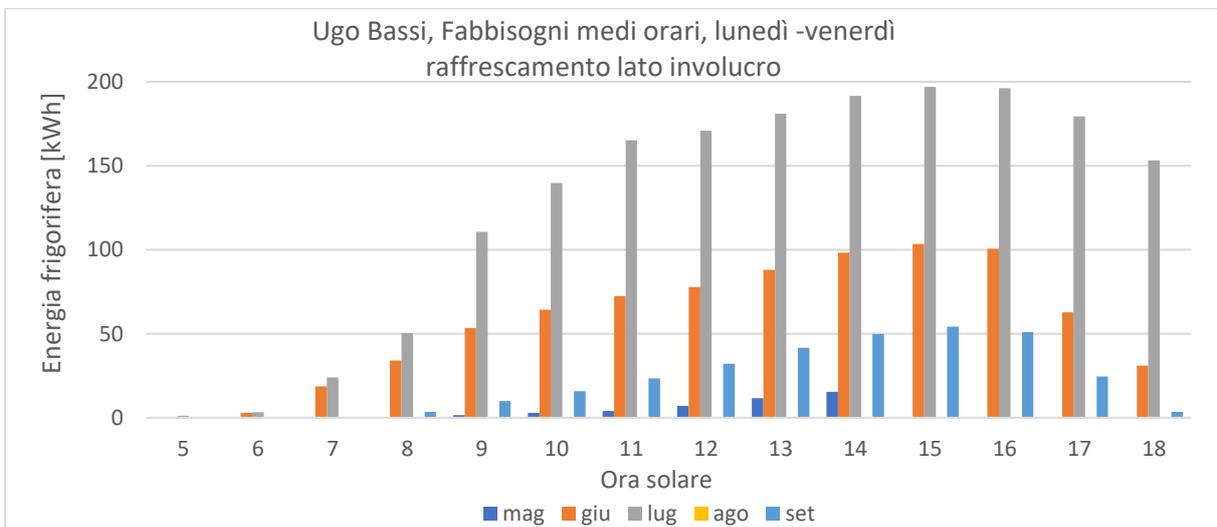


Figura 132: Ugo Bassi fabbisogni orari medi mensili di raffrescamento lato involucro, lunedì-venerdì

### Capitolo 3. Definizione dei fabbisogni degli edifici

L'andamento dei fabbisogni orari estivi medi merita una trattazione dedicata. Risulta di particolare interesse come la curva di luglio limitatamente influenzata dalla presenza dei carichi interni che come detto in questo mese sono molto ridotti, va a mostrare la risposta della struttura dovuta praticamente alle sole sollecitazioni esterne, una combinazione della radiazione solare e della temperatura esterna. A giugno invece alle ore 17 solari si ha il classico calo dovuto alla diminuzione dei carichi interni, in questo caso dovuto all'uscita degli studenti, stessa lettura per settembre. Si passa ora alla presentazione dei dettagli mensili dei grafici precedenti, con la precisazione che non sono presentati quelli relativi ai sabati perché in questi giorni l'edificio e relativi impianti sono chiusi.

Figura 133: Aule Bassi, fabbisogni medi orari lunedì venerdì, dettaglio mensile riscaldamento (ora solare)

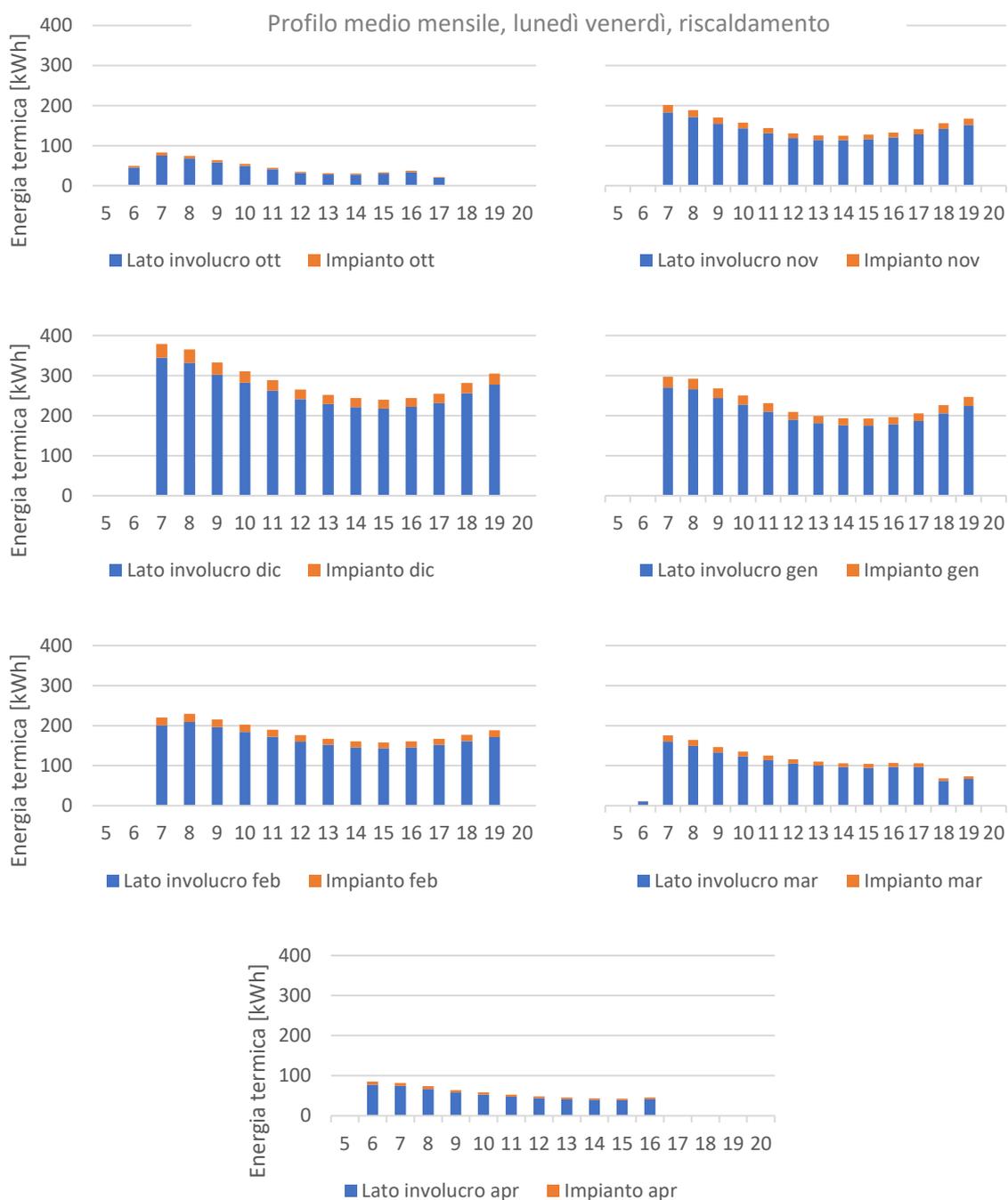
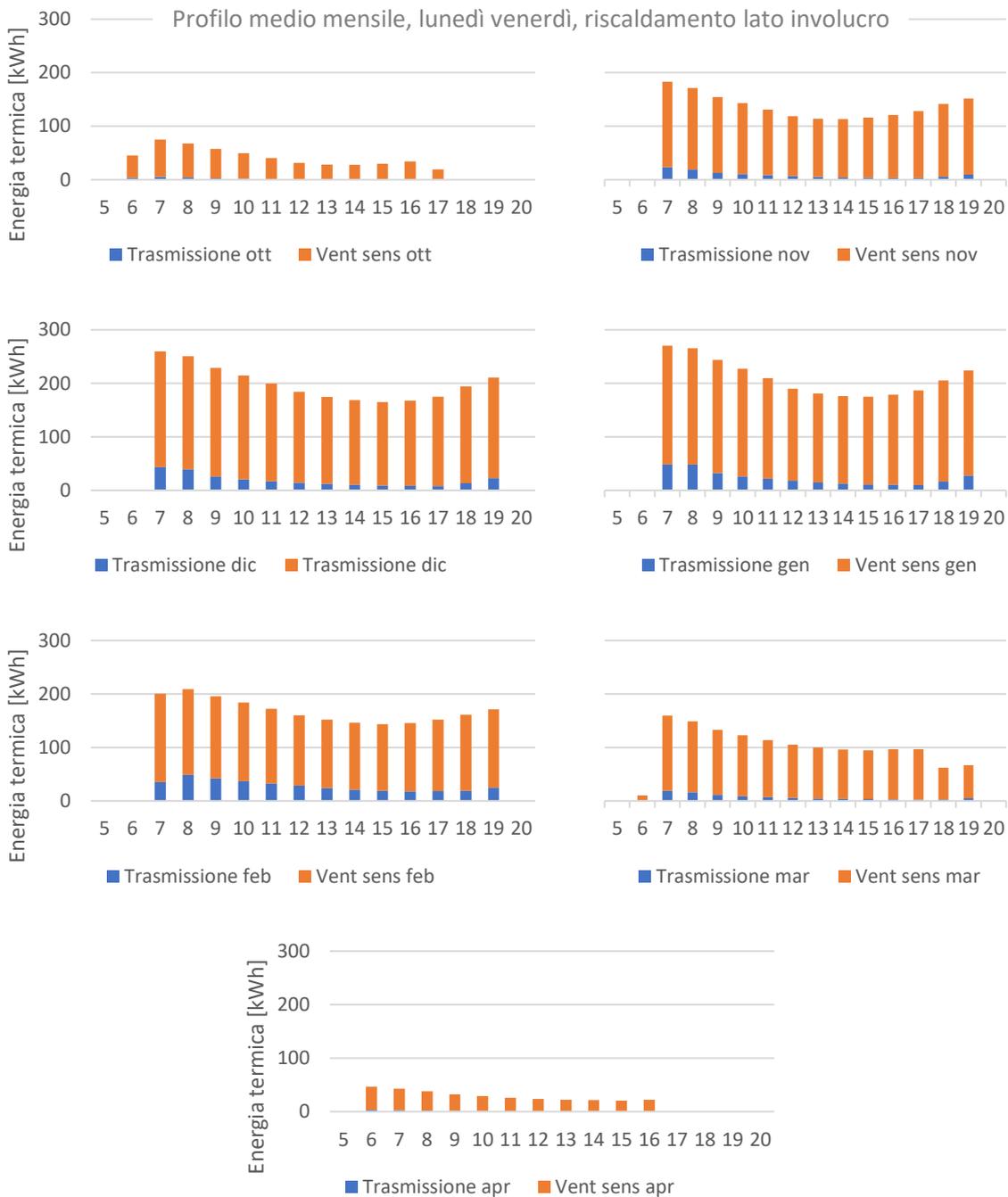
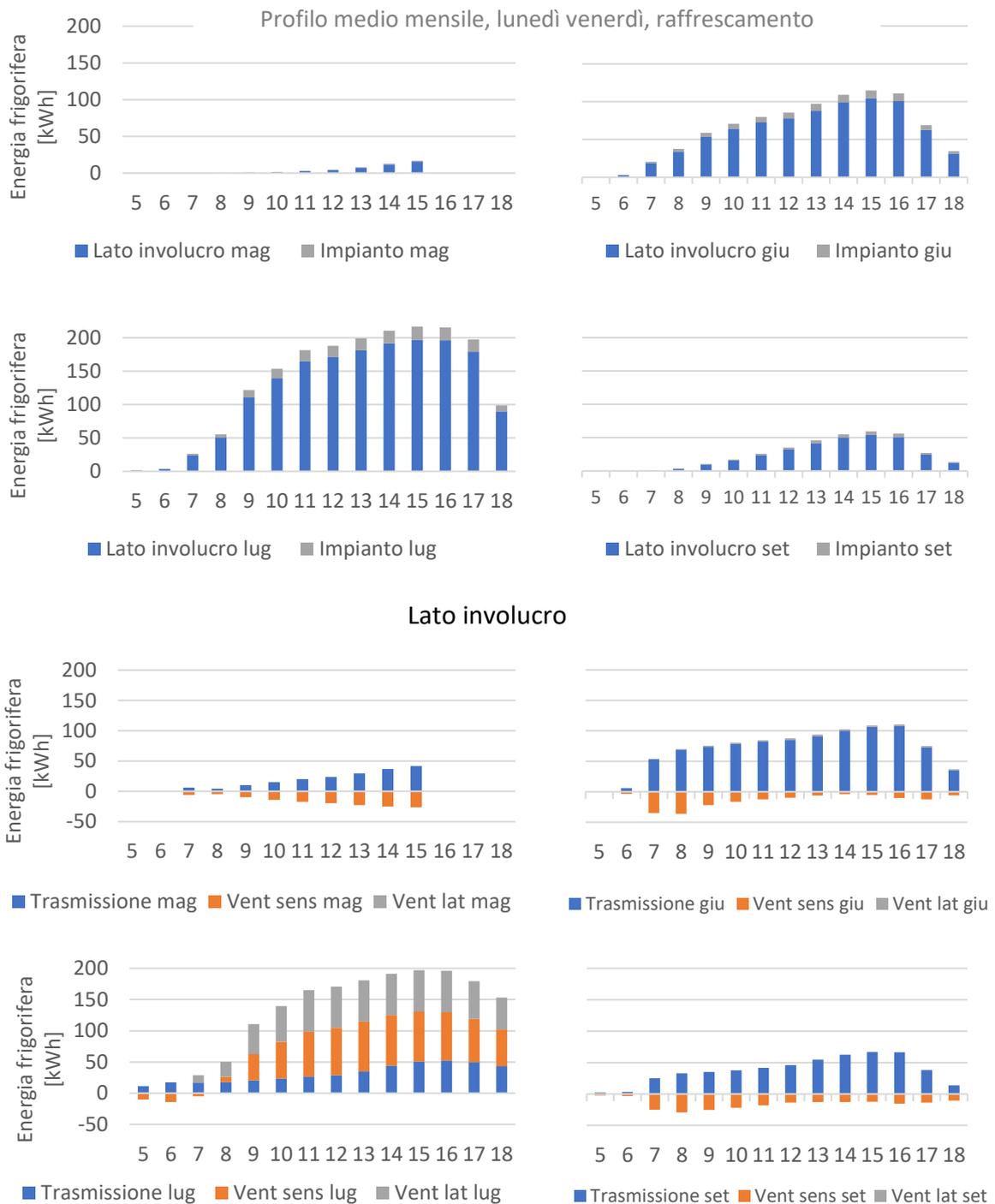


Figura 134: Aule Bassi, fabbisogni medi orari lunedì venerdì, dettaglio mensile riscaldamento lato involucro (ora solare)



### Capitolo 3. Definizione dei fabbisogni degli edifici

Figura 135: Aule Bassi, fabbisogni medi orari lunedì venerdì, dettaglio mensile raffrescamento (ora solare)



Oltre alle note generali dei presenti grafici è interessante descrivere le componenti dei mesi di luglio e maggio. Nel mese estivo più caldo si vede come il contributo dovuto alla ventilazione sia notevolmente maggiore in tutte le ore, a parte le mattutine, rispetto a quello per trasmissione, in particolare il calore latente ricopre quasi il 50 % del fabbisogno di ventilazione, va ricordato che l'impianto di questo edificio è uno dei pochi ad avere un effettivo controllo sull'umidità. In quello più fresco invece è utile notare come il free cooling aumenti nelle ore più calde, andamento contrario a quello atteso, ciò è ancora una volta spiegabile con il fatto che il raffrescamento gratuito viene sfruttato solo fin quando va contrastare un carico termico.

### 3.3. Il centro linguistico di ateneo

Il centro linguistico di ateneo è l'edificio per cui si è faticato maggiormente nella definizione dello schedule: non è infatti facile stabilire l'esatta frequenza dei laboratori linguistici che qui si tengono e anche l'effettiva presenza negli uffici dello stabile. In ogni caso l'incertezza che si viene a creare si ripercuote più che altro sul valore del fabbisogno di qualche mese, e se visto dal punto di vista della richiesta di energia termica e frigorifera dell'intero complesso questa assume un valore marginale.

#### 3.3.1. Fabbisogni mensili

I valori ottenuti dalla simulazione dinamica sono i seguenti:

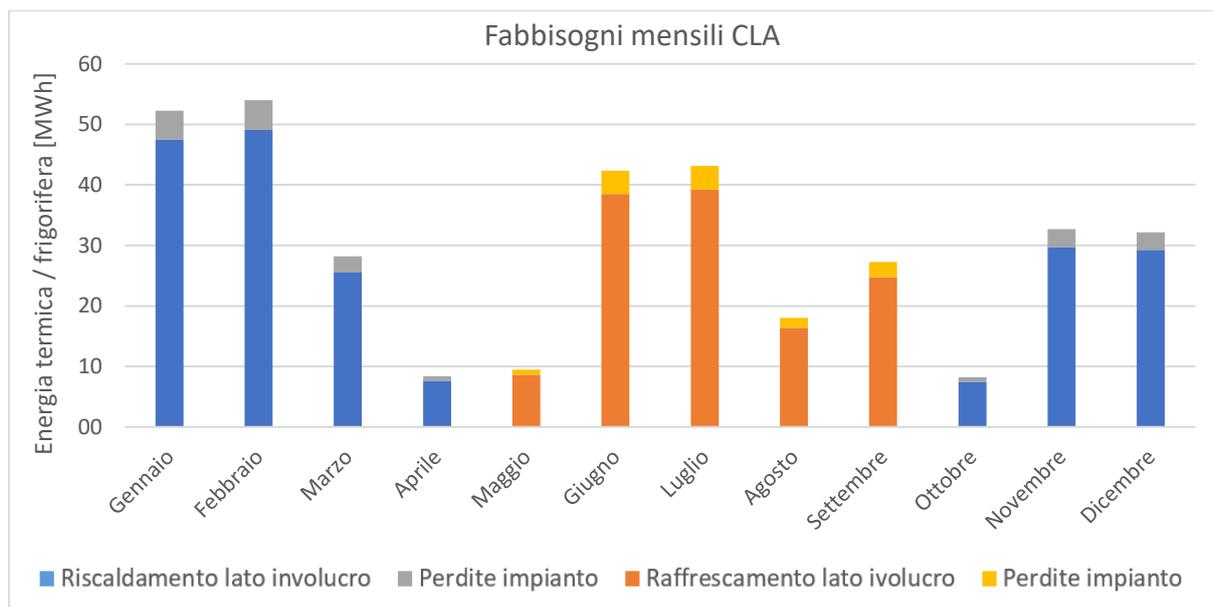


Figura 136: Fabbisogni mensili CLA, comprensivi di rendimento d'impianto

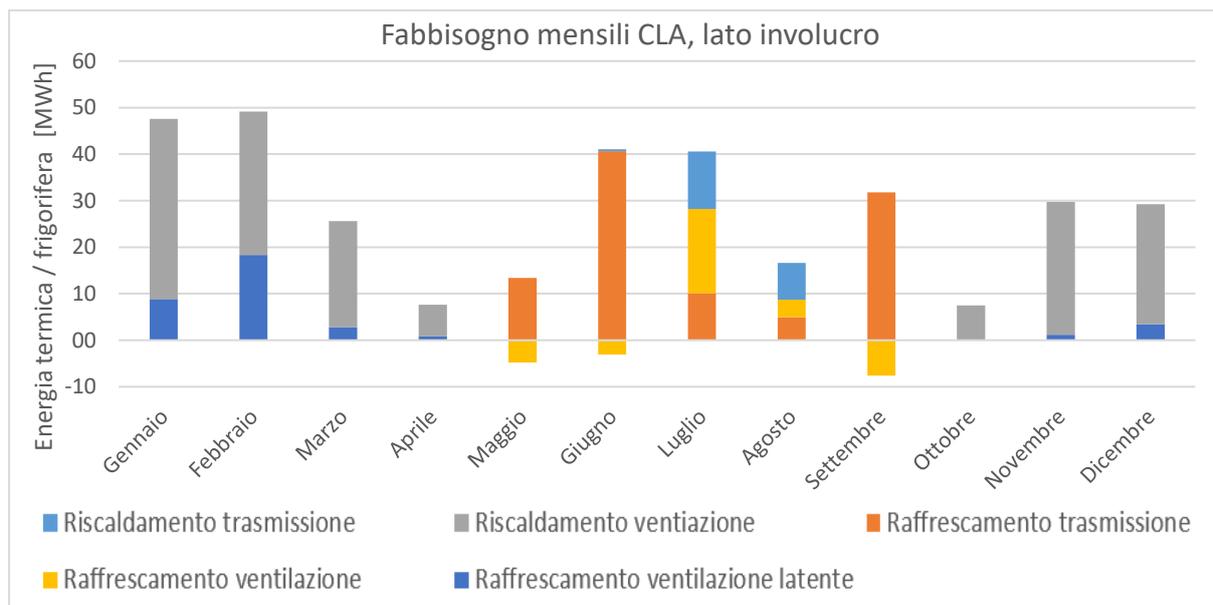


Figura 137: Fabbisogni mensili CLA, lato involucro

### Capitolo 3. Definizione dei fabbisogni degli edifici

Il commento dell'andamento dei valori ottenuti riprende quanto detto per le aule Ugo Bassi, si deve solo aggiungere a questo una considerazione sul valore di agosto e di febbraio.

Questo è l'unico dei tre edifici analizzati che presenta il periodo di chiusura relativo alle ferie, il Vallisneri infatti rimane attivo seppur in maniera ridotta e l'Ugo Bassi è invece chiuso tutto il mese. In questo mese il fabbisogno frigorifero è particolarmente basso proprio a causa delle due settimane di chiusura dello stabile oltre al fatto che i carichi interni assunti per i giorni rimanenti sono molto ridotti rispetto ai periodi di piena attività.

Per quanto riguarda il mese di febbraio si vede come la richiesta termica sia la maggiore di tutto l'anno ciò è dovuto alle caratteristiche dell'edificio: l'involucro particolarmente performante permette di contenere molto la voce di fabbisogno per trasmissione, quindi per tutta la stagione invernale i carichi interni, assieme ai carichi solari sono spesso in grado di bilanciare le perdite per conduzione, però nel momento in cui si ha un calo dell'apporto dei carichi interni come avviene per lo schedule impostato a febbraio tale equilibrio viene spezzato con un conseguente aumento di tale contributo nel complessivo del mese.

È ora riportata la tabella dei valori precedentemente presentati in forma grafica:

*Tabella 69: Fabbisogni mensili, divisi in contributi, del CLA*

CLA	Fabbisogno Complessivo	Fabbisogno Trasmissione	Fabbisogno ventilazione sensibile	Fabbisogno ventilazione latente	Perdite Impianto
Mese	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
Gennaio	52.3	8.9	38.7	0	4.8
Febbraio	54.0	18.3	30.8	0	4.9
Marzo	28.2	2.8	22.8	0	2.6
Aprile	8.4	0.8	6.8	0	0.8
Maggio	9.5	13.4	-4.8	0.0	0.9
Giugno	42.4	41.4	-3.3	0.4	3.9
Luglio	43.1	9.8	17.5	11.9	3.9
Agosto	18.0	4.8	3.8	7.8	1.6
Settembre	27.2	32.5	-7.8	0.0	2.5
Ottobre	8.2	0.0	7.5	0	0.7
Novembre	32.7	1.2	28.5	0	3.0
Dicembre	32.2	3.5	25.8	0	2.9
Stag. Riscald.	216.0	35.5	160.9	0.0	19.7
Stag. Raffresc.	140.2	101.9	5.4	20.1	12.8

\*Il complessivo può differire di un decimale dalla somma dei contributi per gli arrotondamenti

I valori complessivi della stagione invernale sono molto simili a quelli delle aule Bassi, queste due strutture hanno infatti, come vedremo nelle tabelle riassuntive, impatti simili sul fabbisogno dell'intero complesso. La stagione estiva presenta invece valori diversi dovuto anche al fatto che le Aule Bassi sono chiuse ad agosto, per il CLA di questo mese è interessante notare che la richiesta di ventilazione è per 2/3 dovuta al calore latente.

3.3.2. Fabbisogni medi orari

Come fatto in precedenza, si passa ora alla presentazione dei fabbisogni medi orari:

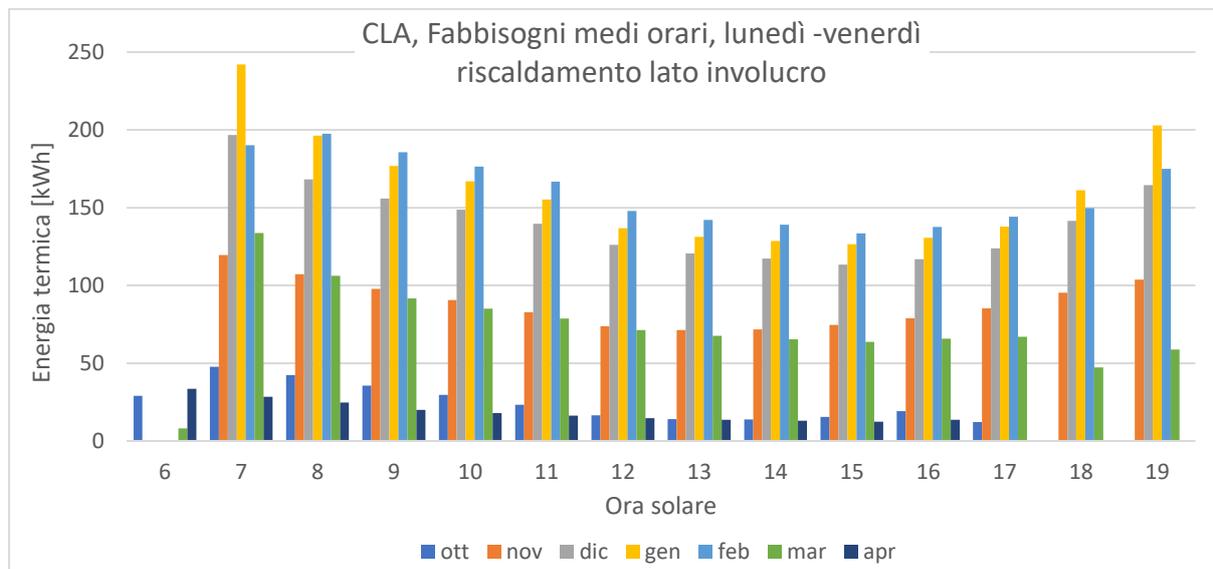


Figura 138: CLA fabbisogni orari medi mensili di riscaldamento lato involucro, giorni dal lunedì al venerdì

Il profilo medio orario è simile a quello già mostrato in precedenza per gli altri stabili per quanto riguarda l'alta stagione invernale, non ci si sofferma quindi sul commento, è interessante invece volgere lo sguardo sui mesi di ottobre e aprile, si vede come questi, in particolare nelle ore più calde, presentino valori molto vicini allo zero tanto da poter assumere che in queste stagioni, a parte nelle ore mattutine, gli impianti lavorino in maniera molto limitata o siano addirittura spenti nei momenti di maggior affollamento dell'edificio.

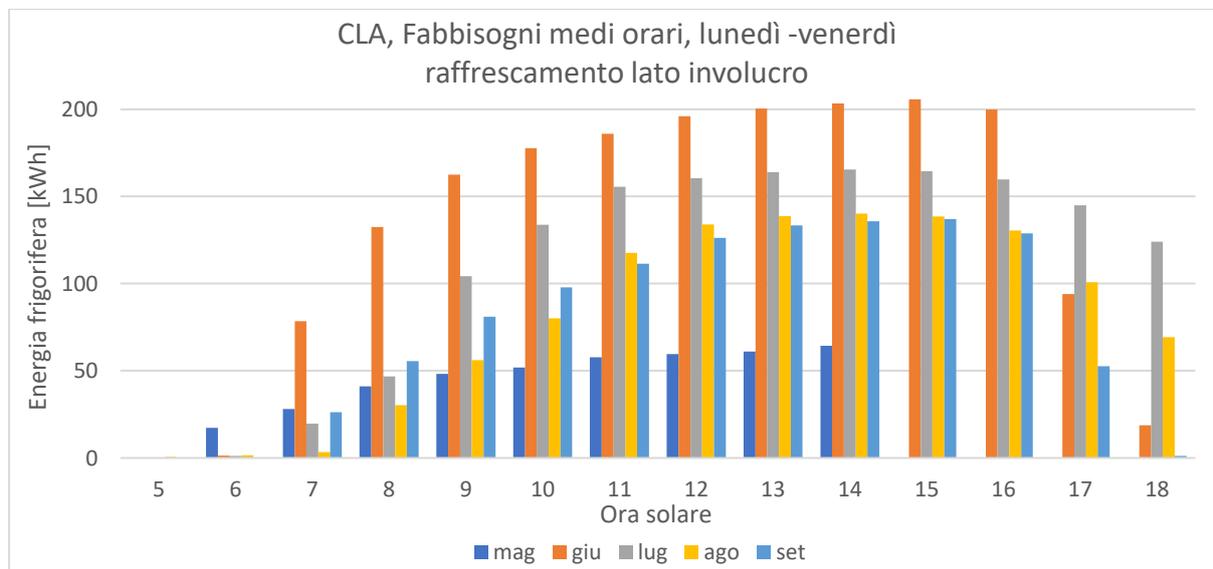


Figura 139: CLA fabbisogni orari medi mensili di raffrescamento lato involucro, giorni dal lunedì al venerdì

Del profilo estivo si deve in particolare notare giugno, in questo mese si nota come la maggior parte del fabbisogno sia dovuta ai carichi interni, quando questi diminuiscono, dalle 17:30 solari, si ha un brusco calo dell'energia frigorifera richiesta che alle 18 solari si annulla quasi completamente. L'andamento di luglio invece non risente dei carichi interni se non in maniera

### Capitolo 3. Definizione dei fabbisogni degli edifici

molto ridotta dato che come avviene per le aule Bassi, il valore impostato in questo mese per questi apporti è molto basso e quindi si ha la tipica risposta dovuta alle sollecitazioni esterne.

Dal momento che i dettagli mensili non vanno a fornire informazioni che non siano già state descritte in precedenza nella presentazione generale di questo edificio appena conclusa oppure negli omologhi di altri edifici, questi non verranno commentati.

Figura 140: CLA, fabbisogni medi orari lunedì venerdì, dettaglio mensile riscaldamento (ora solare)

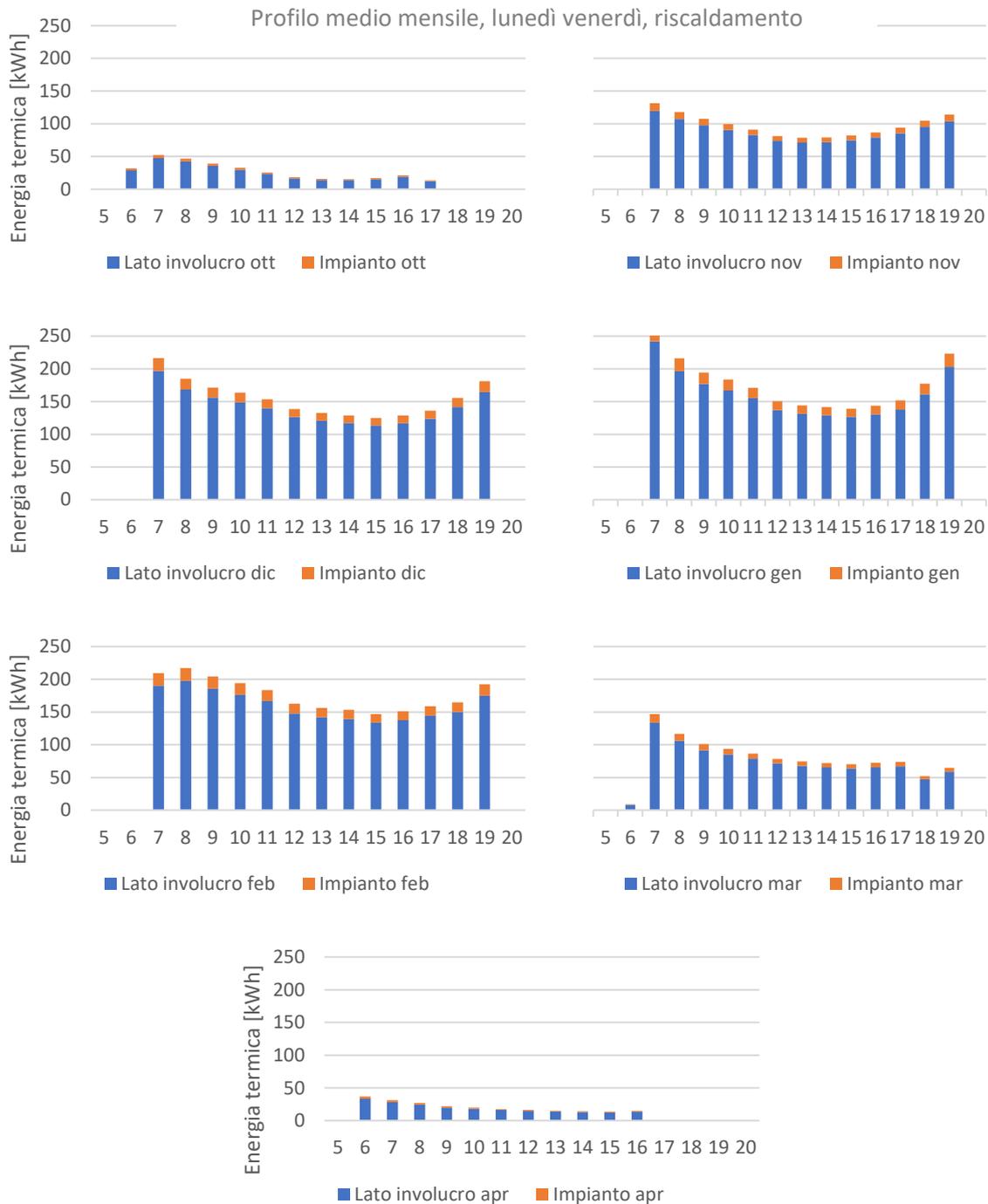
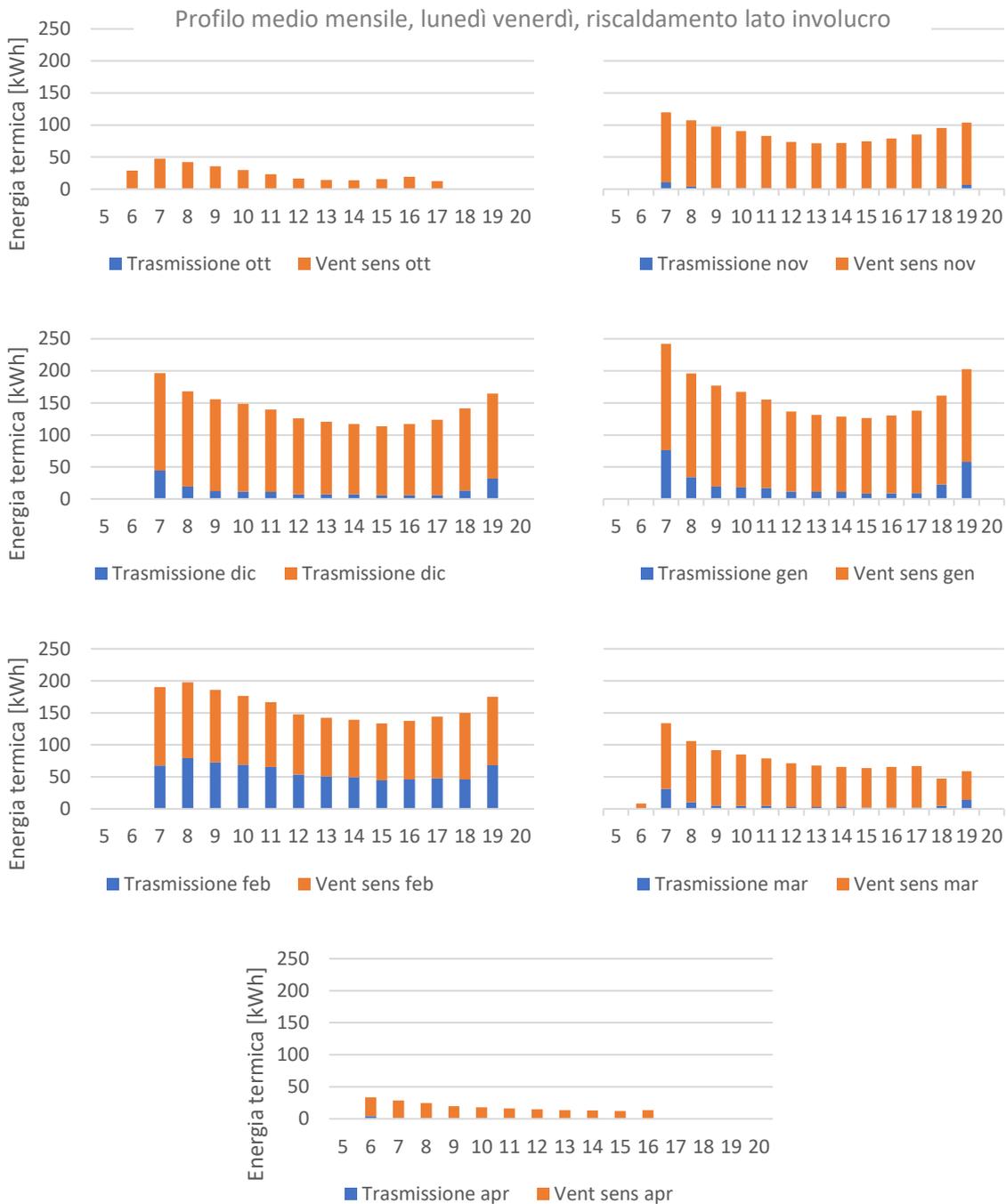


Figura 141: CLA, fabbisogni medi orari lunedì venerdì, dettaglio mensile riscaldamento lato involucro (ora solare)



### Capitolo 3. Definizione dei fabbisogni degli edifici

Figura 142: CLA, fabbisogni medi orari lunedì venerdì, dettaglio mensile raffrescamento (ora solare)

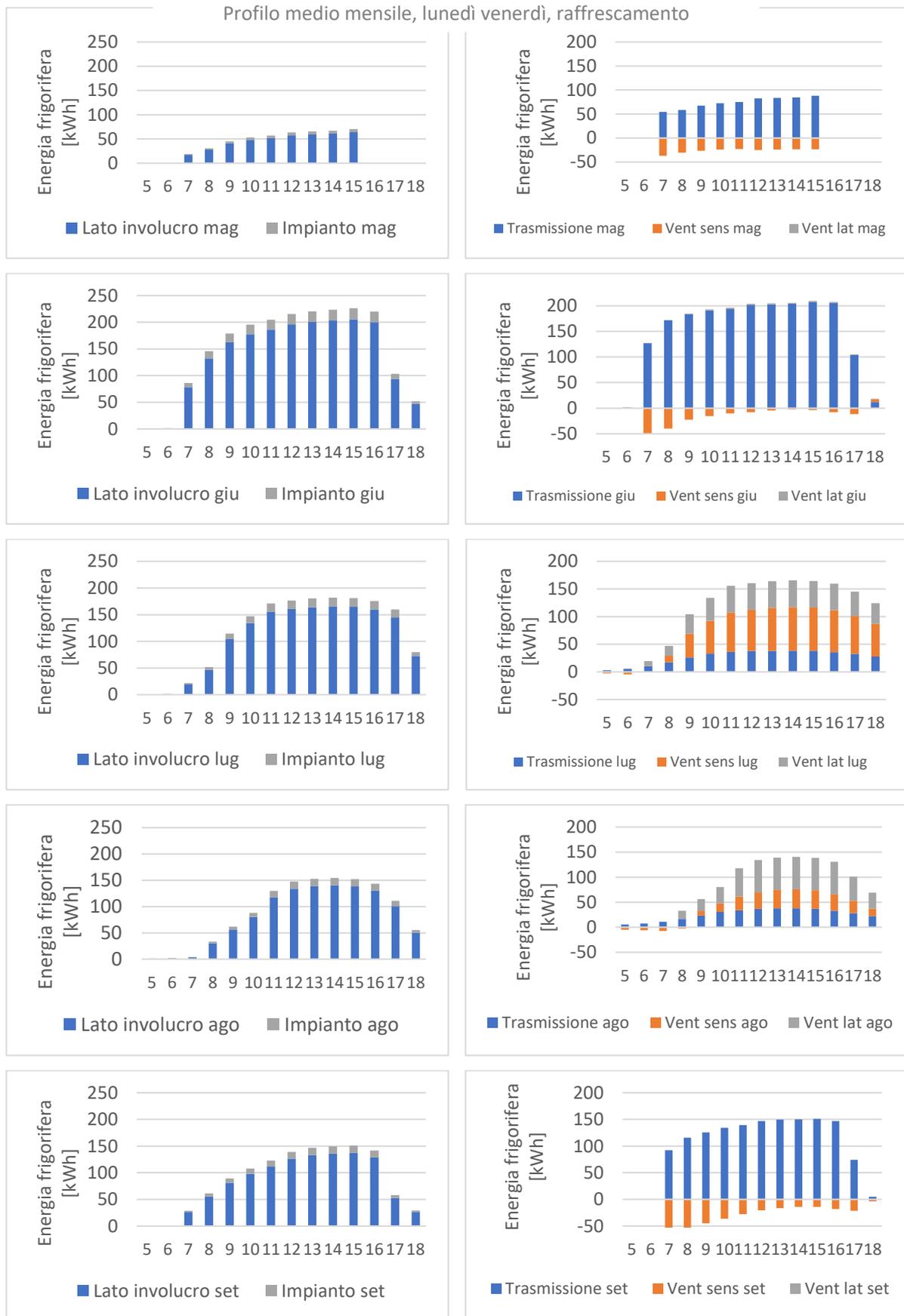
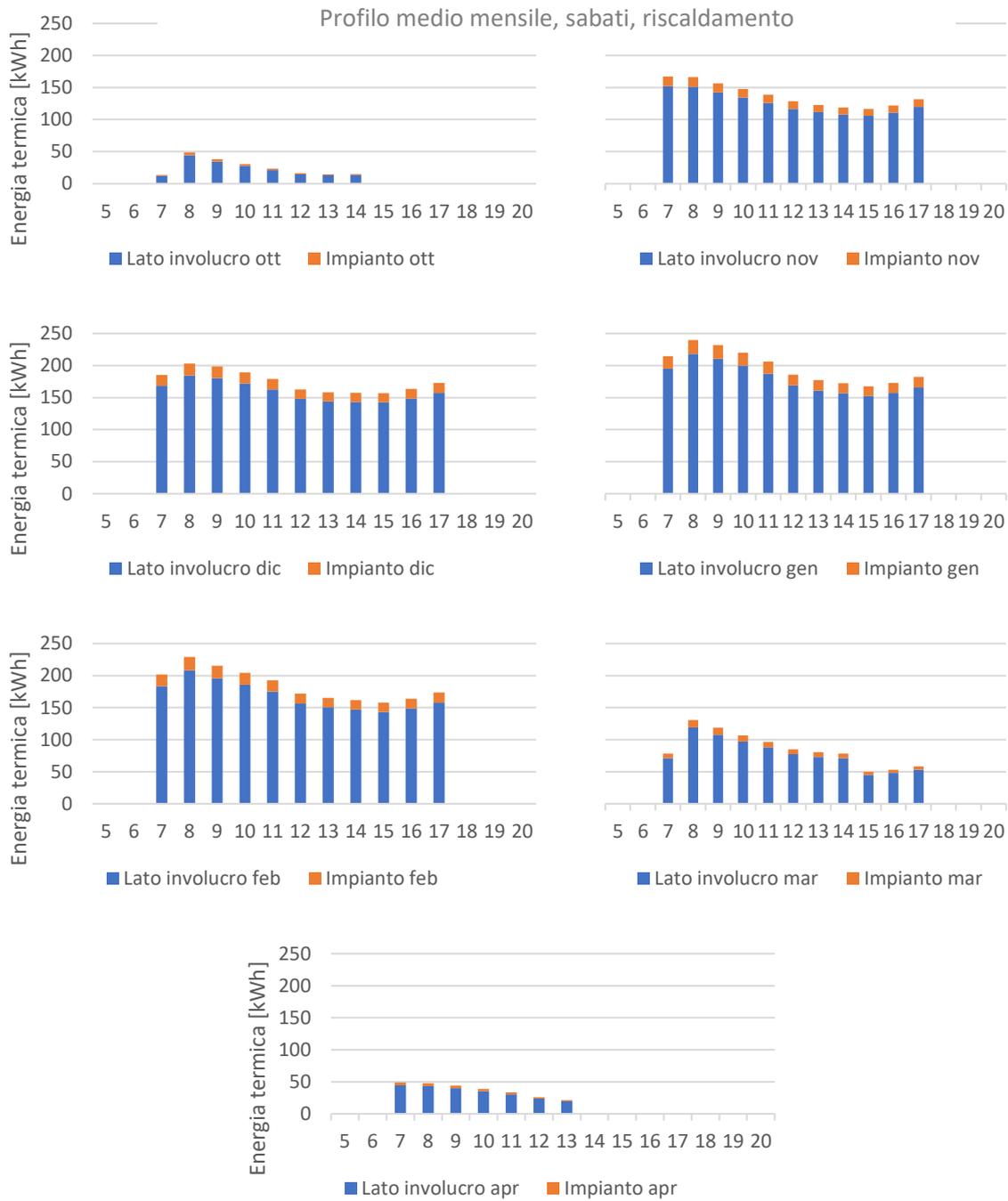


Figura 143: CLA, fabbisogni medi orari sabati, dettaglio mensile riscaldamento (ora solare)



### Capitolo 3. Definizione dei fabbisogni degli edifici

Figura 144: CLA, fabbisogni medi orari sabati, dettaglio mensile riscaldamento lato involucro (ora solare)

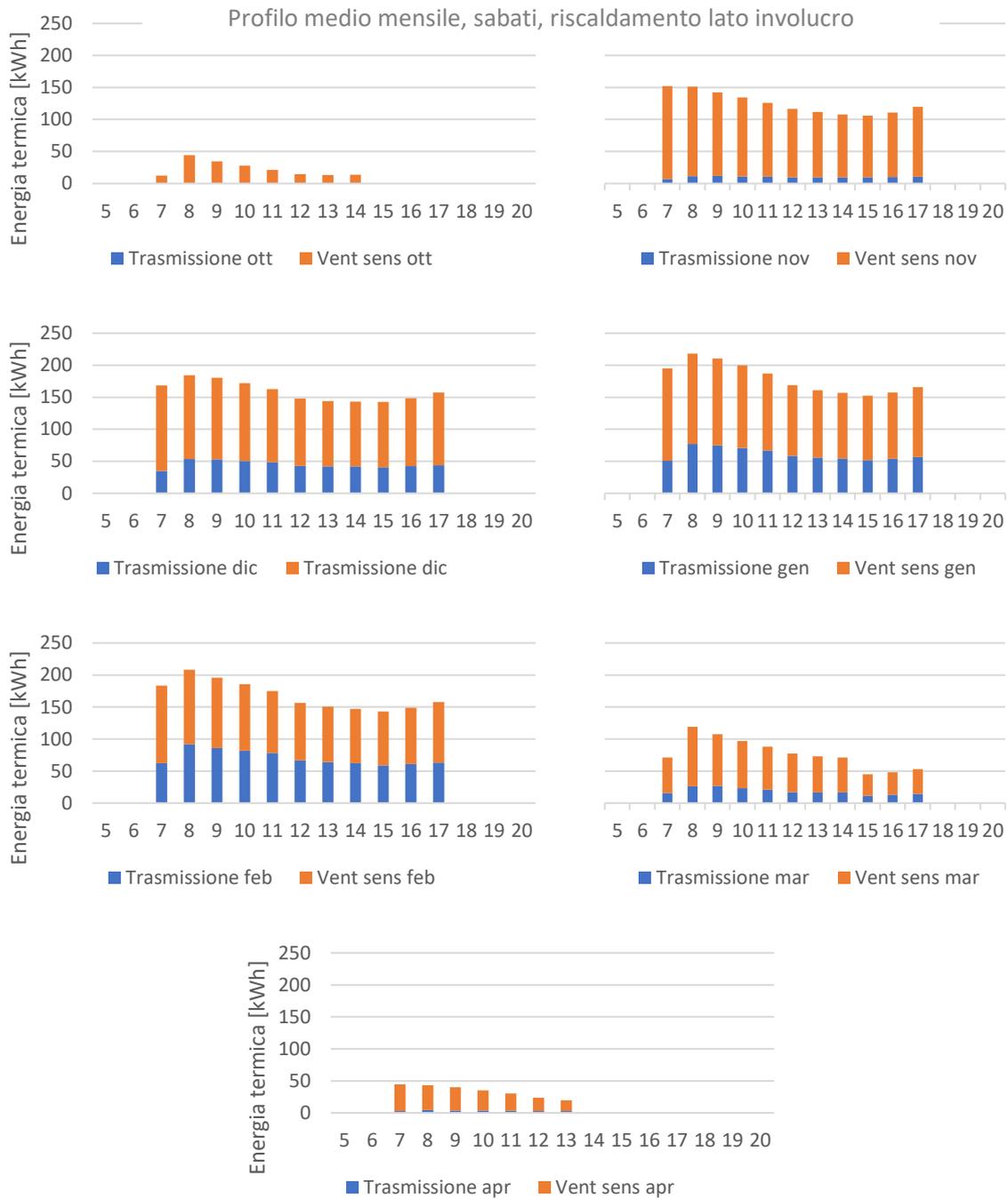
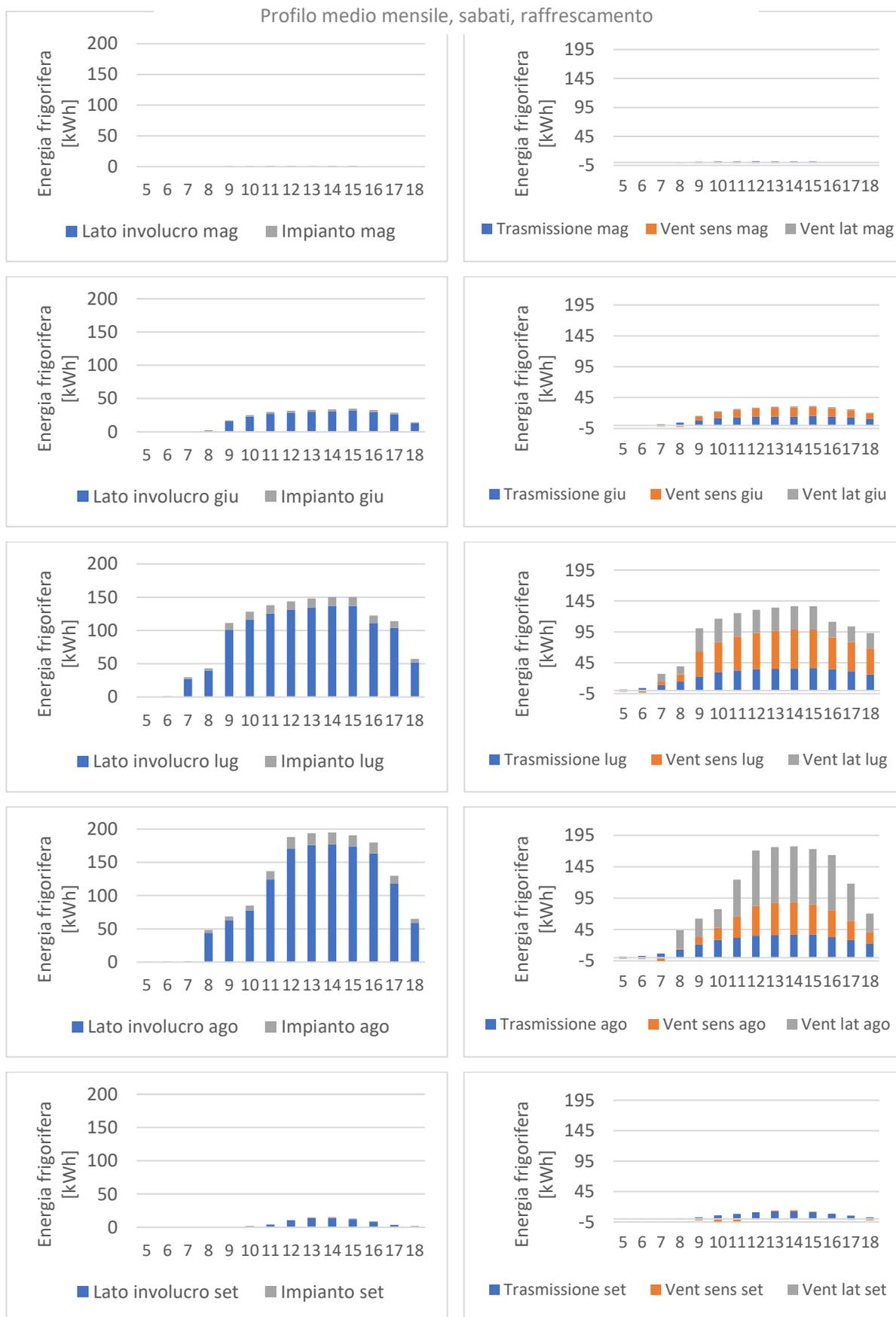


Figura 145: CLA, fabbisogni medi orari sabati, dettaglio mensile raffrescamento (ora solare)



### Capitolo 3. Definizione dei fabbisogni degli edifici

#### 3.4. Fabbisogni complessivi riferiti ai dati climatici locali

In questo paragrafo vengono illustrati i risultati delle simulazioni normalizzati ai dati climatici locali, questi valori sono quelli utilizzati per determinare i rendimenti di rete. Parte dei risultati complessivi è già stata mostrata nella sezione riservata al complesso di biologia poiché questo è l'unico edificio ad essere aperto nei periodi di ferie e nelle festività, quindi questi dati riferiti al singolo edificio rappresentano anche l'intero complesso per quelle date. Verranno infine mostrati anche il sottoinsieme dei fabbisogni soddisfatti dalla rete e dalle macchine autonome.

##### 3.4.1. Fabbisogni mensili

I fabbisogni mensili dell'intero complesso sono i seguenti:

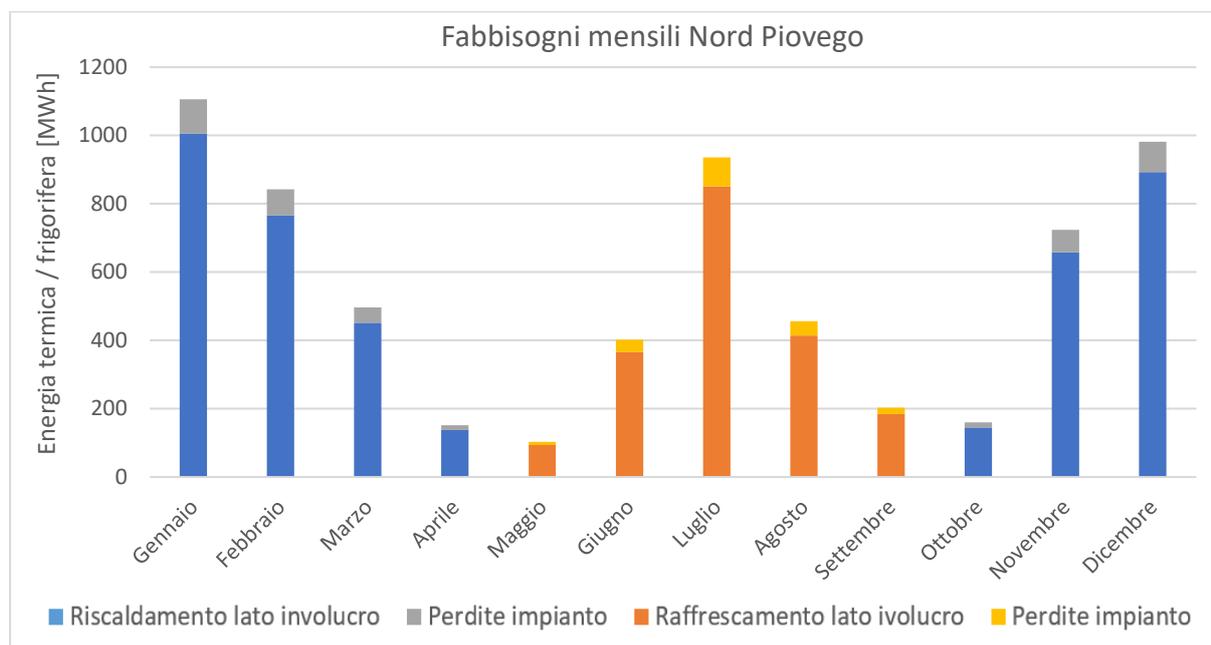


Figura 146: Fabbisogni mensili complesso "Nord Piovego", comprensivi di rendimento d'impianto

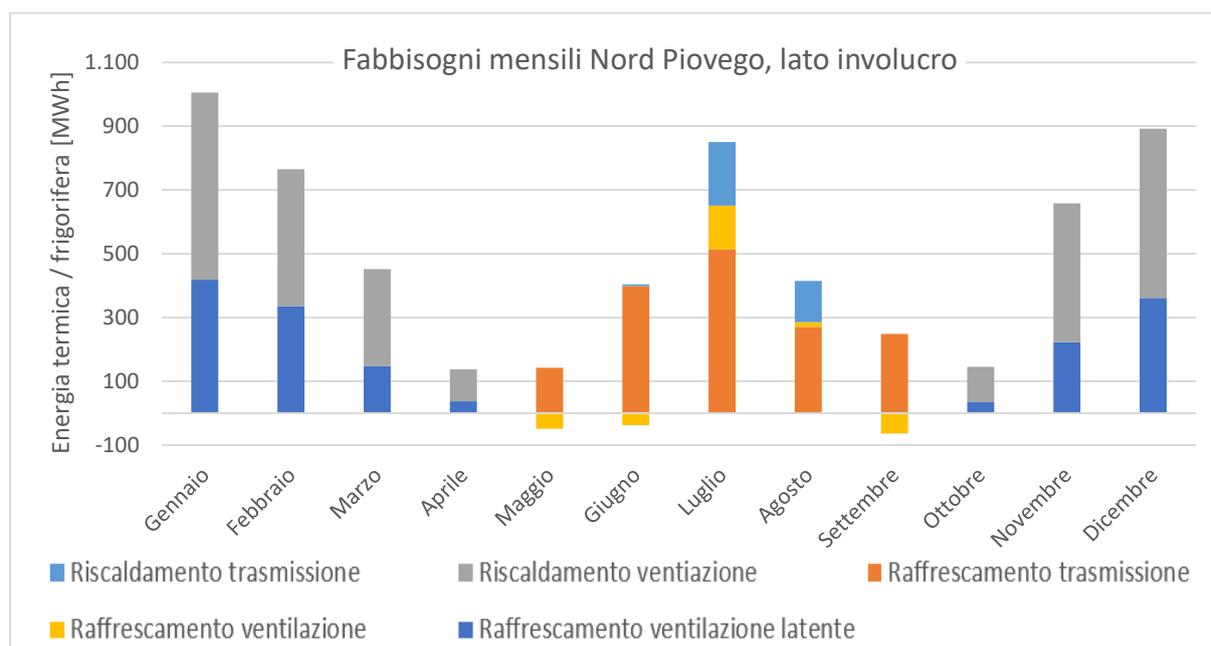


Figura 147: Fabbisogno mensili complessi "Nord Piovego", lato involucro

L'analisi dei fabbisogni mensili offre numerosi spunti. Nella stagione invernale si vede come il massimo si abbia in corrispondenza di gennaio, mese in cui le temperature sono più rigide, inoltre le chiusure natalizie influenzano meno questo mese rispetto a dicembre in cui, per dieci giorni, interi edifici sono chiusi, ciò spiega la notevole differenza tra i due mesi considerati. Febbraio presenta un valore particolarmente elevato per la ridotta, se non del tutto assente, attività di didattica nel complesso che provoca una drastica diminuzione degli apporti gratuiti dovuti ai carichi interni. Il valore particolarmente basso di ottobre e aprile è dovuto al fatto che questi mesi sono i più caldi tra quelli in cui è attivo il riscaldamento sia per il fatto che in questi gli impianti sono attivi per sole due settimane, domeniche escluse. Nella stagione estiva è invece interessante notare che ad agosto la chiusura di tutte le strutture a parte il Vallisneri per due settimane induce il fabbisogno complessivo di questo mese ad essere molto simile a quello di giugno nonostante questo presenti valori molto più ridotti di temperatura e umidità specifica dell'aria. In tutte queste considerazioni si deve ricordare che gli squilibri legati allo schedule imposto, basato sull'attività dell'ateneo, sono mitigati dal fatto che il complesso di biologia, responsabile di oltre il 50 % del fabbisogno complessivo, ha un'operatività poco variabile durante l'anno. Questo edificio di cui sono stati considerati anche i fabbisogni "notturni" induce invece una distorsione nei valori di ventilazione sensibile nei mesi di agosto e, soprattutto, di luglio per i motivi già descritti.

Sono ora riportati i dati presenti nei due grafici in forma tabellare e ciò permetterà, come fatto per i singoli edifici, di commentare con maggiore precisione i valori assoluti dei fabbisogni:

Tabella 70: Fabbisogni mensili, divisi in contributi, del Nord Piovego

CLA	Fabbisogno Complessivo	Fabbisogno Trasmissione	Fabbisogno ventilazione sensibile	Fabbisogno ventilazione latente	Perdite Impianto
Mese	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
Gennaio	1107	419	587	0	101
Febbraio	843	336	430	0	77
Marzo	497	147	305	0	45
Aprile	151	37	101	0	14
Maggio	103	142	-49	0	9
Giugno	402	399	-38	5	37
<b>Luglio</b>	<b>936</b>	<b>514</b>	<b>137</b>	<b>199</b>	<b>85</b>
<b>Agosto</b>	<b>456</b>	<b>271</b>	<b>15</b>	<b>129</b>	<b>42</b>
Settembre	203	249	-64	0	18
Ottobre	160	34	111	0	15
Novembre	724	222	436	0	66
Dicembre	982	362	531	0	89
Stag. Riscald.	4464	1557	2501	0	407
<b>Stag.Raffresc.</b>	<b>2100</b>	<b>1575</b>	<b>1</b>	<b>333</b>	<b>191</b>

\*Il complessivo può differire di un'unità dalla somma dei contributi per gli arrotondamenti

\*\* I valori in grassetto comprendono anche il funzionamento "notturno"

I valori che più catturano più l'attenzione tra i valori mensili sono quelli dei mesi più freddi, dicembre e gennaio, e quello più caldo: gennaio supera 1.1 TWh, solo il fabbisogno lato involucro supera 1 TWh, dicembre comprensivo di impianto si avvicina quest'ultimo valore così come luglio.

### Capitolo 3. Definizione dei fabbisogni degli edifici

Passando al commento sui valori delle stagioni di riscaldamento e raffrescamento è interessante valutare i fattori che contribuiscono a costituire il fabbisogno complessivo: in quella invernale si ha che la ventilazione richiede un apporto energetico molto superiore a quello definito per trasmissione, il 62 % della richiesta di energia termica lato involucro. Nella stagione estiva succede l'opposto, ciò è dovuto anche al fatto che i carichi solari e interni in dipendenza dalla stagione sono un contributo positivo o negativo al mantenimento delle condizioni di set point, inoltre il free cooling delle stagioni più fresche ed il funzionamento continuato nell'alta stagione estiva del Vallisneri abbattano i consumi dovuti alla componente sensibile della ventilazione. Questa è ridotta ad 1 MWh, che se rapportato agli altri valori e considerate le incertezze nel processo di determinazione del valore, rappresenta praticamente un contributo neutro. Il calore latente legato alla ventilazione è invece consistente rappresenta infatti più del 21 % del fabbisogno lato involucro. Dal confronto tra le due stagioni si nota come l'energia termica richiesta è più del doppio di quella frigorifera.

#### 3.4.2. Fabbisogni medi orari

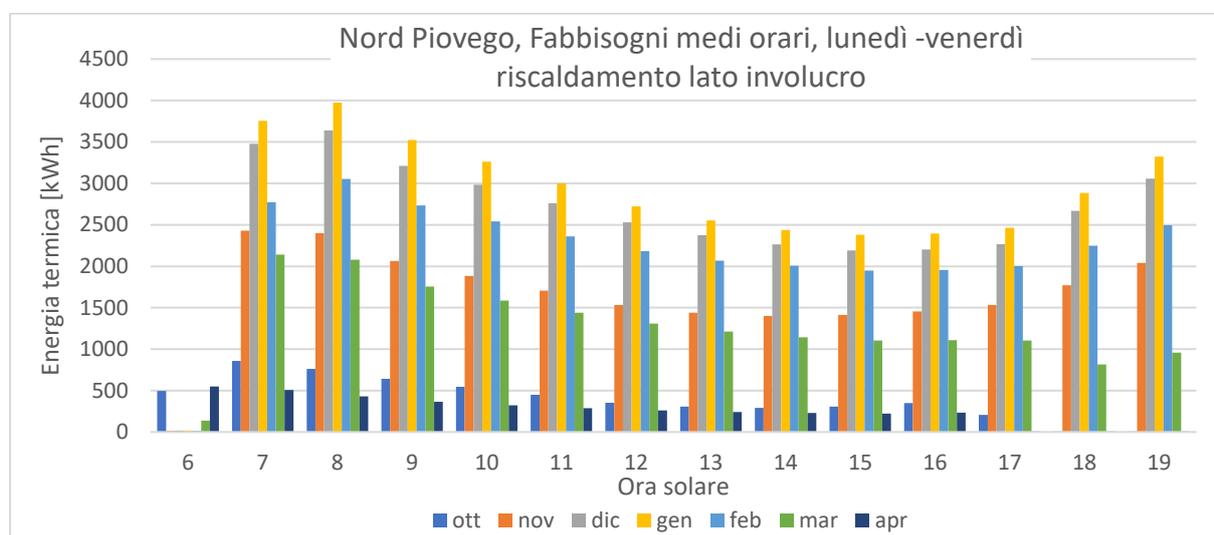


Figura 148: Nord Piovego fabbisogni orari medi mensili di raffrescamento lato involucro giorni dal lunedì al venerdì

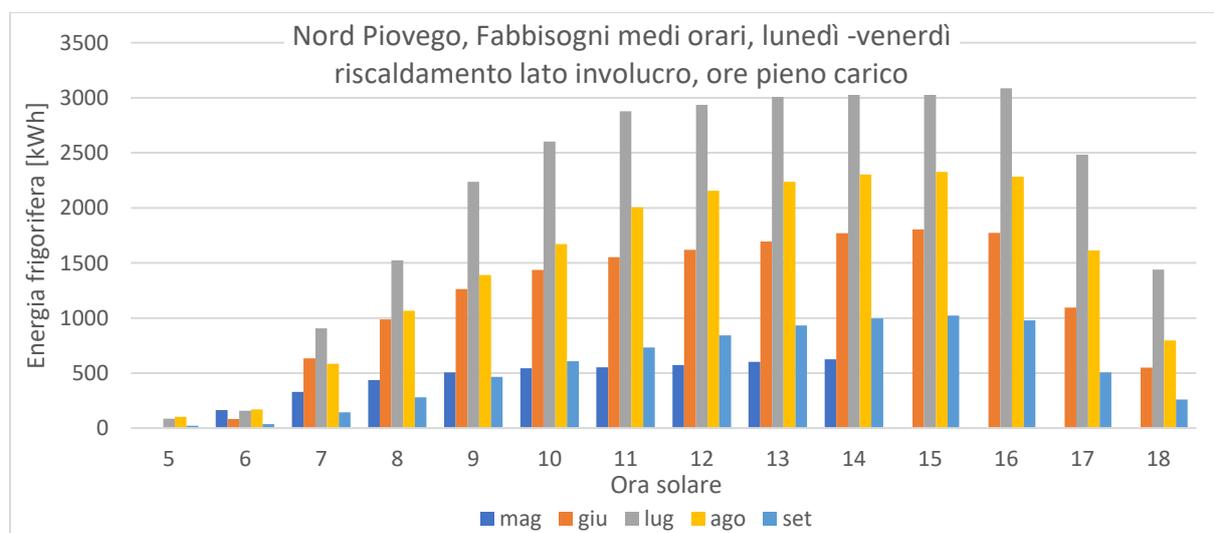
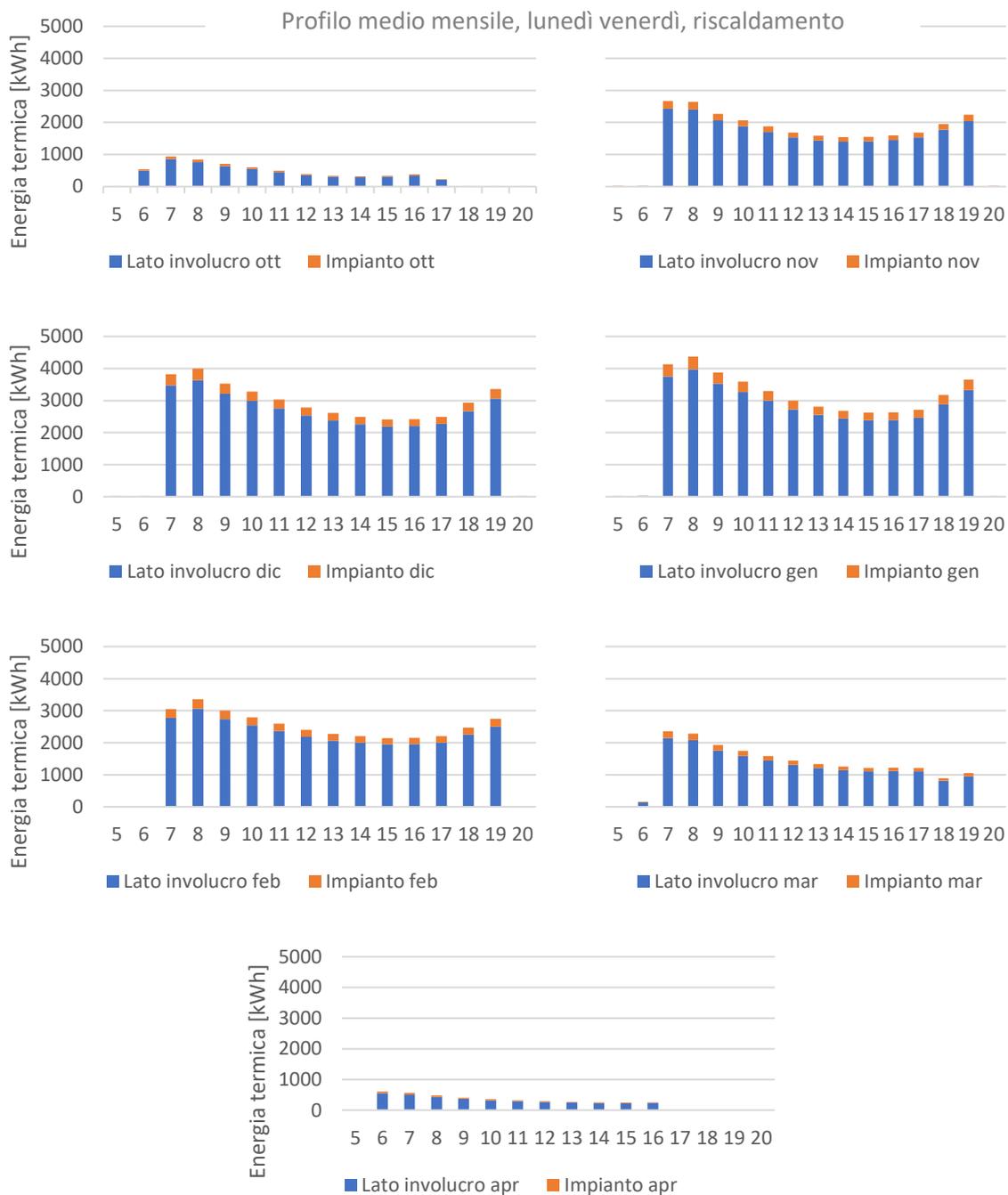


Figura 149: Nord Piovego fabbisogni orari medi mensili di raffrescamento lato involucro, giorni dal lunedì al venerdì, ore pieno carico

Come fatto per i singoli edifici i fabbisogni medi orari mostrati solo quelli dei giorni dal lunedì al venerdì, nel regime invernale la richiesta di energia termica al di fuori delle ore di funzionamento della centrale termica sarebbe solamente quello relativo allo stabulario di psicologia 1 attivo tutte le ore dell'anno ma di impatto estremamente ridotto, si precisa che questo è attivo anche nella stagione estiva ma anche in questa deve essere riscaldato nelle ore notturne per mantenere la temperatura di set point a 30 °C, il conteggio di questo ambiente è quindi del tutto particolare..

Figura 150: Nord Piovego, fabbisogni medi orari lunedì venerdì, dettaglio mensile riscaldamento (ora solare)



### Capitolo 3. Definizione dei fabbisogni degli edifici

Figura 151: Nord Piovego, fabbisogni medi orari lunedì venerdì, dettaglio mensile riscaldamento lato involucro (ora solare)

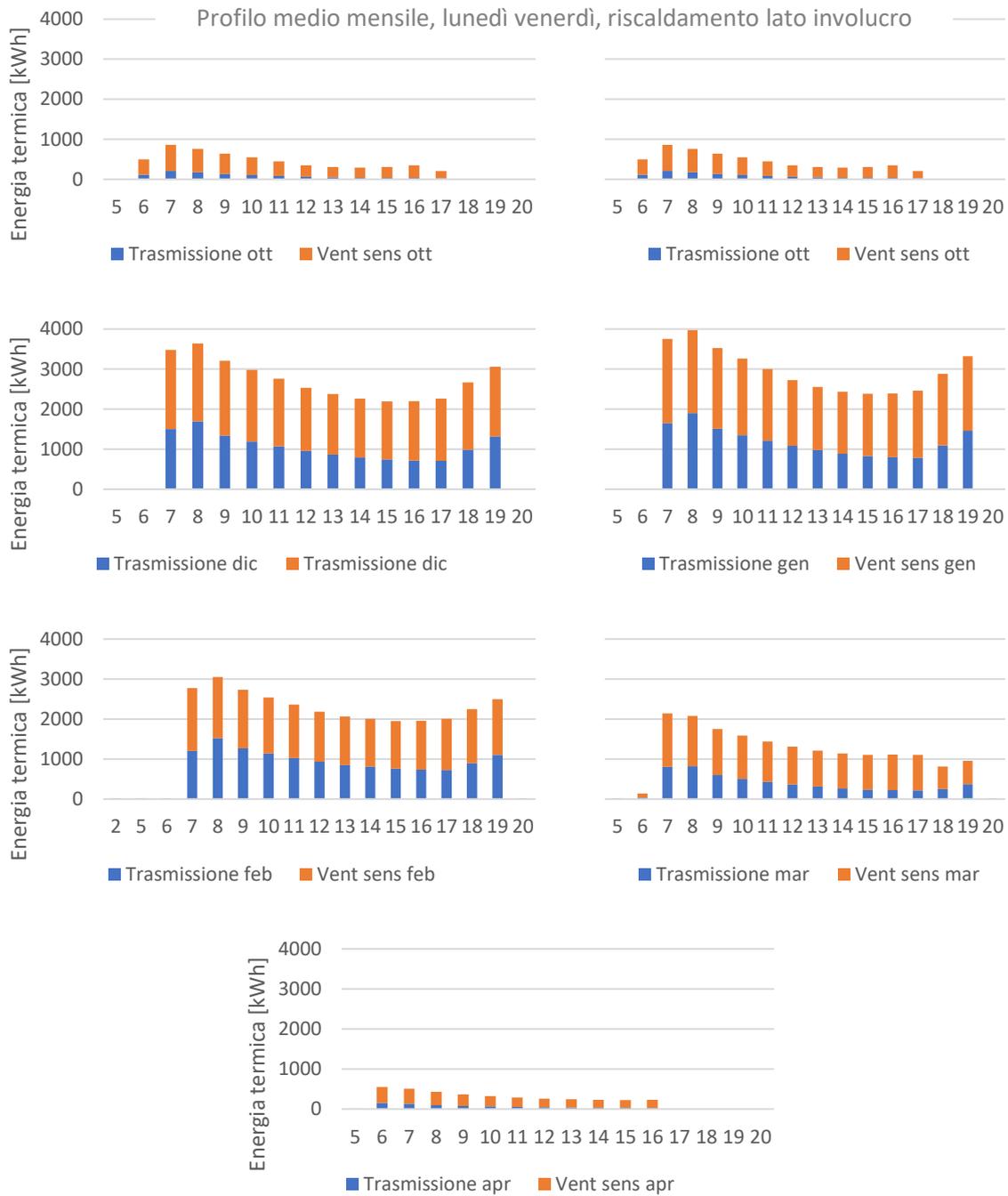


Figura 152: Nord Piovego, fabbisogni medi orari lunedì venerdì, dettaglio mensile raffrescamento (ora solare)



### Capitolo 3. Definizione dei fabbisogni degli edifici

Figura 153: Nord Piovego, fabbisogni medi orari sabati, dettaglio mensile riscaldamento (ora solare)

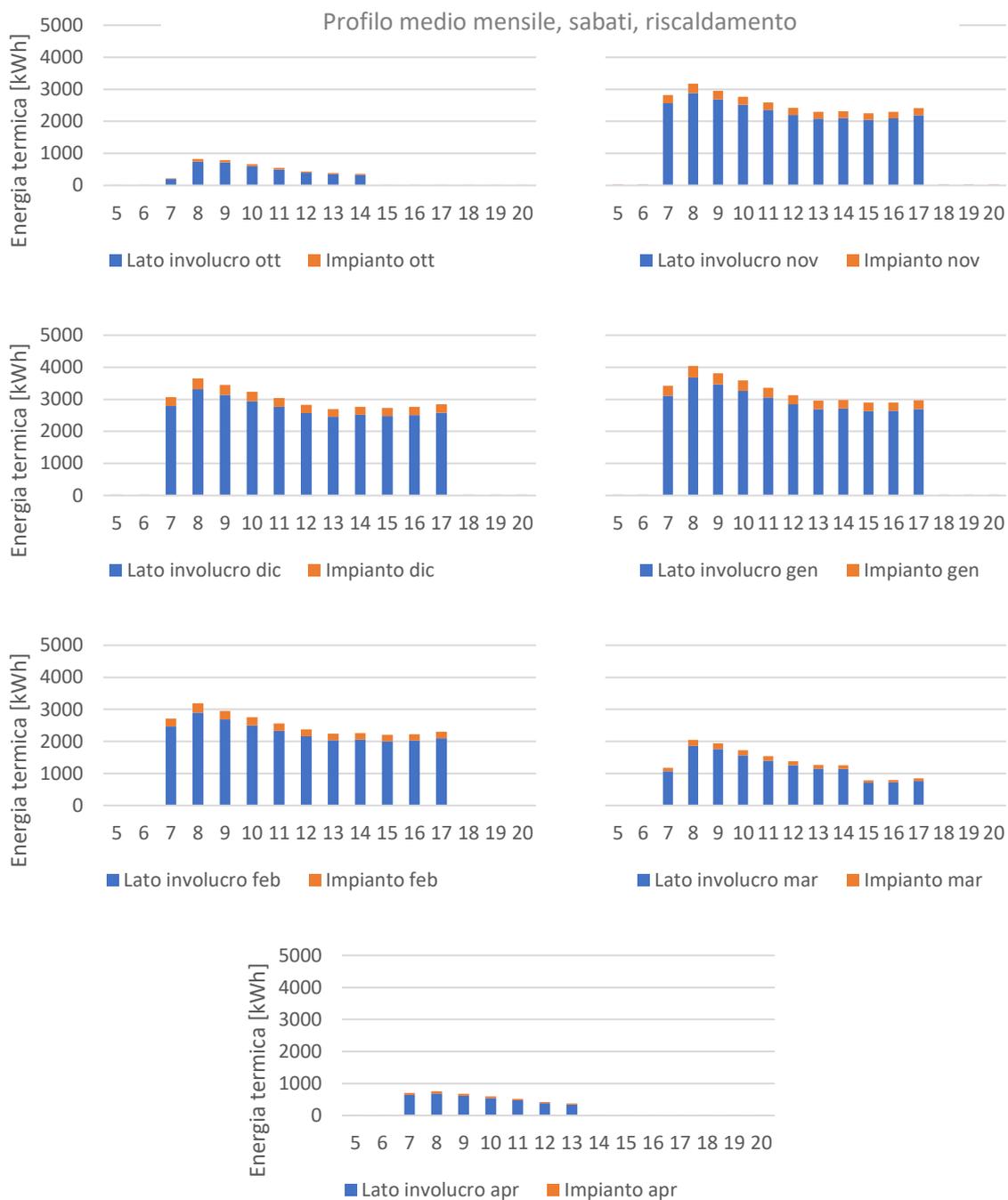
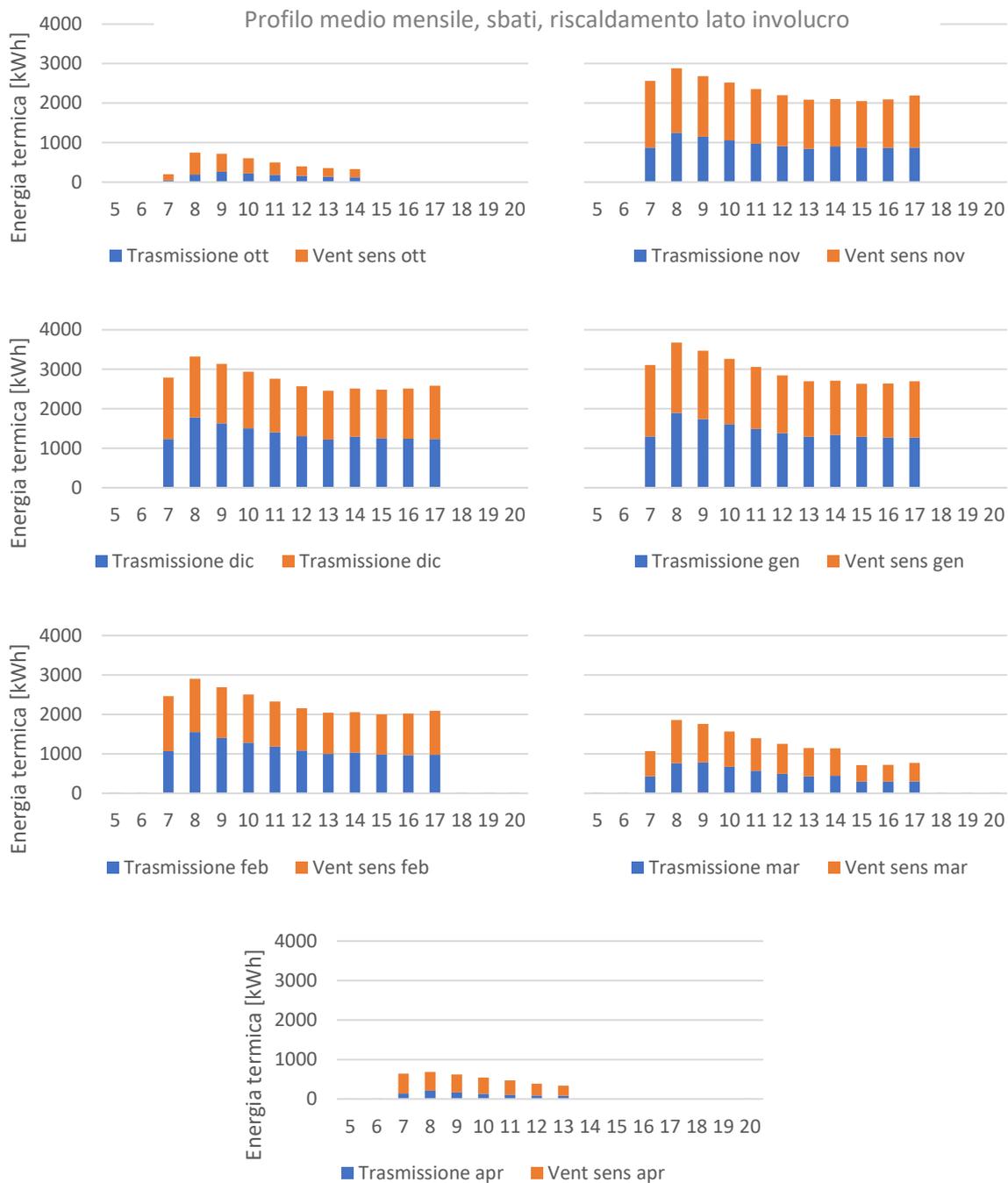
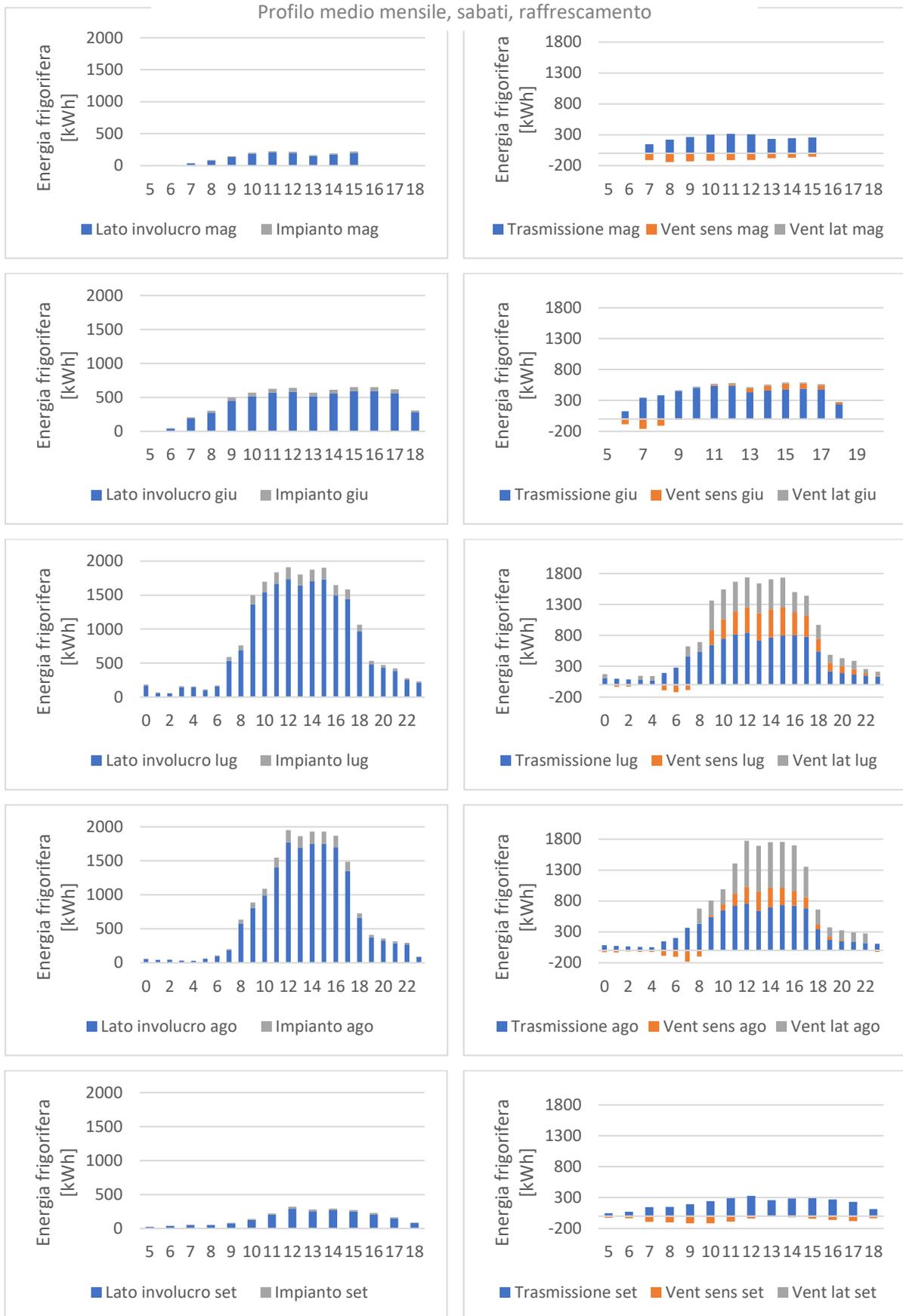


Figura 154: Nord Piovego, fabbisogni medi orari sabati, dettaglio mensile riscaldamento lato involucro (ora solare)



### Capitolo 3. Definizione dei fabbisogni degli edifici

Figura 155: Nord Piovego, fabbisogni medi orari sabati, dettaglio mensile raffrescamento (ora solare)



3.4.3. Fabbisogni rete e macchine autonome

A completamento della presentazione dei fabbisogni è mostrata la divisione di questi in quelli attribuiti alle reti e quelli attribuiti a sistemi integrativi. I primi sono di particolare interesse perché sono la base del prossimo capitolo. Inizialmente sono mostrati i fabbisogni complessivi con l'indicazione dei contributi dei vari edifici al totale in modo da permettere al lettore quale sia l'influenza sul complessivo delle due modalità di fornitura di energia termica e frigorifera. I valori presentati sono comprensivi delle perdite d'impianto.

Tabella 71: Fabbisogni mensili degli edifici dell'area "Nord Piovego"

FAB	DIM A	DIM B	DIM CD	DIM E	PSI 1	PSI 2	CLA	U.B.	VALLIS	TOT
Mese	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
Gen	76	103	91	31	69	61	52	54	570	1106
Feb	56	85	79	23	51	50	54	48	397	842
Mar	36	48	44	14	35	31	28	34	227	497
Apr	9	11	11	3	13	9	8	12	75	151
Mag	4	0	8	3	5	16	9	1	57	103
Giu	24	9	30	11	24	54	42	18	190	402
Lug	63	29	77	27	71	113	43	43	469	936
Ago	24	8	26	9	24	43	18	0	304	456
Set	11	2	12	4	10	29	27	8	98	203
Ott	11	13	14	4	13	9	8	12	75	160
Nov	54	66	65	21	46	39	33	41	359	724
Dic	57	77	69	23	54	43	32	38	590	982

Tabella 72: Ripartizione percentuale dei fabbisogni mensili degli edifici dell'area "Nord Piovego"

FAB%	DIM A	DIM B	DIM CD	DIM E	PSI 1	PSI 2	CLA	U.B.	VALLIS
Mese	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Gen	6.8	9.3	8.2	2.8	6.2	5.5	4.7	4.9	51.5
Feb	6.6	10.1	9.3	2.7	6.0	5.9	6.4	5.7	47.1
Mar	7.3	9.7	8.9	2.9	7.0	6.2	5.7	6.9	45.6
Apr	6.0	7.4	7.6	2.2	8.4	5.6	5.5	7.6	49.7
Mag	4.3	0.4	7.3	2.6	4.6	15.4	9.2	0.9	55.3
Giu	5.9	2.2	7.5	2.8	6.1	13.5	10.5	4.4	47.1
Lug	6.7	3.1	8.3	2.8	7.6	12.1	4.6	4.6	50.2
Ago	5.2	1.9	5.6	2.1	5.3	9.4	4.0	0.0	66.6
Set	5.6	1.0	6.1	2.2	5.1	14.5	13.4	3.8	48.3
Ott	7.0	8.3	9.0	2.3	7.9	5.6	5.2	7.7	47.0
Nov	7.5	9.1	9.0	2.9	6.4	5.4	4.5	5.7	49.5
Dic	5.8	7.8	7.0	2.3	5.5	4.4	3.3	3.8	60.0
% dell'edificio sul fabbisogno totale della stagione									
Risc	6.7	9.0	8.4	2.7	6.3	5.4	4.8	5.4	51.4
Raf	6.0	2.3	7.3	2.6	6.4	12.2	6.7	3.3	53.2

\*Nei valori estivi non è conteggiato lo stabulario di Psicologia 1 perché distorcerebbe i valori dal momento che esso richiede riscaldamento e non raffrescamento.

### Capitolo 3. Definizione dei fabbisogni degli edifici

Le figure 156 e 157 forniscono le informazioni delle tabelle in forma grafica:

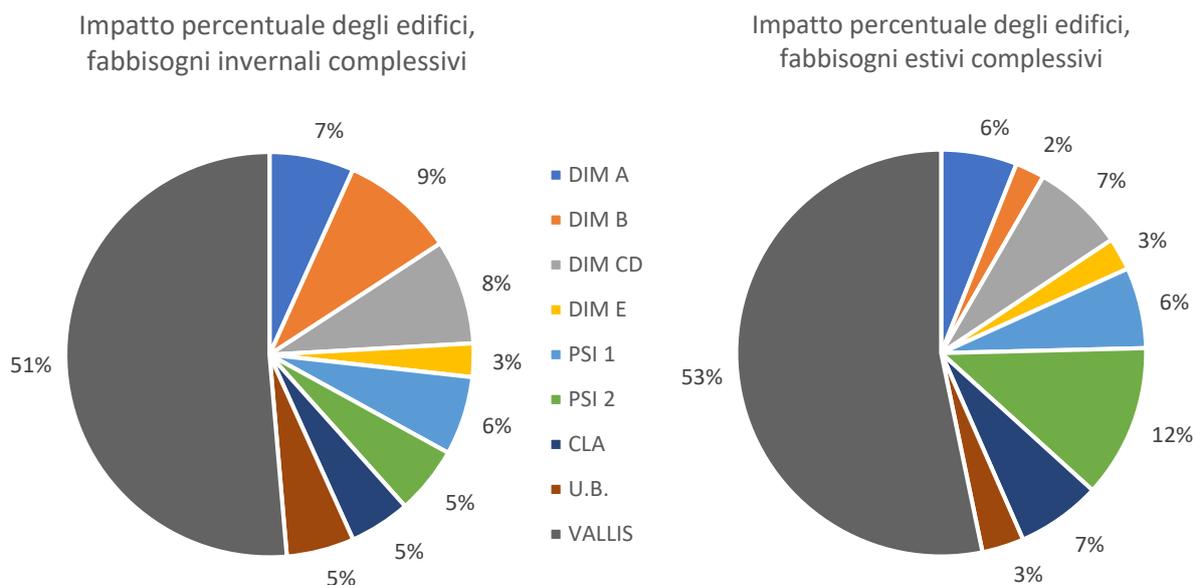


Figura 156: Diagramma ad anello dell’impatto percentuale degli edifici nella stagione di riscaldamento

Figura 157: Diagramma ad anello dell’impatto percentuale nella stagione di raffrescamento

La forma grafica mette in risalto lo squilibrio nella suddivisione del fabbisogno nei vari edifici più volte sottolineata nel corso della trattazione, il solo Vallisneri infatti copre più del 50 % del fabbisogno in entrambe le stagioni. Per quanto riguarda gli altri edifici si commentano solo il comportamento degli edifici oggetto di analisi di questo elaborato per gli altri si rimanda alla tesi di Edoardo Gazzea. Si vede che il fabbisogno di riscaldamento delle aule Bassi è simile a quello del CLA, nella stagione estiva invece il CLA richiede una maggior raffrescamento soprattutto a causa del fatto che resta attivo 15 giorni in più. Il fabbisogno percentuale del complesso di Biologia sul totale è leggermente maggiore d’estate ma comunque poco variabile. A completamento delle tabelle è inserito il grafico 158 in cui per zona ovest si intende la somma di Vallisneri ed aule Ugo Bassi, per DIM l’insieme dei corpi che lo compongono e per zona est gli edifici della cittadella dello studente, Psicologia 1, Psicologia 2 e il CLA.

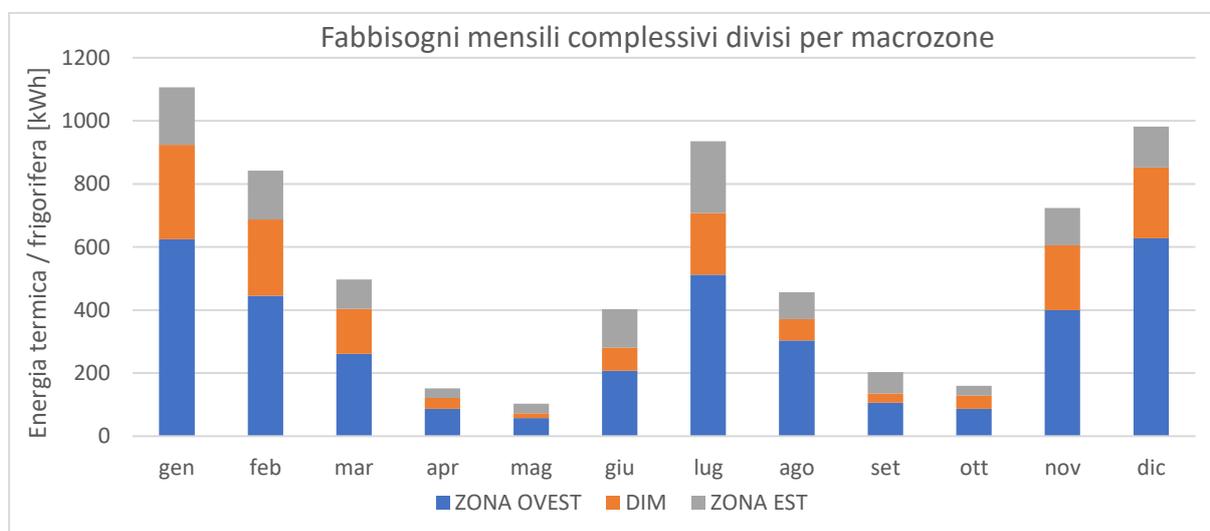


Figura 158: Divisione in macrozona dei fabbisogni mensili del complesso “Nord Piovego”

Si passa ora alla presentazione dei fabbisogni attribuiti rete, l'ordine di presentazione dei dati sarà uguale a quello appena visto.

Tabella 73: Fabbisogni mensili attribuiti alla rete degli edifici dell'area "Nord Piovego"

FAB	DIM A	DIM B	DIM CD	DIM E	PSI 1	PSI 2	CLA	U.B.	VALLIS	TOT
Mese	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
Gen	76	103	91	31	60	61	52	54	570	1097
Feb	56	85	79	23	45	50	54	48	397	837
Mar	36	48	44	14	29	31	28	34	227	491
Apr	9	11	11	3	7	9	8	12	75	146
Mag	4	0	4	3	5	16	9	0	53	94
Giu	23	0	17	11	24	54	42	13	180	365
Lug	61	0	45	25	71	113	43	37	452	848
Ago	23	0	14	9	24	43	18	0	293	424
Set	11	0	6	4	10	29	27	5	92	186
Ott	11	13	14	4	8	9	8	12	75	155
Nov	54	66	65	21	39	39	33	41	359	717
Dic	57	77	69	23	44	43	32	38	590	972

Tabella 74: Impatti percentuali dei fabbisogni mensili attribuiti alla rete degli edifici dell'area "Nord Piovego"

FAB%	DIM A	DIM B	DIM CD	DIM E	PSI 1	PSI 2	CLA	U.B.	VALLIS
Mese	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Gen	6.9	9.4	8.3	2.8	5.5	5.5	4.8	4.9	51.9
Feb	6.7	10.2	9.4	2.7	5.4	6.0	6.5	5.8	47.4
Mar	7.3	9.8	9.0	2.9	5.9	6.2	5.7	6.9	46.1
Apr	6.2	7.7	7.9	2.2	5.1	5.8	5.7	7.9	51.5
Mag	4.7	0.0	4.0	2.8	5.0	16.8	10.1	0.5	56.1
Giu	6.4	0.0	4.7	3.0	6.7	14.9	11.6	3.6	49.3
Lug	7.2	0.0	5.2	3.0	8.4	13.4	5.1	4.4	53.3
Ago	5.4	0.0	3.3	2.1	5.7	10.1	4.3	0.0	69.1
Set	5.9	0.0	3.4	2.4	5.5	15.8	14.6	2.8	49.5
Ott	7.2	8.6	9.3	2.4	5.2	5.8	5.3	7.9	48.4
Nov	7.5	9.2	9.1	2.9	5.5	5.5	4.6	5.8	50.0
Dic	5.9	7.9	7.0	2.4	4.5	4.4	3.3	3.9	60.7
% dell'edificio sul fabbisogno fornito dalle reti della stagione									
Risc	6.8	9.1	8.4	2.7	5.3	5.5	4.9	5.4	51.9
Raf	6.4	0.0	4.5	2.7	7.0	13.3	7.3	2.9	55.8

Si vede come la stagione di riscaldamento sia praticamente invariata, l'unica zona autonoma in questa stagione è infatti lo stabulario di Psicologia 1 e solamente nelle ore di chiusura della centrale. Nella stagione estiva il fattore che determina i cambiamenti sono maggiori e ciò è dovuto al gran numero di sistemi integrativi presenti nel complesso, il DIM-B essendo scollegato dalla rete estiva è l'elemento che maggiormente induce cambiamenti nei valori percentuali dell'impatto dei singoli edifici sul totale. La forma grafica dei dati appena presentati è la seguente:

### Capitolo 3. Definizione dei fabbisogni degli edifici

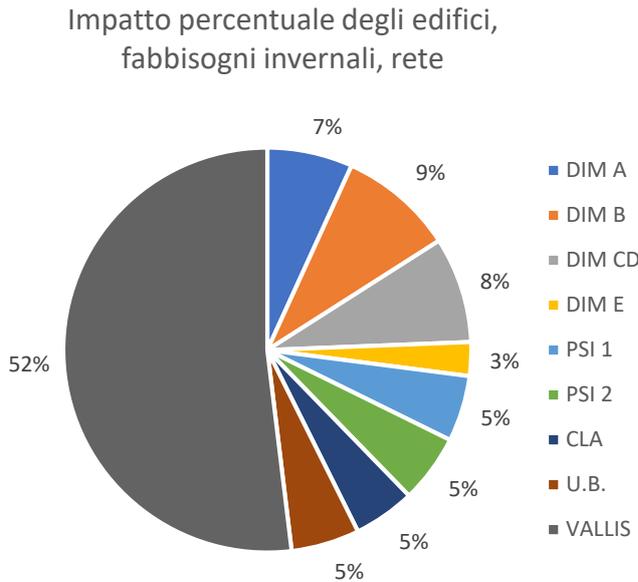


Figura 159: Diagramma ad anello dell’impatto percentuale degli edifici nella stagione di riscaldamento, rete

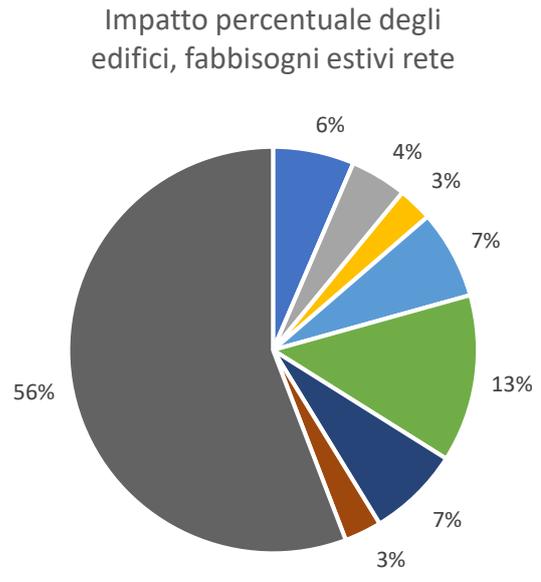


Figura 160: Diagramma ad anello dell’impatto percentuale nella stagione di raffrescamento, rete

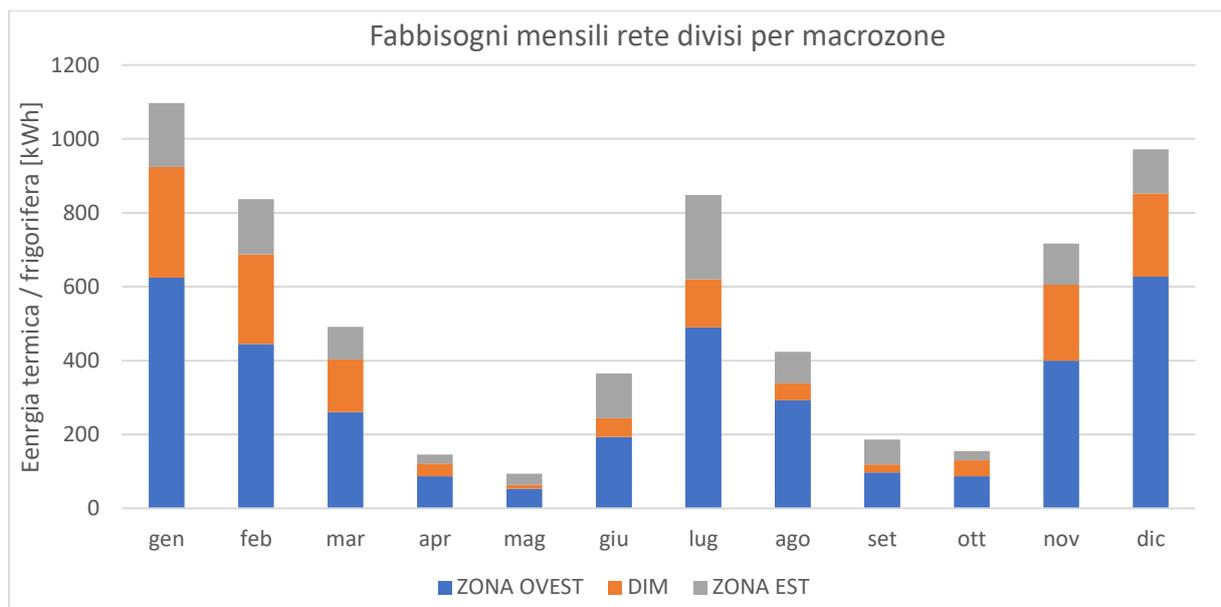
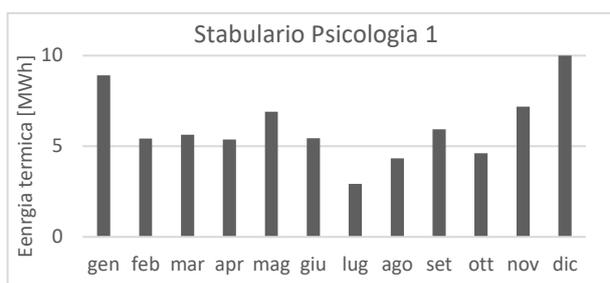


Figura 161: Divisione in macrozone dei fabbisogni mensili del complesso “Nord Piovego”, rete

Adesso verrà illustrato l’ultimo set di dati riguardante le macchine autonome, lo stabulario di psicologia 1 viene presentato con grafici e tabelle dedicate per sottolineare il fatto che esso richiede di essere riscaldato tutto l’anno. Si è deciso di presentare anche i dati relativi allo stabulario sebbene essi non siano di diretto interesse di questo elaborato perché questo ambiente è rappresentativo dell’intero edificio per quanto riguarda i sistemi integrativi. Si ricorda che sono valutati solo le zone valutate da macchine autonome che non siano atte a scopi speciali, per ulteriori informazioni si rimanda al paragrafo 2.3.2. N.C. nelle tabelle 76 e 77 significa che quei fabbisogni non sono stati considerati nella simulazione poiché i sistemi integrativi sono a servizio solamente di zone per scopi speciali.

Tabella 75: Fabbisogni riscaldamento stabulario, \*autonomo nelle ore di spegnimento della centrale termica



Mese	Fab. Risc [MWh]	Mese	Fab. Risc [MWh]
Gen*	9	Lug	3
Feb*	5	Ago	4
Mar*	6	Set	6
Apr*	5	Ott*	5
Mag	7	Nov*	7
Giu	5	Dic*	10

I fabbisogni forniti dai sistemi integrativi degli altri edifici sono:

Tabella 76: Fabbisogni mensili attribuiti ai sistemi integrativi degli edifici dell'area "Nord Piovego"

FAB	DIM A	DIM B	DIM CD	DIM E	PSI 2	CLA	U.B.	VALLIS	TOT senza Psico 1
Mese	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
Gen	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	0	N.C.	N.C.
Feb	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	0	N.C.	N.C.
Mar	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	0	N.C.	N.C.
Apr	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	0	N.C.	N.C.
Mag	0	0	4	0	N.C.	N.C.	1	4	9
Giu	0	9	13	0	N.C.	N.C.	5	10	37
Lug	2	29	33	1	N.C.	N.C.	6	17	88
Ago	1	8	12	0	N.C.	N.C.	0	11	33
Set	0	2	6	0	N.C.	N.C.	2	6	17
Ott	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	0	N.C.	N.C.
Nov	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	0	N.C.	N.C.
Dic	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	0	N.C.	N.C.

Tabella 77: Impatti percentuali dei fabbisogni mensili attribuiti ai sistemi integrativi degli edifici dell'area "Nord Piovego"

FAB%	DIM A	DIM B	DIM CD	DIM E	PSI 2	CLA	U.B.	VALLIS
Mese	%	%	%	%	%	%	%	%
Gen	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	0	N.C.
Feb	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	0	N.C.
Mar	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	0	N.C.
Apr	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	0	N.C.
Mag	0.0%	4.8%	41.8%	0.0%	N.C.	N.C.	5.7%	47.7%
Giu	1.2%	23.3%	35.7%	0.8%	N.C.	N.C.	12.9%	26.2%
Lug	2.6%	32.6%	37.1%	1.6%	N.C.	N.C.	6.3%	19.7%
Ago	2.3%	25.9%	36.1%	1.3%	N.C.	N.C.	0.0%	34.5%
Set	1.5%	11.9%	36.5%	0.3%	N.C.	N.C.	14.6%	35.3%
Ott	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	0	N.C.
Nov	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	0	N.C.
Dic.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	0	N.C.
% dell'edificio sul fabbisogno fornito dalle reti della stagione								
Raf	2.0%	26.3%	36.8%	1.2%	N.C.	N.C.	7.2%	26.4%

### Capitolo 3. Definizione dei fabbisogni degli edifici

Si passa ora alla rappresentazione grafica dei dati precedentemente presentati in forma tabellare.

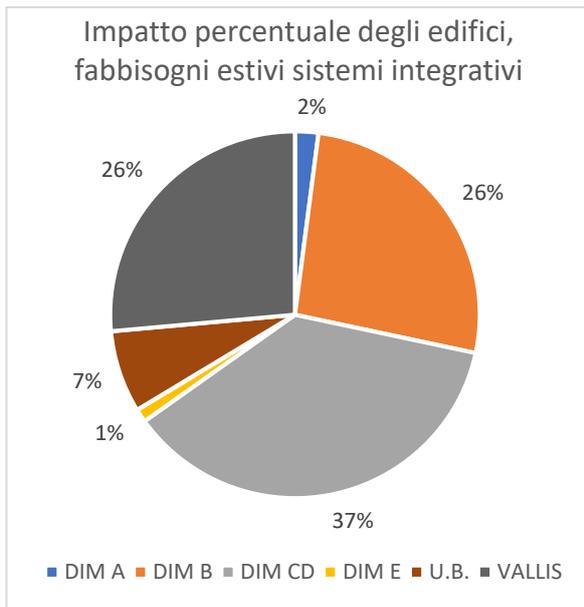


Figura 162: Diagramma ad anello dell'impatto percentuale nella stagione di raffrescamento, sistemi integrativi

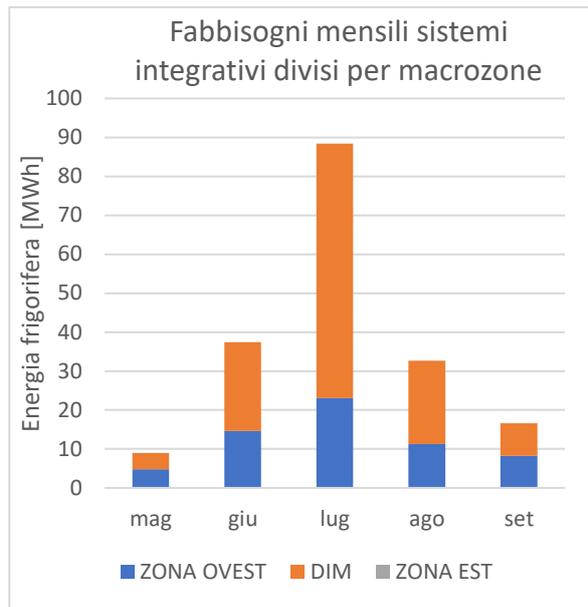


Figura 163: Divisione in macrozona dei fabbisogni mensili del complesso "Nord Piovego", sistemi integrativi

Come era prevedibile dalle informazioni fornite nella presentazione degli edifici, il DIM-B e C-D sono i protagonisti di questa sezione, il primo completamente autonomo il secondo ha un'intera facciata, la sud, servita da sistemi integrativi oltre all'aula di disegno. Il complesso di biologia con lo Stabulario e il piano terra delle aule Bassi sono le altre voci in ordine di importanza in questa categoria, a cui in maniera molto ridotta contribuiscono anche il DIM-A ed E. Si ricorda che nella simulazione non è stato però inserito il piano interrato del Vallisneri, che quindi avrebbe visto aumentato il suo peso nel complessivo se si fosse tenuto conto di questo ambiente. In ogni caso essendo questo piano appunto interrato e comprendendo i locali termici, soggetti a perdite termiche che quindi lo vanno a raffrescare d'estate e riscaldare d'inverno avrebbe comunque un'impatto limitato.

Si ricorda in chiusura al paragrafo che i fabbisogni mostrati, sia i complessivi che quelli riferiti a rete e macchine autonome, sono le richieste di energia termica e frigorifera degli edifici al fine di mantenere le condizioni di set point, non è detto che questi siano pienamente soddisfatti. Questo aspetto verrà approfondito nel capitolo 4.

#### 3.5. Fabbisogni complessivi riferiti al TRY

Si illustrano i fabbisogni dell'intero complesso riferiti al Test Reference Year, si ricorda che il TRY utilizzato per la simulazione si basano sulle medie dei dati raccolti nel ventennio dal 1951 al 1970 relativi a Venezia, Tessera. Si intuisce quindi come questi valori si riferiscano ad un periodo caratterizzato da temperature mediamente più basse di quelli che si hanno negli ultimi anni, di questo si è già avuto prova dall'analisi nel paragrafo 2.2 nelle differenze dei dati climatici locali e relativi al periodo 2015/2016 in cui si notava come le temperature fossero più alte sia d'inverno sia e più marcatamente nel periodo estivo. Tutte queste considerazioni anticipano di fatto che i fabbisogni riferiti al TRY presenteranno valori più alti, tranne nei mesi di novembre e dicembre, rispetto a quelli precedentemente mostrati. Dei valori riferiti ai dati di

### Capitolo 3. Definizione dei fabbisogni degli edifici

Tessera verranno presentati solo quelli relativi ai fabbisogni complessivi, la trattazione manterrà lo stesso ordine usato in precedenza.

Tabella 78: Fabbisogni mensili degli edifici dell'area "Nord Piovego", riferiti a Venezia, Tessera

FAB	DIM A	DIM B	DIM CD	DIM E	PSI 1	PSI 2	CLA	U.B.	VALLIS	TOT
Mese	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
Gen	78	106	93	32	71	61	54	54	587	1136
Feb	72	109	101	29	65	63	69	62	506	1076
Mar	46	61	56	18	44	39	36	43	288	631
Apr	9	11	12	3	13	9	8	11	76	152
Mag	2	0	3	1	2	8	4	0	29	49
Giu	16	7	20	8	17	36	34	26	163	328
Lug	35	17	41	15	36	63	30	28	311	578
Ago	17	6	18	7	17	31	16	0	219	332
Set	8	1	8	3	7	20	19	10	71	147
Ott	12	14	15	4	13	10	9	13	80	170
Nov	49	60	59	19	42	35	30	37	336	667
Dic.	55	74	66	22	52	40	31	34	566	941

Tabella 79: Impatto percentuale dei fabbisogni mensili degli edifici dell'area "Nord Piovego", riferiti a Venezia, Tessera

FAB%	DIM A	DIM B	DIM CD	DIM E	PSI 1	PSI 2	CLA	U.B.	VALLIS
Mese	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Gen	6.8%	9.3%	8.2%	2.8%	6.2%	5.4%	4.7%	4.8%	51.7%
Feb	6.7%	10.1%	9.4%	2.7%	6.0%	5.8%	6.4%	5.7%	47.1%
Mar	7.3%	9.7%	8.9%	2.9%	7.0%	6.1%	5.7%	6.7%	45.7%
Apr	6.0%	7.4%	7.6%	2.2%	8.4%	5.6%	5.5%	7.3%	50.1%
Mag	3.5%	0.5%	5.9%	2.9%	3.2%	15.7%	8.8%	0.9%	58.7%
Giu	4.9%	2.0%	6.2%	2.3%	5.2%	11.1%	10.5%	8.0%	49.7%
Lug	6.1%	2.9%	7.1%	2.7%	6.2%	10.9%	5.3%	4.9%	53.9%
Ago	5.2%	1.9%	5.5%	2.1%	5.2%	9.3%	4.7%	0.0%	66.1%
Set	5.3%	1.0%	5.5%	2.1%	4.6%	13.6%	13.1%	7.0%	47.8%
Ott	7.0%	8.4%	9.0%	2.3%	7.9%	5.6%	5.2%	7.5%	47.0%
Nov	7.4%	9.0%	8.8%	2.8%	6.3%	5.3%	4.5%	5.6%	50.3%
Dic.	5.8%	7.8%	7.0%	2.3%	5.5%	4.3%	3.3%	3.7%	60.2%
% dell'edificio sul fabbisogno totale della stagione									
Risc	6.7%	9.1%	8.4%	2.7%	6.3%	5.4%	5.0%	5.3%	51.1%
Raf	5.5%	2.2%	6.3%	2.4%	5.5%	11.0%	7.3%	4.6%	55.3%

\*Nei valori estivi non è conteggiato lo stabulario di Psicologia 1 perché distorcerebbe i valori dal momento che esso richiede riscaldamento e non raffrescamento.

### Capitolo 3. Definizione dei fabbisogni degli edifici

La forma grafica della precedente tabella è la seguente:

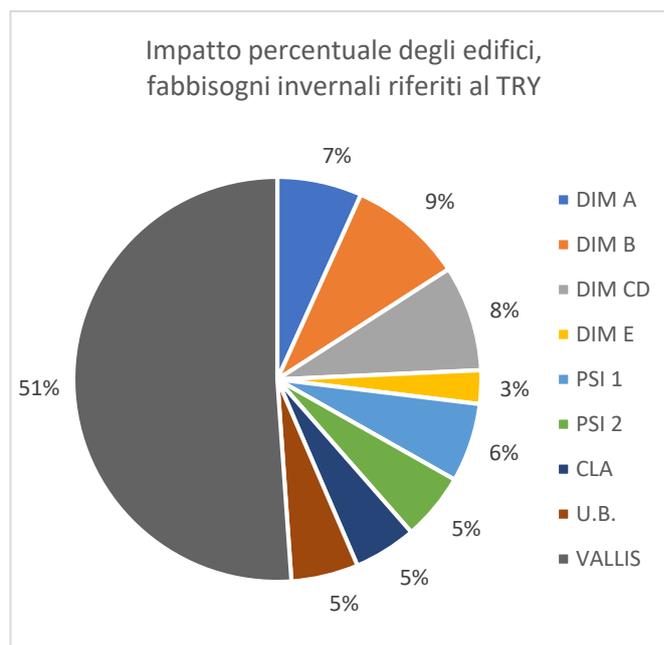


Figura 164: Diagramma ad anello dell'impatto percentuale degli edifici nella stagione di riscaldamento, Tesserà

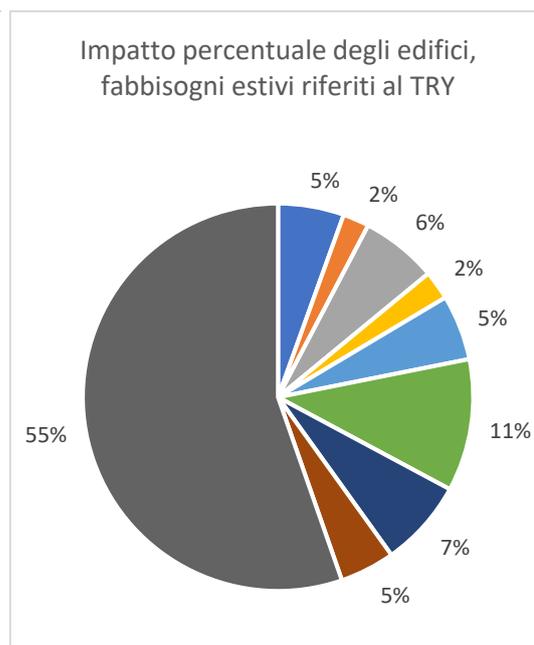


Figura 165: Diagramma ad anello dell'impatto percentuale nella stagione di raffrescamento, Tesserà

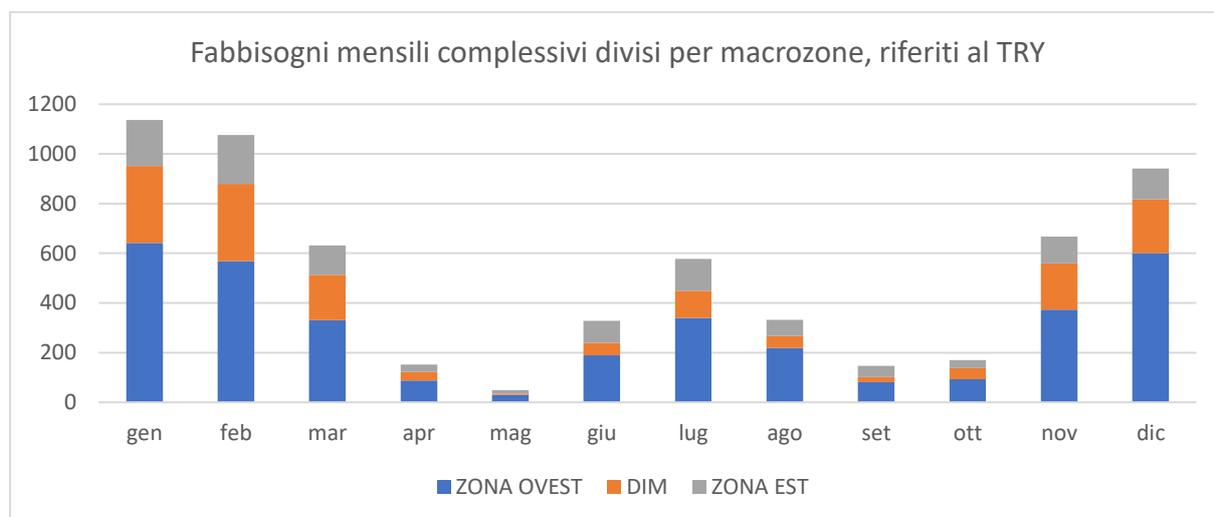


Figura 166: Divisione in macrozone dei fabbisogni mensili del complesso "Nord Piovego", Tesserà

L'impatto percentuale degli edifici nel fabbisogno totale non varia molto utilizzando i due diversi dati climatici, gli invernali si dimostrano infatti praticamente immutati per gli estivi le differenze sono contenute attorno al punto percentuale, solo il Vallisneri supera il 2% di differenza. Se le variazioni nei valori assoluti del periodo invernale erano intuibili visti i rapporti dei gradi giorno presentati dai quali derivano direttamente i fabbisogni ai dati climatici locali a partire da quelli riferiti al TRY, quelle dei valori estivi come si è visto nel paragrafo 2.2, sono conseguenza di un processo più complesso. I risultati a cui la normalizzazione ha condotto mostrano infatti un cambiamento notevole tra i due set di dati climatici, quelli del TRY sono infatti ormai datati, soprattutto quelli del valore estivo, non sorprende quindi che tutti i mesi presentino un valore di fabbisogno decisamente inferiore in questi mesi.

#### 4. LE RETI DI TELERISCALDAMENTO E TELERAFFRESCAMENTO

##### 4.1. La rete di teleriscaldamento

In questo capitolo saranno forniti i risultati della simulazione dinamica ottenuti a partire dal modello di Laura Colpo, modificato secondo le indicazioni fornite nel paragrafo 2.2.2. La revisione dei rendimenti di rete, come già anticipato nelle sezioni precedenti dello scritto, si è resa necessaria alla luce della correzione dei fabbisogni degli edifici e delle nuove informazioni sulle modalità di gestione della rete, in particolare della temperatura d'esercizio, questa infatti influenza direttamente le perdite a regime. Un impatto indiretto sui fabbisogni è invece dato dalla scelta di simulare lo spegnimento della centrale un'ora prima delle sottostazioni, questo provoca uno sfruttamento dell'inerzia termica della rete con conseguente calo di temperatura della stessa e quindi un minor scambio termico con l'ambiente nelle ore di chiusura della centrale termica oltre al fatto che non tutti i fabbisogni si vedono soddisfatti.

##### 4.1.1. Rendimenti di rete e di generazione

In questa sezione saranno forniti i dati indicati nel titolo del paragrafo, dal momento che i consumi di gas naturale sono noti, determinati secondo quanto illustrato nella sezione 2.1.1, conoscendo tutta la catena dei rendimenti e fabbisogni sino alla centrale termica si può agevolmente determinare il rendimento di generazione. I risultati ottenuti sono i seguenti:

*Tabella 80: Risultati simulazione rete teleriscaldamento*

Mese	Consumo Gas Naturale	Fabbisogno Servito lato involucro + impianto + rete	Perdite rete telerisc.	Fabbisogno Servito lato involucro +impianto	Fabbisogno Servito* lato involucro	Fabbisogno NON Soddisfatto	Fabbisogno lato involucro
	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
Gen	1419	1176	139	1037	943	60	998
Feb	1113	929	131	798	726	39	761
Mar	660	600	122	478	434	13	447
Apr	202	193	48	145	132	1	133
Ott	237	215	60	155	141	0	141
Nov	952	818	131	687	624	30	652
Dic	1301	1061	138	923	839	49	883
<b>Anno</b>	<b>5884</b>	<b>4991</b>	<b>769</b>	<b>4222</b>	<b>3839</b>	<b>192</b>	<b>4014</b>

\*I fabbisogni lato involucro serviti sono stati ricalcolati a partire da quelli serviti comprensivi di impianto

Tabella 81: Rendimenti sistema teleriscaldamento

Mese	%NON SODDIS	Rendimento % di impianto	Rendimento % Rete telerisc.	Rendimento % di generazione	Rendimento % del sistema di riscaldamento
<b>Gennaio</b>	5.8%	90.9%	88.2%	82.9%	66.4%
<b>Febbraio</b>	4.8%	90.9%	85.9%	83.4%	65.2%
<b>Marzo</b>	2.8%	90.9%	79.6%	91.0%	65.9%
<b>Aprile</b>	0.7%	90.9%	75.0%	95.7%	65.3%
<b>Ottobre</b>	0.3%	90.9%	72.1%	90.5%	59.3%
<b>Novembre</b>	4.4%	90.9%	84.0%	85.9%	65.6%
<b>Dicembre</b>	5.3%	90.9%	87.0%	81.5%	64.5%
<b>Anno</b>	4.6%	90.9%	84.6%	84.8%	65.2%
	<b>Perdite</b>	9.1%	15.4%	15.2%	34.8%

I fabbisogni non serviti sono dovuti allo spegnimento della centrale termica rispetto alle sottostazioni e non al fatto che gli scambiatori non riescano a trasferire il calore richiesto per una temperatura di rete in mandata troppo bassa. In TRNSYS non è stata impostata la potenza nominale degli scambiatori, si è preferito realizzare valutare se questa fosse sufficiente a priori in modo tale da non rallentare il processo di calcolo. Questa analisi sarà presentata nel paragrafo successivo, ora è presentata la ripartizione mensile delle cause dei consumi di gas naturale.

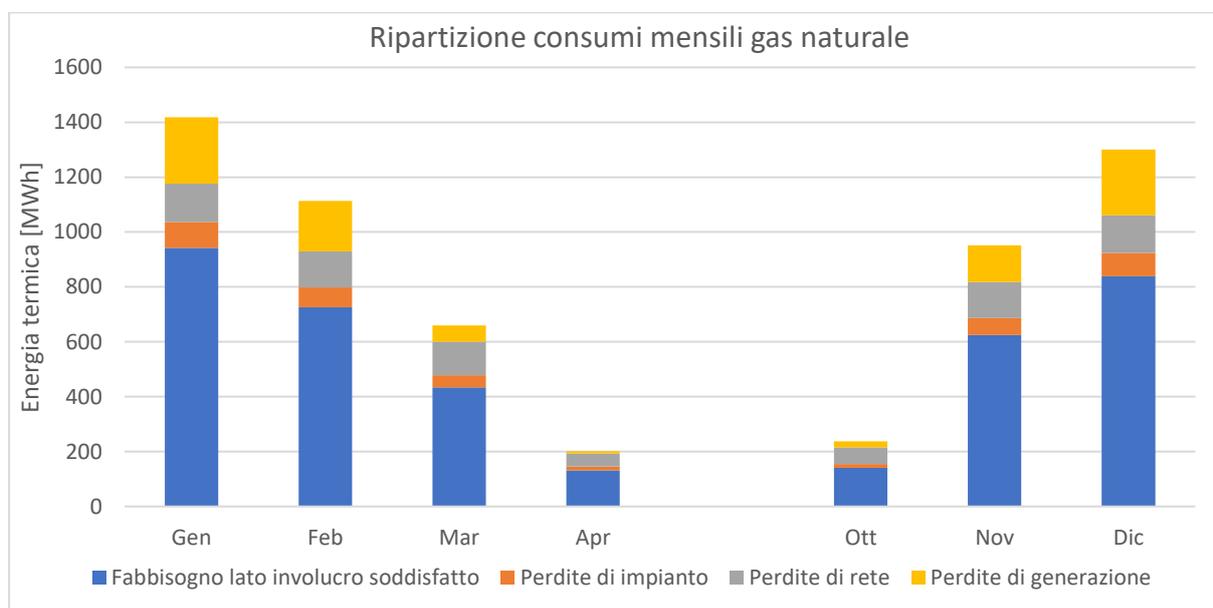


Figura 167: Ripartizione consumi mensili di gas naturale

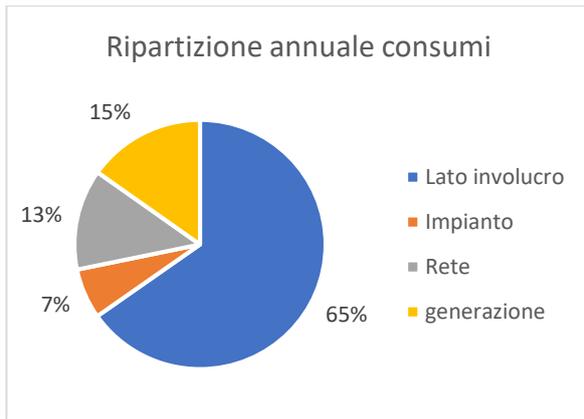


Figura 168: Ripartizione fattori consumo annuale di gas naturale

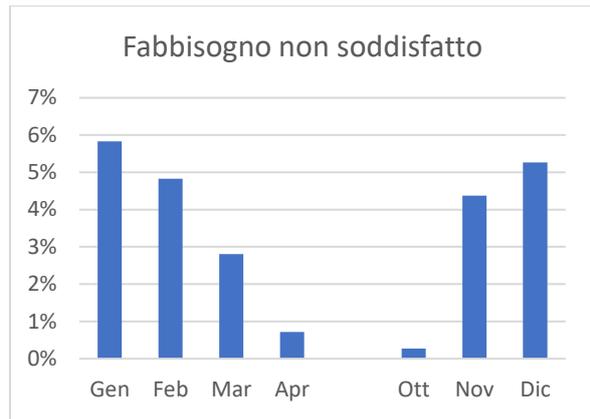


Figura 169: Percentuale mensile fabbisogno Non soddisfatto

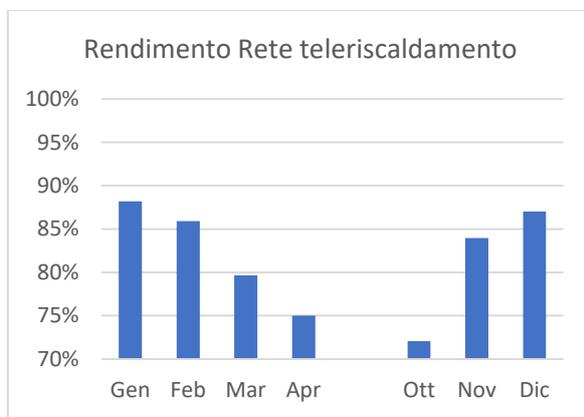


Figura 170: Rendimento mensile rete teleriscaldamento

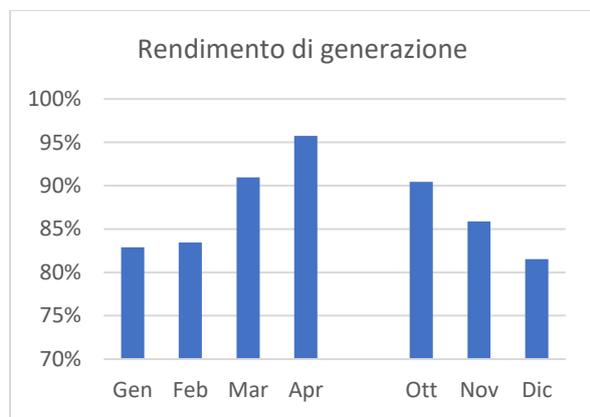


Figura 171: Rendimento mensile di generazione

Si conclude il paragrafo con il commento dei dati presentati:

- Nelle stagioni più fredde il fatto di simulare lo spegnimento della centrale anticipato rispetto le sottostazioni genera un mancato soddisfacimento del fabbisogno nell'ultima ora attorno al 5% nei mesi più freddi, questo fenomeno è molto limitato invece nei mesi più caldi. Si fa presente che i fabbisogni non forniti sono dovuti solo all'impostazione dell'orario di attività della centrale e non ad un valore di temperatura di gestione della rete troppo basso per permettere il trasferimento di energia necessario a soddisfare la richiesta di riscaldamento dell'edificio, l'esercizio a 100 °C è, infatti, sufficiente.
- Le perdite di rete presentano un valore più basso nei mesi più caldi rispetto ai più freddi come era lecito attendersi visto che nei mesi più rigidi la temperatura del terreno e dell'aria esterna risultano minori. Bisogna però considerare che nei mesi più caldi l'abbassamento della temperatura di rete nell'ora di funzione a centrale spenta è limitato, poiché spesso nelle giornate più calde l'inerzia della rete è sufficiente a soddisfare i fabbisogni dell'ultima ora. Il gradiente termico nelle ore di chiusura è quindi maggiore rispetto a quello invernale, questo provoca un abbassamento dei rendimenti di rete. Il valore del rendimento è invece minore nei mesi più caldi, in questi infatti l'energia termica richiesta è piuttosto limitata, e quindi le perdite di rete si rivelano una voce importante nel bilancio complessivo mensile, infatti  $\frac{1}{4}$  dell'energia erogata dalla centrale alla rete è persa proprio dalla rete stessa. Nell'alta stagione invernale invece le perdite oscillano tra il 12 e 16% poiché i fabbisogni sono ingenti, nell'anno il

rendimento della rete è nell'ordine dell'85% ciò dimostra come l'energia dispersa dal sistema di teleriscaldamento sia tutt'altro che trascurabile tanto che il suo valore assoluto è più alto del fabbisogno dell'intera area nel mese di novembre.

- Il rendimento di generazione ha valore molto simile a quello di rete, è infatti sempre nell'ordine nell'85% come media annuale, su questo valore bisogna annotare i valori particolarmente alti di ottobre e aprile: sebbene la parzializzazione delle caldaie fosse limitata dal fatto che probabilmente in questa stagione venisse accesa solo quella di potenza minore delle tre, sufficiente a soddisfare le ridotte richieste di riscaldamento in questi mesi, il valore risulta comunque alto. Probabilmente ciò è dovuto all'aver utilizzato valori leggermente sovrastimati dei fabbisogni per questo mese. Si precisa però che una variazione minima incide fortemente nel valore percentuale del rendimento dal momento che le energie richieste per il riscaldamento in questi mesi sono già ridotte per il fatto che questi sono i più caldi della stagione di riscaldamento e di questi solo due settimane dei trenta giorni del mese contribuiscono alla formazione del fabbisogno, negli altri quindici giorni gli impianti sono infatti spenti. Il valore percentuale è quindi fortemente variabile a fronte anche di una minima variazione in termini assoluti.
- Come ultima osservazione è interessante fa notare che il rendimento complessivo del sistema è inferiore al 66% nell'anno, in altre parole 1/3 dell'energia spesa viene persa nelle varie voci precedentemente descritte, il valore non desta particolare sorpresa viste le condizioni dell'impianto, ormai datato e in attesa di riammodernamento, in parte già iniziato con la sostituzione delle caldaie.

#### 4.1.2. Potenza massima richiesta e scambiatori

Come detto in precedenza nel modello di rete utilizzata non è stata impostata la potenza massima trasferibile dagli scambiatori di calore, questa analisi è stata fatta a monte della simulazione verificando se questi fossero effettivamente in grado di trasferire la potenza termica massima richiesta da ogni edificio a cui erano dedicati, tale verifica ha fornito esito positivo, con una precisazione che verrà fornita nella trattazione del presente paragrafo dopo aver illustrato il confronto tra i valori di potenza termica massima richiesta dagli edifici e quella resa disponibile nominalmente al secondario dagli scambiatori.

Tabella 82: Confronto tra potenza termica richiesta e potenza nominale scambiatori

	DIM A	DIM B	DIM CD	DIM E	PSI 1	PSI 2	CLA	U.B.	VALLIS	TOT
Potenza massima [kW]	612	579	633	261	<b>433*</b>	410	338	397	2590	5800
Data	07/01	07/01	07/01	07/01	07/01	07/01	07/01	07/01	31/12	07/01
Ora	08:00	08:00	08:00	08:00	07:00	08:00	07:00	08:00	08:00	08:00
Potenza scambiatore [kW]	700	930	900	350	330	720	1400	750	4800	10880

\*Vedi note nel successivo capoverso.

Si è già accennato nella presentazione dei fabbisogni orari medi mensili al fatto che solitamente il fabbisogno massimo di energia termica si ha alle ore 8 e non alla prima ora di accensione della sottostazione e la causa di ciò è stata attribuita al fatto che il programma di simulazione visto l'ingente carico dovuto alla potenza di ripresa chiude il bilancio termico nell'ora

successiva all'accensione, non sorprende quindi il fatto che l'ora di maggior richiesta di energia termica sia l'ottava per la maggior parte degli edifici. Per quanto riguarda Psicologia 1 si vede come la potenza massima richiesta sia maggiore di quella nominale dello scambiatore installato, il fatto è però limitato a poche ore nell'arco dell'anno e ciò è probabilmente dovuto al fatto che a differenza di quanto avviene negli altri edifici, l'equilibrio termico alle condizioni di set point è raggiunto nella simulazione dinamica di questo stabile già alla prima ora. Non si può quindi dire che lo scambiatore non sia sufficiente a sopperire al carico richiesto ma semplicemente che le condizioni di set point non sono raggiunte nella prima ora di accensione, ma queste impiegano un po' più di tempo a ristabilirsi dopo il riavvio dell'impianto. Non si fornisce il valore dell'energia termica non fornita nell'anno a causa di questo fenomeno poiché di valore veramente esiguo, e come detto non si tratta propriamente di energia non fornita ma solamente di un trasferimento di fabbisogno all'ora successiva.

Si può quindi confermare quanto detto nell'introduzione al paragrafo, cioè che gli scambiatori rendono disponibile al secondario una potenza sufficiente a soddisfare tutti i carichi richiesti dall'edificio, perdite d'impianto comprese, in molti edifici infatti la potenza degli scambiatori è quasi il doppio di quella effettivamente richiesta.

Anche considerando la defezione del generatore di vapore 1, la potenza termica disponibile in centrale è pari a 7500 kW, sufficiente quindi a soddisfare la potenza massima richiesta dall'intero complesso pari a 5800 kW che addizionata delle perdite di rete si porta a 6230 kW, questo spiega perché nonostante sia trascorso tempo dalla rottura della caldaia non ci fosse un impellente bisogno di sostituzione della stessa.

Volgendo lo sguardo alle date in cui si ha la massima richiesta di energia per il riscaldamento si nota che queste corrispondono per tutti gli edifici tranne il Vallisneri al 7/01, ciò è dovuto al fatto che questo è il primo giorno di rientro dalle vacanze natalizie e quindi le strutture si erano raffreddate poiché le sottostazioni erano in precedenza spente. Il complesso di biologia invece resta attivo tutto l'anno quindi non risente dello spegnimento della sottostazione in questo periodo, il fabbisogno massimo si ha quindi in un giorno diverso, corrispondente al 31/12.

### 4.2. La rete di teleraffrescamento

Si passa ora al punto più importante per gli obiettivi dell'elaborato. Scopo primario di questa tesi infatti è determinare il rendimento della rete di teleraffrescamento, per fare questo si utilizzeranno i fabbisogni degli edifici ed il modello illustrati nei precedenti capitoli. Infine si presenteranno l'indice di efficienza energetica, d'ora in poi EER (Energy Efficiency Ratio). Verranno presentati i valori di efficienza mensili ed orari, nella versione in cui gli ausiliari sono compresi nei consumi e quella in cui questi sono esclusi in modo da dare al lettore una visione complessiva delle prestazioni dell'intero sistema sotto più punti di vista.

#### 4.2.1. I rendimenti di rete

Come fatto in precedenza vengono ora mostrate le perdite di rete prima in forma tabellare e poi in forma grafica. Verranno forniti i valori assoluti ed i contributi percentuali al fabbisogno totale del sistema.

## Capitolo 4. Le reti di teleriscaldamento e teleraffrescamento

Tabella 83 Risultati simulazione rete teleraffrescamento

	Fabbisogno lato involucro +impianto+rete Servito	Perdite Rete teleraffrescamento	Fabbisogno lato involucro +impianto Servito	Fabbisogno lato involucro Servito	Fabbisogno* Non soddisf.	Fabbisogno lato involucro
Mese	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
Mag	105.9	12.1	93.8	85.3	0.0	85.3
Giu	388.8	24.1	364.7	331.5	0.1	331.7
Lug	880.1	32.3	847.8	770.7	0.3	771.0
Ago	453.7	30.3	423.4	384.9	0.2	385.1
Set	206.3	20.2	186.1	169.2	0.1	169.2
<b>ANNO</b>	<b>2034.9</b>	<b>119.1</b>	<b>1915.8</b>	<b>1741.6</b>	<b>0.7</b>	<b>1742.3</b>

\*I fabbisogni lato involucro serviti sono stati ricalcolati a partire da quelli serviti comprensivi di impianto

Tabella 84: Rendimenti sistema teleraffrescamento

	% Fabbisogno non soddisfatto	Rendimento di impianto	Rendimento Rete teleraffrescamento
<b>Mese</b>	0.0%	90.9%	89.6%
Mag	0.0%	90.9%	93.8%
Giu	0.0%	90.9%	96.3%
Lug	0.1%	90.9%	93.3%
Ago	0.0%	90.9%	90.2%
<b>ANNO</b>	0.0%	90.9%	94.1%
	<b>Perdite</b>	9.1%	5.9%

I fabbisogni non serviti sono calcolati ipotizzando una potenza frigorifera disponibile alla rete di 3600 kW nelle ore di funzionamento a pieno regime della centrale e di 900 kW nel funzionamento a carico ridotto. Questi valori non verranno riportati nei grafici successivi alla descrizione, perché il valore non risulterebbe comunque visibile, si precisa solamente che la maggior parte dei fabbisogni non soddisfatti sono dovuti alle prime ore di funzionamento con un solo gruppo di luglio ed agosto. Nella simulazione si ha infatti lo sfruttamento dell'inerzia della rete, le temperature di rete di mandata e ritorno si alzano infatti nel caso di fabbisogni elevati nelle ore più critiche riuscendo quindi a soddisfare le potenze di picco a scapito del mantenimento delle condizioni di progetto di esercizio della rete. Tale fenomeno rispecchia comunque la realtà, dai monitoraggi si vede infatti che nei momenti in cui la richiesta di energia frigorifera è maggiore le temperature di mandata e ritorno aumentano, questo probabilmente ha un impatto sulle capacità della deumidificazione degli impianti, aggiungendo ulteriori incertezze sul conteggio di questo contributo. Un'analisi più approfondita sulla deumidificazione avrebbe dovuto coinvolgere monitoraggi specifici per ogni UTA e su terminali a campione, questa laboriosa attività esulava dagli scopi di questo elaborato e non è quindi stata svolta. Come detto le ore più critiche per il soddisfacimento dei fabbisogni sono le prime dalla chiusura dei tre gruppi frigoriferi in particolare a luglio, infatti l'inerzia di rete non basta a compensare la potenza ridotta della centrale frigorifera, la temperatura in tali orari si alza ad un valore tale da non consentire più un raffrescamento nei secondari. In seguito verrà ampliata l'analisi sui limiti della potenza frigorifera erogabile dalla rete che metterà in luce maggiori criticità del sistema.

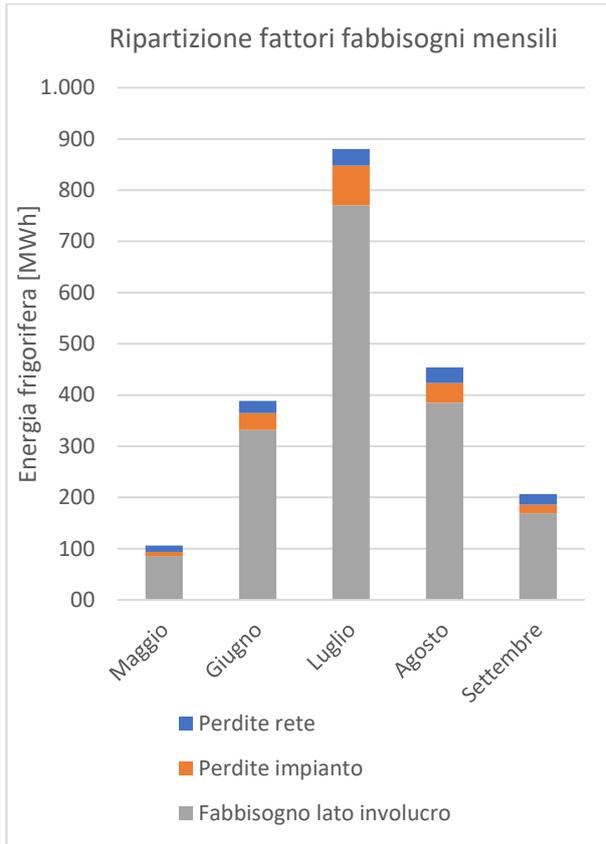


Figura 172: Ripartizione dei fattori dei fabbisogni mensili

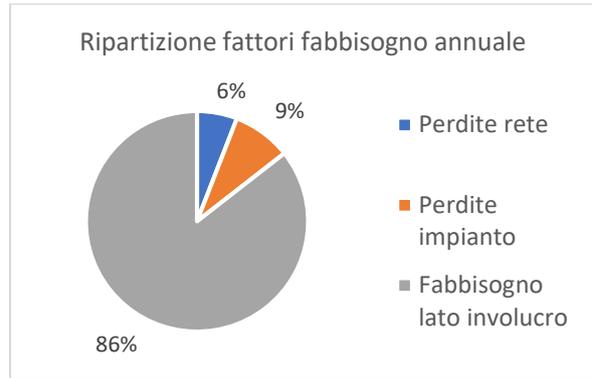


Figura 173: Ripartizione fattori fabbisogno annuale

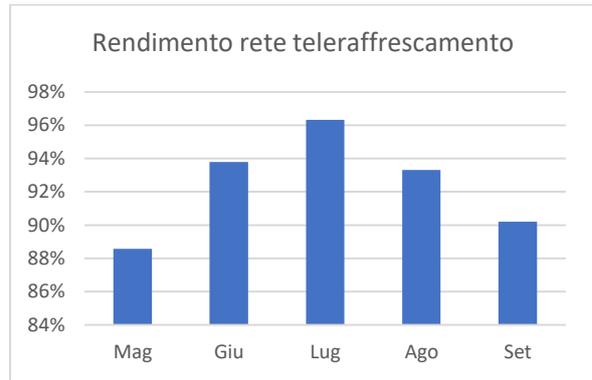


Figura 174: Rendimento rete di teleraffrescamento

Dai grafici si nota come le perdite della rete di teleraffrescamento siano limitate rispetto a quanto visto nella rete di teleriscaldamento, sia nei valori assoluti che percentuali. Ciò è dovuto al fatto che le temperature di esercizio della rete sono molto più vicine alla temperatura del terreno di quanto non fossero quella della rete invernale. Le temperature di progetto di esercizio del sistema sono infatti 7-12 °C, bisogna inoltre considerare che il primo è il limite inferiore del ramo di mandata, nelle ore più critiche, come detto in precedenza, questa si alza, diminuendo quindi lo scambio di calore con l'aria presente nei cunicoli. Come per la rete di teleriscaldamento, anche in quella di teleraffrescamento i rendimenti migliori si hanno in corrispondenza dei mesi in cui i fabbisogni sono maggiori ciò è dovuto ancora una volta al fatto che la variazione delle richieste di energia per la climatizzazione in questi mesi è maggiore di quella delle perdite di rete. Queste infatti aumentano molto meno di meno in valore assoluto poiché lo scambio di calore si ha con l'aria presente nei cunicoli interrati, che quindi risente molto di meno delle condizioni esterne. Come ultimo commento ai grafici si fa notare che i rendimenti di rete hanno lo stesso impatto dei rendimenti d'impianto nei mesi più freschi, nei mesi più caldi invece l'impatto delle perdite legate agli impianti sono maggiori.

Il comportamento reale della rete, cioè la salita della temperatura fino ai 25 °C vista nei monitoraggi nelle ore mattutine, non è stato riprodotto nella simulazione, infatti questo si reputa essere causato dal funzionamento dei secondari degli edifici dell'area oggetto di analisi, in particolare da quelli del Vallisneri. Modellare tale fenomeno avrebbe però richiesto di assumere fattori del tutto sconosciuti, si è deciso di mantenere le condizioni di funzionamento citate in precedenza, limitando cioè solamente la potenza "notturna" a 900 kW. Tralasciare tale

## Capitolo 4. Le reti di teleriscaldamento e teleraffrescamento

fenomeno ha indotto solamente una leggera sovrastima delle perdite di rete nel periodo in cui gli ausiliari sono lasciati attivi dopo lo spegnimento dei tre gruppi a funzionamento automatico, la temperatura di rete in questi momenti infatti si alza e quindi lo scambio col terreno diminuisce di molto, fino ad annullarsi nelle ore mattutine, al successivo riavvio dei tre gruppi però la centrale frigorifera avrebbe visto una rete calda da raffreddare con conseguente dispendio di energia. I due fenomeni vanno quindi a compensarsi.

Si precisa infine che la potenza dei gruppi frigoriferi è assunta pari alla nominale, anche la potenza frigorifera della macchina il cui refrigerante è stato oggetto di sostituzione è mantenuta uguale a quella di targa, i dati dei consumi elettrici e i fabbisogni relativi al 2015 fanno infatti riferimento ad un periodo precedente alla sostituzione e non ne sono quindi affetti.

### 4.2.2. Analisi sulla potenza frigorifera del sistema di raffrescamento

#### 4.2.2.1. Analisi potenza frigorifera distribuita dalla rete

In questa sezione verranno riprese le informazioni fornite nel paragrafo relativo al modello della rete di teleraffrescamento. In particolare nelle tabelle presentate si erano infatti descritte le potenze erogabile dalla rete con un salto di temperatura tra mandata e ritorno di 5 °C, di questa differenza di temperatura si è avuto conforto dai monitoraggi, infatti questo si mantiene, anche in condizioni operative critiche, poco variabile ciò che cambia sono le temperature di mandata e ritorno che si innalzano. I valori della potenza massima erogabile dalla rete e della potenza frigorifera massima richiesta dagli edifici sono messe a confronto nella tabella 85.

Tabella 85: Confronto tra potenza frigorifera massima e resa disponibile dalla rete secondo le portate misurate

	DIM A	DIM CD	DIM E	PSI 1	PSI 2	CLA	U.B.	VALLIS	TOT
Potenza massima richiesta alla rete [kW]	342	241	135	386	583	368	302	1938	4135
Data	20/07	20/07	20/07	20/07	20/07	30/06	16/07	16/07	16/07
Ora	14:00	16:00	15:00	14:00	15:00	15:00	16:00	16:00	16:00
Potenza erogabile dalla rete [kW]	202	51	166	293	195	322	119	1496	2844
Differenza potenza massima e potenza erogabile dalla rete [kW]	<b>-139</b>	<b>-191</b>	31	<b>-93</b>	<b>-388</b>	<b>-45</b>	<b>-183</b>	<b>-441</b>	<b>-1499</b>
% potenza massima fornita dalla rete	<b>59%</b>	<b>21%</b>	123%	<b>76%</b>	<b>33%</b>	<b>88%</b>	<b>39%</b>	<b>77%</b>	<b>69%</b>

\*Le differenze possono variare di un'unità per gli arrotondamenti

In tabella 85 si nota come i carichi massimi si abbiano solitamente a luglio, il 16 o il 20, gli orari sono variabili tra le ore 14 e le 16, ciò è dovuto alle differenti orientazioni degli edifici e ai diversi impatti dei contributi per trasmissione e ventilazione. Fa eccezione il CLA per cui la forte diminuzione dei carichi interni imposta da luglio sino a fine agosto ha indotto ad avere il massimo nell'ora più gravosa di giugno corrispondente alle 15 dell'ultimo giorno del mese.

Gli orari e le date delle massime richieste di potenza frigorifera non destano particolari sorprese, ciò che è di particolare interesse è vedere che le potenze veicolabili dalla rete sono minori da quelle richieste per quasi tutti gli edifici. Tranne il DIM E tutti gli stabili non vedono infatti fornito il loro fabbisogno di raffrescamento per la quota affidata alla rete, si ricorda infatti che in questa tabella sono riassunti i carichi massimi richiesti solamente delle zone degli edifici il cui soddisfacimento è affidato alla rete. Le criticità più marcate si hanno nel DIM C-D a

Psicologia 2 e alle aule Ugo Bassi, dove la potenza disponibile è inferiore del 40 % rispetto quella richiesta. Il valore particolarmente basso del DIM C-D però può dipendere da incertezze nella misurazione, non si sa di preciso infatti quanta portata fosse chiamata dal secondario dell'edificio per spillamento dalla rete. A parte questa annotazione ci si aspettava che non tutto il carico frigorifero richiesto dagli edifici fosse coperto, nei periodi più caldi numerose lamentele giungono agli uffici tecnici a riguardo delle temperature troppo alte negli ambienti, in particolare i reclami arrivano dagli stabili più distanti dalla rete, le aule Ugo Bassi e Psicologia 1 e 2, il CLA essendo poco frequentato d'estate risente molto meno del non soddisfacimento dei fabbisogni, la copertura si assesta infatti all'88%. Gli edifici non nominati finora in questo capoverso vedono soddisfatte maggiormente le potenze frigorifere richieste, il Vallisneri in particolare vede coperto il 77 % del carico massimo, e dato che questo è l'edificio più impattante porta la potenza frigorifera soddisfatta ad essere poco meno del 70 % di quella richiesta dall'intero complesso.

Si precisa infine che le potenze erogabili dalla rete si intendono nel momento in cui la rete stessa incontra i secondari degli edifici, siano essi dotati o meno di scambiatore, non vi è infatti dubbio per quanto mostrato in precedenza che i gruppi frigoriferi siano in grado di fornire, tranne rari casi, i fabbisogni richiesti, ciò che limita la potenza di rete sono le portate transitanti nei condotti. Le perdite di rete non vanno quindi ad influenzare i valori presentati. Per gli edifici dotati di scambiatori si precisa come essi siano decisamente sovradimensionati

Viene ora presentato il grafico delle energie fornite e non dalla rete con le portate considerate.

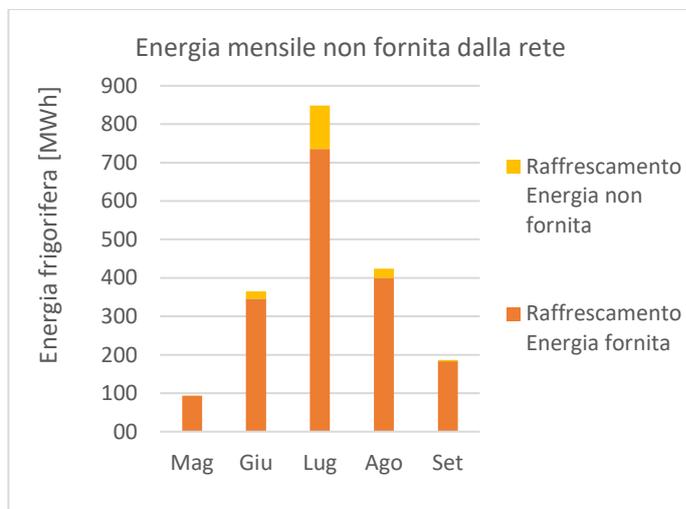


Figura 175: Energia frigorifera mensile non fornita dalla rete, secondo le portate misurate

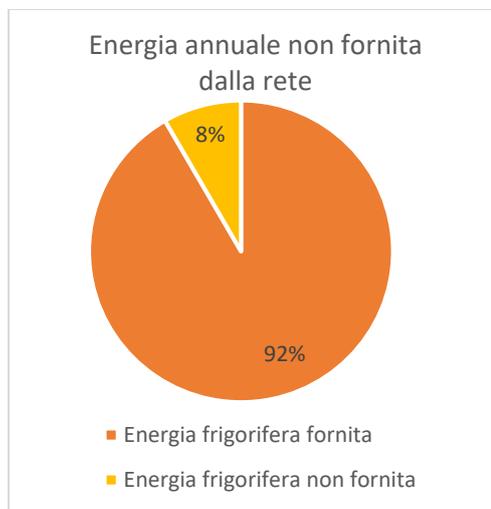


Figura 176: % Energia frigorifera annuale non fornita dalla rete, secondo le portate misurate

In figura 175 e 176 si vede come la frazione di energia non fornita sia l'8% del totale, e concentrata per la maggior parte nei mesi di luglio, per una frazione minoritaria nei mesi di giugno ed agosto. Ciò significa che nonostante la potenza resa disponibile dalla rete secondo le portate misurate non sia sufficiente a soddisfare gli ingenti carichi estivi nei mesi più caldi, in particolare luglio, il più gravoso, il soddisfacimento dei fabbisogni dell'energia frigorifera non risente particolarmente della mancanza di potenza veicolabile dalla rete, se non proprio nel mese di luglio. Sono infatti le ore centrali del mese più caldo quelle in cui si hanno maggiori

## Capitolo 4. Le reti di teleriscaldamento e teleraffrescamento

lamentele a riguardo della temperatura negli ambienti, ciò prova che in effetti i valori misurati sono in buona misura aderenti alla realtà.

### 4.2.2.2. Analisi potenza frigorifera dei sistemi integrativi

L'analisi precedentemente eseguita riguardante la potenza di rete viene ora riprodotta per le macchine autonome a servizio negli edifici, l'ordine della trattazione sarà lo stesso.

Tabella 86: Confronto tra potenza frigorifera richiesta e fornita dalle macchine autonome (MA macchine autonome)

	DIM A	DIM B	DIM CD	DIM E	PSI 2	CLA	U.B.	VALLIS	TOT
Potenza massima** richiesta alle MA [kW]	15	223	178	11	/	/	51	63	529
Data	16/07	20/07	20/07	16/07	/	/	29/06	16/07	20/07
Ora	14:00	16:00	15:00	16:00	/	/	15:00	16:00	16:00
Potenza erogabile** dalle MA [kW]	17	87	90	12	/	/	106	135	448
Differenza potenza massima richiesta e erogabile dalle MA [kW]	<b>2</b>	<b>-135</b>	<b>-88</b>	1	/	/	55	72	<b>-81</b>
% potenza massima fornita dalla rete	117%	39%	51%	110%	/	/	208%	214%	85%

\*Le differenze possono variare di un'unità per gli arrotondamenti. \*\* Le potenze massime fornite e richieste fanno riferimento alle sole zone considerate nella simulazione, per maggiori dettagli si veda l'ultimo capoverso del paragrafo 2.3.2.

Fatte salve le note relative alla tabella si procede ora al suo commento. Si vede come le criticità nel soddisfacimento della potenza frigorifera richiesta dai sistemi integrativi si abbiano solo nel DIM corpi B e C-D, il primo completamente autonomo il secondo è servito in particolare da una macchina autonoma che serve l'intera facciata sud. Bisogna ricordare infatti che il DIM C-D è stato oggetto di ampliamento e ciò ha probabilmente provocato gli sbilanciamenti tra potenza frigorifera richiesta e fornita sia per quanto riguarda la rete sia per i sistemi integrativi. Per le zone considerate del DIM A ed E i sistemi integrativi coprono precisamente i fabbisogni, mentre nel caso del piano terra delle aule Bassi e dello stabulario la potenza installata è decisamente sovradimensionata rispetto le necessità. Se per le aule bassi la simulazione è accurata e quindi si è abbastanza sicuri dello squilibrio tra potenza fornita nominalmente e richiesta, nel caso dello stabulario del Vallisneri permangono le incertezze legate al processo di modellazione dello stesso illustrate in precedenza.

Un ultimo commento alla tabella va fatto sugli orari in cui si registra il carico massimo, se per i corpi A ed E del DIM la variazione di questi rispetto agli analoghi riferiti alla rete ha poco significato poiché solo singoli ambienti di questi edifici sono serviti da macchine autonome, il confronto riguardante gli altri stabili è invece più rilevante. La differenza del DIM C-D è di un'ora, imputabile al fatto che il sistema integrativo serve solo la facciata sud quindi soggetta per una singola esposizione alla radiazione solare, lo stabulario essendo modellizzato come una parte dell'intero complesso di cui fa parte presenta lo stesso orario e data di massimo, la maggior variazione si ha nelle aule bassi, e ciò è dovuto alla diversa tipologia di impianto del piano terra rispetto al resto dell'edificio e al fatto che questo sia a contatto col terreno.

Si mostrano ora i diagrammi relativi alle energie non fornite dai sistemi integrativi.

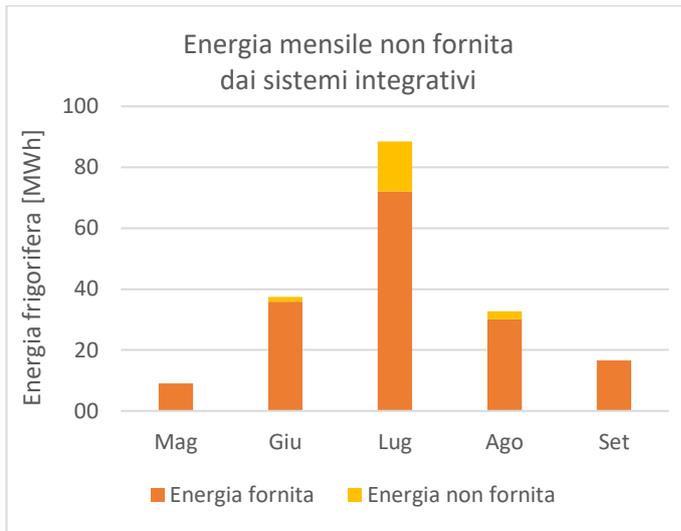


Figura 177: Energia frigorifera mensile non fornita dai sistemi integrativi

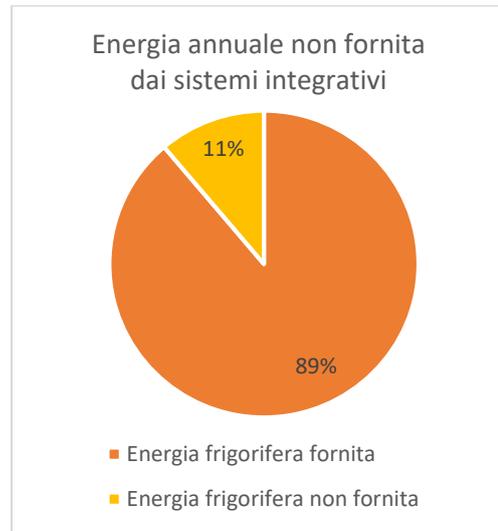


Figura 178: % Energia frigorifera annuale non fornita dai sistemi integrativi

Il commento risulta identico a quanto detto nelle prime tre righe a commento dei grafici analoghi della rete di teleraffrescamento, si rimanda quindi a quel capoverso per la descrizione.

#### 4.2.3. Efficienza del sistema di teleraffrescamento

Nell'ultimo paragrafo del capitolo si valuterà l'efficienza del sistema di raffrescamento. Come detto nella presentazione del capitolo, saranno forniti più elementi di valutazione, gli EER infatti faranno riferimento ai valori dei fabbisogni soddisfatti dalla rete con le limitazioni imposte dalla portata misurata e senza di queste, rapportati ai consumi di energia elettrica filtrati. Si precisa che i fabbisogni relativi alle macchine autonome verranno invece valutati solo nella versione con la limitazione al valore di potenza frigorifera nominale delle macchine, a differenza di quanto succede con la rete la potenza di targa lascia poche incertezze, se non quelle legate all'efficienza delle stesse variabile a seconda delle diverse condizioni climatiche in cui si trovano ad operare. Essendo i consumi elettrici comprensivi dei sistemi integrativi e degli assorbimenti della centrale frigorifera, i valori di efficienza forniti saranno riferiti alla somma di questi gruppi poiché una scorporazione sarebbe totalmente arbitraria. Un'ultima nota generale va a precisare che i consumi elettrici incorporano anche quei sistemi integrativi dedicati a scopi speciali come sale server, camere climatiche ed altro esclusi dalla simulazione, si precisa però che questi sono attivi anche nel periodo primaverile ed autunnale e quindi si reputa che il filtro applicato ai consumi elettrici le abbia, in buona parte, già compensate. Tutti i valori orari fanno riferimento all'ora solare.

##### 4.2.3.1. Efficienza complessiva del sistema

In questo paragrafo verranno presentati i valori dell'efficienza dell'intero sistema comprensivo degli ausiliari, ciò permetterà di comprendere quale sia l'utilizzo di energia elettrica per il raffrescamento del complesso. Infatti come è stato visto nel paragrafo relativo ai consumi elettrici gli ausiliari degli impianti hanno un ruolo tutt'altro che marginale soprattutto nei mesi meno caldi, è stato quindi deciso di fornire anche queste versioni di EER perché rappresentativi dell'efficienza di tutti gli aspetti del sistema di raffrescamento dell'area oggetto di analisi.

## Capitolo 4. Le reti di teleriscaldamento e teleraffrescamento

Sono di seguito riportati i valori degli indici di efficienza energetica mensili, verranno forniti due set di dati, uno riguardante i consumi complessivi del funzionamento “notturno” del Vallisneri e delle prime di funzionamento dell’impianto, in cui i carichi sono ancora molto ridotti, l’altro riguardante solo il funzionamento a pieno carico dello stesso. Si è deciso di fornire queste due varianti, e ciò verrà fatto per ogni versione presentata, poiché la prima delle due fornisce indicazioni sull’efficienza complessiva estesa a tutte le ore di funzionamento, la seconda dà invece maggior risalto all’efficienza del sistema quando esso sia utilizzato con condizioni di carico adeguate, in particolare consone ad una centrale frigorifera di dimensioni notevoli come quella a servizio del complesso. Per prime ore di funzionamento si intendono quelle comprese dalle 8:00 sino alla chiusura dei tre gruppi temporizzati.

Tabella 87: EER valutati con consumi elettrici comprensivi di ausiliari e fabbisogni limitati con potenza centrale

Potenza frigorifera centrale limitata a 3600 kW a pieno carico e a 900 kW a carico ridotto							
Fabb. notturni e prime ore funzionamento compresi				Senza fabb. notturni e prime ore funzionamento			
	Consumi	Fabbisogni*	EER		Consumi	Fabbisogni*	EER
Mese	MWh	MWh	[/]	Mese	MWh	MWh	[/]
Maggio	42	115	2.7	Maggio	36	101	2.8
Giugno	190	426	2.2	Giugno	162	390	2.4
Luglio	400	968	2.4	Luglio	273	824	3.0
Agosto	236	486	2.1	Agosto	197	421	2.1
Settembre	137	223	1.6	Settembre	110	203	1.8
<b>Stagione estiva</b>	<b>1004</b>	<b>2219</b>	<b>2.2</b>	<b>Stagione estiva</b>	<b>778</b>	<b>1940</b>	<b>2.5</b>

\*Fabbisogni comprensivi delle perdite di rete

Tabella 88: EER valutati con consumi elettrici comprensivi di ausiliari e fabbisogni limitati con portate misurate

Potenza frigorifera limitata al valore erogabile dalla rete ai agli edifici secondo le portate misurate							
Fabb. notturni e prime ore funzionamento compresi				Senza fabb. notturni e prime ore funzionamento			
	Consumi	Fabbisogni	EER		Consumi	Fabbisogni*	EER
Mese	MWh	MWh	[/]	Mese	MWh	MWh	[/]
Maggio	42	102	2.5	Maggio	36	99	2.7
Giugno	190	382	2.0	Giugno	162	364	2.2
Luglio	400	807	2.0	Luglio	273	693	2.5
Agosto	236	430	1.8	Agosto	197	386	2.0
Settembre	137	199	1.5	Settembre	110	194	1.8
<b>Stagione estiva</b>	<b>1004</b>	<b>1920</b>	<b>1.9</b>	<b>Stagione estiva</b>	<b>778</b>	<b>1736</b>	<b>2.2</b>

I valori relativi ai fabbisogni complessivi degli orari a carico limitato sono tre decimali più bassi rispetto agli omologhi a pieno carico, ciò è dovuto al fatto che nelle prime ore di funzionamento e nel periodo di funzionamento continuato del complesso di biologia le richieste di energia frigorifera sono spesso ridotte e la modulazione della potenza dei gruppi frigoriferi è limitata, in particolare i tre gruppi ad accensione temporizzata lavorano sempre all’unisono e questo limita i possibili stadi di parzializzazione. La spiegazione che l’efficienza peggiori

considerando i fabbisogni limitati secondo le portate misurate deriva dalle considerazioni del paragrafo 2.2.2.2.

È ora illustrato il confronto tra i valori mensili delle quattro casistiche presentate nelle due precedenti tabelle, il grafico permetterà di valutare le differenze tra i mesi in maniera più immediata e fornirà spunti per il commento:

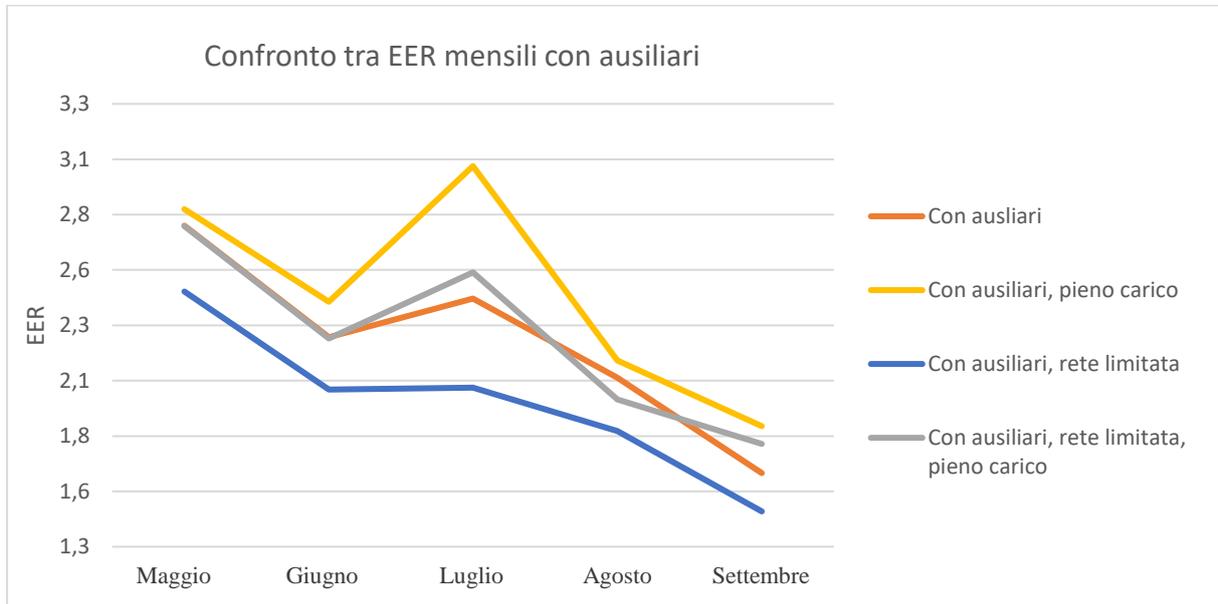


Figura 179: Confronto tra gli EER mensili, consumi elettrici comprensivi di ausiliari

Il valore di efficienza mensile complessiva di sistema che desta maggior attenzione è quello di luglio, è quello che infatti ha maggior variabilità essendo maggiormente influenzato da una limitazione della potenza frigorifera. A parte questo mese il trend dell'efficienza sembra essere discendente, se sino ad agosto ciò poteva essere previsto, il fatto che a settembre la tendenza continui ha invece una spiegazione meno immediata. Ciò è probabilmente dovuto al fatto che le prestazioni dei gruppi della centrale frigorifera e dei sistemi integrativi a settembre non sono performanti come quelle che si hanno a maggio, che presenta condizioni climatiche particolarmente favorevoli alle macchine frigorifere, e i consumi degli ausiliari hanno un forte impatto in questi mesi con fabbisogni e quindi consumi elettrici limitati. Si deve ricordare inoltre quanto detto nel paragrafo relativo ai consumi elettrici cioè che è stato stimato che a maggio non tutti i secondari fossero attivi e quindi gli assorbimenti degli ausiliari risultano ridotti, tale assunzione sembra essere confortata dai dati appena mostrati.

Sono ora presentati i valori orari delle efficienze dell'intero sistema, sono mostrati solo gli orari di pieno carico perché quelli più rappresentativi delle prestazioni del sistema di teleraffrescamento, le tabelle presenteranno una formattazione condizionale: rossi i valori più alti e verde i più bassi.

## Capitolo 4. Le reti di teleriscaldamento e teleraffrescamento

Tabella 89: EER orari con fabbisogni limitati dalla centrale frigorifera, ore pieno carico, ausiliari compresi

Potenza frigorifera centrale limitata a 3600 kW a pieno carico e a 900 kW a carico ridotto											
	EER orari										
Ora/ Mese	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Mag	2.1	2.5	2.7	2.9	3.1	3.5	2.7	3.1	/	/	/
Giu	1.6	2.1	2.3	2.6	2.6	2.4	2.4	2.6	2.9	2.2	3.1
Lug	1.8	2.6	2.8	3.0	3.1	2.9	3.2	3.5	3.7	3.2	3.6
Ago	1.1	1.6	1.9	2.3	2.5	2.3	2.5	2.6	2.5	2.0	1.9
Set	0.9	1.3	1.6	1.9	2.0	2.0	2.3	2.5	2.4	1.4	1.4

Tabella 90: EER orari con fabbisogni di rete limitati dalle portate misurate, ore pieno carico, ausiliari compresi

Potenza frigorifera limitata al valore erogabile dalla rete ai agli edifici secondo le portate misurate											
	EER orari										
Ora/ Mese	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Mag	2.0	2.4	2.6	2.8	3.0	3.4	2.6	3.0	/	/	/
Giu	1.6	2.0	2.2	2.4	2.4	2.3	2.2	2.4	2.6	2.0	2.8
Lug	1.6	2.3	2.4	2.5	2.6	2.4	2.6	2.9	3.0	2.7	3.2
Ago	1.0	1.5	1.7	2.2	2.3	2.1	2.3	2.3	2.2	1.9	1.8
Set	0.8	1.3	1.5	1.9	1.9	1.9	2.2	2.4	2.3	1.3	1.2

La formattazione imposta permette una lettura immediata dei valori e delle loro differenze, questa risulta più efficace anche di un grafico poiché le linee sarebbero andate a sovrapporsi più volte. Oltre a ciò che è già stato detto a commento dei diagrammi degli EER mensili con consumi elettrici comprensivi di ausiliari si deve aggiungere che, solitamente, i valori più alti degli indici di efficienza si hanno in corrispondenza delle ore centrali mentre questi calano verso le ore mattutine e serali, la spiegazione di questa tendenza è sempre da ricercarsi dalla limitata capacità di parzializzazione imposta alla centrale frigorifera. Si precisa che i fabbisogni che i valori delle ore 18 risentono del fatto che non si conosce con precisione l'orario di spegnimento dei secondari, questo può variare di 15 minuti da un edificio all'altro quindi anche i valori degli EER risentono di questa incertezza.

### 4.2.3.2. EER della centrale frigorifera e dei sistemi integrativi

In questo paragrafo sono valutati gli EER del sistema di raffrescamento valutati rapportando i fabbisogni ai consumi epurati dei consumi dovuti agli ausiliari degli impianti, ciò permette di valutare le prestazioni delle macchine frigorifere installate nel complesso. Si precisa ancora una volta che gli EER valutati sono il risultato del funzionamento combinato della centrale frigorifera e dei sistemi integrativi, una suddivisione non era infatti possibile se non imponendo fattori arbitrari. La trattazione seguirà l'ordine usato in precedenza in modo da permettere al lettore un confronto rapido tra i valori presentati, tale comparazione verrà inoltre presentata in forma esplicita alla fine di questo paragrafo.

Tabella 91: EER valutati con consumi elettrici ausiliari esclusi e fabbisogni di rete limitati con potenza centrale

Potenza frigorifera centrale limitata a 3600 kW a pieno carico e a 900 kW a carico ridotto							
Fabb. notturni e prime ore funzionamento compresi				Senza fabb. notturni e prime ore funzionamento			
	Consumi	Fabbisogni*	EER		Consumi	Fabbisogni*	EER
Mese	MWh	MWh	[/]	Mese	MWh	MWh	[/]
Maggio	33	115	3.5	Maggio	28	101	3.6
Giugno	131	426	3.3	Giugno	113	390	3.5
Luglio	330	968	2.9	Luglio	223	824	3.7
Agosto	181	486	2.7	Agosto	152	421	2.8
Settembre	91	223	2.5	Settembre	72	203	2.8
<b>Stagione estiva</b>	<b>766</b>	<b>2219</b>	<b>2.9</b>	<b>Stagione estiva</b>	<b>588</b>	<b>1940</b>	<b>3.2</b>

\*Fabbisogni comprensivi delle perdite di rete

Tabella 92: EER valutati con consumi elettrici ausiliari esclusi e fabbisogni di rete limitati con portate misurate

Potenza frigorifera limitata al valore erogabile dalla rete ai agli edifici secondo le portate misurate							
Fabb. notturni e prime ore funzionamento compresi				Senza fabb. notturni e prime ore funzionamento			
	Consumi	Fabbisogni	EER		Consumi	Fabbisogni*	EER
Mese	MWh	MWh	[/]	Mese	MWh	MWh	[/]
Maggio	33	102	3.1	Maggio	28	99	3.5
Giugno	131	382	2.9	Giugno	113	364	3.2
Luglio	330	807	2.4	Luglio	223	693	3.1
Agosto	181	430	2.4	Agosto	152	386	2.5
Settembre	91	199	2.2	Settembre	72	194	2.7
<b>Stagione estiva</b>	<b>766</b>	<b>1920</b>	<b>2.5</b>	<b>Stagione estiva</b>	<b>588</b>	<b>1736</b>	<b>3.0</b>

Da un confronto dei valori stagionali di efficienza tra i valori comprensivi di carico ridotto e di quelli che considerano solo le ore di pieno carico si nota come la differenza sia attorno al mezzo punto. Ancora una volta viene messo in risalto il difetto nella modalità di gestione dell'impianto, le macchine infatti nelle ore di pieno presentano prestazioni buone, considerando anche l'età delle stesse, che però peggiorano quando i gruppi frigoriferi sono esercitati al di sotto della loro capacità di modulazione, oppure nelle ore notturne. Anche considerando la limitazione imposta alla potenza di rete (tabella 92) l'EER, calcolato escludendo gli orari a carico ridotto, è pari a 3.0. Tale valore è raggiunto grazie all'utilizzo delle torri evaporative, che permettono di raffreddare efficacemente i fluidi frigoriferi al condensatore migliorando l'efficienza del ciclo termodinamico, nonostante l'aria dell'ambiente presenti spesso alti valori di umidità relativa. Si ricorda infine che il valore di efficienza nominale delle macchine della centrale è 3.3 dato dal rapporto della potenza frigorifera nominale di 900 kW e di quella elettrica di targa pari a 270 kW mentre quella stimata dell'insieme dei sistemi autonomi integrativi è pari a 2.8, a dimostrazione del fatto che i risultati combinati delle simulazioni e dell'analisi sui consumi elettrici, siano verosimili.

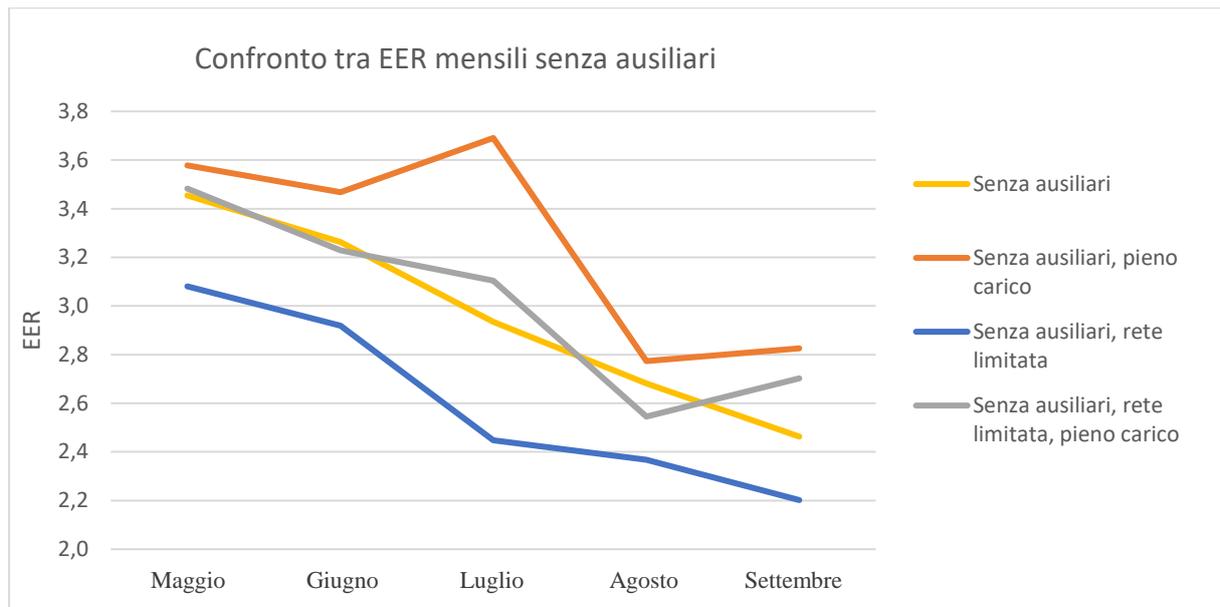


Figura 180: Confronto tra gli EER mensili, consumi elettrici epurati dagli assorbimenti degli ausiliari

In figura 150 si vede come nel caso in cui non si escludano i funzionamenti a carico parziale l'andamento degli EER sia discendente per tutto il periodo estivo, ciò è probabilmente spiegabile considerando che settembre risente maggiormente delle prime di avviamento dell'impianto dato che i fabbisogni sono decisamente minori rispetto giugno, agosto ed in particolare luglio. Maggio che pur presenta fabbisogni ridotti presenta anche orari di funzionamento ridotti e quindi il suo funzionamento complessivo è prevalentemente nelle ore di pieno carico. Considerano invece solamente il funzionamento dell'impianto nelle ore di maggior richiesta di energia frigorifera si vede come settembre mostri un'inversione di tendenza rispetto ad agosto come ci si attende visto il primo presenta condizioni termoisometriche più favorevoli rispetto al secondo. Per quanto riguarda il confronto tra le efficienze considerando la limitazione alla potenza imposta dalle portate oppure escludendola si vede che il mese che varia maggiormente è ancora luglio, quello in cui le potenze frigorifere richieste sono maggiori. Il valore che più identifica il comportamento reale dell'impianto è probabilmente un valore intermedio tra le due varianti presentate, infatti come detto le portate misurate possono risentire di incertezze soprattutto per quanto riguarda il DIM C-D, e si reputa che i fabbisogni non soddisfatti siano limitati quasi esclusivamente al mese di luglio e qualche giorno particolarmente caldo dei mesi di giugno e agosto. Sono ora mostrati gli EER orari:

Tabella 93: EER orari con fabbisogni limitati dalla centrale frigorifera, ore pieno carico, ausiliari esclusi

Potenza frigorifera centrale limitata a 3600 kW a pieno carico e a 900 kW a carico ridotto											
EER orari											
Ora/Mese	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Mag	2.8	3.2	3.4	3.6	4.0	4.6	3.3	3.8	/	/	/
Giu	2.4	3.1	3.3	3.7	3.7	3.3	3.3	3.6	4.2	3.4	5.8
Lug	2.3	3.2	3.4	3.7	3.7	3.5	3.9	4.4	4.6	4.1	3.8
Ago	1.5	2.1	2.4	3.0	3.1	3.0	3.2	3.3	3.2	2.6	2.4
Set	1.5	2.2	2.5	3.1	2.9	2.9	3.4	3.7	3.7	2.2	2.1

Tabella 94: EER orari con fabbisogni limitati dalle portate misurate, ore pieno carico, ausiliari esclusi

Potenza frigorifera limitata al valore erogabile dalla rete ai agli edifici secondo le portate misurate											
Ora/ Mese	EER orari										
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Mag	2.7	3.1	3.3	3.5	3.9	4.5	3.2	3.7	/	/	/
Giu	2.3	2.9	3.1	3.5	3.5	3.1	3.1	3.3	3.8	3.1	5.2
Lug	2.1	2.8	2.9	3.1	3.1	2.9	3.2	3.6	3.8	3.4	3.4
Ago	1.4	2.0	2.3	2.8	2.9	2.7	2.9	3.0	2.9	2.4	2.2
Set	1.4	2.2	2.4	3.0	2.8	2.7	3.3	3.6	3.5	2.0	1.8

Osservando i valori degli indici di efficienza orari si nota ancora una volta come le maggiori differenze tra due set di dati si abbiano nei momenti in cui le richieste di energia frigorifera sono più ingenti, infatti è proprio in questi orari sono quelli che risentono maggiormente di un'imposizione alla potenza massima erogabile dalla rete. Infatti considerando o meno la limitazione di potenza gli EER di maggio e settembre calano mediamente di un punto decimale, nei mesi di giugno agosto di tre punti, a luglio invece variano di sei o sette decimi; le differenze si acuiscono nelle ore centrali mentre si abbassano nelle ore di carico minore come le serali e mattutine, momenti in cui però i valori delle efficienze sono minori a causa della limitata possibilità di parzializzazione delle macchine frigorifere. Come detto in precedenza, i valori che più rappresentano le vere prestazioni del sistema sono intermedi a quelli presentati nelle tabelle 93 e 94, tale media assume valori simili a quelle dichiarate dal produttore delle macchine, che, essendo collegate alle torri evaporative sono maggiormente in grado di mantenere le prestazioni nominali al variare delle condizioni climatiche.

Una nota al commento deve essere fatta a riguardo dei valori più alti, le ore centrali di maggio e pomeridiane di luglio risentono o di una sovrastima dei fabbisogni o, più probabilmente, di una sottostima dei carichi elettrici filtrati in tali orari, le ore 18 di giugno sono invece ancora una volta influenzata dall'incertezza sull'orario di chiusura delle sottostazioni. Una volta impostati i filtri agli assorbimenti elettrici secondo criteri il più possibile oggettivi non si è infatti proceduto ad una loro correzione in modo tale da rendere più omogenee le relazioni introdotte poiché questo avrebbe comportato l'introduzione di fattori arbitrati ex post.

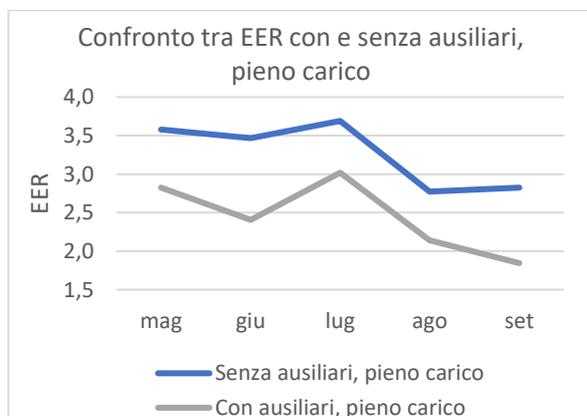


Figura 181: Confronto tra EER con e senza ausiliari, pieno carico

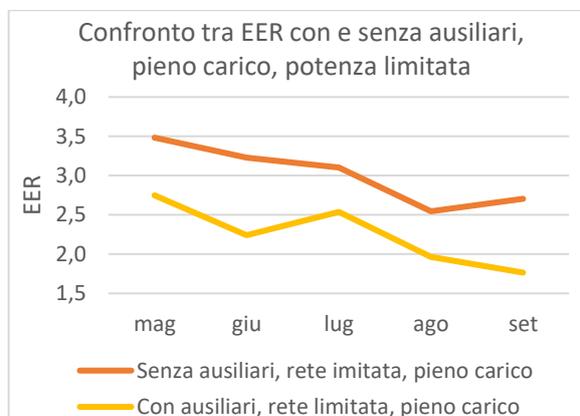


Figura 182: Confronto tra EER con e senza ausiliari, pieno carico, rete limitata

#### Capitolo 4. Le reti di teleriscaldamento e teleraffrescamento

Dal confronto introdotto dai grafici 181 e 182 si nota come, gli ausiliari abbiano un ruolo fondamentale nell'efficienza globale del sistema, questi infatti impongono una variazione al valore di efficienza di mezzo o un intero punto a seconda dei mesi, in quelli in cui i carichi sono maggiori il gap è verso il limite inferiore dell'intervallo, nei mesi in cui sono minori verso il limite superiore. Quando i fabbisogni sono ridotti gli impatti degli ausiliari sul complessivo sono infatti percentualmente maggiori. A settembre si ha addirittura un'inversione di tendenza a seconda che vengano considerati o meno gli assorbimenti elettrici degli impianti e delle pompe della centrale frigorifera: si vede infatti che escludendo questi l'ultimo mese della stagione estiva presenta un valore più alto di efficienza rispetto ai trenta giorni precedenti, ciò è dovuto alle più favorevoli condizioni climatiche, considerandoli invece l'EER è minore di agosto.

## 5. CONCLUSIONI

Il presente elaborato si inserisce all'interno di un'attività di analisi energetica che riguarda il complesso interdipartimentale "Nord Piovego" iniziata nel 2016. Gli obiettivi sono la determinazione delle dispersioni della rete di teleraffrescamento e delle prestazioni della centrale frigorifera e, quando possibile, dei sistemi integrativi oltre ad una revisione delle prestazioni del sistema di teleriscaldamento.

Per svolgere l'attività sono stati utilizzati i modelli degli edifici sviluppati nei lavori di tesi pregressi che per primi hanno analizzato quest'area universitaria, tra le più energivore dell'intero ateneo.

La prima fase dell'attività è stata la riesamina della documentazione tecnica, dei modelli e dei fabbisogni energetici determinati negli elaborati di Rotolo e Moro e l'ottimizzazione del modello della rete di teleriscaldamento realizzato da Laura Colpo, fasi necessarie per la rivalutazione energetica e prestazionale del sistema di teleriscaldamento.

I risultati ottenuti mettono in luce alcune criticità nella gestione energetica invernale del complesso: sono stati individuati rendimenti di rete e di generazione dell'ordine dell'85%, evidenziando come il sistema non valorizzi più di 1/3 dell'energia consumata. L'ammodernamento dell'impianto di teleriscaldamento è già iniziato con la sostituzione delle caldaie della centrale termica avvenuta all'inizio della presente stagione di riscaldamento 2017.

La seconda fase dell'attività si è focalizzata sulla caratterizzazione delle prestazioni dell'impianto di raffrescamento, partendo dalla definizione dei fabbisogni lato involucro fino al rendimento della rete di teleraffrescamento e all'efficienza della centrale frigorifera.

Il risultato più generale dell'analisi evidenzia come l'ottimizzazione della gestione delle centrali di generazione termica e frigorifera e degli impianti tecnici presso gli edifici potrebbe portare ad un notevole risparmio energetico: la richiesta di energia termica globale soddisfatta dalla centrale termica è pari a 5884 MWh, perdite di generazione incluse, i fabbisogni soddisfatti dalla centrale frigorifera sono pari a 2035 MWh.

Una migliore gestione dei sistemi di ventilazione e dei secondari degli edifici, basata sulle reali esigenze termiche e frigorifere e realizzata per mezzo di sistemi di controllo automatici, abbinata all'efficientamento degli ausiliari d'impianto avrebbero un forte impatto sui consumi, riducendoli notevolmente. Al contrario, come è stato evidenziato anche nei precedenti elaborati, un miglioramento dell'isolamento termico delle strutture garantirebbe un effetto limitato sui fabbisogni netti degli edifici. I sistemi di distribuzione dell'energia rappresentano una componente importante dei consumi: la rete di teleriscaldamento disperde annualmente 769 MWh, che, per fornire un ordine di grandezza, è paragonabile al fabbisogno complessivo di energia termica nel mese di novembre, la rete di teleraffrescamento, esercita ad una temperatura più vicina alle condizioni ambientali, è invece meno gravosa nel bilancio generale, le perdite ad essa attribuibili sono infatti pari a 119 MWh, e il rendimento stagionale è pari al 94%.

Una volta determinati i fabbisogni di energia frigorifera dell'area, sono stati analizzati i consumi elettrici del complesso e da questi sono stati stimati quelli dovuti alla centrale frigorifera e ai vari sistemi integrativi per la climatizzazione degli edifici, con lo scopo di quantificare la prestazione dell'impianto in condizioni di raffrescamento. Le valutazioni condotte hanno evidenziato come gli ausiliari d'impianto condizionino fortemente l'assorbimento dell'energia

## Capitolo 5. Conclusioni

elettrica, soprattutto nei mesi più miti, e come la modalità con cui viene esercita la centrale frigorifera sia la principale causa di inefficienza dell'intero sistema. Valutando indipendentemente il funzionamento a pieno carico dell'impianto, l'EER delle macchine frigorifere (centralizzate e dislocate) risulta pari a 3.2, mentre considerando anche il funzionamento a carico ridotto il valore si assesta a 2.9. Contabilizzando i consumi dei sistemi ausiliari è possibile valutare l'indice di efficienza globale del sistema di raffrescamento che è pari a 2.5 nel funzionamento a pieno carico, e a 2.2 nell'intero periodo di esercizio.

Gli assorbimenti degli ausiliari risultano pari a 238 MWh e sono tutt'altro che trascurabili rispetto ai consumi elettrici globali riconducibili al servizio di raffrescamento, ovvero 1004 MWh. Ciò spiega la differenza tra l'indice delle prestazioni del sistema e quello delle prestazioni delle sole macchine frigorifere.

D'altra parte la differenza ottenuta negli indici di prestazione energetica, considerando o meno il funzionamento a carico ridotto, si ritiene sia principalmente imputabile alla gestione della centrale frigorifera: dei quattro gruppi frigoriferi, tre macchine sono temporizzate da un sistema di attivazione automatico, il quarto invece deve essere avviato manualmente. La centrale pertanto opera con tre macchine in condizioni normali e con quattro macchine in condizioni di elevato carico, tuttavia nelle ore notturne mentre i tre gruppi temporizzati sono spenti, il gruppo manuale rimane in esercizio continuo nelle 24 ore. Risulta evidente come una gestione più modulare potrebbe incrementare le prestazioni ai carichi ridotti, limitando la parzializzazione delle macchine e avvicinando il funzionamento dei gruppi frigoriferi alle condizioni nominali.

La presenza di torri evaporative permette di mantenere buone prestazioni per tutta la durata dell'anno, riducendo l'influenza delle condizioni climatiche sul funzionamento del sistema. Tuttavia elevati valori di umidità relativa abbinati ad elevate condizioni di carico provocano un peggioramento dell'efficienza, e tali condizioni climatiche si verificano frequentemente nel mese di luglio. Le misurazioni di portata effettuate sulla rete hanno messo in luce alcuni squilibri tra potenza frigorifera richiesta e fornita; anche considerando l'incertezza nella rilevazione, risulterebbe che non tutta la richiesta di raffrescamento possa essere soddisfatta dalla portata circolante, convinzione supportata anche dalle numerose lamentele rivolte dagli utenti, in particolare negli stabili più distanti dalla centrale e nel mese di luglio.

Implementando una limitazione della potenza frigorifera, concordemente ai risultati del monitoraggio, l'EER delle macchine frigorifere scenderebbe a 3.0 in condizioni di pieno carico e a 2.5 considerando anche i carichi parziali. Valutando i consumi elettrici comprensivi di ausiliari e considerando il solo funzionamento a pieno carico l'indice di prestazione complessivo del sistema di raffrescamento sarebbe pari a 2.2, mentre si assesterebbe a 1,9 includendo le prime ore di avviamento dell'impianto ed il funzionamento "notturno" della centrale frigorifera.

Le analisi condotte e soprattutto i risultati ottenuti rispondono efficacemente agli interrogativi iniziali circa l'efficienza energetica dei sistemi in esame, in particolare per quanto riguarda la rete di teleraffrescamento, le valutazioni fatte potrebbero essere ulteriormente migliorate attraverso monitoraggi più specifici e mirati degli assorbimenti elettrici dei singoli componenti.

## BIBLIOGRAFIA

ROTOLO, P. (s.d.). Analisi dell'efficientamento del Nord Piovego, con particolare attenzione agli stabili del Vallisneri e Nord Piovego .

MORO, D. (s.d.). Analisi del fabbisogno degli edifici del Nord Piovego.

LAURA, C. (s.d.). Analisi teorica e sperimentale della rete del Nord Piovego.

BETTANINI, BRUNELLO. (s.d.). Lezioni di impianti termotecnici.

BONACINA, C. M. (s.d.). Trasmissione del calore.

CAVALLINI, M. (s.d.). Termodinamica applicata.

DE CARLI, M.. (s.d.). Appunti del corso Impianti Termotecnici.

DE CARLI, M. (s.d.). Appunti del corso di Energy and Buildings.

MAZZARELLA, L. (s.d.). Test Reference Year.