

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

Analisi numerica e sperimentale
del fabbisogno energetico invernale ed estivo
degli edifici del complesso interdipartimentale Nord Piovego

Relatore: prof. Michele De Carli
Correlatrice: ing. Samantha Graci

Laureando: Edoardo Gazzea

Anno accademico: 2016-2017

ABSTRACT

1.	ANALISI DEL CASO STUDIO	1
1.1.	Complesso Nord Piovego	1
1.2.	Edifici e sottostazioni	3
1.2.1.	Sottostazioni	4
1.2.2.	Edifici	6
1.3.	Centrale termica e rete di teleriscaldamento.....	17
1.4.	Centrale frigorifera e rete di teleraffrescamento.....	21
1.5.	Cabina elettrica.....	24
2.	DATI E MODELLI PRELIMINARI	25
2.1.	Consumi energetici.....	25
2.1.1.	Consumi elettrici	26
2.1.2.	Consumi termici	27
2.2.	Trnsys e modelli	28
2.3.	Dati climatici	37
2.3.1.	File climatico Venezia-Tessera	37
2.3.2.	Dati climatici ARPAV Legnaro	37
2.4.	Monitoraggi regime invernale	38
2.5.	Monitoraggi regime estivo	40
3.	METODI E ANALISI	55
3.1.	Ventilazione.....	56
3.1.	Analisi dei consumi energetici	58
3.1.1.	Analisi dei consumi di gas naturale.....	58
3.1.2.	Analisi delle curve di carico elettriche	59
3.2.	Modifiche schedule e modelli edifici	69
3.3.	Modifiche modelli rete	72
3.3.1.	Rete teleriscaldamento.....	72
3.3.2.	Rete di teleraffrescamento.....	74
3.4.	Analisi climatica.....	77
3.4.1.	Analisi gradi giorno (GG)	77
3.4.2.	Analisi cooling degree day (CDD).....	79
3.5.	Fabbisogno energetico complessivo.....	84
4.	FABBISOGNI ENERGETICI E DISCUSSIONE	85
4.1.	DIM-A.....	85
4.2.	DIM B	89

4.3.	DIM-CD	93
4.4.	DIM-E	96
4.5.	PSICO-1	99
4.6.	PSICO-2	102
4.7.	CLA.....	105
4.8.	Fabbisogno complessivo Nord-Piovego.....	108
4.9.	Rendimento del sistema di riscaldamento	118
4.10.	Rendimento del sistema di raffrescamento.....	122
5.	CONCLUSIONI.....	129
	BIBLIOGRAFIA.....	131
	RINGRAZIAMENTI	

ABSTRACT

Nell'ottica di un percorso verso una maggiore sostenibilità dell'università di Padova sono stati individuati i dipartimenti aventi i maggiori fabbisogni energetici e sono state identificate le aree prioritarie di intervento. La zona denominata "Nord Piovego" è una di queste e pertanto è da oltre un anno oggetto di un'attività di ricerca mirata a identificarne i fabbisogni di energia, i consumi energetici e proposte di efficientamento energetico.

L'attività è iniziata nel febbraio 2016, con l'avvio di tre progetti di tesi. L'obiettivo delle prime due era di individuare i fabbisogni invernali ideali degli edifici del complesso. Il terzo studio si concentrava invece sull'analisi della rete di teleriscaldamento, partendo dai risultati ottenuti nei precedenti studi e prevedendo misurazioni sul campo, al fine di ottenere un modello matematico che rappresentasse lo stato attuale della rete.

Scopo di questa tesi è quindi verificare l'attendibilità dei dati di progetto disponibili in termini di potenze richieste, temperature e portate circolanti nella rete in condizioni di esercizio invernale ed estivo, determinare i fabbisogni di raffrescamento degli edifici ed implementare di un modello dinamico della rete di distribuzione, con particolare attenzione alla stagione estiva, fino ad ora mai analizzata.

Per raggiungere l'obiettivo sono stati recuperati, validati e migliorati i modelli dinamici degli edifici e della rete invernale sviluppati nei lavori di tesi svolti precedentemente; sono state effettuate misurazioni e analisi sulle sottostazioni e sulla rete per determinarne il comportamento in condizione di raffrescamento; è stata condotta un'attenta valutazione delle macchine autonome installate in varie sezioni del complesso.

L'analisi è stata condotta sulla base dei consumi energetici dell'anno solare, da marzo 2015 a febbraio 2016. I fabbricati presenti nel complesso sono sette e di seguito elencati:

- Psicologia 1;
- Psicologia 2;
- Centro Linguistico di Ateneo;
- Ex Dipartimento di Ingegneria Meccanica che comprende il corpo A (corpo uffici), il corpo B (officina di meccanica), il corpo C-D (che costituiscono il corpo aule) e il corpo E (Dipartimento di Fisica Tecnica).
- Complesso pluridipartimentale di Biologia "Vallisneri";
- Aule Via Ugo Bassi.

Vista l'elevata mole di lavoro l'attività è stata divisa in due parti, in questo elaborato vengono analizzati i primi 5 fabbricati della lista. Gli edifici rimanenti vengono studiati dal collega Michael Campaci. L'analisi della rete e della centrale è stata realizzata dopo aver condiviso i fabbisogni ottenuti dal codice di calcolo dinamico Trnsys, in quanto il sistema in analisi è di tipo centralizzato.

1. ANALISI DEL CASO STUDIO

1.1. Complesso Nord Piovego

La zona nord Piovego si estende per un'area di 76097 metri quadri, situati tra il quartiere Portello e la zona fieristica di Padova. L'area è sede di tre dipartimenti universitari e del centro linguistico di ateneo, per un totale di sette fabbricati suddivisi a loro volta in blocchi di dimensioni inferiori. È una zona densamente frequentata da studenti e da personale dell'università, gli stabili presenti vengono impiegati per la didattica ma anche per la ricerca e comprendono uffici amministrativi. È difficile risalire al numero di studenti che frequentano ogni giorno il complesso in quanto alcuni edifici sono impiegati da più facoltà contemporaneamente per lo svolgimento della didattica. In generale si può affermare che l'affollamento massimo viene raggiunto nei primi periodi di lezione mentre durante le sessioni di esame la presenza degli studenti è ridotta. Il complesso rimane aperto per tutto l'arco dell'anno, anche durante i periodi di pausa delle lezioni, a eccezione dei giorni di chiusura dell'ateneo.

La disposizione geografica di questi edifici e l'elevata richiesta termica per il loro condizionamento ha portato in fase di progettazione alla scelta di un sistema di generazione di calore centralizzato e la successiva distribuzione di esso tramite una rete di teleriscaldamento e una di teleraffrescamento. Gli stabili presenti inizialmente erano in numero inferiore rispetto quello attuale così come il numero di studenti che frequentavano il complesso. Ciò comporta a oggi delle difficoltà di esercizio della rete e la necessità di un'analisi dettagliata delle condizioni attuali di funzionamento e delle potenzialità reali di questa. In figura 1 si vede la zona del Nord Piovego mentre in tabella 1 sono riepilogati gli edifici presi in analisi ed i corrispondenti codici identificativi.



Figura 1. Area del Nord Piovego, fonte Google Maps

Tabella 1. Edifici e codici identificativi

Codice	Fabbricato	Superficie lorda [m2]
300	Complesso Didattico Piovego	3840
480	Complesso pluridipartimentale “A. Vallisneri”	33006
310	Centrale Termica e Frigorifera	
140	Complesso Ingegneria Meccanica	15556
1200	Psicologia 1	7137
1210	Psicologia 2	7679
1211	Centro Congressi	2173
1212	Centro Linguistico	6706

La centrale termica è situata in una zona centrale ed è suddivisa in due sezioni, una contenente le macchine per la stagione estiva e una per la stagione invernale. Da qui partono le condotte principali della rete di teleriscaldamento e teleraffrescamento che vanno ad alimentare le sottostazioni degli edifici. Maggiori dettagli verranno forniti nei prossimi paragrafi. La figura 2 rappresenta la centrale del complesso Nord Piovego, è una foto del progetto del 1986, si tratta di una modifica rispetto l'originale.

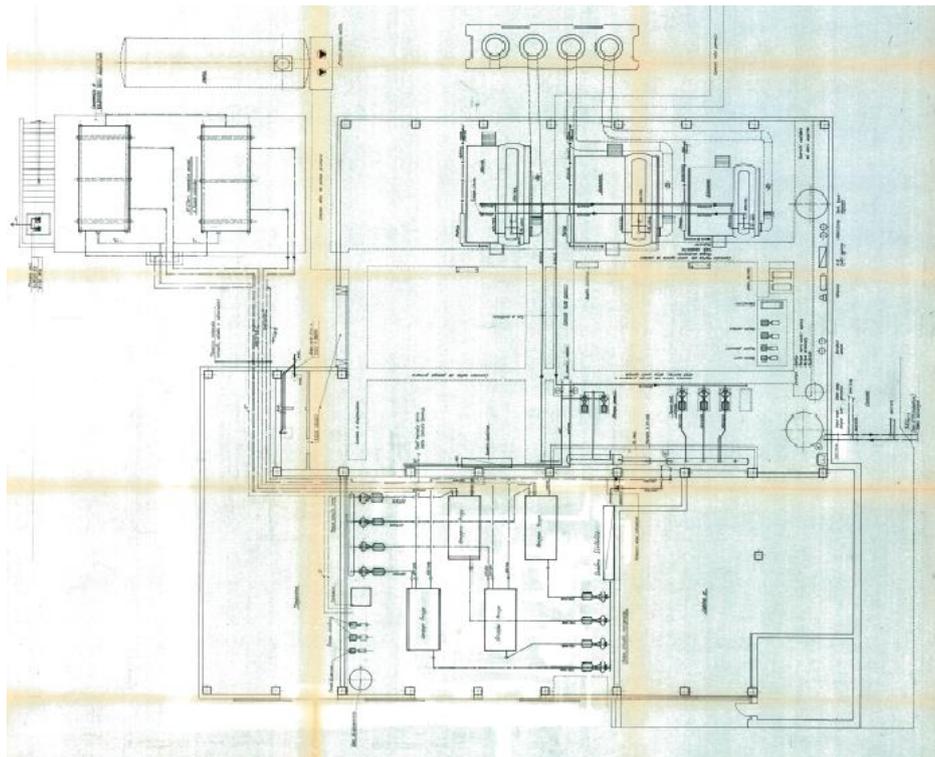


Figura 2. Centrale termica e frigorifera

1.2. Edifici e sottostazioni

Gli stabili presenti nel complesso sono 7 ma vengono ulteriormente divisi in edifici più piccoli, uno in corrispondenza di ogni sottostazione:

- Complesso Pluridipartimentale di Biologia “Vallisneri”;
- Aule Via Ugo Bassi;
- Psicologia 1;
- Psicologia 2;
- CLA, Centro Linguistico di Ateneo;
- DIM-E, dipartimento di ex-fisica tecnica;
- DIM-B, ex officine di meccanica;
- DIM-CD;
- DIM-A;

Per questa tesi verranno studiati in maniera approfondita tutti gli edifici a esclusione delle aule di via Ugo Bassi e il complesso Pluridipartimentale di Biologia “Vallisneri”. Si andrà a determinare il fabbisogno per il condizionamento invernale ed estivo, con particolare attenzione al caso estivo in quanto non ancora preso in considerazione nei precedenti lavori di analisi del complesso. Gli edifici che non sono presi in considerazione in questo elaborato vengono studiati dal mio collega Michael Campaci. I fabbisogni ottenuti per gli stabili di competenza sono stati poi condivisi con il mio collega per ottenere il fabbisogno dell'intero complesso. Per avere modo di confrontare i lavori singolarmente svolti e valutare se i diversi approcci siano compatibili abbiamo entrambi esaminato il CLA con l'obiettivo di avere risultati per questo stabile simili.

Dai fabbisogni complessivi si passa a studiare la rete di distribuzione del fluido termovettore e determinare l'efficienza globale del sistema di condizionamento del complesso Nord Piovego per entrambe le stagioni considerate.

Il periodo dell'analisi va da marzo 2015 a febbraio 2016. Tale scelta è vincolata dai dati disponibili e coerente con il lavoro svolto precedentemente dagli ingegneri Moro e Colpo.

1.2.1. Sottostazioni

Le sottostazioni sono dei vani tecnici all'interno dei quali arrivano le condotte della rete che scambiano con i circuiti secondari di ciascun edificio. In alcune sottostazioni sono presenti scambiatori di calore tra circuito primario e secondario, in altre viene effettuato uno spillamento diretto dalla rete. Oltre agli scambiatori nelle sottostazioni si trovano le pompe che permettono al fluido termovettore di circolare, strumenti di misura e controllo e un computer per l'accensione programmata dell'impianto. Nelle tabelle 2 e 3 vengono ricapitolate le sottostazioni presenti e il tipo di funzionamento.

Tabella 2. Sottostazioni per la stagione invernale

ID	Sottostazione	Numero di unità	Tipologia di scambiatori	Taglia [kW_i]	Totale potenza installata [kW_i]
1	PSICO 1	1	PIASTRE	330	330
2	PSICO 2	1	PIASTRE	720	720
3	CENTRO CONGRESSI+CENTRO LINGUISTICO	2	PIASTRE	700	1400
4	DIM-corpo uffici	2	FASCIO TUBIERO	350	700
5	DIM-corpo aule	3	FASCIO TUBIERO	300	900
6	DIM-officina	1	FASCIO TUBIERO	930	930
7	EX DIPARTIMENTO DI FISICA TECNICA	2	FASCIO TUBIERO	175	350
8	AULE VIA UGO BASSI	1	PIASTRE	600	725
		1	PIASTRE	125	
	COMPLESSO PLURIDIPART. VALLISNERI	2	FASCIO TUBIERO	1600	4800
		1	FASCIO TUBIERO	800	
		1	PIASTRE	800	
				TOTALE	10855

Tabella 3. Sottostazioni per la stagione estiva

ID	Sottostazione	N° unità	Scambiatore	Potenza nom. [kW _t]	Totale potenza installata [kW _t]
1	PSICO 1	2	Piastre	400	800
2	PSICO 2	1	Piastre	780	780
3	CENTRO CONGRESSI+CENTRO LINGISTICO	2	Piastre	550	1100
4	DIM-corpo uffici	/	Spillamento diretto	/	/
5	DIM-corpo aule	/	Spillamento diretto	/	/
6	DIM-officina	/	Spillamento diretto	/	/
7	EX DIPARTIMENTO DI FISICA TECNICA	/	Spillamento diretto	/	/
8	AULE VIE UGO BASSI	/	Spillamento diretto	/	/
9	COMPLESSO PLURIDIPARTIMENT. VALLISNERI	/	Spillamento diretto	/	/

Si vede come nella stagione invernale l'utilizzo di scambiatori è preferito ad altri sistemi in tutte le sottocentrali, in modo tale da poter mantenere le temperature di ritorno al primario a un valore sempre sufficientemente elevato e vicino a quello di set point. Sono del tipo a fascio tubiero o a piastre, entrambi in controcorrente, dove al primario si ha l'acqua surriscaldata proveniente dalla rete mentre al secondario si trova il circuito dell'edificio corrispondente. Nella stagione estiva la scelta in fase di progettazione è stata diversa, gli scambiatori sono installati solo negli edifici posizionati più lontano dalla centrale e di più recente costruzione. L'elevata distanza dalla centrale frigorifera li pone in condizioni svantaggiose rispetto gli altri stabili e lo spillamento diretto non consentiva di coprire il fabbisogno richiesto. L'installazione di scambiatori aveva come obiettivo quello di ridurre tale problema, in realtà questi edifici continuano a essere mal serviti nel periodo estivo e le temperature di set point vengono difficilmente mantenute nei periodi di maggior caldo o di affollamento dei locali.

Oltre a determinare i fabbisogni degli edifici si andrà a verificare se la potenza installata in sottocentrale è in grado di soddisfare la richiesta istantanea da parte degli stabili analizzati in questa tesi. Nel caso di spillamento diretto dalla rete questa analisi non può essere fatta e si assume che la rete sia in grado di coprire tale richiesta.

1.2.2. Edifici

Gli stabili risalgono ad anni di costruzione diversi e di conseguenza presentano strutture e impianti molto differenti tra di loro, in alcuni casi anche l'impiego degli ambienti interni è diverso da quello originario. Uno studio approfondito degli edifici è stato effettuato dal dottor Moro per il suo lavoro di tesi. Nel suo elaborato è possibile trovare planimetrie, stratigrafie e disposizione degli spazi nonché gli impianti termotecnici installati e il loro funzionamento. In questo paragrafo si vuole solo dare un'idea di massima sull'utilizzo e sugli impianti presenti negli stabili presi in considerazione. Per avere informazioni sugli edifici non analizzati in questo elaborato fare riferimento al lavoro di Michael Campaci.

Corpo A

Chiamato anche corpo uffici il corpo A è alto 30,9 m, ha 8 piani fuori terra e nessuno interrato. Occupa una superficie lorda di 4318 m² e il volume complessivo è di 14587 m³.

La suddivisione degli ambienti è la seguente:



Figura 3. Vista DIM-A. Fonte dott. Moro

- il piano terra si compone della Biblioteca di Ingegneria Industriale "Enrico Bernardi", della portineria con annessa sala d'aspetto, dei corridoi di collegamento agli altri corpi e della sottostazione termica;
- i piani superiori sono dimensionalmente uguali e sono costituiti da due ali di uffici che si affacciano rispettivamente a nord e sud e che ospitano professori e personale tecnico di ateneo;
- l'ottavo piano prevede un locale tecnico e un deposito.

Il locale tecnologico del piano terra ospita l'unità di trattamento aria della biblioteca, gli scambiatori di calore per la stagione di riscaldamento, le pompe di circolazione, il vaso di espansione e il plc in cui sono impostati orari di accensione e spegnimento della sottocentrale. L'acqua surriscaldata che giunge dalla rete di teleriscaldamento scambia, all'interno di due scambiatori a fascio tubiero, con l'acqua che scorre nel circuito lato utente. Da questi ultimi viene convogliata, tramite elettropompa, in un collettore e da qui inviata a tre linee così suddivise: una serve le batterie di preriscaldamento e postriscaldamento delle unità di trattamento aria, un'altra raggiunge i fan-coils e la terza alimenta i radiatori. La rete di teleraffrescamento presenta un punto di prelievo all'interno di questo locale sprovvisto di scambiatore. Il fluido viene spillato e impiegato per la refrigerazione degli ambienti e dell'aria immessa.

Per quanto riguarda l'acqua calda sanitaria, l'edificio preleva il fluido dall'acquedotto comunale e lo invia ai servizi dove viene scaldato tramite bollitori elettrici.

Dal punto di vista impiantistico si sono riscontrate tre tipologie di ambienti:

- un sistema misto aria primaria - fan coils;
- la biblioteca, la quale è servita da un impianto a tutta aria;
- vani scale condizionati tramite radiatori.

In aggiunta alla UTA del piano terra ce ne sono due che riforniscono i piani dal primo al settimo. Esse sono installate all'ultimo piano; se ne ha una, sprovvista di recupero, che immette aria dal terzo livello fino al settimo, mentre l'altra con recuperatore raggiunge i primi due. Questa suddivisione è dovuta al fatto che in principio i primi due piani, ospitando aule di disegno per la didattica, presentavano richieste differenti. Su entrambe è stata predisposta una sezione umidificante poi dismessa a causa delle continue incrostazioni che ne compromettevano il funzionamento. L'UTA della biblioteca è collegata nella stagione estiva a una macchina autonoma in quanto deve riuscire a smaltire elevati carichi interni e garantire un elevato comfort nell'ambiente. In tabella 4 sono riepilogate le macchine autonome analizzate e le UTA presenti.

La temperatura di set point nell'edificio è di 22 °C d'inverno e 26°C d'estate.

Tabella 4. Macchine autonome e UTA installate nel DIM-A

Tipo	Zone servite	Potenza [kW]	Portata [m³/h]
UTA	Piano terra	/	1400
UTA	Piano primo e secondo	/	8000
UTA	Dal terzo al settimo piano	/	10700
Chiller	Biblioteca Bernardi	17,2	/

Corpo B

Questo edificio costituisce il corpo officina di meccanica. È situato a nord del complesso e si estende per 3927 m² al lordo delle murature. Il volume complessivo è pari a 31157 m³. Questo stabile si compone di due piani e presenta due grandi campate che si sviluppano lungo l'asse est-ovest, collegate attraverso un corridoio di altezza ridotta. Il soffitto irregolare, per permettere il deflusso dell'acqua piovana, raggiunge la sua massima altezza in corrispondenza della torre con i suoi 14,05 m. Al piano terra sono presenti due aule didattiche, laboratori per i test, una stanza meteo, officine e uffici, mentre il primo è occupato, nella quasi totalità, da uffici. Al suo interno sono stati ricavati alcuni box adibiti a uffici per tecnici e ricercatori. La disposizione è parallela a quella del corpo A.



Figura 4. Vista del retro del DIM-B, fonte dott. Moro

La tecnologia privilegiata per questo corpo è quella delle termostrisce radianti. Esse sono alimentate ad alta temperatura direttamente dallo scambiatore posto in centrale termica. Per questi terminali si può assumere che il calore venga scambiato quasi unicamente attraverso il meccanismo della radiazione. Le termostrisce radianti hanno il vantaggio di riscaldare l'ambiente in modo uniforme senza fenomeni di stratificazione e non creano fastidiosi movimenti d'aria e di polveri.

La rete di teleraffrescamento non raggiunge questo corpo.

La successiva suddivisione degli spazi ha stravolto l'impiantistica originale, attualmente gli impianti utilizzati possono essere suddivisi a seconda degli spazi che servono:

- per i grandi spazi delle officine a est è stata scelta una combinazione tra nastri radianti e rooftop;
- per entrambe le aule l'impiantistica prevede un'unità di trattamento aria e due fan coils a supporto delle termostrisce;
- i box disseminati per tutta l'area sono condizionati con split;
- gli uffici a est presentano un'unità di trattamento aria e dei ventilconvettori;
- gli unici spazi unicamente serviti dai nastri sono l'officina per i test a sud-est e quella sottostante la torre a nord-ovest.
- Il corridoio di collegamento tra le due aree è sprovvisto di terminali per la climatizzazione.

Le UTA delle aule sono poste in copertura.

Il condizionamento dei box è realizzato tramite macchine esterne alla rete a eccezione di un ufficio situato al primo piano nella zona a sud. In questo locale, infatti, oltre a due climatizzatori, è stato intercettato un tubo dei nastri radianti e, con uno scambiatore a piastre, viene prodotta acqua calda da inviare a un fan coil.

All'elenco dei dispositivi che non sono alimentati dalla rete si deve menzionare anche il chiller che mantiene a una temperatura prossima ai 20°C la cabina elettrica adiacente le aule, salvaguardandone la strumentazione. A questa vanno aggiunti i due rooftop della grande officina a est e l'unità di trattamento aria che serve la stanza meteo del piano terra con l'ufficio sovrastante.

Le temperature di set point sono di 20°C per l'inverno e 26 per l'estate. In tabella 5 sono riepilogate le macchine autonome prese in considerazione per questo lavoro e le UTA presenti.

Tabella 5.UTA e macchine autonome installate nel DIM-B

Tipo	Zone servite	Potenza [kW]	Portata [m ³ /h]
UTA	Aula m9	/	5800
UTA	Aula m10	/	6800
Chiller	Aule m9 e m10	12,8	/
Chiller	Box	42,2	/
Chiller	Officina meccanica	17,9	/
Chiller	Uffici piano terra	6,5	/

Corpo C-D

Il corpo C-D costituisce i due stabili adibiti a aule della didattica che si affacciano su Viale Colombo. Sono collegati tra loro per mezzo di bretelle e ospitano aule, uffici, laboratori di informatica e di disegno. I due edifici si sviluppano su quattro piani e l'altezza massima raggiunta è di 13,58 m. Questo stabile ha una superficie, al lordo delle murature, di 4633 m²; il volume complessivo è uguale a 14692 m³.



Figura 5. Ingresso DIM-CD, fonte dott. Moro

La sottocentrale di zona è posizionata al piano terra del corpo D ed è ricavata nei locali sottostanti un'aula a gradoni. Vi sono installati tre scambiatori di calore a fascio tubiero. L'acqua calda prodotta lato utenza viene inviata attraverso tre pompe (una di riserva) al collettore di mandata dal quale si diramano cinque linee. Queste andranno ad alimentare le batterie di preriscaldamento e postriscaldamento di quattro unità di trattamento aria e i radiatori disposti lungo le pareti perimetrali di entrambi i corpi. I ritorni sono convogliati in un altro collettore collegato al primo tramite una valvola di by-pass e quindi reintrodotti all'interno degli scambiatori. Per quanto riguarda la refrigerazione, è

previsto uno spillamento dalla rete di teleraffrescamento al fine di alimentare la linea dei fan coils delle aule del corpo C e le batterie fredde delle UTA.

In questo stabile la produzione di acqua calda sanitaria è stata disattivata.

Nei due edifici si distinguono i seguenti ambienti e impianti:

- le aule a gradoni sono servite da un impianto a tutta aria;
- il polo informatico presenta un impianto aeraulico e un circuito di fan coils a supporto;
- l'aula disegno prevede un impianto a tutta aria a cui sono stati aggiunti due climatizzatori;
- le aule del corpo C sono munite di radiatori per il riscaldamento e split per il raffrescamento;
- gli spazi restanti, compresi corridoi e servizi, sono alimentati unicamente da radiatori.

A ogni aula a gradoni è dedicata un'unità di trattamento aria. L'aula di disegno e il laboratorio informatico sono alimentate da un'unità di trattamento aria ciascuna. Queste sono alloggiare al piano terra e raggiungono le zone di competenza attraverso condotte che risalgono il cavedio sopra il locale tecnico. L'aula disegno è servita da una serie di canali che partono dagli estremi dell'aula e giungono fino al centro di questa. Come già accennato, a questo impianto sono stati aggiunti due climatizzatori per ridurre il carico estivo.

L'aula computer è servita da diffusori a cono fissi posizionati sul soffitto. La difficoltà nel sopperire alle esigenze di raffrescamento, a causa del calore prodotto dai computer accesi e dalla radiazione, ha costretto all'installazione di un impianto fan coils. Questo è fornito da una macchina esterna posizionata accanto l'ingresso del fabbricato. Lo stesso dispositivo alimenta anche lo split installato all'ingresso e tutti i condizionatori disposti negli ambienti sopra questo fino all'ultimo piano.

A causa della rottura di una tubazione al piano terra, i radiatori del corridoio di collegamento tra il corpo A ed E sono stati scollegati dalla rete e sono stati installati due fan coils. Questi sono alimentati dall'acqua calda prodotta in sottostazione e hanno il compito di mitigare le temperature invernali.

La regolazione dei radiatori è effettuata dalla valvola termostatica montata a bordo del dispositivo. Per quanto riguarda la linea fan coils, invece, il termoregolatore è posto, come previsto da norma, a 1,5 m da terra negli ambienti da raffrescare. Le piccole aule poste sopra la tettoia sono condizionate in estate da una macchina autonoma posta nel cortile. I servizi igienici e gli altri locali di passaggio sono scaldati unicamente da radiatori. In tabella 6 sono riepilogate le macchine autonome analizzate e le UTA presenti. La temperatura interna di set point è pari a 22°C per la stagione invernale e 26°C d'estate.

Tabella 6. Macchine autonome e UTA analizzate nel DIM-CD

Tipo	Zone servite	Potenza [kW]	Portata [m³/h]
UTA	Aula m1	/	5000
UTA	Aula m2	/	8800
UTA	Aula Disegno	/	6100
UTA	Aula computer	/	6100
Chiller	Aula computer, ingresso, M6, M7, sala seminari e sala lettura, laboratorio LIM	90	/

Corpo E

Il corpo E si colloca a ovest del Complesso di Ingegneria. Prima che venisse accorpato a meccanica costituiva il Dipartimento di Fisica Tecnica. Lo stabile si compone di un piano terra, occupato da officine e laboratori di fluidodinamica, acustica e conduttività, e da tre piani superiori adibiti a uffici, aule per seminari e sale riunioni. L'altezza raggiunta dalla costruzione è di 17 m, ha una superficie complessiva di 2679 m² e il volume lordo totale è di 9376 m³. La sua facciata principale è orientata a nord e lo sviluppo dell'edificio segue parallelamente il corpo aule.



Figura 6. Vista frontale del DIM-E, fonte dott. Moro

La sottostazione dell'Ex Dipartimento di Fisica Tecnica è disposta su due livelli: parte della componentistica si trova al piano terra e parte è raggiungibile da questo attraverso delle scale che conducono al piano seminterrato. Gli scambiatori installati in questa sottocentrale sono due e sono del tipo a fascio tubiero.

Per il raffrescamento questa sottostazione è priva di scambiatori. L'acqua fredda proveniente dalla centrale frigo viene direttamente spillata dalla rete e inviata tramite collettori al circuito fan coils e alle batterie fredde della centrale di trattamento aria. L'acqua calda prodotta lato utenza è raccolta anch'essa in un collettore e alimenta un circuito fan coils e le batterie della UTA. In questo spazio sono alloggiati anche le elettropompe di circolazione, i vasi di espansione e un quadro di comando. Quest'ultimo decide accensione e spegnimento della sottostazione in base alla temperatura esterna, a quella sul ritorno del primario e a un timer regolato settimanalmente dai manutentori della centrale termica. La centrale di trattamento aria che serve tutti i piani è posta nel locale tecnico in copertura ed è dotata di recuperatore. Il laboratorio di conduttività posto al piano terra presenta una macchina autonoma che viene usata di supporto per la stagione estiva.

Per quanto riguarda la fornitura di acqua per la produzione di ACS, il corpo E è alimentato dalla rete idrica dell'acquedotto cittadino. Nei locali sono presenti bollitori elettrici con cui essa viene scaldata.

In questo fabbricato le tipologie impiantistiche per il riscaldamento e raffrescamento degli ambienti sono due:

- per gli uffici è previsto un impianto aeraulico supportato da fan coils disposti all'interno di nicchie sotto le finestre;
- per i vani scale il condizionamento è garantito unicamente da ventilconvettori.

Sono sprovvisti di terminali i servizi igienici e i corridoi di separazione tra le due ali di studi. Questi, però, godono della loro posizione centrale all'interno dei piani e della ventilazione indotta dalle bocchette di ripresa collocate in tali spazi. In tabella 7 sono riepilogate le macchine autonome prese in considerazione in questa tesi e le UTA presenti.

La temperatura di set point è pari a 22°C d'inverno e 26°C nel periodo estivo.

Tabella 7. UTA e macchine autonome presenti nel DIM-E

Tipo	Zone servite	Potenza [kW]	Portata [m ³ /h]
UTA	Tutti i piani	/	8700
Chiller	Lab. Conduttività	12	/

Psico-1

L'edificio è situato in Viale Venezia ed è stato acquistato "chiavi in mano" dall'Università di Padova nel 1992. Con questa dicitura si intende che una società esterna ha commissionato e costruito l'opera cedendola poi all'ateneo al termine dei lavori. Lo stabile si compone di:

- un piano interrato con locali destinati a laboratori, stabulari e vani tecnici;
- un piano terra destinato ad ambienti di rappresentanza, direzione e amministrazione;
- un piano primo con locali destinati a studi, laboratori e aule informatiche;
- una torre che comprende altri cinque piani in elevazioni con locali destinati a studi;
- un ulteriore volume sopra la copertura con il compito di accogliere la centrale di trattamento aria e altre installazioni.

Il fabbricato risulta avere una forma particolare; i primi due piani emersi, infatti, hanno planimetrie simili e interessano una superficie quadrata con lato che si aggira attorno ai 36 m, dal piano secondo in poi si sviluppa una costruzione più snella che va a costituire una torre con lato corto di 12 m.

Il piano interrato e la copertura ospitano i locali tecnologici dell'edificio. L'edificio occupa un'area di 7137 m², il volume fuori terra è di 16547 m³ mentre quello interrato è di 8238 m³. L'altezza massima raggiunta dallo stabile è di 26,6 m. La sua facciata principale è rivolta a nord-ovest. Le condotte della rete di teleriscaldamento e teleraffrescamento giungono dalla centrale attraverso un cunicolo del diametro di 1,5 m. La sottocentrale tecnologica è ubicata, come già anticipato, al piano interrato e contiene uno scambiatore a piastre lato caldo e due lato freddo. Al suo interno sono anche installate le pompe di circolazione dei fluidi secondari, i vasi di accumulo, due centrali di trattamento aria e il DDC che controlla l'intero apparato.

L'acqua calda sanitaria è prodotta nei vari servizi tramite scaldabagni elettrici.

All'interno del fabbricato si possono trovare zone servite da impianti differenti:

- al piano interrato lo stabulario impone che i suoi ambienti siano mantenuti a punto fisso (30°C) e il sistema di condizionamento prevede un impianto aeraulico a doppio condotto con cassetta di miscelazione di zona; in supporto è stata aggiunta una pompa di calore scollegata dalla rete;
- gli studi, i corridoi e l'atrio sono provvisti anch'essi di un sistema misto con immissione di aria primaria e fan coils per sopperire ai carichi;
- i vani scale e i servizi igienici sono muniti di radiatori e vengono unicamente scaldati durante la stagione fredda.



Figura 7. Vista dal retro PSICO-1, Fonte dott.Moro

Le riprese dell'aria sono effettuate in parte dai corridoi e in parte dai servizi che sono mantenuti in leggera depressione. Per rifornire tutti questi ambienti sono necessarie tre centrali di trattamento aria provviste di recuperatori. L'umidificatore è scollegato in tutte le UTA per problemi igienico-sanitari e per rischio incrostazioni. L'esigenza degli stabulari di temperatura a 30°C a 24h ha imposto l'introduzione di due batterie elettriche per il preriscaldamento e postriscaldamento. Esse sono subordinate al funzionamento della centrale termica; durante il giorno contribuiscono al raggiungimento delle condizioni desiderate mentre di notte provvedono interamente al condizionamento della portata d'aria.

A eccezione dello stabulario le temperature di set point per tutto l'edificio sono di 22°C d'inverno e 26°C d'estate. In tabella 8 sono riepilogate le macchine autonome prese in considerazione per questo lavoro.

Tabella 8. Macchine autonome PSICO-1

Tipo	Zone servite	Potenza [kW]	Portata [m³/h]
P.d.C.	Stabulario	13	/

Psico-2

L'edificio è collocato all'angolo tra Via Venezia e Via N. Tommaseo, è stato anch'esso acquistato "chiavi in mano" dall'Università e l'anno di compravendita è il 1995. Lo stabile è caratterizzato da un piano interrato e sette piani fuori terra:

- il piano interrato è occupato da locali tecnologici (cabina elettrica, gruppo di continuità, sala server e sottocentrale termica), il magazzino della biblioteca di Psicologia e l'archivio delle segreterie;
- il piano terra, in parte a doppia altezza, ospita gli uffici di segreteria per studenti;
- il piano primo è destinato a uffici delle segreterie per il personale;
- tre piani sono adibiti ad aule didattiche;
- due piani costituiscono la biblioteca della Facoltà di Psicologia
- un ulteriore volume in copertura accoglie le centrali di trattamento aria e altre installazioni.



Figura 8. Facciata edificio Psico 2, fonte dott. Moro

La superficie lorda occupata è pari a 7680 m²; il volume presenta 24255 m³ fuori terra e 3562 m³ nella parte interrata.

Nella sottocentrale di zona sono ubicati due scambiatori a piastre, uno per l'acqua surriscaldata e uno per l'acqua refrigerata; le condotte di acqua refrigerata e surriscaldata arrivano attraverso cunicoli sotterranei dalla centrale e sono in acciaio rivestite di POLITEX. Nello stesso locale si trovano la centrale di trattamento aria relativa al piano terra e primo, tutti gli accessori di centrale come i vasi di espansione, i collettori, il quadro elettrico a servizio degli impianti, il quadro della regolazione automatica e l'impianto di pressurizzazione. Nel volume tecnico in copertura sono installate le due centrali di trattamento aria che sono a servizio rispettivamente dei piani biblioteca e dei piani aule. Quella riservata alla didattica è munita anche di recuperatore di calore a fluido bifase, di inverter per la regolazione della velocità e di tutta la componentistica elettrica che ne segue. In tutte le cta dell'edificio la sezione umidificante non è attiva.

Per la distribuzione è previsto un cavedio di notevoli dimensioni che collega il locale tecnico del piano interrato con quello in copertura. Questo contiene le canalizzazioni d'aria, le tubazioni d'acqua calda e di quella refrigerata, le condotte dell'antincendio e quelle di scarico. La posizione delle centrali principali è stata studiata per mantenere le dimensioni del cavedio entro limiti accettabili. L'aria raggiunge i vari ambienti tramite condotta all'interno del controsoffitto.

Il sistema di condizionamento al piano terra è costituito da radiatori e aria primaria, nei rimanenti piani i grandi volumi delle aule richiedono l'utilizzo di un sistema diverso. Si trovano infatti fan coil con aria primaria che permettono di mantenere le temperature di set point e di avere elevati ricambi d'aria. Nel periodo invernale la temperatura di set point è pari a 22°C mentre d'estate è pari a 26°C.

In tabella 9 sono riepilogate le macchine autonome prese in considerazione per questo lavoro e le UTA presenti.

Tabella 9. UTA installate presso PSICO-2

Tipo	Zone servite	Potenza [kW]	Portata [m³/h]
UTA	Piano terra e primo	/	8500
UTA	Biblioteca	/	4000
UTA	Piani aule	/	26000

Centro Linguistico di Ateneo

L'edificio è posizionato lungo Via Venezia e presenta una superficie lorda di 6706 m², a cui corrisponde un volume di 27007 m³. Il fabbricato è costituito da un spazio interrato e da sette piani fuori terra. La sottocentrale termica e la cabina elettrica sono alloggiate al piano interrato e sono in comune con lo stabile del Centro Congressi. Quest'ultima è collegata all'anello di media tensione del Nord Piovego tramite il punto di prelievo di Psicologia 2. Gli altri ambienti dell'edificio si possono così scomporre:

- piano terra, comprendente l'atrio di ingresso con portineria, servizi, sbarco ascensori e accesso al vano scale, una sala di controllo e quattro aule didattiche;
- il piano primo è interamente occupato da aule e segue la disposizione del livello precedente;
- i piani secondo, terzo e quarto ospitano laboratori linguistici, informatici e aule didattiche;
- il piano quinto è suddiviso in uffici amministrativi e studi;
- il piano in copertura è anch'esso un locale tecnologico dove sono montate le centrali di trattamento aria dei vari piani.



Figura 9. Vista del CLA dalla strada, fonte Google Maps

Gli impianti termotecnici a servizio dell'edificio fanno capo a una sottostazione generale di scambio termico e di pompaggio che è situata al piano interrato, nella quale sono convogliati i fluidi termovettori prodotti nelle centrali termica e frigorifera dell'area Nord Piovego.

Nella centrale sono installati quattro scambiatori di calore, del tipo a piastre: due sono destinati al circuito di riscaldamento e due al raffrescamento. Entrambi sono completi di termoregolazione, rispettivamente con valvole a tre vie e a due vie, installate sui rispettivi circuiti primari.

La sottostazione contiene inoltre apparecchiature accessorie, quali i vasi di espansione, i sistemi di trattamento dell'acqua destinati ai vari impianti e il quadro elettrico di alimentazione.

Per quanto riguarda la fornitura di acqua per la produzione di ACS, sia Centro Linguistico che Centro Congressi sono alimentati dalla rete idrica dell'acquedotto cittadino. La centrale contiene un serbatoio di accumulo, un gruppo di pressurizzazione per raggiungere i piani sopraelevati e il sistema di addolcimento dell'acqua.

A livello impiantistico il fabbricato prevede solamente due tipologie di sistemi di condizionamento:

- aule, uffici e zone di passaggio sono serviti da ventilconvettori con aria primaria;
- per i vani scale e i servizi igienici del quinto piano invece, la scelta impiantistica ha privilegiato l'impiego di radiatori.

I servizi igienici degli altri piani sono sprovvisti di terminali e tenuti in leggera depressione per effettuare la ripresa dell'aria esausta.

Il trattamento dell'aria viene effettuato nella copertura sul tetto e poi tramite condotte poste all'interno di cavedi tra le pareti l'aria viene distribuita tra le varie zone. Le UTA devono garantire un numero di ricambi orari ottimale per il benessere delle persone e nel periodo estivo vengono utilizzate come supporto ai fan coil per smaltire gli elevati carichi interni.

Le temperature che devono essere mantenute nell'edificio sono di 20°C nella stagione invernale e 26 °C in quella estiva.

In tabella 10 sono riepilogate le UTA presenti.

Tabella 10. UTA installate presso CLA

Tipo	Zone servite	Potenza [kW]	Portata [m ³ /h]
UTA	Piano terra	/	12200
UTA	Piano primo	/	12200
UTA	Piano secondo	/	12200
UTA	Piano quarto e quinto	/	12000

1.3. Centrale termica e rete di teleriscaldamento

La centrale termica viene impiegata unicamente nella stagione convenzionale di riscaldamento che va dal 15 ottobre al 15 aprile e produce acqua surriscaldata per la rete di teleriscaldamento. L'acqua calda sanitaria viene prodotta all'interno di ogni edificio tramite boiler elettrici o caldaie dedicate, a eccezione del Vallisneri che sfrutta la produzione in centrale tramite apposito boiler a gas.

È costituita da tre caldaie che producono vapore che viene utilizzato all'interno di uno scambiatore a fascio tubiero per scaldare l'acqua della rete a una pressione massima di 15 bar e una temperatura di progetto di 160°C. Attualmente la rete viene esercita a una temperatura molto inferiore, all'incirca 110°C in mandata con un ritorno di 80-90°C.

Nella tabella 11 vengono riassunte le caratteristiche principali delle tre caldaie.

Tabella 11. Generatori installati in centrale termica

	Generatore 1	Generatore 2	Generatore 3
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 installata in centrale risulta pari a 13,5 MW, con la possibilità di utilizzare solo alcuni dei tre gruppi nei periodi di minor richiesta termica da parte della rete. Per la stagione invernale 2017-2018 le caldaie sono state sostituite a seguito di una rottura registrata nella stagione 2016-2017; di questo non si tiene però conto in questo lavoro in quanto fa riferimento all'anno 2015-2016.

In centrale sono presenti inoltre un vaso di espansione e un serbatoio di accumulo che garantiscono il reintegro dell'acqua e il mantenimento della pressione nel circuito.

L'acqua calda prodotta nel fascio tubiero viene convogliata in un unico collettore da cui parte il primo tratto comune della rete di teleriscaldamento.

Capitolo 1. Analisi del caso studio

Il fluido termovettore si muove lungo la rete spinto da tre pompe in parallelo poste in centrale. Di queste pompe due funzionano in maniera alternata e una rimane di supporto in caso di emergenza. Le caratteristiche di queste macchine vengono riportate di seguito:

- Prevalenza: $h=35$ m;
- Portata: $\dot{m}=22,22$ l/s;
- Velocità: $n=1450$ giri/minuto.

Dalla condotta principale si hanno dei distaccamenti che andranno ad alimentare le sottostazioni poste in corrispondenza di ciascun edificio. L'unica eccezione è il DIM-B, chiamato anche ex officine di meccanica. Questo edificio non presenta una sottostazione ma dispone di uno scambiatore posto direttamente in centrale che permette di riscaldare la portata di fluido che necessita.

La rete viene rappresentata qui sotto in figura 10 in maniera schematica. Si vede come le condotte che escono dalla centrale sono tre:

- Linea 1: alimenta il DIM-B
- Linea 2: alimenta il complesso di Biologia, DIM-E e le aule Bassi
- Linea 3: alimenta Psico 1, Psico 2, il Centro linguistico di Ateneo, Dim CD e DIM A.

Queste tubazioni si muovono sottosuolo all'interno di cunicoli percorribili a piedi. Le tre linee individuate si suddividono ulteriormente in tratti minori che vanno ad alimentare le relative sottostazioni.

La centrale è controllata da un conduttore che ha il compito di accendere e spegnere le caldaie ogni giorno; in passato questi erano due garantendo una maggiore durata e controllo delle macchine durante la stagione invernale. Esiste un registro delle accensioni ma non è presente il corrispettivo per lo spegnimento rendendo più difficile la valutazione del periodo di accensione delle caldaie.

Diametri e lunghezze dei tratti delle condotte sono riportati nelle tabelle 12,13 e 14.

Tabella 12. Linea 1

Sottostazione e tratto della rete	Diametro interno [mm]	Lunghezza [m]
DIM-B	107	25

Tabella 13. Linea 2

Sottostazione e tratto della rete			Diametro interno [mm]	Lunghezza [m]
	1	5A	163	20
	2	AH	163	10
DIM-E	3	HI	49	9
	4	HL	163	68
VALLISNERI	5	LM	108	25
	6	LN	103	20
	7	NO	103	52
	8	OR	54	92
AULE BASSI	9	OR'	64	92

Tabella 14. Linea 3

Sottostazione e tratto della rete			Diametro interno [mm]	Lunghezza [m]
	1	5A	153	20
	2	AB	153	27
DIM-C/D	3	BC	54	26
	4	BD	133	70
DIM_A	5	DE	44	6
	6	DF	123	98
PSICO 1	7	FG	49	45
	8	FK	123	20
PSICO 2	9	KG	108	10
CLA	10	KK	123	41

1.4. Centrale frigorifera e rete di teleraffrescamento

La centrale frigorifera si trova nello stesso stabile di quella termica. All'interno troviamo quattro compressori a vite, le condotte del fluido primario e secondario mentre sul tetto sono posizionate le torri evaporative.

Il periodo di attivazione della centrale non è definito da normative locali e viene quindi deciso dal personale tecnico dell'università a seconda del clima che si verifica ogni anno. In linea di massima si considera stagione estiva il periodo che va dalla seconda metà di maggio a settembre. L'unico edificio non servito dalla centrale è il DIM-B, il quale dipende interamente da macchine autonome.

I quattro gruppi frigoriferi hanno potenza nominale di 900 kW_t ciascuno e sono uguali tra di loro. Sono costituiti da un compressore a vite ermetico in grado di parzializzare utilizzando valvole a cassetto. È possibile utilizzare i gruppi in maniera indipendente l'uno dall'altra per poter inseguire meglio la domanda nell'arco della stagione e della giornata. L'accensione dei gruppi avviene in maniera automatica secondo un programma preimpostato nel computer della centrale, solamente il quarto gruppo rimane sempre spento e viene acceso dagli addetti quanto gli altri tre gruppi non riescono a soddisfare la domanda. Tipicamente il quarto gruppo viene acceso nei periodi di punta e lasciato funzionare anche durante la notte per un semplice fattore di comodità. Il fluido refrigerante impiegato non è lo stesso per tutti e quattro i gruppi, nella tabella 15 vengono riassunte le caratteristiche di ciascuno di essi.

Tabella 15. Caratteristiche dei gruppi frigoriferi presenti nella centrale

	Condensatore	Evaporatore	Compressore	Fluido	Potenza [kW_t]
Gruppo 1	Fascio tubiero, TRANE C301	Fascio tubiero, TRANE	Ermetico a vite, TRANE CHHA280NAK_N1851N	R22	900
Gruppo 2	Fascio tubiero, TRANE C301	Fascio tubiero, TRANE	Ermetico a vite, TRANE CHHA280NAK_N1851N	R22	900
Gruppo 3	Fascio tubiero, TRANE C301	Fascio tubiero, TRANE	Ermetico a vite, TRANE CHHA280NAK_N1851N	R134a	900
Gruppo 4	Fascio tubiero, TRANE C301	Fascio tubiero, TRANE	Ermetico a vite, TRANE CHHA280NAK_N1851N	R22	900

Il fluido R22 è inutilizzabile in quanto non rispetta i limiti di legge previsti per i gas alogenati, di conseguenza non è più possibile ricaricare le macchine con questo fluido. A seguito di un intervento di manutenzione sul terzo gruppo è stato necessario sostituire il fluido con uno a norma di legge che consenta di ottenere prestazioni simili e che sia compatibile con i componenti della macchina frigorifera, giustificando l'impiego di R134a.

In condizioni di funzionamento nominali i gruppi forniscono all'evaporatore acqua refrigerata a 7°C che viene convogliata tramite quattro pompe in un unico collettore. Ogni pompa lavora in corrispondenza di un gruppo frigorifero e permette di vincere le perdite di carico dell'evaporatore e dei tratti di rete di competenza della centrale. Le prime tre pompe seguono le accensioni dei primi tre gruppi, la quarta viene invece lasciata funzionare costantemente per tutto il giorno durante la stagione di raffrescamento. Questa scelta è legata a due fattori, il primo è un problema di ricircolo della portata che si verifica se la quarta pompa rimane spenta e che comporta un innalzamento della temperatura di mandata del primario,

il secondo è dovuto all'assenza di un tecnico in centrale per tutta la giornata che accenda e spenga la macchina nei momenti di necessità.

Dal collettore della refrigerata parte la condotta principale della rete di teleraffrescamento che si muove sottosuolo all'interno degli stessi cunicoli usati dalla rete di teleriscaldamento. Dalla condotta principale si hanno degli spillamenti che permettono di andare a servire le sottostazioni presenti negli edifici. L'acqua refrigerata di ritorno, dopo aver scambiato con i secondari di ogni stabile, ha una temperatura nominale di 12°C.

Il calore rigettato dai condensatori dei gruppi frigoriferi viene asportato utilizzando un secondo circuito nel quale scorre acqua di acquedotto che viene mandata alle torri evaporative tramite quattro pompe poste in parallelo. Le torri sono due, divise a loro volta in due sezioni. Ogni sezione presenta un ventilatore dedicato che permette la circolazione dell'aria esterna, non è possibile far operare una sola sezione ma devono andare contemporaneamente. Non sono previsti sistemi alternativi o di supporto alle torri evaporative. Questo è un problema nei periodi di elevata richiesta di freddo da parte degli edifici ed elevata umidità relativa esterna, situazioni che si presentano spesso le mattine dei mesi di luglio e che non consentono un buon avviamento della centrale. In queste condizioni le torri faticano a smaltire il calore da sole e la centrale è costretta a ridurre la potenza fornita alla rete parzializzando o accendendo solamente parte dei gruppi frigoriferi. L'acqua dispersa in ambiente per evaporazione da parte delle torri viene reintegrata continuamente con un consumo medio di 5 metri cubi all'ora. L'acqua utilizzata nelle torri viene prima trattata in un addolcitore situato in centrale con l'obiettivo di ridurre i sali e le impurità presenti per non avere problemi di incrostazioni lungo le griglie di aspirazione dell'aria esterna. Queste vanno a ridurre la portata di aria in ingresso alle torri con conseguente riduzione della loro capacità di smaltire il calore e necessità di un intervento di manutenzione da parte dei tecnici. I ventilatori delle torri generano rumore che va a disturbare le abitazioni vicine, per questo motivo non possono essere utilizzate durante la notte o alla mattina presto. In figura 11 si ha una rappresentazione schematica della centrale frigorifera e delle condotte che costituiscono la rete.

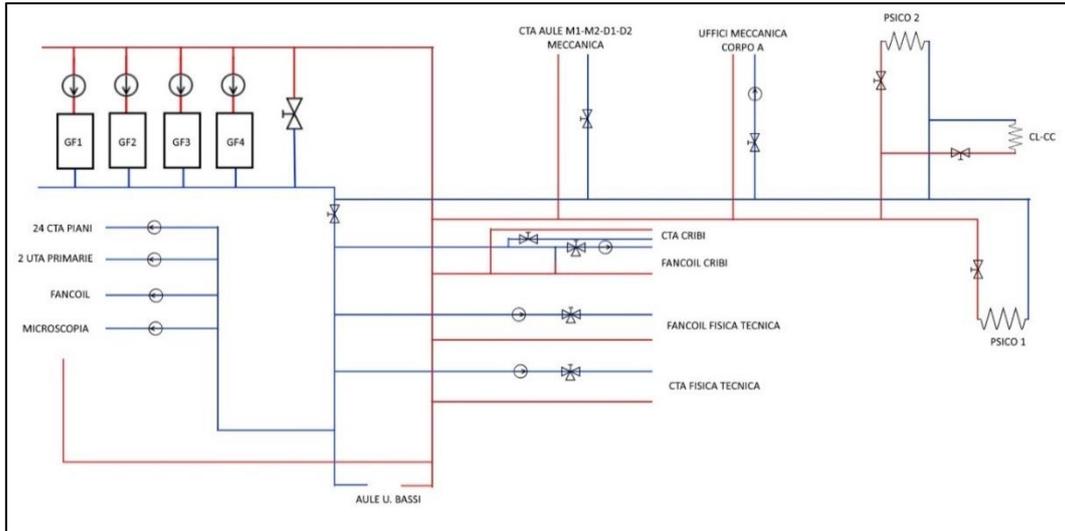


Figura 11. Schema della rete di Teleraffrescamento

Le torri e il relativo circuito secondario non vengono rappresentati nello schema precedente. Le condotte della rete sono poste in parallelo a quelle della rete invernale per cui sono state assunte lunghezze uguali per entrambi i casi; nelle tabelle 16 e 17 sono riepilogate le lunghezze corrispondenti a ogni tratto di rete.

Tabella 16. Linea 2

Sottostazione e tratto della rete			Lunghezza [m]
COLLETTORE	0		
	1	5A	20
	2	AH	10
DIM-E	3	HI	9
	4	HL	68
Vallisneri	5	LM	25
	6	LN	20
	7	NO	52
AULE BASSI	8	OR	92

Tabella 17. Linea 3

Sottostazione e tratto della rete			Lunghezza [m]
	1	5A	20
	2	AB	27
DIM-CD	3a	BC	26
DIM-CD	3b		26
	4	BD	70
DIM-A	5	DE	6
DIM-A	5	DE	6
	6	DF	98
PSICO-1	7	FG	45
	8	FK	20
PSICO-2	9	KG*	10
CLA	10	KK'	41

A differenza della centrale termica non è più presente un conduttore, gli impianti si avviano automaticamente la mattina seguendo un timer preimpostato. I tecnici dell'università hanno la responsabilità di avviare il quarto gruppo manualmente quando gli altri tre non riescono a soddisfare la domanda. La mancanza di un conduttore fa sì che la centrale non venga sfruttata al massimo delle proprie potenzialità e che spesso il quarto gruppo venga lasciato acceso nel periodo notturno aumentando i consumi elettrici senza portare alcun beneficio in quanto le torri evaporative sono spente e quindi è impossibile la condensazione del fluido refrigerante.

1.5. Cabina elettrica

Il gestore che fornisce il vettore elettrico è l'Enel. La cabina è posizionata accanto alla centrale termica e serve tutti gli edifici tramite un anello di media tensione da 10 kV. La sottocentrale comune del Centro Congressi e del Centro Linguistico è collegata in derivazione attraverso la sottostazione di Psicologia 2. A differenza delle utenze termiche/frigorifere la Mensa Esu Nord Piovego è allacciata alla cabina elettrica. Il gestore offre la possibilità di reperire i consumi elettrici tramite un apposito portale ma non suddivide i consumi della mensa da quelli del resto del complesso visto che il punto di prelievo è unico.

2. DATI E MODELLI PRELIMINARI

In questa tesi si porta a compimento un lavoro precedentemente iniziato dai miei colleghi. Per questo motivo alcuni dati e modelli di partenza vengono recuperati e non ricostruiti da zero. Anche il periodo di analisi viene considerato uguale e va da marzo 2015 a febbraio 2016. Dove possibile i modelli vengono adattati alle nuove informazioni disponibili altrimenti vengono ricostruiti da zero. I risultati ottenuti negli altri lavori di tesi non vengono riportati in quanto ricalcolati in questo lavoro. I fabbisogni ottenuti in questo elaborato fanno riferimento solo a parte degli edifici, come anticipato nel capitolo precedente, mentre lo studio della rete è complessivo in quanto la centrale termica e frigorifera è unica. Nel seguente capitolo si vogliono illustrare tutti i dati, i software e i modelli dinamici recuperati dalle tesi precedenti.

2.1. Consumi energetici

Per poter valutare le prestazioni del sistema di condizionamento del Nord Piovego è essenziale conoscere i consumi nel periodo dell'analisi sia in termini di gas naturale che elettrici. Oltre a questa possibilità la conoscenza dei consumi da un'idea immediata della spesa che l'ateneo sostiene per mantenere in funzione la zona del Nord Piovego e fornire tutti i servizi a essa connessi. L'intero complesso è allacciato a un'unica cabina di media tensione e un unico punto di prelievo del gas, permettendo così una raccolta dei consumi. La mensa è allacciata alla stessa cabina elettrica degli edifici sebbene non sia gestita direttamente dall'università ma da un ente terzo. Non si ha un contatore dedicato per poter attribuire alla mensa i relativi consumi elettrici e questo problema verrà analizzato successivamente. A livello burocratico l'università riceve un pagamento annuale da parte dell'ESU per la componente energia consumata. È stata fatta richiesta per ottenere tale valore come punto di partenza per successive analisi ma non è stato ottenuto nessun riscontro. Per accedere alle rimanenti informazioni è necessario fare domanda presso gli uffici tecnici e contabili dell'università, con i conseguenti problemi di attesa legati alle pratiche burocratiche da aprire. Per il periodo di riferimento dell'analisi i consumi sono stati richiesti e raccolti dai dottori Moro e Rotolo.

2.1.1. Consumi elettrici

Nel caso di cabine di media tensione ENEL consente ai propri clienti di ottenere tramite un apposito portale i dati sul consumo dell'energia elettrica con intervalli di tempo di 15 minuti, permettendo di raggiungere un elevato dettaglio nell'analisi dei consumi. Nei prossimi capitoli si discuterà ampiamente di come siano stati analizzati e utilizzati i dati a disposizione, in tabella 18 si vuole solo riportare il consumo su base mensile ed il relativo costo sostenuto ricavati dalla semplice lettura delle fatture emesse dall'operatore.

Tabella 18. Consumi e costi mensili di energia elettrica del complesso Nord-Piovego

Mese	Consumo elettrico [kWh _{el}]	Costo energia elettrica esclusa IVA [€]
Marzo 2015	709379	104210
Aprile 2015	637705	688136
Maggio 2015	707295	95882
Giugno 2015	847763	112352
Luglio 2015	1079949	140742
Agosto 2015	842537	898547
Settembre 2015	821004	123966
Ottobre 2015	691046	108203
Novembre 2015	722423	86756
Dicembre 2015	707744	92504
Gennaio 2016	726727	790282
Febbraio 2016	687092	82191
TOTALE	9180664	3323778

La spesa economica ed energetica in termini assoluti è elevata ma non può essere valutata senza prendere in considerazione le attività svolte e il numero di persone che usufruiscono del complesso. Mediamente per le aziende italiane la spesa energetica contribuisce per un fattore compreso tra il 2 e 6% alle spese complessive, non è stato possibile eseguire anche questa analisi per l'università per mancanza di dati.

2.1.2. Consumi termici

Avendo a disposizione un unico punto di prelievo di gas per tutto il complesso è facile recuperare i consumi mensili e i relativi costi sostenuti. Il punto di prelievo è situato in prossimità della centrale termica. Maggiori informazioni su come sono stati utilizzati i dati vengono fornite nei capitoli successivi mentre nella tabella 19 sono riportati i consumi mensili in metri cubi di gas e il costo. I consumi termici in kWh_t sono invece calcolati prendendo un potere calorifico inferiore per il metano di $34.54 \frac{Mj}{Nm^3}$.

Tabella 19. Consumi e costi mensili di gas naturale del complesso Nord-Piovego

Mese	Consumo di gas [m ³]	Consumi termici [kWh _t]	Costo energia termica esclusa IVA [€]
Marzo 2015	73610	706247	40684
Aprile 2015	26740	256555	13854
Maggio 2015	5312	50966	3346
Giugno 2015	4095	39289	2276
Luglio 2015	4856	46590	2814
Agosto 2015	3304	31700	1808
Settembre 2015	5621	53930	3010
Ottobre 2015	29551	283525	15327
Novembre 2015	104139	999155	53939
Dicembre 2015	140556	1348556	114704
Gennaio 2016	152813	1464458	82612
Febbraio 2016	117642	1128707	67514
TOTALE	668239	6409682	401889

2.2. Trnsys e modelli

Il software utilizzato per determinare il fabbisogno degli edifici e compiere le simulazioni dinamiche della rete è TRNSYS che permette tramite due tools differenti di costruire modelli non geometrici degli edifici e modelli di sistemi più complessi come una rete di teleriscaldamento. I due tools sono:

- TrnBuild
- Simulation studio

TrnBuild è la componente utilizzata per realizzare i modelli degli edifici. È necessario disporre della planimetria, della stratigrafia delle pareti, componenti vetrate, orientamento e posizione geografica. Questo tool non è di tipo geometrico e quindi non è necessario costruire all'interno del software l'edificio, è sufficiente inserire in maniera complessiva i metri quadri presenti per ogni tipo di superficie, la loro orientazione e posizione. Per quanto riguarda gli impianti utilizzati non è richiesto di specificarne la tipologia ma solamente la potenza e se impiegati per scaldare o raffrescare. Permette inoltre di valutare la ventilazione, le infiltrazioni e i carichi interni. Per creare modelli più dettagliati è poi possibile dividere l'edificio in piani e in zone. I modelli utilizzati sono stati creati dal dott. Moro a seguito di rilevazioni sul campo e analisi approfondite. Per poter sfruttare al meglio le possibilità di TrnBuild Moro ha costruito i modelli utilizzando gli stessi criteri per tutti gli edifici:

- A ogni piano corrisponde un modello, nel caso di piani uguali è sufficiente creare un solo modello e ripetere la simulazione;
- Ogni piano è stato suddiviso in più zone termiche. Le zone sono state scelte cercando di individuare locali simili in termini di utilizzo, temperatura di set point e impianti di condizionamento utilizzati. Il numero di zone per ogni piano è variabile;
- Sale server e sale macchine che richiedono di essere mantenute a una temperatura differente da quelle di set point dell'edificio sono state attribuite singole zone. Queste zone non vengono condizionate e non vengono valutati i carichi interni per mancanza di informazioni. In questo modo le macchine autonome utilizzate per ottenere queste temperature possono essere trascurate nella determinazione del fabbisogno;
- Potenza degli impianti illimitata per poter valutare la vera richiesta termica da parte delle singole zone in ogni periodo dell'anno e valutare se le macchine installate sono in grado di sopperire a tale domanda;
- Ventilazione a portata costante e corrispondente alla portata nominale delle UTA;
- Infiltrazioni diverse a seconda della stagione, maggiori nelle mezze stagioni in quanto si considera che le finestre vengono lasciate aperte più a lungo;
- Condizionamento attivo secondo uno schedule impostato esternamente al software;
- I contributi gratuiti interni sono calcolati tenendo conto delle persone presenti, delle luci e dei computer. Tutti seguono uno schedule esterno;
- Contributi solari valutati utilizzando il coefficiente di Shading per le superfici vetrate;

I modelli creati sono impiegati per la determinazione del fabbisogno degli edifici per tutto l'arco dell'anno. Lo schedule utilizzato viene realizzato tenendo conto dell'effettivo funzionamento degli

impianti e della reale presenza delle persone all'interno degli edifici. È stato realizzato dopo rilevazioni sul campo e ricerche bibliografiche. Nella tabella 20 viene riportato il profilo orario di attivazione dell'impianto di condizionamento, valutato dal dott. Moro nelle sue rilevazioni.

Tabella 20. Schedule della centrale, fonte Moro

CENTRALE TERMICA			CENTRALE FRIGORIFERA			
15/10-15/04	ON		01/06-15/09	ON		
Giornaliero	On	Off	Giornaliero	On	Off	P
15 ott-1 nov	7	16	1 giu-30 giu	6	20	2,7
	7	10	1 lug-8 ago	6	20	3,6
	13	16		20	6	0,9
1 nov-15 mar	5	19	8 ago-20 ago	6	20	1,8
16 mar-15 apr	7	16		20	6	0,9
	7	10	1 set-15 set	6	20	2,7
	13	16				
15/04-15/10	OFF		15/09-01/06	OFF		

Per le sottostazioni è stato creato un secondo schedule, con un avvio degli impianti di ogni edificio ritardato di un'ora rispetto alla centrale e chiusura in concomitanza per poter simulare al meglio il funzionamento degli impianti, in particolare quello di ventilazione e riportato in tabella 21:

Tabella 21. Schedule della sottocentrale, fonte Moro

CENTRALE TERMICA			CENTRALE FRIGORIFERA			
15/10-15/04	ON		01/06-15/09	ON		
Giornaliero	On	Off	Giornaliero	On	Off	P
15 ott-1 nov	8	16	1 giu-30 giu	7	20	2,7
	8	10	1 lug-8 ago	7	20	3,6
	14	16		20	6	0,9
1 nov-15 mar	6	19	8 ago-20 ago	7	20	1,8
16 mar-15 apr	8	16		20	6	0,9
	8	10	1 set-15 set	7	20	2,7
	13	416				
15/04-15/10	OFF		15/09-01/06	OFF		

Basandosi sull'articolo di (PROGLHOF) dal titolo "User behavior and energy performance in buildings", per i carichi interni è stato realizzato uno schedule differente che consente di valutare in maniera più adeguata questo contributo. La potenza generata viene ricavata basandosi sui seguenti parametri, tratti dalla norma (UNI-ISO 7730).

Tabella 22. Potenza attribuita ai carichi interni secondo UNI-ISO-7730, fonte Moro

CARICHI INTERNI		
Illuminazione [W/m ²]	Computer [W/pc]	Persone [W/pers]
10	150	65

Tabella 23. Considerazioni sulla presenza di carichi interni tratte dall'articolo di Mahdavi, fonte Moro

CONSIDERAZIONI			
N° PERSONE		N° PC	
Uffici	Aule e biblioteche	Uffici e biblioteche	Aule
1 persona ogni 20m ²	60% capienza posti	1 computer per persona	Assenti

Le infiltrazioni vengono assunte uguali per ogni edificio e pari a:

- Mezza stagione: 0,5 vol/h;
- Inverno: 0,1 vol/h;
- Estate: 0,1 vol/h.

Per rendere i modelli facilmente modificabili e consentire di eseguire diverse simulazioni i parametri richiesti dal software vengono quasi interamente forniti in input tramite un foglio dati. Per questo motivo i carichi interni, la ventilazione, le temperature di set point e le infiltrazioni vengono predisposte nel modello ma richiedono un input esterno. Le caratteristiche geometriche e strutturali dello stabile sono invece inserite all'interno del modello e devono essere modificate tramite il software Trnbuild prima di ogni simulazione.

In figura 12 viene riportata l'interfaccia di tale software, si vedono le zone presenti, i parametri richiesti in input e le possibilità di impostare diverse soluzioni per il riscaldamento e raffrescamento.

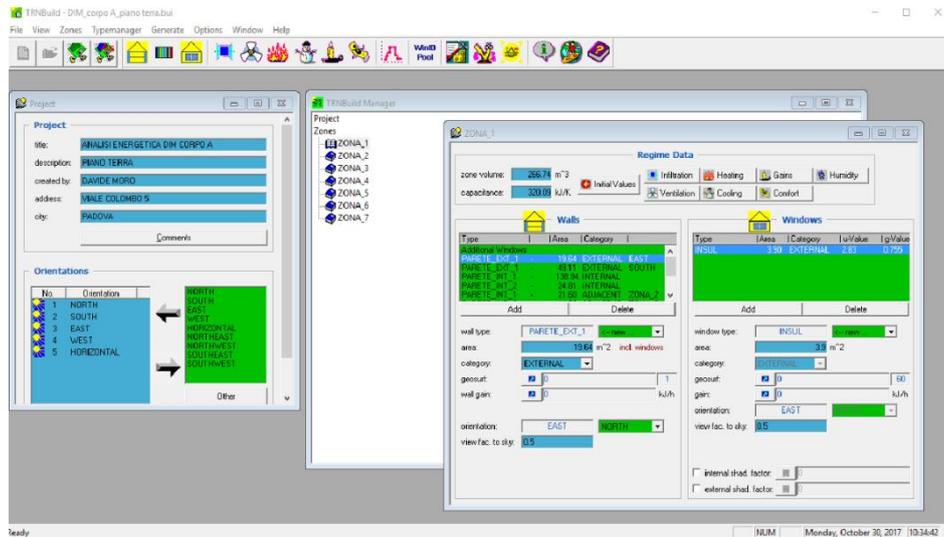


Figura 12. Interfaccia Trnbuild

Nella tesi di Moro vengono riportati in dettaglio tutti i modelli realizzati e le valutazioni che hanno portato alla costruzione di tali modelli, in figura 13 si riporta a titolo d'esempio il modello relativo al piano terra del DIM-A e le relative considerazioni effettuate.

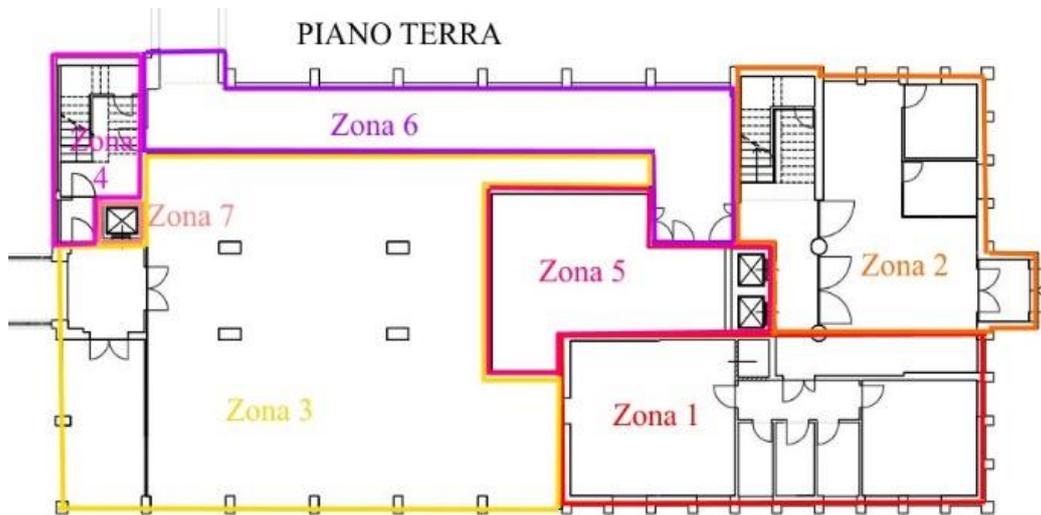


Figura 13. Suddivisione in zone piano terra Dim A, fonte Moro

Al piano terra del DIM-A si trova l'ingresso con portineria, una biblioteca, vani tecnici, rampe di scale, ascensori e sale d'attesa. La grande varietà di tipologie di ambienti ha portato a suddividere tale modello in 7 zone:

- Zona 1: portineria, uffici ala sud e sala minore della biblioteca Bernardi;
- Zona 2: sala d'attesa più scale;
- Zona 3: ingresso biblioteca Bernardi e sala principale;
- Zona 4: scale zona ovest;
- Zona 5: ascensore e sottostazione termica;
- Zona 6: corridoio;
- Zona 7: ascensore di servizio.

Vani tecnici, scale e vani ascensore vengono riuniti in zone uniche quando possibile o viene creata una zona dedicata in quanto solitamente non presentano terminale per il riscaldamento o raffrescamento. Aule o biblioteche allo stesso modo vengono rappresentate con una zona specifica in modo da poter valutare gli elevati carichi interni generati dalle persone che frequentano questi ambienti. Nella zona 5 e 7 non è stato impostato l'impianto di riscaldamento e quindi risultano per il modello come zone non riscaldate. La zona 4 che rappresenta comunque un vano scala risulta riscaldata in quanto sono presenti dei radiatori in corrispondenza della porta di entrata. Gli impianti di riscaldamento e raffrescamento vengono attivati con potenza illimitata e secondo uno schedule esterno. La stessa cosa per ventilazione e infiltrazioni. I carichi interni vengono stimati per ogni zona e attivati secondo uno schedule esterno. Calcolare i carichi interni per singola zona permette di valutare in maniera più accurata la richiesta di potenza massima. Considerazioni analoghe vengono effettuate per ogni piano di ciascun edificio fino alla realizzazione di modelli che ne rappresentino lo stato reale di funzionamento.

Il tool Simulation Studio permette di simulare il comportamento dei modelli degli edifici per tutto l'arco dell'anno utilizzando il file climatico Venezia-Tessera come fonte di input per i dati relativi al clima esterno e con step temporali variabili. Può essere utilizzato anche per la simulazione di impianti o sistemi di produzione di energia più complessi, per questo motivo viene sfruttato anche per la costruzione del modello della rete di teleriscaldamento e teleraffrescamento. È un software di tipo sequenziale che richiede degli input per poter poi fornire in uscita degli output, costituito da type che raccolgono al loro interno delle funzioni preimpostate e che permettono in maniera veloce di creare il proprio modello o rete. È possibile creare le proprie type utilizzando una calcolatrice che permette di inserire le funzioni necessarie per ottenere gli output desiderati. Le type presenti sono notevoli e legate al settore dell'energia; si trovano tubazioni, stampanti, valvole, pompe, scambiatori etc.

In figura 14 viene riportata una schermata del software relativa alla simulazione del fabbisogno del piano terra del DIM-A.

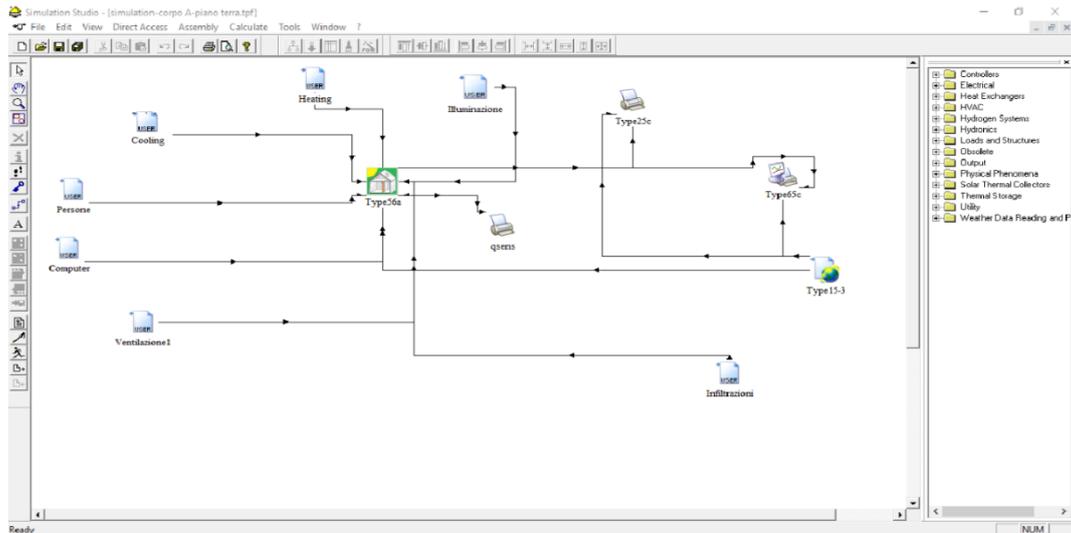


Figura 14. Interfaccia SimulationStudio

L'analisi dei fabbisogni degli edifici prevede di utilizzare allo stesso modo il software per ogni stabile fornendo in input i medesimi file, i quali come spiegato sopra possono avere valori differenti da una simulazione alla successiva per eseguire analisi diverse. I file necessari per il corretto funzionamento del software sono:

- Modello del piano costruito con Trnbuild;
- Type 15-3 che permette di richiamare il file climatico;
- Fogli txt contenenti le informazioni relative alle temperature di set point, ventilazione, infiltrazioni, carichi interni e i relativi schedule.

I risultati ottenuti in output dal software rappresentano i fabbisogni netti invernali ed estivi degli edifici analizzati, possono essere salvati in un file txt esterno o essere visualizzati direttamente sul monitor tramite grafici in due dimensioni. Per fare ciò si sfruttano le type 25c e 65c. Utilizzando questo schema Moro ha realizzato i file Simulation per ogni edificio. La simulazione viene eseguita per tutto l'anno con uno step temporale di un'ora. Il software permette di modificare questo valore e scendere molto al di sotto ma per la determinazione del fabbisogno stagionale non è stato necessario.

La rete di teleriscaldamento è stata realizzata sempre utilizzando Simulation Studio dalla dott.ssa Colpo e presa come punto di partenza per implementare alcune modifiche e completare i pezzi mancanti. Per realizzare la rete è necessario simulare la centrale, gli edifici e tutti i tratti di condotta che li uniscono. Le type utilizzate sono le seguenti:

- Type Equation: una calcolatrice che permette di inserire un'equazione e fornisce come output il risultato;
- Type heat exchanger: permette di simulare il funzionamento di uno scambiatore di calore in controcorrente;
- Type weather: permette di utilizzare un file climatico e fornire in output i soli parametri richiesti;

edificio. I tratti di color nero rappresentano il percorso in mandata mentre quelli in rosso sono i tratti di ritorno.

Nella calcolatrice che rappresenta la centrale è stata implementata la seguente equazione:

$$Q = \frac{\dot{m}}{3600} * 4,186 * (T_{mandata} - T_{ritorno})$$

In questo modo è possibile calcolare il calore che deve essere fornito ogni ora per mantenere la rete in temperatura. La portata è costante e pari a 144000 l/h, la temperatura di mandata viene impostata secondo i valori di tabella 24 mentre quella di ritorno dipende dalle dispersioni lungo la rete e dalla quantità di calore scambiata con ogni edificio.

Tabella 24. Temperatura di mandata della centrale termica

Ora	T_mandata
1	20
2	20
3	20
4	20
5	50
6	70
7	90
8	90
9	90
10	90
11	90
12	90

Ora	T_mandata
13	90
14	90
15	90
16	90
17	90
18	90
19	20
20	20
21	20
22	20
23	20
24	20

La calcolatrice degli edifici presenta invece una differente equazione:

$$T_i = T_u - \frac{q_i}{\frac{\dot{m}}{3600} * C_p}$$

La portata è costante per ogni edificio e il fabbisogno q_i è stato stimato nelle simulazioni precedenti. La temperatura T_u è calcolata nella type heat exchanger permettendo così di ottenere la temperatura di uscita del fluido secondario dopo aver alimentato ogni stabile.

La forma della rete fa sì che ogni tratto di essa sia costruito tramite modelli identici tra di loro, nei quali vengono solamente cambiati i parametri geometrici e i fabbisogni richiesti. I parametri che caratterizzano le tubazioni della rete sono la lunghezza, diametro interno e coefficiente di dispersione termica. Ogni tratto di rete viene quindi rappresentato tramite la Type tubazione e caratterizzato attribuendo gli effettivi valori dei parametri sopra citati.

Gli scambiatori di calore sono del tipo in controcorrente, al primario si ha la rete mentre al secondario le condotte dei singoli edifici e le relative temperature di ingresso e uscita. L'efficienza è stata fissata a 0,8 e rappresenta la quota di calore effettivamente scambiata rispetto la massima teorica.

Il modello è quindi ottenuto collegando assieme tutti i componenti presentati tramite delle frecce che indicano la direzione e il verso del flusso delle informazioni. Ogni parametro calcolato o fornito viene trasferito a un componente successivo tramite una freccia, come a simulare un trasferimento fisico di materia. Ad esempio a ogni tratto di condotta viene fornito in input la portata di fluido, la sua temperatura e la temperatura esterna. In output si avrà la portata di fluido e la nuova temperatura raggiunta a causa delle dispersioni con l'ambiente esterno. L'output della condotta può essere utilizzato per alimentare un'altra tubazione, uno scambiatore o un edificio a seconda di cosa si vuole ricostruire.

Facendo girare il modello per tutta la stagione invernale con step temporale di un'ora si ottiene una simulazione dinamica della rete e la possibilità di valutare l'effettiva energia che deve essere fornita in centrale per coprire i fabbisogni stimati degli edifici e le dispersioni termiche. Permette inoltre di determinare le dispersioni verso l'esterno e l'efficienza della rete.

2.3. Dati climatici

Per effettuare una simulazione dinamica di un edificio e successivamente quella di una rete è necessario disporre di un file climatico contenente le informazioni relative al clima della località analizzata o di località vicine con condizioni climatiche similari. Il numero di parametri necessari dipende dal tipo di analisi che si intende svolgere. Nel caso specifico si hanno a disposizione un file climatico relativo a Venezia-Tessera e alcuni dati relativi a Legnaro.

2.3.1. File climatico Venezia-Tessera

Il file climatico è disponibile gratuitamente ed è stato scaricato dal sito energyplus.com. Si tratta di un TRY (Test Reference Year o anno tipico meteorologico), una sequenza di dati meteorologici orari, realmente misurati, selezionati da una serie storica almeno decennale. Nel caso specifico i dati sono stati raccolti in un periodo che va dal 1951 al 1970 e il file è stato creato dal prof. Livio Mazzarella del Politecnico di Milano. I parametri contenuti sono numerosi e non tutti necessari per gli obiettivi di questo lavoro, da qui il bisogno di selezionare solamente quelli utili all'implementazione dei modelli dinamici presentati nel paragrafo precedente. Vengono elencati di seguito:

- Temperatura bulbo secco;
- Temperatura della volta celeste;
- Umidità relativa;
- Radiazione globale incidente;
- Radiazione diffusa incidente;
- Angolo di incidenza.

2.3.2. Dati climatici ARPAV Legnaro

La stazione meteorologica ARPAV di Legnaro raccoglie dati climatici su base oraria per tutto l'arco dell'anno. Per caratterizzare in maniera migliore la simulazione è necessario avere dei dati il più vicino simili a quelli reali e la stazione di Legnaro dista pochi chilometri dal complesso del Nord Piovego fornendo una buona approssimazione. I dati ottenuti da questa stazione meteorologica sono:

- Temperatura bulbo secco;
- Radiazione globale incidente.

Il periodo di dati a disposizione va dal 01/03/2015 al 28/02/2016, coerente con il periodo dell'analisi.

2.4. Monitoraggi regime invernale

Si conoscono le condizioni di funzionamento nominale della centrale e delle sottostazioni ma è necessario verificare se durante il periodo di riscaldamento queste vengano effettivamente realizzate. È già stato detto come la temperatura di generazione dell'acqua surriscaldata sia stata abbassata rispetto le condizioni di progetto iniziali per esigenze tecniche. Per verificare quali siano le vere condizioni di funzionamento è necessario effettuare dei monitoraggi. Si hanno a disposizione i monitoraggi delle portate e delle temperature della rete eseguiti dalla dott.ssa Colpo per il suo lavoro di tesi.

La portata da lei stimata è stata ripresa per le prime analisi anche in questo lavoro e successivamente modificata. Le rilevazioni sono state effettuate con uno strumento a ultrasuoni sulle tubazioni di ritorno per non avere problemi di lettura dovute alle elevate temperature dell'acqua nei tratti di mandata. I risultati ottenuti sono riassunti nelle tabelle 25 e 26. I tratti di rete seguono la nomenclatura utilizzata nel paragrafo relativo alla rete di teleriscaldamento.

Tabella 25, Portata e velocità Linea 2, fonte Colpo

Sottostazione e tratto della rete			Portata [l/h]	Velocità [m/s]
	1	5A	66276	0,88
	2	AH	66276	0,88
DIM-E	3	HI	8136	0,99
	4	HL	58140	0,77
VALLISNERI	5	LM	50400	1,53
	6	LN	7740	0,26
	7	NO	7740	0,26
	8	OR	1980	0,24
AULE BASSI	9	OR'	5760	0,50

Tabella 26, Portata e velocità Linea 3, fonte Colpo

Sottostazione e tratto della rete			Portata [l/h]	Velocità [m/s]
	1	5A	64980	0,98
	2	AB	64980	0,98
DIM-C/D	3	BC	9540	1,16
	4	BD	55440	1,11
DIM_A	5	DE	12600	1,15
	6	DF	42840	1,00
PSICO 1	7	FG	6552	0,97
	8	FK	36288	0,85
PSICO 2	9	KG*'	10512	0,32
CLA	10	KK'	25776	0,60

Non tutti i tratti di rete erano accessibili per effettuare le misure. Dove non possibile le misure sono state dedotte da calcoli o dai progetti originali. Le rilevazioni sono state effettuate in giornate diverse ma sempre con la centrale in pieno regime e quindi con le pompe in funzionamento nominale.

Si può assumere che le portate non cambino tra giorni differenti se le pompe vengono fatte funzionare sempre in condizioni nominali.

Le temperature di mandata e ritorno del fluido termovettore in centrale non vengono registrate ma possono essere lette utilizzando i sensori di temperatura presenti lungo le condotte. Per avere dati anche nelle ore notturne la dott.ssa Colpo ha effettuato delle misure di temperatura utilizzando delle termocoppie e lasciandole funzionare per un'intera giornata. In figura 16 è rappresentata la temperatura di mandata della centrale registrata durante i monitoraggi.

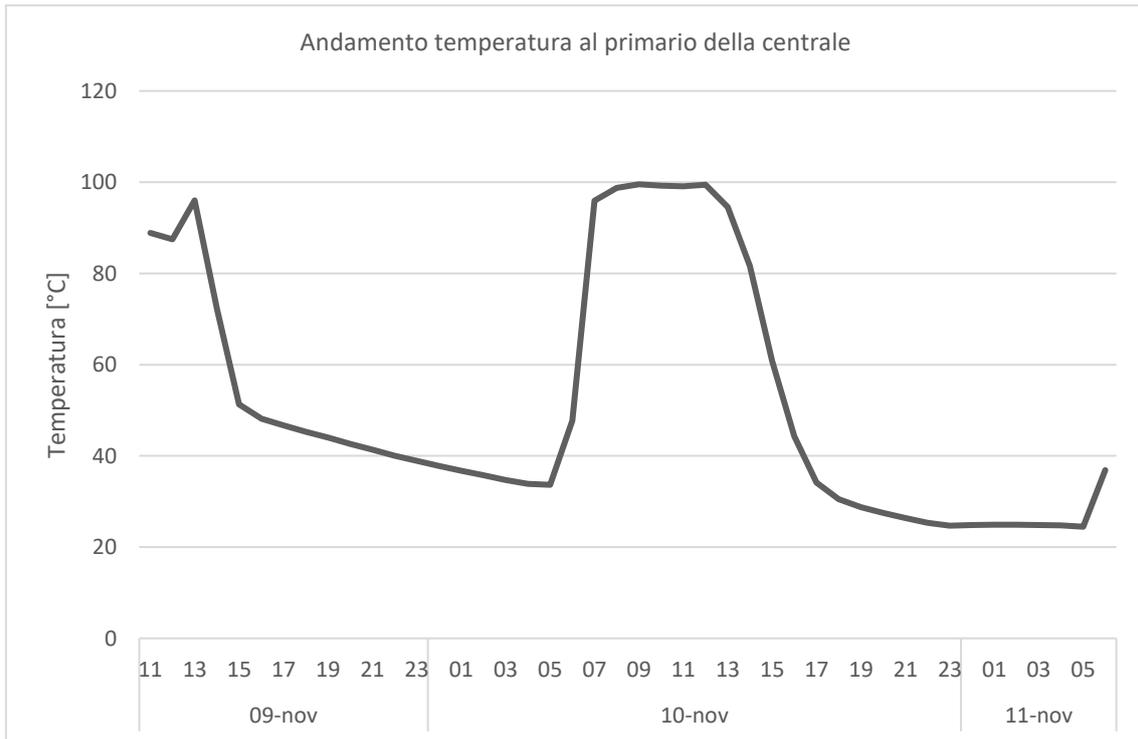


Figura 16. Andamento della temperatura di mandata della centrale, fonte Colpo

Dal grafico si vede chiaramente come la temperatura di esercizio della rete si aggiri sui 100°C mentre lo spegnimento è avvenuto molto prima dell'orario ipotizzato da Moro. Si considera che la centrale in quel particolare giorno abbia chiuso anticipatamente per necessità, perché una chiusura alle ore 14 nel mese di novembre risulta troppo anticipata rispetto la chiusura degli stabili. La didattica termina normalmente alle ore 18 e tutti gli edifici del complesso non sono in grado di mantenere la temperatura interna di set point per quattro ore con la centrale spenta. Non essendo disponibili altri monitoraggi di temperatura non è possibile assumere che questi siano orari di accensione e spegnimento reali e nemmeno che siano le temperature alla quale viene esercita la rete. Si può però trarre un'idea di massima del funzionamento della centrale e verificare se con tali valori le simulazioni forniscono risultati verosimili o meno..

2.5. Monitoraggi regime estivo

Per poter costruire il modello della rete di teleraffrescamento e avere maggiori informazioni sul reale funzionamento dei sistemi di condizionamento degli edifici si sono rese necessarie delle rilevazioni sul campo e dei sopralluoghi presso le sottostazioni di ogni edificio. I monitoraggi effettuati riguardano la portata di fluido e le relative temperature e fanno riferimento alla stagione estiva 2017. I valori ottenuti non possono essere presi tali e quali per effettuare le simulazioni dinamiche che fanno invece riferimento all'anno 2015 ma fungono da base per la determinazione del profilo orario di funzionamento della centrale frigorifera.

La portata di acqua refrigerata che circola per la rete è stata misurata con uno strumento a ultrasuoni della GREINER costituito da un cristallo piezoelettrico, eccitato da energia elettrica alla sua frequenza di risonanza, il quale emette onde sonore che si propagano con la velocità che ha il suono nel fluido oggetto della misurazione. Lo strumento consiste in due trasduttori per la trasmissione e la ricezione delle onde sonore; questi trasduttori possono essere posizionati in due modi: diametralmente opposti rispetto al condotto, oppure dallo stesso lato della tubazione. Nel primo caso il metodo viene chiamato diretto e i due trasduttori, uno a monte e uno a valle, emettono e ricevono il segnale lungo una linea diagonale che attraversa il condotto;

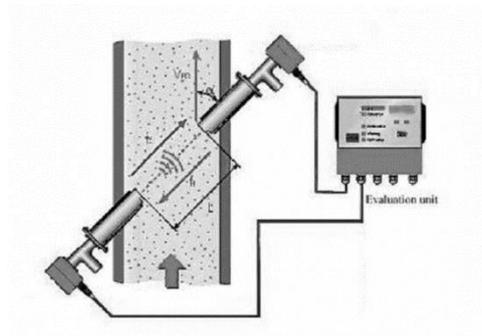


Figura 17. Misuratore di portata con metodo diretto

nel secondo caso invece i trasduttori si trovano dallo stesso lato e sfruttano la riflessione dell'onda nel tubo.

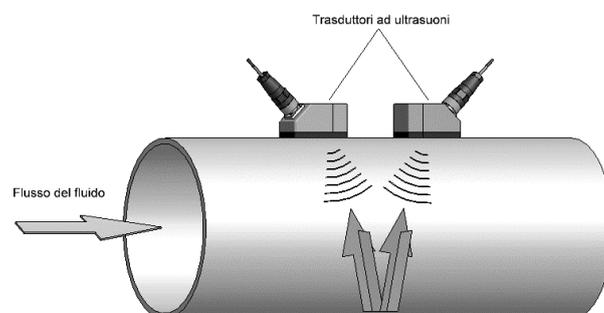


Figura 18. Misuratore di portata con metodo riflesso

La caratteristica fondamentale è che il tempo impiegato dall'onda sonora per raggiungere il ricevitore è funzione della velocità del suono nel fluido e della velocità del fluido, da cui si può quindi ricavare la portata circolante nel condotto. I vantaggi d'uso di questi misuratori sono:

- il costo di acquisto è indipendente dal diametro della tubazione;
- facilità d'installazione;
- non ho perdite di carico indotte dallo strumento;

Per contro la temperatura massima raggiunta è di 150°C, richiedono delle periodiche tarature e necessitano di fluidi puliti o poco sporchi.

Le rilevazioni devono essere effettuate su tratti di tubi regolari, a una distanza pari ad almeno tre volte quella del diametro da curve o variazioni di sezione, così da non avere turbolenze nel moto e variazioni nella velocità che possano alterare i risultati ottenuti. Inoltre le condotte devono essere piene di fluido, in presenza di bolle d'aria lo strumento non è in grado di rilevare la portata che fluisce. Per agevolare le operazioni di misura si utilizza un gel per ultrasuoni che viene posto tra i trasduttori e la parete esterna delle condotte.

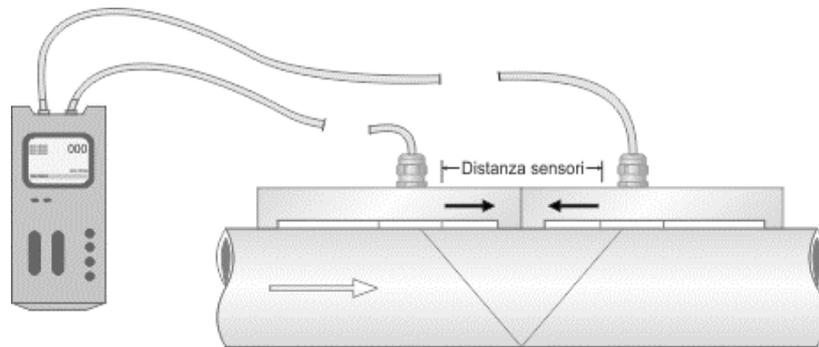


Figura 19. Misuratore di portata collegato all'acquisitore

Le rilevazioni sono state effettuate nelle sottostazioni lungo i tratti di condotta più facilmente accessibili e che distino a sufficienza da curve e raccordi. Non è stato facile individuare una posizione adatta in tutte le sottostazioni e alcuni risultati ottenuti possono aver risentito di questo. Le tubazioni sono coperte con materiale isolante e infine rivestite con una copertura di alluminio mentre lo strumento per poter funzionare deve essere posizionato in corrispondenza delle tubazioni. È stato quindi necessario rimuovere i rivestimenti prima di effettuare le misure. Una volta individuata la posizione corretta per lo strumento è necessario fornirgli in input il diametro del tubo, lo spessore e il materiale di cui è composto. In output lo strumento fornisce la distanza alla quale devono essere posizionati i due trasduttori per effettuare la prova.

I risultati ottenuti sono riepilogati nelle tabelle 27, 28, 29, 30, 31:

Tabella 27. Monitoraggio portata Aule Bassi e Vallisneri

Sottocentrale	Aule Bassi			Vallisneri		
Posizione	Sottostazione tetto, alimentazione delle UTA			Sottostazione piano interrato		
Sito Misura	Condotta di ritorno			Condotta di ritorno		
Data e Ora	21/07/2017 11:30			24/07/2017 11:15		
Circonferenza tubo [m]	0,52			0,865		
Diametro esterno [m]	0,166			0,275		
Spessore [m]	0,005			0,007		
Diametro interno [m]	0,156			0,261		
Portata [l/s]	med	min	max	med	min	max
	5,7	5	6	71,5	71	72,5
Velocità [m²/s]	0,30	0,26	0,31	1,33	1,33	1,36
ΔT [°C]	5			2,9		
Clima	giornata molto calda			giornata medio calda		

Tabella 28. Monitoraggio portata PSICO-1 e PSICO-2

Sottocentrale	Psicologia 2			Psicologia 1		
Posizione	Sottostazione piano interrato			Sottostazione piano interrato		
Sito Misura	Condotta di ritorno			Condotta di ritorno		
Data e Ora	24/07/2017 14:45			24/07/2017 15:30		
Circonferenza tubo [m]	0,53			0,463		
Diametro esterno [m]	0,169			0,147		
Spessore [m]	0,006			0,006		
Diametro interno [m]	0,158			0,136		
Portata [l/s]	med	min	max	med	min	max
	9,3	8,5	/	13,5	11,5	15,55
Velocità [m²/s]	0,47	0,44	/	0,92	0,84	0,95
ΔT [°C]						
Clima	giornata medio calda			giornata medio calda		

Tabella 29. Monitoraggio portata DIM-E e CLA

Sottocentrale	DIM			CLA		
Posizione	Sottostazione E			Sottostazione piano interato		
Sito Misura	Condotta di ritorno			Condotta di ritorno		
Data e Ora	26/07/2017 11:00			25/07/2017 11:30		
Circonferenza tubo [m]	0,322			0,688		
Diametro esterno [m]	0,102			0,219		
Spessore [m]	0,005			0,006		
Diametro interno [m]	0,092			0,207		
Portata [l/s]	med	min	max	med	min	max
	7,95	7,85	8	15,4	14,5	16,3
Velocità [m²/s]	1,20	1,18	1,201	0,47	0,45	0,49
ΔT [°C]						
Clima	giornata fresca			giornata fresca		

Tabella 30. Monitoraggio portata DIM-A

Sottocentrale	DIM			DIM		
Posizione	Sottostazione C-D			Sottostazione C-D		
Sito Misura	Condotta di ritorno tronco M1 - M2			Condotta di ritorno tronco UTA 2° e 3° piano		
Data e Ora	25/07/2017 10:10			25/07/2017 09:50		
Circonferenza tubo [m]	0,19			0,174		
Diametro esterno [m]	0,060			0,055		
Spessore [m]	0,003			0,003		
Diametro interno [m]	0,054			0,049		
Portata [l/s]	med	min	max	med	min	max
	0,89	0,87	1	1,51	1,5	1,53
Velocità [m²/s]	0,375	0,37	0,44	0,83	0,82	0,85
ΔT [°C]						
clima	giornata fresca			giornata fresca		

Tabella 31. Monitoraggio portata DIM-A

Sottocentrale	DIM			DIM		
Posizione	Sottostazione A			Sottostazione A		
Sito Misura	Condotta di ritorno tronco P1-2			Condotta di ritorno tronco P3-7 + PT		
Data e Ora	25/07/2017 11:30			25/07/2017 12:00		
Circonferenza tubo [m]	0,19			0,285		
Diametro esterno [m]	0,060			0,091		
Spessore [m]	0,003			0,0035		
Diametro interno [m]	0,054			0,084		
Portata [l/s]	med	min	max	med	min	max
	2,35	2,3	2	7,3	7,23	7,32
Velocità [m ² /s]	1,01	0,99	1	1,29	1,28	1,32
ΔT [°C]						
Clima	giornata fresca			giornata fresca		

I tratti di rete che si muovono all'interno dei cunicoli sotterranei sono rivestiti con materiale contenente amianto e quindi non è stato possibile rimuovere l'isolante per effettuare le misurazioni. Non c'è nessun punto in cui effettuare la misura nemmeno presso la centrale frigorifera o sul primo tratto di rete e quindi non è stato possibile misurare la portata complessivamente elaborata. Tutte le misure sono state effettuate però sulla rete, anche negli edifici con scambiatore sono state fatte sul primario. La portata elaborata dalle pompe durante la giornata è sempre costante e per il principio di conservazione della massa la si può quindi calcolare come somma dei contributi misurati in corrispondenza delle sottostazioni. Lo stesso ragionamento può essere fatto per calcolare la portata nei tratti di tubo intermedi che collegano la condotta principale con le sottostazioni.

Non è possibile invece determinare il diametro delle condotte in maniera indiretta non avendo a disposizione la velocità del fluido per ogni tratto di condotta. Risulta però essenziale definire la rete in tutti i suoi tratti e nelle sue caratteristiche. Il diametro viene allora calcolato impostando una velocità limite all'interno delle condotte tale da garantirne integrità strutturale, il valore dipende dal materiale di cui sono costituite le tubazioni.

Nelle tabelle 32 e 33 sono riassunte portate, diametri, velocità e lunghezze di ogni tratto della rete.

Tabella 32. Caratteristiche rete teleraffrescamento Linea 2

Sottostazione e tratto della rete			Diametro interno [mm]	Lunghezza [m]	Portata [l/h]	Velocità [m/s]
COLLETORE	0		310		489204	1,8
	1	5A	260	20	306450	1,6
	2	AH	260	10	306450	1,6
DIM-E	3	HI	93	9	28530	1,2
	4	HL	261	68	277920	1,4
Vallisneri	5	LM	261	25	257400	1,3
	6	LN	156	20	20520	0,3
	7	NO	156	52	20520	0,3
AULE BASSI	8	OR	156	92	20520	0,3

Tabella 33. Caratteristiche rete teleraffrescamento Linea 3

Sottostazione e tratto della rete			Diametro interno [mm]	Lunghezza [m]	Portata [l/h]	Velocità [m/s]
	1	5°	207	20	182754	1,6
	2	AB	207	27	182754	1,6
DIM-CD	3a	BC	49	26	5454	1,0
DIM-CD	3b		55	26	3186	0,4
	4	BD	207	70	174114	1,5
DIM-A	5	DE	84	6	26298	1,3
DIM-A	5	DE	55	6	8496	1,0
	6	DF	207	98	139320	1,2
PSICO-1	7	FG	135	45	50400	1,0
	8	FK	207	20	88920	0,8
PSICO-2	9	KG*	158	10	33480	0,5
CLA	10	KK'	207	41	55440	0,5

In centrale frigorifera sono presenti diversi strumenti analogici di misurazione della temperatura posti lungo le condotte ma privi di manutenzione e non considerati affidabili. Di contro ogni macchina frigorifera dispone di sonde termiche nei circuiti primario e secondario, le misure che effettuano possono essere lette tramite un piccolo monitor posto a bordo macchina. Non è possibile però salvare in maniera automatica in un documento esterno le temperature. Avere a disposizione il profilo di temperatura giornaliero o settimanale del fluido termovettore risulta molto utile in fase di analisi della rete per cui è stato deciso di compiere un lavoro di monitoraggio anche su queste grandezze.

Lo strumento utilizzato è una termocoppia con acquisitore collegata a un computer. Una termocoppia è costituita da una coppia di materiale semiconduttori uniti tra loro in un punto, chiamato giunzione. Questa giunzione viene chiamata giunto caldo o giunzione calda, ed è il punto nel quale viene applicata la temperatura da misurare. L'altra estremità è convenzionalmente chiamata giunto freddo o giunzione fredda. Quando esiste una differenza di temperatura tra il giunto caldo e il giunto freddo, si può rilevare una differenza di potenziale elettrico tra le estremità libere della termocoppia. Tale valore di potenziale elettrico è funzione diretta della differenza di temperatura, secondo una legge non lineare e viene convertito in un valore di temperatura dal software presente nel computer. La taratura dello strumento non è stata da me eseguita in quanto già effettuata dalla prof.ssa Graci. Le misurazioni da me effettuate sono avvenute in concomitanza con altre rilevazioni che stava già eseguendo così da rendere non necessario la taratura delle termocoppie.

Lo strumento è stato collegato in centrale a valle del collettore del primario, sia sulle condotte di mandata che su quelle di ritorno sfruttando dei pozzetti liberi. Eseguo una misura al minuto ed è rimasto collegato alla rete per una settimana. Per non appesantire i grafici e le tabelle che verranno presentate successivamente i dati sono stati rielaborati e vengono valutati su base media oraria per tutte le ore in cui è stata eseguita la misura. In figura 20 è rappresentato l'andamento medio orario della temperatura di mandata e di ritorno della centrale per quattro giorni.

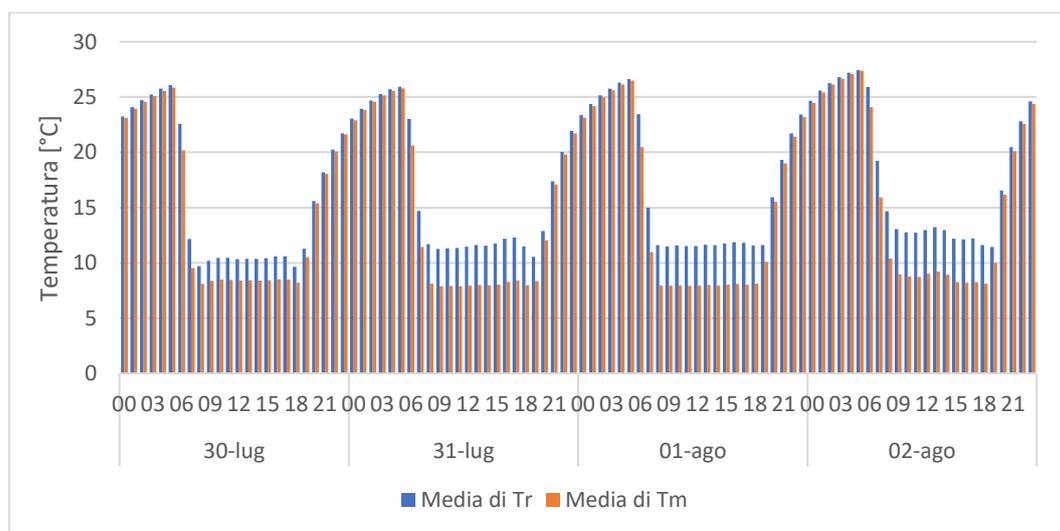


Figura 20. Monitoraggio temperatura centrale frigorifera

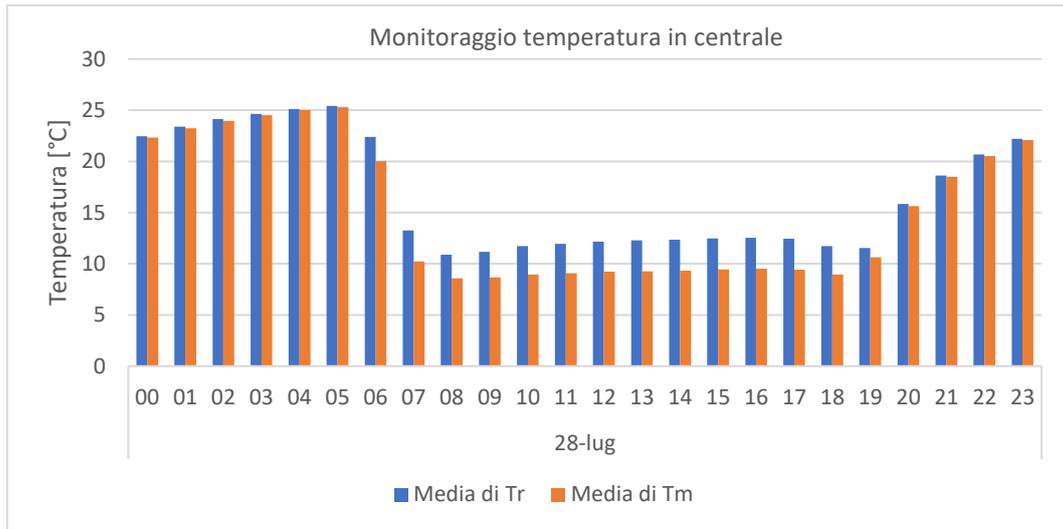


Figura 21. Andamento della temperatura al primario in centrale per un solo giorno

I termini T_m e T_r stanno a indicare rispettivamente la temperatura di mandata e quella di ritorno e saranno applicati a tutte le etichette dei grafici di questo paragrafo. Nelle ore di chiusura della centrale questi due parametri coincidono perché la quarta pompa di circolazione del primario della rete è sempre accesa. La temperatura raggiunta non è però giustificata dalle sole dispersioni verso l'esterno della rete, il valore di equilibrio raggiunto durante le ore notturne dovrebbe essere pari alla temperatura dei cunicoli che può essere assunta uguale a quella del terreno. Per raggiungere temperature notevolmente più alte, fino a 28°C , deve avvenire uno scambio in qualche sottostazione. L'unica sottostazione che rimane aperta nelle ore notturne nei mesi più caldi è quella del Vallisneri, la quale deve garantire una certa portata di ventilazione ai laboratori. La portata d'acqua che circola nella rete scambia quindi con il secondario del Vallisneri fino a portarsi alla temperatura d'equilibrio, pari a quella interna dell'edificio. Non è stato possibile verificare se è l'unica sottostazione aperta o se anche altre rimangono in funzionamento durante la chiusura della centrale. Il valore massimo raggiunto è poi influenzato dalla temperatura esterna. Il quarto gruppo frigorifero viene mantenuto acceso nel mese di luglio per un fattore di comodità e per aiutare a mantenere le temperature del Vallisneri sotto il set point. In realtà essendo le torri evaporative spente durante la notte non ha possibilità di condensare e lavora quindi senza apportare alcun beneficio alla rete, con conseguente consumo di energia elettrica e non abbassando la temperatura di mandata.

Nelle tabelle 34, 35 e 36 vengono riportati i valori medi delle temperature durante le ore di funzionamento della centrale nel periodo di monitoraggio.

Tabella 34. Temperature medie orarie in centrale nelle sole ore di attivazione

	24/07/2017		25/07/2017		26/07/2017		27/07/2017	
	Tr	Tm	Tr	Tm	Tr	Tm	Tr	Tm
7			13,3	9,5	12,7	9,8	12,4	9,6
8			10,7	8,2	10,4	8,4	10,4	8,5
9			10,9	8,6	10,4	8,4	10,6	8,5
10			11,1	8,7	10,5	8,5	10,8	8,6
11	11,6	8,3	11,1	8,7	10,7	8,5	10,9	8,6
12	11,9	8,9	11,4	8,8	10,8	8,6	11,0	8,6
13	12,3	9,3	11,5	8,8	10,9	8,6	11,1	8,6
14	12,5	9,6	11,5	8,8	10,9	8,6	11,2	8,6
15	11,4	8,8	11,7	9,0	10,9	8,6	11,2	8,7
16	11,3	8,8	11,9	9,1	10,9	8,6	11,3	8,7
17	11,2	8,2	11,3	8,8	10,9	8,6	11,3	8,7
18	10,7	7,8	10,1	8,3	10,5	8,5	10,8	8,5
19	10,6	9,5	10,5	9,9	10,7	10,0	11,0	10,3
Media	11,5	8,8	11,2	8,8	10,7	8,7	11,0	8,7
Tr-Tm	2,7		2,4		2		2,3	

Tabella 35. Temperature medie orarie in centrale nelle sole ore di attivazione

	28/07/2017		29/07/2017		30/07/2017		31/07/2017	
	Tr	Tm	Tr	Tm	Tr	Tm	Tr	Tm
7	13,3	10,2	13,2	10,3	12,2	9,5	14,7	11,4
8	10,9	8,6	10,3	8,4	9,7	8,1	11,7	8,1
9	11,2	8,7	10,8	8,6	10,2	8,4	11,3	7,9
10	11,7	9,0	11,0	8,6	10,5	8,5	11,3	7,9
11	11,9	9,1	10,9	8,6	10,5	8,5	11,4	7,9
12	12,2	9,2	10,9	8,6	10,3	8,4	11,5	7,9
13	12,3	9,3	11,0	8,6	10,4	8,4	11,6	8,0
14	12,4	9,3	11,0	8,6	10,4	8,4	11,6	8,0
15	12,5	9,4	11,0	8,6	10,4	8,4	11,8	8,0
16	12,5	9,5	11,0	8,6	10,6	8,5	12,2	8,3
17	12,5	9,4	10,8	8,6	10,6	8,5	12,3	8,4
18	11,7	9,0	10,3	8,4	9,6	8,2	11,5	8,0
19	11,6	10,6	11,1	10,3	11,3	10,5	10,5	8,3
Media	11,9	9,3	10,8	8,7	10,4	8,6	11,5	8,1
Tr-Tm	2,6		2,1		1,8		3,4	

Tabella 36. Temperature medie orarie in centrale nelle sole ore di attivazione

	01/08/2017		02/08/2017		03/08/2017	
	Tr	Tm	Tr	Tm	Tr	Tm
7	15,0	11,0	19,2	15,9	19,4	16,0
8	11,6	7,9	14,7	10,4	14,3	10,0
9	11,5	7,9	13,0	9,0	12,1	8,2
10	11,6	7,9	12,7	8,7		
11	11,5	7,9	12,7	8,7		
12	11,5	7,9	13,0	9,0		
13	11,6	8,0	13,2	9,2		
14	11,6	7,9	13,0	8,9		
15	11,8	8,0	12,2	8,3		
16	11,9	8,1	12,1	8,2		
17	11,8	8,0	12,2	8,2		
18	11,6	8,1	11,6	8,1		
19	11,6	10,1	11,4	10,0		
Media	11,6	8,2	12,7	8,9	13,2	9,1
Tr-Tm	3,4		3,8		4,1	

Le temperature alla quale lavora la centrale sono differenti da quelle di set point (7/12 °C). Dai valori medi giornalieri si vede che la temperatura di mandata è sempre superiore a quella desiderata mentre il salto termico tra mandata e ritorno è inferiore ai 5 gradi. Una temperatura di mandata più alta può andare a ridurre l'efficienza dei fan coil o delle batterie fredde nelle UTA non garantendo lo smaltimento del carico latente dell'aria di rinnovo e riducendo il salto termico a disposizione.

Oltre al monitoraggio della centrale è importante registrare le temperature al primario di ogni sottostazione per poter vedere se la rete ha un comportamento omogeneo in tutti i punti o presenta delle discontinuità nelle zone più lontane. Le rilevazioni sono state effettuate in giornate differenti, caratterizzate da diverse temperature dell'aria esterna, a seconda della disponibilità dei tecnici. Lo strumento utilizzato è lo stesso e viene collegato sia alla mandata che al ritorno, eseguendo le misure per un'intera giornata con un intervallo di un minuto l'una dall'altra.

Le seguenti figure rappresentano i risultati dei monitoraggi, divisi per sottostazione e utilizzando valori di temperatura media oraria.

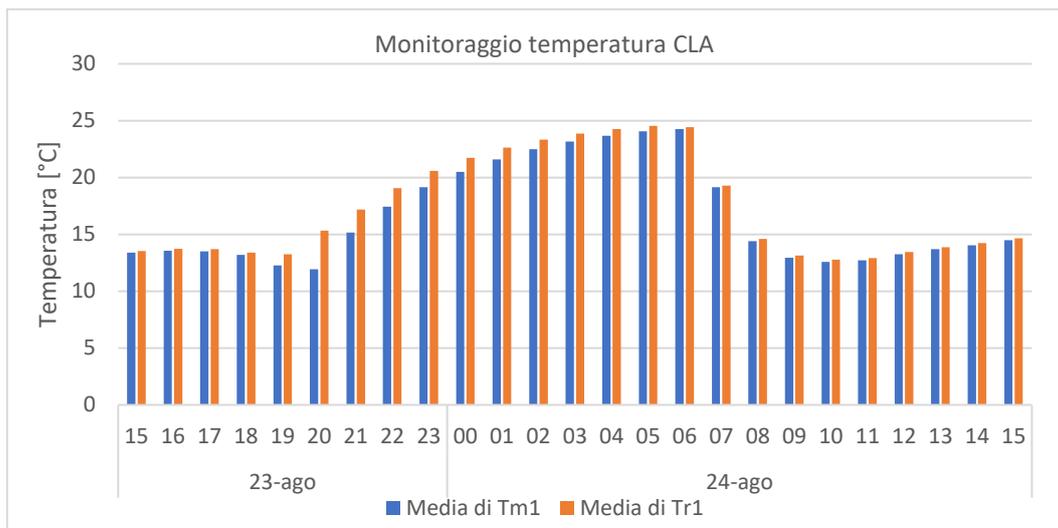


Figura 22. Profilo temperature primario CLA

Nelle ore di attivazione della centrale le temperature di mandata e ritorno sono molto simili tra di loro, indice che non si ha avuto scambio di calore nella sottostazione. Questo è sicuramente dovuto alla giornata in cui la misurazione è stata effettuata. Nel mese di agosto infatti il CLA è molto poco frequentato perché non c'è didattica e non ci sono esami. La bassa richiesta termica comporta di conseguenza un basso salto tra mandata e ritorno.

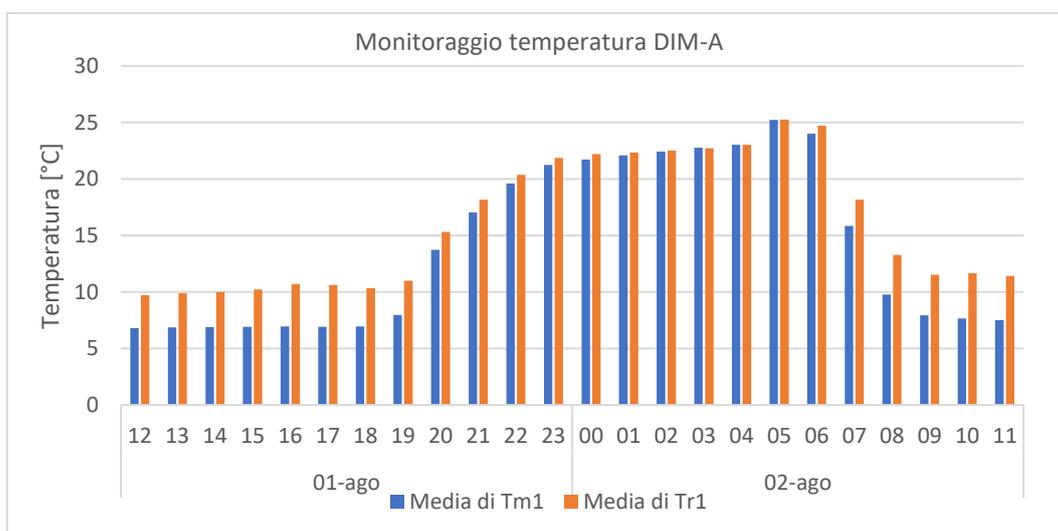


Figura 23. Profilo temperature primario DIM-A

L'andamento delle temperature nella sottostazione del DIM-A è pari a quello atteso. Nelle ore di funzionamento della centrale la temperatura di mandata è minore di quella di ritorno mentre nella notte le due sono vicine. Il salto di temperatura che si verifica si aggira attorno ai 3°C come nella centrale termica.

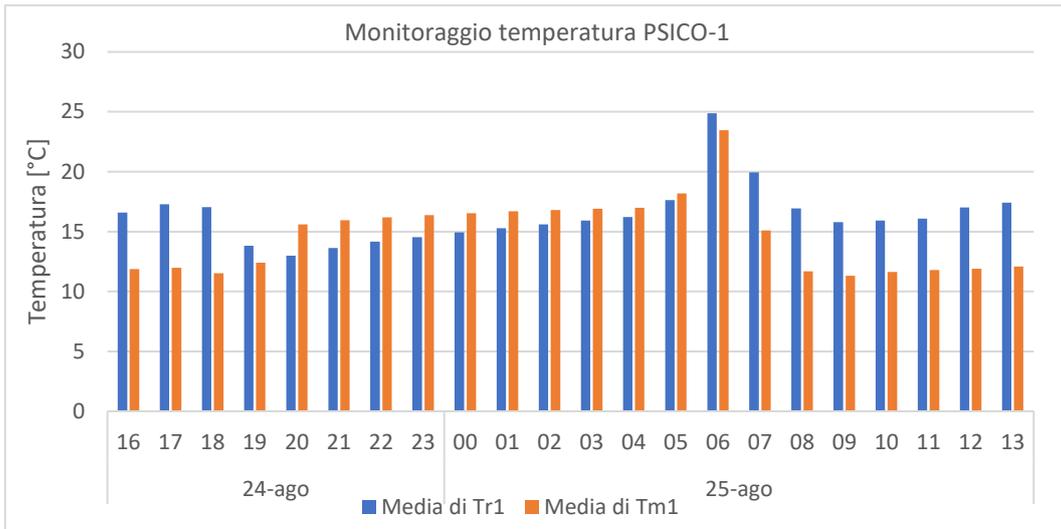


Figura 24 Profilo temperature primario PSICO1

La sottostazione PSICO-1 mostra un andamento corretto nelle ore di attivazione della macchina ma molto strano nelle ore notturne. Paragonato alle altre rilevazioni si ha una temperatura sensibilmente più bassa a eccezione delle ore 6 nella quale si ha un incremento elevato. Tale andamento può essere imputato solamente a un cattivo funzionamento della quarta pompa nell'orario notturno con conseguente non circolazione della portata. La massa d'acqua presente nelle tubazioni ha risentito delle sole dispersioni verso l'estero e non ha scambiato con secondari giustificando le più basse temperature registrate. Alle 6 i gruppi si avviano assieme alle pompe che rimettono in circolazione la portata di fluido determinando un miscelamento tra tutti i tratti della rete, la nuova temperatura è maggiore di quella raggiunta nella notte. Non avendo dati sulle altre sottostazioni per la stessa giornata non si può imputare a uno specifico tratto di rete l'incremento di temperatura.

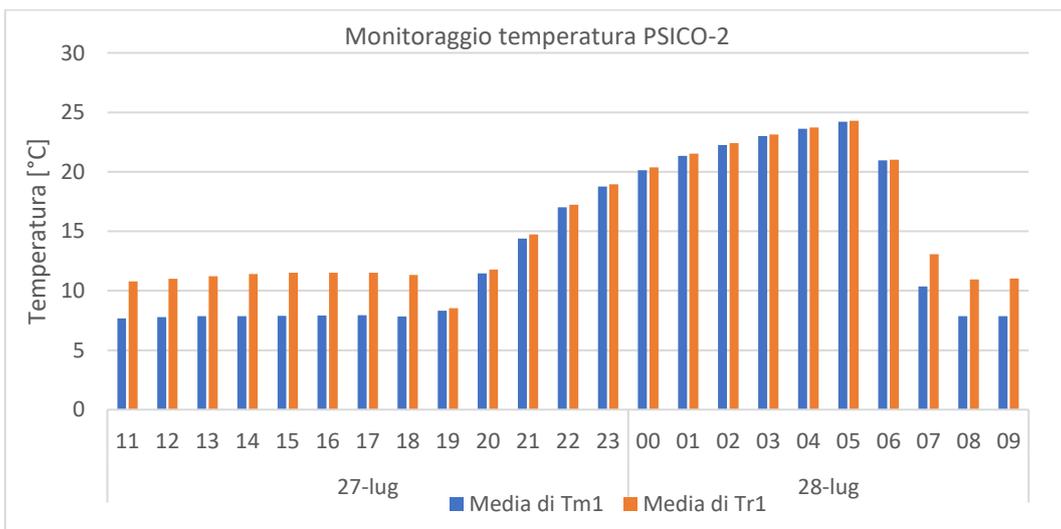


Figura 25 Profilo temperature primario PSICO 2

Capitolo 2. Dati e modelli preliminari

Il monitoraggio riguardante PSICO-2 è molto simile a quello ottenuto per il CLA ma con un effettivo assorbimento da parte della sottostazione.

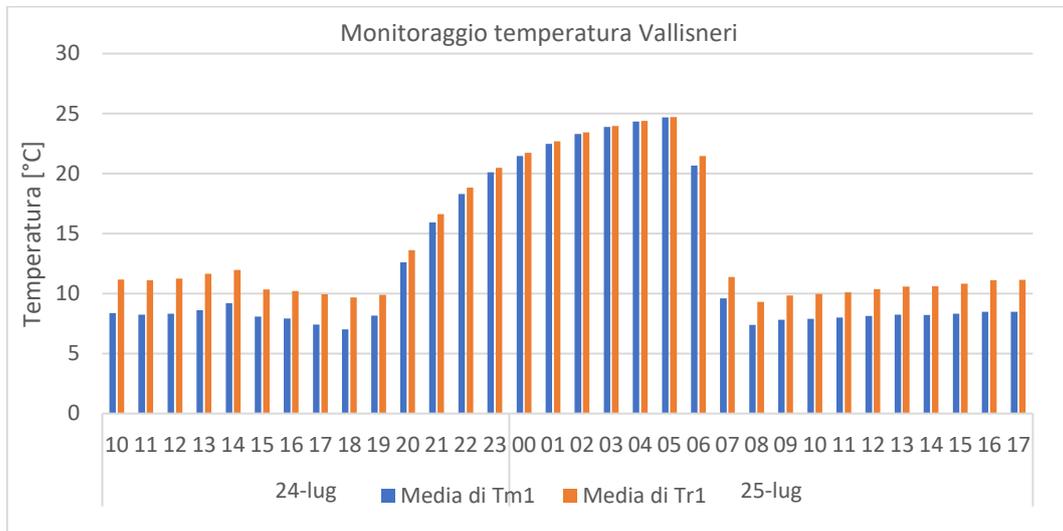


Figura 26. Profilo temperature primario VALLISNERI

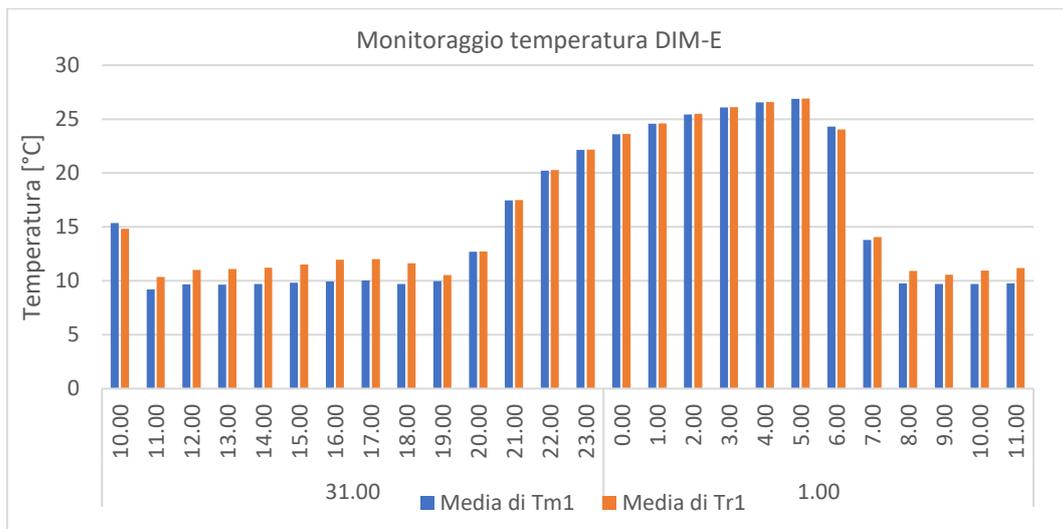


Figura 27. Profilo temperature primario DIM-E

Per ill Vallisneri e DIM-E si possono fare gli stessi ragionamenti fatti per la sottostazione di PSICO-2.

Non è stato possibile effettuare le misurazioni presso le Aule di via Bassi e il DIM-CD per alcuni problemi con la strumentazione e autorizzazioni necessarie per l'ingresso nelle sottostazioni.

L'andamento della temperatura è simile in tutti i casi ma i valori raggiunti durante il funzionamento della centrale sono differenti tra di loro a seguito delle diverse condizioni climatiche esterne e fabbisogno degli edifici presenti durante i monitoraggi. Per caratterizzare al meglio la rete e poter valutare le perdite verso l'esterno sarebbe opportuno effettuare le rilevazioni contemporaneamente in tutte le sottostazioni ottenendo così risultati direttamente confrontabili tra di loro. I dati ottenuti dai monitoraggi non vengono analizzati o utilizzati per calcolare le dispersioni e nemmeno l'efficienza della rete ma possono essere utili per determinare il salto termico tra mandata e ritorno con la centrale a pieno regime e avere idea dello schedule utilizzato nel periodo delle rilevazioni.

I monitoraggi hanno consentito inoltre di effettuare sopralluoghi nelle sottostazioni permettendo di ottenere maggiori informazioni sugli ausiliari presenti, il loro funzionamento e i relativi consumi.

Alla luce delle nuove informazioni ottenute è possibile calcolare la potenza erogata dalla centrale in condizioni nominali:

$$P_{nom} = \dot{m}_{mon} * c_p * \Delta T$$

Dove:

- \dot{m}_{mon} è la portata in centrale registrata con i monitoraggi [l/s]
- c_p è il calore specifico dell'acqua [4186 kJ/(kg*°C)]
- ΔT è il salto termico in condizioni nominali [°C]

Considerando una differenza di temperatura tra mandata e ritorno di 5°C in condizioni nominali e una portata di 136 l/s si ottiene una potenza di 2844 kW.

3. METODI E ANALISI

Nel capitolo seguente verranno illustrati tutti i metodi, le analisi e le modifiche effettuate sui dati e modelli di partenza al fine di raggiungere gli obiettivi prefissati. L'eventuale utilizzo di ulteriori software oltre quelli citati nei capitoli precedenti verrà sempre qui giustificata e argomentata.

L'analisi è effettuata su 12 mesi, a partire da marzo 2015 fino a febbraio 2016. Questo periodo è stato scelto per la disponibilità di dati elevata, come già illustrato nel capitolo precedente e per continuazione con il lavoro svolto precedentemente dai miei colleghi.

Le maggiori modifiche effettuate sui modelli sono:

- Variazione delle schedule della centrale, sottocentrale e dei carichi interni sulla base di informazioni reperite intervistando addetti alla manutenzione, tecnici e responsabili dell'università e da un'analisi approfondita delle bollette. In particolar modo sono state introdotte tutte le giornate di chiusura per festività o per cessazione delle attività di didattica del complesso e allungato il periodo di funzionamento estivo;
- Eliminare il contributo dovuto alla ventilazione dai risultati ottenuti tramite il software TRNSYS e analizzarla a parte utilizzando EXCEL. Questo consente un'analisi più dettagliata e di fare alcune considerazioni finali altrimenti impossibili da effettuare;
- Separare la ventilazione in latente e sensibile;
- Implementare recuperatori di calore a efficienza variabile;
- Separare le zone servite da macchine autonome;
- Analisi approfondita sui gradi giorno e determinazione del loro valore su base mensile;
- Modifica alla portata della rete di teleriscaldamento.

È stato definito un metodo per la parametrizzazione dei fabbisogni rispetto il clima di Padova e per determinare le portate per la rete di teleraffrescamento e i diametri delle condotte. La suddivisione in zone degli edifici non è stata modificata, così come le temperature di set point degli ambienti.

3.1. Ventilazione

Grande importanza viene attribuita in questa tesi al contributo della ventilazione sui fabbisogni complessivi degli edifici. Questa scelta è dovuta alla tipologia di ambienti che costituiscono gli stabili e al clima tipico veneto. Gli ambienti presenti sono per la maggior parte aule o laboratori che richiedono per legge un elevato numero di ricambi orari del volume di aria, costringendo all'installazione di molte unità di trattamento aria con conseguente elevato consumo di energia per il riscaldamento e raffrescamento della portata di rinnovo. Il clima invece incide solamente per la stagione estiva; l'elevata umidità relativa esterna costringe le UTA a elaborare elevati carichi latenti. Analizzare la ventilazione come contributo separato dagli altri permette di fare diverse ipotesi altrimenti non effettuabili e rispecchia maggiormente il comportamento degli impianti, caratterizzati quasi in tutti gli stabili da un sistema a fan coil con aria primaria.

Per poter separare tale contributo è stato necessario annullare il calcolo della ventilazione nel software Trnsys come per simulare che l'impianto di ventilazione sia spento tutto il giorno. Il fabbisogno simulato ora da Trnsys è relativo alle sole dispersioni verso l'esterno dell'involucro, al netto dei contributi solari e interni.

La ventilazione viene calcolata tramite Excel seguendo questi criteri:

- Portata delle UTA costante e pari al valore nominale della macchina;
- Ricircolo dell'aria interna posto pari al 25%;
- Recuperatori di calore funzionanti con 40% di efficienza nella stagione invernale e 20% in quella estiva;
- Aria primaria; l'aria di rinnovo viene portata dalla temperatura esterna alla temperatura di set point interna;
- Piani con impianti a tutta aria sono stati trattati come se costituiti da fan coil con aria primaria. Il recupero di calore della parte attribuita ai fan coil è stato realizzato in post processo tramite un foglio Excel che simulava il funzionamento di un recuperatore con caratteristiche uguali a quelle riportate sopra in quanto fisicamente si tratta della stessa macchina;
- Separare la ventilazione in carico latente e carico sensibile.

Mentre i modelli degli edifici sono costruiti per piano con suddivisione in zone la ventilazione viene calcolata solamente per piano. Il time step utilizzato è di un'ora, coincidente con la simulazione che opera il software Trnsys.

I fogli Excel calcolano la frazione sensibile e quella latente e solo successivamente determinano il fabbisogno complessivo per ventilazione. Per il calcolo di questi contributi si fa riferimento al libro di (CAVALLINI).

La portata di rinnovo viene calcolata come frazione della portata nominale delle macchine secondo la formula seguente:

$$m_r = m_{nom} - \frac{c_r}{100} * m_{nom}$$

Con:

$$m_r = \text{portata aria rinnovo} \left[\frac{kg}{s} \right]$$

$$c_r = \text{percentuale di aria ricircolata} [\%]$$

$$m_{nom} = \text{Portata nominale UTA di piano} \left[\frac{kg}{s} \right]$$

Il calore sensibile da fornire o asportare è quello richiesto per portare l'aria di rinnovo alla temperatura di immissione, pari a quella interna; avendo assunto che tutti edifici siano gestiti con aria primaria:

$$P_s = m_r * c_p * (T_{est} - T_{int})$$

Dove:

$$P_s = \text{Potenza media oraria sensibile} [kW]$$

$$c_p = \text{calore specifico aria} \left[\frac{kJ}{kg * K} \right]$$

$$T_{est} = \text{temperatura esterna} [K]$$

$$T_{int} = \text{temperatura interna} [K]$$

Il contributo del calore latente viene calcolato per il solo periodo estivo considerando di deumidificare l'aria dal titolo esterno fino al titolo richiesto interno.

$$P_l = m_r * r * (x_{est} - x_{int})$$

Dove:

$$P_l = \text{Potenza media oraria latente} [kW]$$

$$r = \text{calore latente di condensazione} \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

$$m_r = \text{portata aria rinnovo} \left[\frac{kg}{s} \right]$$

$$x_{est} = \text{titolo di vapore esterno} \left[\frac{kg \text{ vapore}}{kg \text{ aria}} \right]$$

$$x_{int} = \text{titolo di vapore interno} \left[\frac{kg \text{ vapore}}{kg \text{ aria}} \right]$$

Per calcolare l'energia spesa nelle UTA per ogni step temporale è necessario moltiplicare la potenza sopra calcolata per il corrispettivo step t , pari a un'ora per l'analisi svolta.

$$Q_s = P_s * t$$

$$Q_l = P_l * t$$

Il fabbisogno orario complessivo per ventilazione viene ottenuto come somma dei due contributi

$$Q_{vent} = Q_s + Q_l$$

3.1. Analisi dei consumi energetici

I consumi riportati nel secondo capitolo possono dare un'idea di massima relativa alle spese sostenute dall'università per la componente energia ma non possono essere utilizzati tali e quali per analizzare l'efficienza del sistema di riscaldamento e raffrescamento. Un'analisi dettagliata come quella che si vuole realizzare in questo elaborato richiede di aver a disposizione i consumi di gas relativi al solo riscaldamento dei locali e per i consumi elettrici la quota relativa al solo raffrescamento.

3.1.1. Analisi dei consumi di gas naturale

Le bollette disponibili fanno riferimento ai consumi globali di gas naturale per tutto il complesso del Nord Piovego, date dal consumo di gas per alimentare le caldaie ma anche dal consumo relativo alla produzione di ACS (acqua calda sanitaria) per il Vallisneri. Per poter attribuire alla centrale il corrispettivo consumo di gas naturale nella stagione invernale è essenziale individuare il consumo di gas per la produzione di acqua calda sanitaria. Nella stagione estiva i consumi della centrale sono nulli perché spenta, rimangono solamente i consumi relativi alla produzione di ACS. Calcolata la media dei consumi nei mesi estivi viene posto tale il consumo medio mensile per la produzione di ACS anche nella stagione invernale. Si tratta di un'approssimazione in quanto le temperature esterne variano tra le due stagioni e di conseguenza anche i consumi invernali sono leggermente superiori a quelli estivi. Non c'erano inoltre altri sistemi per individuare tale consumo dato che non sono inseriti in centrale strumenti che permettano la contabilizzazione dei consumi.

Un'ulteriore modifica riguarda il periodo di analisi in quanto si tratta di un anno bisestile. Il TRY impiegato considera invece febbraio costituito da 28 giorni. Per rendere confrontabili i consumi fatturati con quelli simulati oltre a togliere la media estiva si tolgono 1/29 dei consumi del mese di febbraio, pari al giorno extra presente nei consumi fatturati. I nuovi consumi imputabili alla generazione di calore in centrale per la stagione invernale sono riepilogati in tabella 37.

Tabella 37. Consumi di gas naturale della centrale attribuiti al riscaldamento

Mese	Consumi centrale [MWh]
Gennaio 2016	1419
Febbraio 2016	1113
Marzo 2015	660
Aprile 2015	202
Maggio 2015	0
Giugno 2015	0
Luglio 2015	0
Agosto 2015	0
Settembre 2015	0
Ottobre 2015	237
Novembre 2015	952
Dicembre 2015	1301

3.1.2. Analisi delle curve di carico elettriche

Ricavare dai consumi elettrici complessivi di tutto il Nord Piovego il contributo imputabile al solo condizionamento e quindi l'energia elettrica consumata dalla centrale frigorifera e i suoi ausiliari non è un processo immediato. Richiede diversi tipi di analisi e ragionamenti e i risultati ottenuti sono frutto di continue correzioni e affinamento del metodo utilizzato. Le possibilità di analisi sono inoltre limitate dal numero di dati disponibili. Questi, come già illustrato precedentemente, sono ben dettagliati ma fanno riferimento a un periodo di tempo ristretto mentre per realizzare un lavoro molto più accurato sarebbe necessario disporre di una quantità di dati maggiore. Il procedimento seguito può essere riassunto in alcuni punti fondamentali:

- Analisi dei consumi medi orari per tutto il periodo a disposizione;
- Scomporre i dati in giorni settimanali, sabati e domeniche. I giorni di chiusura per ferie sono considerati equivalenti a un sabato;
- Determinare i consumi medi orari nei periodi di mezza stagione, quelli imputabili ai soli consumi della didattica, degli uffici, delle segreterie e delle UTA. In questo periodo la centrale e i relativi ausiliari non funzionano consentendo di avere così un profilo dei consumi di base.
- Determinare i consumi relativi alla didattica, cioè tutti quei consumi dovuti alla presenza degli studenti e al funzionamento delle aule, trascurando i consumi degli uffici e del condizionamento;
- Isolare i consumi della mensa Nord-Piovego;
- Determinare i consumi degli ausiliari presenti nelle sottostazioni e negli edifici;
- Calcolare i consumi mensili imputabili alla centrale frigorifera come differenza tra i consumi totali e i contributi ottenuti nei punti precedenti.

L'intera analisi è effettuata utilizzando Excel e sfruttando l'interfaccia grafica di esso. I risultati ottenuti, come anticipato, sono frutto di analisi e non possono essere presi come esatti. La mancanza di dati di targa per molte macchine e di registri di funzionamento ha costretto a effettuare assunzioni che verranno verificate e giustificate alla fine di questo paragrafo.

I consumi relativi alla mezza stagione sono facilmente identificabili andando a tracciare il profilo medio orario nei periodi di spegnimento della centrale. È stato preso il valore medio che si verifica nella mezza stagione come quota di base nella quale si trovano tutte quelle attività non legate al condizionamento degli ambienti. La ventilazione essendo attiva per tutto l'anno è compresa in questa quota di consumi.

Per quanto riguarda la componente relativa alla didattica è necessario considerare il calendario accademico. Il giorno 09-04-2015 è stato il primo giorno di ripresa delle lezioni dopo le vacanze pasquali mentre il giorno precedente la didattica era assente e tutte le altre attività del complesso funzionanti. Il consumo relativo alla didattica è stato calcolato come differenza tra i consumi delle ore 16 dei due giorni considerati. Il valore ottenuto è pari a 128 kWh di energia elettrica impiegate in un'ora di didattica. L'orario considerato è stato scelto perché rappresenta uno dei momenti con maggior frequenza degli studenti e per non avere sovrapposizioni con la mensa, la quale chiude alle ore 15.

Il calcolo dei consumi della mensa segue un ragionamento simile al precedente. I giorni di chiusura sono il sabato e la domenica mentre è aperta tutta la settimana a eccezione del 24-06-2017 in cui è rimasta aperta di sabato. I consumi complessivi della mensa nel periodo estivo sono dati dal contributo di raffrescamento della stessa tramite macchine autonome e del consumo della cucina mentre nelle mezze stagioni è legato al solo consumo della cucina.

La cucina risultava chiusa il giorno 9-04 e aperta il 10-04 per cui è possibile calcolare la componente di consumo della cucina come differenza tra i consumi nella fascia oraria tra le 9 e le 14 del giorno 10 e 9, decurtando anche i consumi della didattica determinati nei punti precedenti. Il giorno considerato si trova nella stagione di riscaldamento ma viene valutato come mezza stagione vista la vicinanza di questa, le temperature miti esterne di aprile e l'elevata affluenza di studenti in una ristretta fascia oraria che comporta un elevato contributo dei carichi interni per mantenere la temperatura interna di comfort. Tali valori sono riportati in tabella 38 e considerati costanti per tutto l'arco dell'anno.

Tabella 38. Consumi orari della cucina della mensa Nord Piovego

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

I consumi legati al raffrescamento della mensa vengono calcolati sfruttando l'unico sabato di apertura della mensa. Il consumo relativo alle ore 15 è stato sottratto ai consumi precedenti in maniera tale da ottenere i soli consumi della mensa. Il contributo di raffrescamento è pari alla differenza tra i valori appena calcolati e il consumo della cucina. In tabella 39 vengono riepilogati i valori ottenuti e considerati costanti per tutta la stagione estiva.

Tabella 39. Consumi orari per il raffrescamento della mensa

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

L'elevato consumo verificato nella prima ora è dovuto all'avviamento delle macchine e alla necessità di portare un grande ambiente dalla temperatura di equilibrio raggiunta nelle ore di chiusura della mensa alla temperatura di set point. I consumi quindi calano fino alle 12 dove crescono nuovamente a opera dei carichi interni da smaltire.

Per avere una visione più chiara dell'andamento giornaliero dei consumi e delle componenti relative al consumo della mensa si faccia riferimento alle figure 28 e 29.

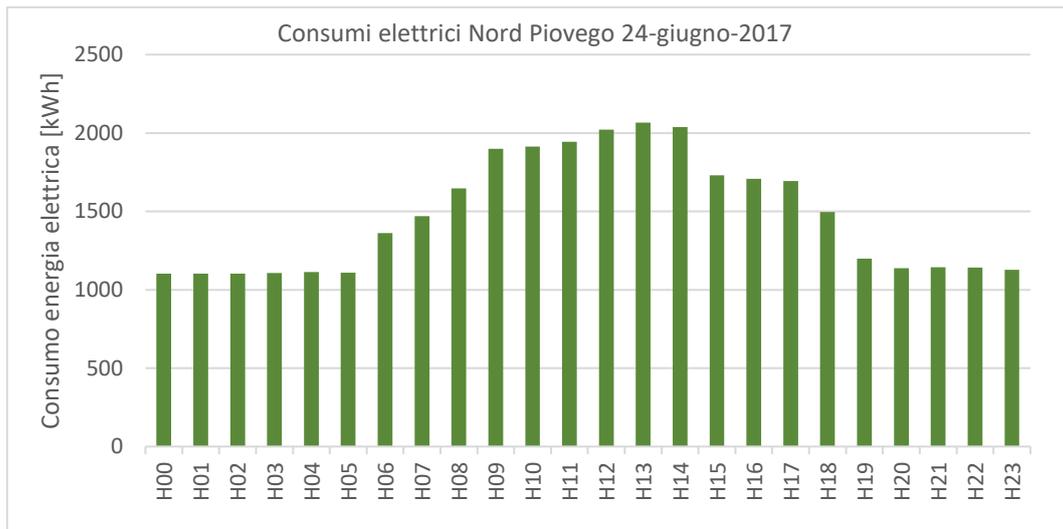


Figura 28. Consumi orari 24-giugno-2017

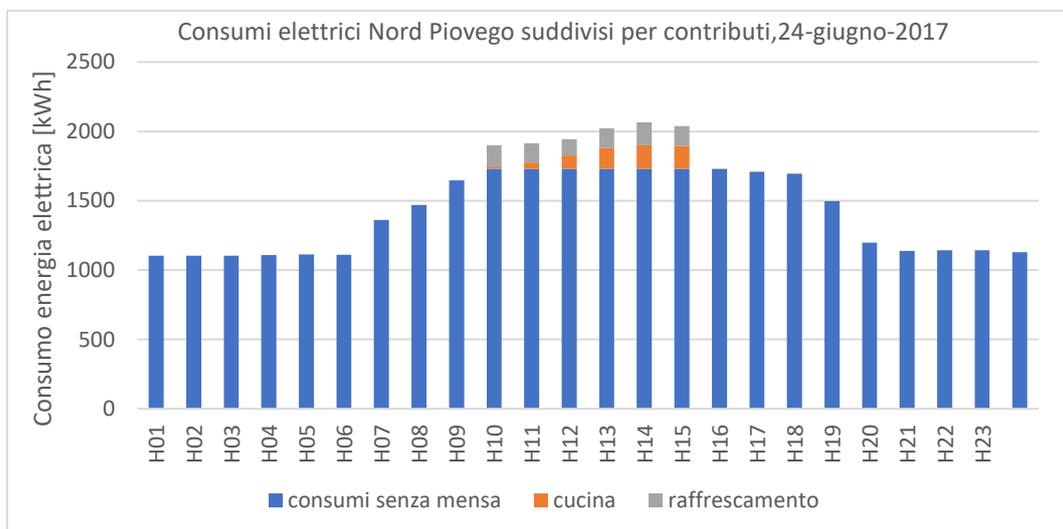


Figura 29. Consumi orari 24-giugno-2017 suddivisi in cucina, raffrescamento mensa e rimanente

Gli ausiliari presenti in tutti gli edifici sono impossibili da determinare e prenderli in considerazione tutti per analizzare i consumi diventa difficile, da qui la scelta di valutare solo i più grandi come ventilatori delle UTA, pompe di circolazione delle sottostazioni e macchine autonome. Questa parte di analisi è stata svolta in collaborazione con il mio collega Campaci Michael per poter condividere i dati relativi agli ausiliari degli edifici di competenza. In tabella 40, 41 e 42 sono riportati tutti gli ausiliari e macchine autonome prese in considerazione con le relative potenze nominali.

Tabella 40. Potenza elettrica nominale assorbita dalle pompe in sottostazione

Circuito Caldo		Circuito Freddo		Circuito Comune	
	Potenza [kW]		Potenza [kW]		Potenza [kW]
Vallisneri					
fan coils	1,10	fan coils			
Primario	11	Primario			
Aria primaria	5,50	Aria primaria			
circuito piastre	2,20				
Termoventilazione	3				
Ugo Bassi					
Piani 1-3					
Primario	2,20	Primario	2,20		
Piano Terra					
Primario	0,24	Primario	0,88		
secondario	0,26	Batterie fredde	0,40		
Batterie calde	0,16				
DIM A					
				Primario	2,20
				Secondario	1,10
DIM B					
Pompe pannelli	5,50				
DIM CD					
				Primario	1,50
				Secondario	0,70
DIM E					
Primario	2,20	Primario	1,10		
Fan coils	1,10	Fan coils	2,20		
Psicologia-2					
Primario	1,20	Primario	2,20	Circuito acqua	3,00
Radiatori	0,25	Batterie fredde	3,00	calda/refr	
Secondario	0,70				
Batterie calde	1,10				
Psicologia-1*					
Primario	1,50	Primario	2,20	Circuito acqua	3,00
Radiatori	0,25	Batterie fredde	3,00	calda/refr	
Secondario	0,70				
Batterie calde	1,10				
CLA					
Primario	4,00	Primario	18,50	Circuito acqua	3,00
Totale caldo [kW]		Totale freddo [kW]		Totale comune [kW]	
45,80		55,30		14,50	

Tabella 41. Potenza elettrica assorbita centrale termica e frigorifera

Centrale termica		Centrale frigorifera			
	Potenza [kW]		Potenza [kW]		Potenza [kW]
Pompe circuito primario	33	Pompe circuito primario	44	Pompe circuito torri evaporative	44

Tabella 42. Potenza elettrica nominale ventilatori UTA

	Ventilazione Potenza [kW]		Ventilazione Potenza [kW]		Ventilazione Potenza [kW]
Vallisneri		Ugo Bassi		DIM-A	
UTA	69,2*	UTA PT	25,2*	UTA	7,0
Estrazione	20,5	UTA P1-2-3	2,7*	Estrazione	0,2
DIM-B		DIM-C-D		DIM-E	
UTA	5,8	UTA	8,1	UTA	4,0
				Estrazione	1,1
Psicologia-1		Psicologia-2		CLA	
UTA	20,5*	UTA	20,5*	UTA	22,3*
Estrazione	7,8*	Estrazione	7,8*	Estrazione	10,4*
TOTALE Ventilazione [kW]					
233,1					

*cifre stimate a partire dalla conoscenza dei dati di targa delle UTA nord del Vallisneri per proporzione della portata elaborata.

Tabella 43. Potenza frigorifera macchine autonome

Edificio	Potenza cooling [kW]
Vallisneri	455,6
Ugo Bassi	106,1
DIM-A	17,2
DIM-B	159,3
DIM-C-D	127,8
DIM-E	17,3
Psicologia-1	63,2
Psicologia-2	71,4
CLA	20
Centro congressi	130
TOTALE	1167,9
Potenza elettrica stimata	418,4

I consumi mensili per il solo raffrescamento vengono infine ottenuti come differenza tra i complessivi ed i contributi fin qui calcolati. È utile calcolare anche i consumi per raffrescamento compresi gli ausiliari. Nelle tabelle 44 e 45 vengono ricapitolati i valori ottenuti.

Tabella 44. Consumi mensili filtrati, ausiliari presenti

	Consumi
	MWh
Maggio 2015	36
Giugno 2015	162
Luglio-2015	273
Agosto-2015	197
Settembre-2015	110
Annuale	778

Tabella 45. Consumi mensili filtrati, ausiliari sottratti

	Consumi
	MWh
Maggio 2015	33
Giugno 2015	131
Luglio 2015	330
Agosto 2015	181
Settembre 2015	91
Annuale	766

L'analisi è stata effettuata su base oraria media mensile, in tabella 46 e 47 vengono riportati i valori medi orari mensili dei consumi ottenuti a seguito dell'applicazione del metodo illustrato.

Tabella 46. Consumi medi orari mensili filtrati in kWh, ausiliari pressanti

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Maggio 2015	36	33	22	24	5	8	84	294	190	214	229	234	217	197	267	247	80	46	27	25	35	33	38	37
Giugno 2015	66	63	53	59	47	88	403	516	494	501	522	507	526	576	600	568	508	442	167	81	73	74	77	70
Luglio 2015	228	222	217	214	222	394	595	789	758	805	877	886	896	957	879	806	765	740	437	257	237	238	237	239
Agosto 2015	105	102	104	98	97	242	477	541	521	556	604	608	631	658	621	613	617	589	325	165	109	106	103	104
Settembre 2015	35	35	36	33	68	266	453	449	378	395	438	433	493	530	489	469	464	448	238	86	27	27	27	32

Tabella 47. Consumi medi orari mensili filtrati in kWh, ausiliari sovranti

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Maggio 2015	27	24	14	15	-3	-1	36	247	142	167	182	187	169	150	220	200	33	-1	3	16	26	24	29	27
Giugno 2015	36	32	22	29	16	58	245	358	336	343	364	349	368	418	442	410	351	285	88	50	43	43	47	39
Luglio 2015	198	191	186	183	191	364	437	632	600	648	720	729	738	800	721	648	607	582	412	227	206	207	206	208
Agosto 2015	74	71	73	67	67	212	340	403	383	418	466	470	493	521	483	476	479	452	256	135	78	76	72	74
Settembre 2015	5	4	6	2	37	235	296	291	220	237	280	275	335	372	331	312	307	290	159	56	-2	-2	-2	2

I dati dei consumi ottenuti vengono utilizzati per valutare il rendimento dell'impianto di raffrescamento e possono essere chiamati consumi filtrati in quanto sono pari ai consumi complessivi decurtati della parte non utilizzata per il raffrescamento.

I consumi filtrati ottenuti sono frutto di analisi e supposizioni, nonché di valutazioni personali. Per poter verificare la bontà dei valori calcolati sono stati considerati i consumi minimi e massimi che si verificano nell'arco dell'anno e in particolare nella stagione estiva. Se presentano valori simili alla potenza massima installata in centrale e alla potenza minima di funzionamento a regime parziale indicano che le approssimazioni applicate sopra sono corrette.

Per maggior completezza si prende in considerazione anche la temperatura esterna in quanto influenza notevolmente la potenza assorbita dalle macchine a ciclo inverso e consente di avere un'ulteriore grado di libertà nello studio dei consumi.

Le figure seguenti andranno a chiarire meglio quanto appena detto.

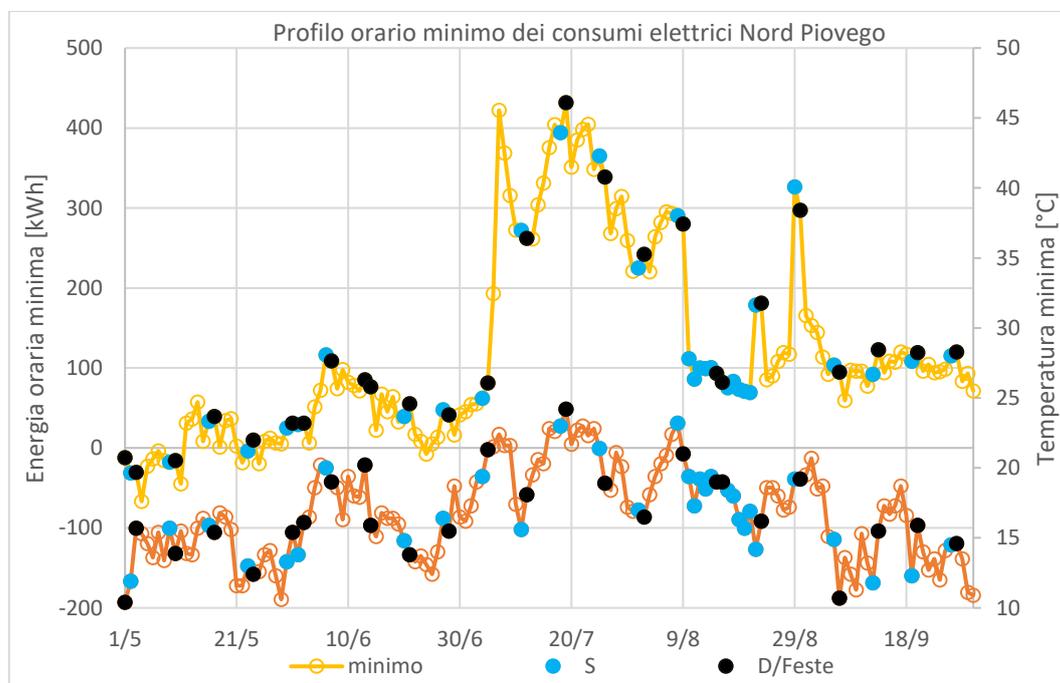


Figura 30. Energia oraria minima filtrata nella giornata

Il grafico di figura 30 rappresenta l'energia minima filtrata consumata in un'ora per ogni giornata nel periodo che va da maggio a fine settembre. Il termine filtrata sta a indicare che tali valori sono già stati decurtati seguendo il metodo illustrato sopra e rappresentano solo l'energia necessaria al raffrescamento degli edifici, nel caso specifico gli ausiliari sono ancora presenti in quanto parte fondamentale del sistema di raffrescamento.

Gli assorbimenti più bassi si verificano nelle ore notturne, dove i carichi interni sono pressoché nulli e non si hanno contributi solari, sono inoltre le fasce orarie non toccate dal procedimento utilizzato per filtrare i dati in quanto la centrale è normalmente spenta, consentendo di verificare se le assunzioni fatte nei capitoli precedenti sono verificate. Nel periodo di mezza stagione e bassa stagione estiva i consumi sono molto bassi, difficilmente attribuibili a uno specifico impianto anche se i valori registrati sono

nell'intorno dei 100 kWh e simili al consumo delle UTA del Vallisneri che hanno un funzionamento particolare a causa dell'elevato numero di laboratori presenti. È molto più interessante e utile andare a osservare i consumi del periodo di alta stagione estivo. I consumi minimi sono sempre registrati nelle ore notturne ma sono molto più elevati. Sono attribuiti al quarto gruppo frigorifero che rimane acceso in questo periodo per servire il Vallisneri 24 ore al giorno e alle UTA, come dalle informazioni ottenute parlando con i tecnici responsabili della centrale. Un gruppo frigo ha difatti un assorbimento nominale di 270 kW mentre per la ventilazione è stato stimato un assorbimento di 89,7 kW che complessivamente danno valori molto prossimi a quelli minimi orari registrati. L'assorbimento ha poi lo stesso andamento della temperatura confermando che questa influisce sui consumi ma in modo difficilmente determinabile. I consumi minimi confermano le assunzioni effettuate sul funzionamento notturno della centrale e dei suoi ausiliari.

Per valutare se tutti i filtri applicati durante le ore giornaliere sono corretti bisogna osservare la figura 31 nella quale sono presenti i consumi medi orari massimi di ciascuna giornata nel periodo che va da maggio a fine settembre.

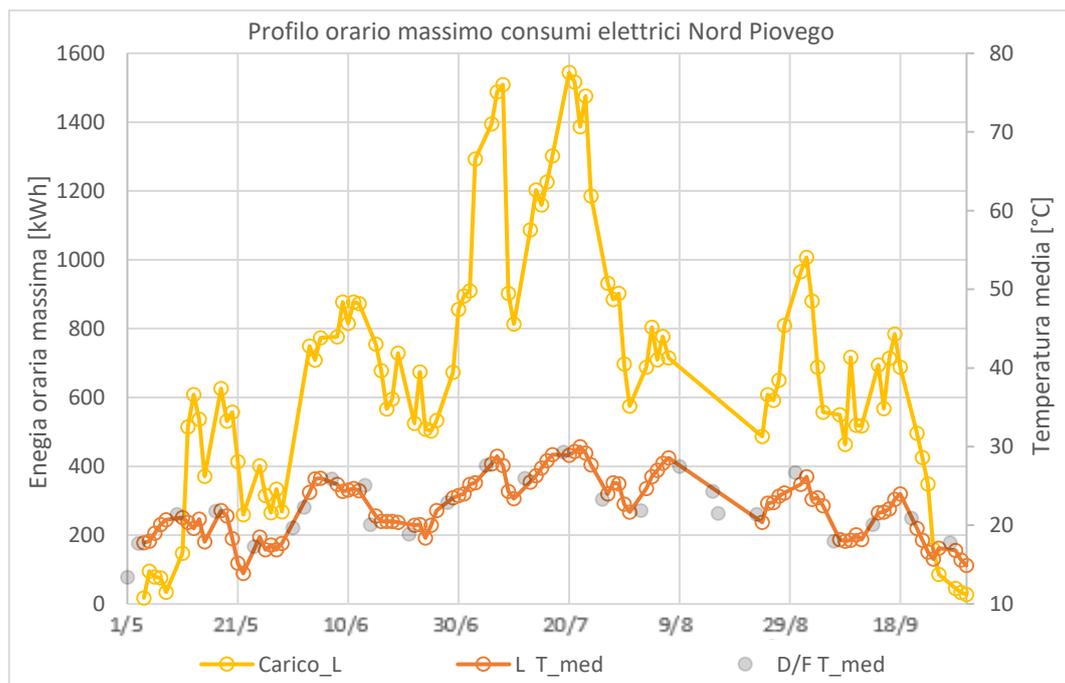


Figura 31. Energia oraria massima filtrata

La temperatura ha andamento molto simile a quello dell'energia massima oraria consumata come era successo per il caso delle minime, a dar ulteriore conferma dell'influenza che questo fattore ha sui consumi elettrici. L'analisi dei massimi dimostra che il metodo utilizzato per filtrare è buono e simula bene la realtà. Se si valutano i periodi di massimo carico si ha che la centrale con 4 gruppi attivi, pompe di circolazione e torri funzionanti ha una potenza nominale di 1588 kW contro una potenza calcolata a seguito dei filtri di 1544 kW. Le macchine non sono inoltre attive contemporaneamente per tutta la giornata, fattore che porta a scostamenti tra i due valori.

Le UTA sono escluse dai valori filtrati in quanto funzionanti nella mezza stagione e quindi presenti tra i contributi sottratti al complessivo per ottenere i consumi filtrati.

La figura 32 viene utilizzata per ricapitolare i componenti di consumo individuati e rendere più immediata la comprensione del metodo utilizzato. Il contributo per il raffrescamento è ottenuto sottraendo al totale i vari pezzi.

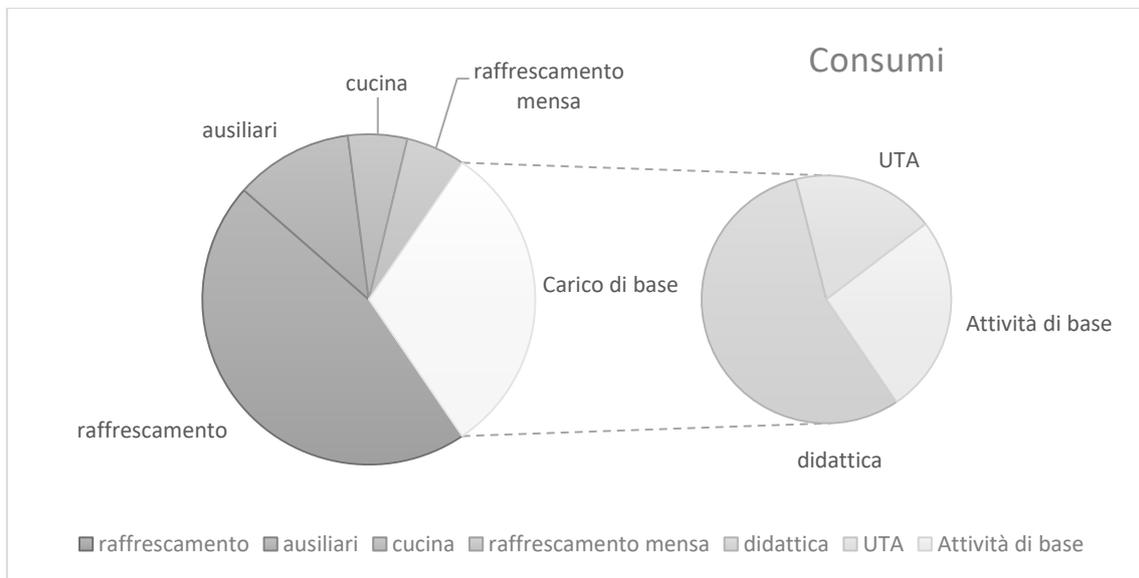


Figura 32. Suddivisione del consumo in diversi contributi, l'area di ciascuna sezione è puramente indicativa

L'obiettivo di questo paragrafo non è quello di ottenere un metodo di analisi dei consumi che fornisca i valori esatti ma quello di dare un metodo facilmente applicabile e che dia risultati con andamento simile a quelli reali con scostamenti piccoli dovuti al fattore temperatura, obiettivo raggiunto per quanto visto sopra.

3.2. Modifiche schedule e modelli edifici

I modelli utilizzati per simulare gli edifici sono stati presi dal lavoro di tesi del dott. Moro, presentati nel capitolo precedente e adattati alle nuove informazioni ottenute e analisi compiute.

Per effettuare la simulazione è stato utilizzato un file climatico relativo a Venezia-Tessera, ottenuto dal database di EnergyPlus.net. I modelli TrnBuild degli edifici non sono stati modificati, sono stati ritoccati invece i modelli di Simulation Studio per poter tener conto dei nuovi schedule realizzati. Per schedule si intende un registro di accensione e spegnimento per un determinato periodo. Nel caso specifico il registro fa riferimento a tutto l'anno solare, è stato costruito in Excel e attribuisce un valore 1 o 0. 1 indica che gli impianti sono accesi, 0 sono spenti.

In tabella 48 vengono riportati i periodi di chiusura degli edifici nell'anno analizzato.

Tabella 48. Periodi di chiusura dell' ateneo

	Dal	Al
Gennaio 2016	01	06
Aprile 2016	04	06
Giugno 2015	02	02
Luglio 2015	13	13
Agosto 2015	10	22
Novembre 2015	01	02
Dicembre 2015	23	31

Nei periodi di chiusura nessun edificio viene alimentato dalla centrale a eccezione del Vallisneri che necessita di mantenere laboratori e stabulari alla temperatura di set point. Gli stabili da me analizzati non sono utilizzati durante i periodi di chiusura e vengono chiusi agli studenti e gli amministrativi.

Per avere lo schedule del funzionamento della centrale, sottocentrale e carichi interni non è sufficiente basarsi però sui periodi di chiusura.

Per quanto riguarda la centrale si riporta in tabella 49 quello utilizzato, differente da quello di Moro illustrato nel secondo capitolo. Le ore di accensione e spegnimento riportate in tabella coincidono con quelle dell'orologio, cioè l'ora in cui l'impianto viene effettivamente acceso. Durante il periodo di utilizzo dell'ora solare queste coincidono, diverso è per il periodo di utilizzo dell'ora legale. In tale intervallo l'ora di orologio è l'ora legale che si differenzia però dalla solare richiesta dal software, rendendo necessaria una conversione dell'ora rispetto quella riportata tramite Excel.

Tabella 49. Schedule della centrale utilizzato

CENTRALE TERMICA				CENTRALE FRIGORIFERA		
15/10-15/04		ON		12/05-23/09	ON	
Giornaliero		On	Off	giornaliero	On	Off
15 ott-1 nov	Feriale	6	16	12 mag-31 mag*	7.30	16
	Sabato	7	13	1 giu-30 giu*	6.30	18.30
	Festivi	Off	Off			
1 nov-15 mar	Feriale	6	18	1 lug-31 ago**	5.30	18.30
	Sab. e Fes.	6	16			
16 mar-15 apr	Feriale	6	16	1 set-15 set*	5.30	18.30
	Sabato	7	13			
	Festivi	Off	Off			
15/04-15/10		OFF		15/09-01/06	OFF	

*Centrale aperta dal lunedì al sabato

** Centrale aperta tutta la settimana per soddisfare la domanda del Vallisneri

I diversi periodi di accensione per la stagione invernale sono dovuti a due fattori, il primo riguarda rilevazioni svolte sulla centrale a seguito della conclusione del lavoro di Moro mentre il secondo è legato all'ora legale e solare. Il software Trnsys lavora unicamente con l'ora solare, non effettua in automatico il cambio ora e questo era stato trascurato in passato nella determinazione dello schedule.

Anche nel caso estivo cambia il profilo orario utilizzato per la centrale a seguito della precedente dimenticanza dell'ora solare e di una analisi più approfondita dei consumi elettrici. Per individuare l'orario di avviamento, spegnimento della centrale e la reale stagione di raffrescamento viene fatta un'analisi dei consumi elettrici utilizzando le bollette. Avendo a disposizione i consumi orari è stato sufficiente graficare i dati e individuare i momenti di crescita istantanea dei consumi, dovuti all'accensione dei primi tre gruppi. I monitoraggi presentati nel terzo capitolo sono stati presi inoltre in considerazione per il caso estivo, ma non rappresentano un punto fondamentale nell'analisi in quanto sono stati effettuati in un periodo diverso da quello cui fa riferimento la tesi.

Le sottostazioni hanno uno schedule a loro volta differente dalla centrale, giustificato dal fatto che alla centrale serve del tempo per portare tutta la rete a regime e gli apparecchi dei circuiti secondari vengono di conseguenza avviati un'ora dopo. Questo controlla l'accensione di tutti gli impianti ai secondari compresi i ventilatori delle UTA. Risulta più difficile individuare l'orario di spegnimento perché non viene registrato dagli operatori e varia molto nell'arco della stagione analizzata. Per la stagione invernale si suppone che le sottostazioni spengano un'ora dopo lo spegnimento della centrale, in maniera da sfruttare l'inerzia termica della rete e abbassare la temperatura del circuito primario invece che lasciare che questa energia venga dispersa in ambiente durante le ore di spegnimento dell'impianto. In tabella 50 vengono riportati gli schedule delle sottostazioni.

Tabella 50. Schedule delle sottostazioni utilizzato

STAGIONE INVERNALE				STAGIONE ESTIVA			
15/10-15/04		ON		12/05-23/09		ON	
Giornaliero		On	Off	Giornaliero		Off	P
15 ott-1 nov	Feriale	7	17	12 mag-31 mag	Fer. e Sab	8	16
	Sabato	8	14	1 giu-30 giu	Fer. e Sab	7	18.30
1 nov-15 mar	Feriale	7	19	1 lug-31 ago	Fer. e Sab	6	18.30
	Sabato	7	17				
16 mar-15 apr	Feriale	7	17	1 set-15 set	Fer. e Sab.	6	18.30
	Sabato	8	14				
16/04-14/10		OFF		23/09-11/05		OFF	

*Domenica sempre chiuso

La valutazione dei carichi interni ha seguito lo schema utilizzato da Moro nel suo studio mantenendo le medesime potenze per i carichi interni dovuti a persone, luci e PC. Le modifiche effettuate riguardano, invece, il profilo dei carichi e in particolare la prima e ultima ora di ogni giornata. Lo schedule precedente considerava per tutto il tempo di attivazione degli impianti la stessa presenza di persone nelle aule, cosa non vera perché le lezioni hanno inizio a ridosso delle 9 di mattina e le aule fino a quell'ora non sono piene. La stessa considerazione può essere fatta per l'ultima ora della giornata. Di conseguenza il nuovo schedule non sarà costituito da soli 0 e 1 ma per la prima ed ultima ora utilizza frazioni del numero 1, a indicare che solo parte dei carichi interni standard sono presenti. Per la prima ora si considerano i carichi interni pari al 50% e per l'ultima pari al 75% dei carichi presenti nelle rimanenti ore della giornata.

I sabati hanno subito una notevole riduzione di carichi interni: per gli edifici adibiti a didattica si considera lo stabile chiuso e quindi carichi interni nulli, se sono presenti laboratori, uffici di docenti o ricercatori viene considerato aperto ma con scarsa affluenza. Nell'ultimo caso sono stati considerati mediamente carichi interni pari al 10% di quelli di un giorno feriale.

Tabella 51. Schedule carichi interni utilizzato

STAGIONE INVERNALE				STAGIONE ESTIVA			
15/10-15/04		ON		12/05-23/09		ON	
Giornaliero		On	Off	Giornaliero		Off	P
15 ott-1 nov	Feriale	8	18	12 mag-30 giu	Feriale	8	18
	Sabato	8	13		Sabato	8	13
	Festivi	Off	Off		Festivi	Off	Off
1 nov-15 mar	Feriale	8	18	1 lug-31 ago	Feriale	8	18
	Sabato	8	13		Sabato	8	13
	Festivi	Off	Off		Festivi	Off	Off
16 mar-15 apr	Feriale	8	18	1 sett- 23 sett	Feriale	8	18
	Sabato	8	13		Sabato	8	13
	Festivi	Off	Off		Festivi	Off	Off
16/04-14/10		OFF		23/09-11/05		OFF	

3.3. Modifiche modelli rete

La simulazione della rete richiede come dato di input il fabbisogno stimato di tutti gli edifici che compongono il complesso del Nord Piovego. I dati non ricavati in questo elaborato sono stati presi dal lavoro del mio collega Michael Campaci che ha simulato gli edifici del Vallisneri e le aule di Via Bassi. Il punto di partenza per la costruzione della rete è il lavoro della dott.ssa Colpo come già esposto nei capitoli precedenti.

3.3.1. Rete teleriscaldamento

Il modello della rete di teleriscaldamento rimane strutturalmente identico a quello presentato nel capitolo precedente e costruito dalla dott.ssa Colpo, vengono fatte piccole modifiche sulle caratteristiche dei tubi e importanti variazioni sulla portata di fluido elaborata, la potenza fornita in centrale, le temperature dei secondari e il file climatico.

Per le condotte sono stati modificati i valori dei coefficienti di dispersione, troppo sottostimati nel modello di partenza, e la lunghezza del tratto di tubo 5A. Quest'ultima è stata posta pari a 5 cm ed è presente per simulare una deviazione della rete altrimenti non simulabile con altre type del software. In tabella 52 sono riportati i nuovi valori assegnati al coefficiente di dispersione.

Tabella 52. Coefficiente di dispersione dei tubi

Tratto condotta	Coeff. dispersione U [kJ/(h m ² K)]
M-3A	8,65
M-5A	7,48
M-AH	7,59
M-56	7,48
M-HI	6,16
M-HL	7,59
M-LM	6,82
M-LO	6,75
M-OR	5,97
M-AB	7,39
M-BC	5,82
M-BD	7,13
M-DE	5,80
M-DF	7,50
M-FG	5,80
M-FG*	7,00
M-G*G'	6,00
M-G*G''	6,90

La portata complessiva varia rispetto il modello di partenza. La potenza dello scambiatore relativo al DIM-B era stata sottostimata con conseguente determinazione di una portata minore di quella reale. Lo scambiatore è posto direttamente in centrale e ha una potenza nominale di 930 kW. Il fluido termovettore

viene utilizzato per alimentare le termostrisce poste nelle aule e nei box, con un salto termico in condizioni nominali di 33°C. La nuova portata elaborata dalla linea 1 viene quindi calcolata come:

$$\dot{m}_{linea-1} = \frac{P}{c_p * \Delta T}$$

Dove:

- P è la potenza nominale dello scambiatore;
- c_p è il calore specifico dell'acqua [$\frac{kJ}{kg * K}$];
- ΔT è il salto termico imposto [K].

Tale portata viene considerata costante per tutta la stagione di riscaldamento, così come il salto termico alle termostrisce. Considerare la portata costante rispecchia il comportamento della centrale la quale funziona con le pompe in condizioni nominali per tutta la stagione, il salto termico può variare durante la stagione e diminuire quando il clima esterno non è eccessivamente freddo. Essendo però l'irraggiamento il meccanismo di scambio termico principale per le termostrisce l'influenza del clima esterno è ridotta così come le possibili variazioni di salto termico al terminale.

Le nuove portate circolanti per la rete sono riassunte in tabella 53:

Tabella 53. Portate circolanti per la rete di teleriscaldamento

	Portata [l/h]
Linea 1	24260
Linea 2	66276
Linea 3	64980
Centrale	155516

Per determinare le dispersioni verso l'ambiente esterno è necessario fornire in input al sistema le temperature del clima esterno. Per non dover riparametrizzare i risultati dopo aver eseguito la simulazione si utilizza il profilo climatico modificato relativo a Legnaro che sarà introdotto nel prossimo paragrafo.

I fabbisogni relativi agli edifici sono quelli calcolati in questa tesi a eccezione dei fabbisogni relativi al Vallisneri e le Aule Bassi, forniti in input al modello tramite un foglio di testo e riparametrizzati rispetto Legnaro. Per poter prendere in considerazione anche il rendimento degli impianti all'interno di ciascun edificio si sono incrementati i fabbisogni del 10%, valore assunto sulla base della tipologia degli impianti presenti e del periodo di installazione.

La temperatura di mandata nelle ore di funzionamento della centrale è mantenuta a 100°C, l'avviamento viene fatto per gradi portando la centrale a regime a partire dalla terza ora di funzionamento.

3.3.2. Rete di teleraffrescamento

La rete di teleraffrescamento non era stata presa in considerazione in nessuno studio precedente. Il principio di funzionamento e di costruzione del modello è lo stesso utilizzato per la rete di teleriscaldamento. Si utilizza Simulation Studio per creare il modello e simularne il funzionamento dinamico per la stagione estiva. Le type impiegate sono le stesse presentate sopra, cambia la forma della rete perché non è presente il ramo di collegamento con il DIM-B.

In figura 33 viene riportato il modello della rete realizzato, semplificato il più possibile in modo da mostrare il flusso dei dati.

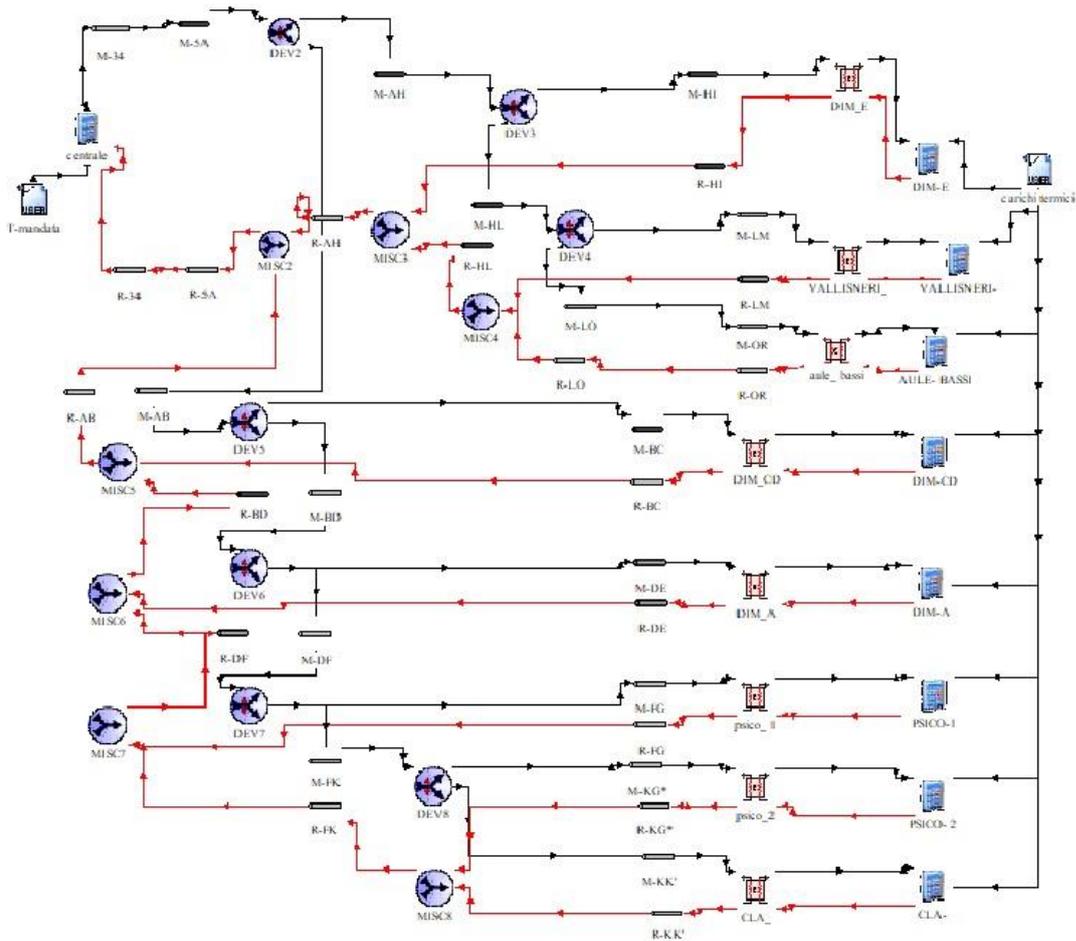


Figura 33. Modello della rete di teleraffrescamento

Gli elementi non presenti nella figura della rete sono le stampanti e la calcolatrice relativa alla determinazione della temperatura dell'ambiente esterno. Le stampanti permettono di salvare i risultati della simulazione o di visualizzarli a monitor. Per costruire il modello complessivo è fondamentale conoscere le portate, la lunghezza e i diametri per ogni tratto di rete che sono state esposte nel terzo capitolo mentre i coefficienti di dispersione sono riassunti in tabella 54.

Tabella 54. Coefficienti di dispersione dei tubi

Tratto condotta	Coeff. dispersione U [kJ/(h m ² K)]
M-3A	8,14
M-5A	8,14
M-AH	8,14
M-HI	5,78
M-HL	8,43
M-LM	8,43
M-OR	6,60
M-AB	7,31
M-BC	6,48
M-BD	7,31
M-DE	5,56
M-DF	7,31
M-FG	6,12
M-FK	7,31
M-KG*	6,62
M-KK'	7,31

Per maggior chiarezza di seguito vengono riportati i passaggi che hanno portato alla costruzione della linea che alimenta il DIM-E, gli altri pezzi di rete si costruiscono in maniera analoga.

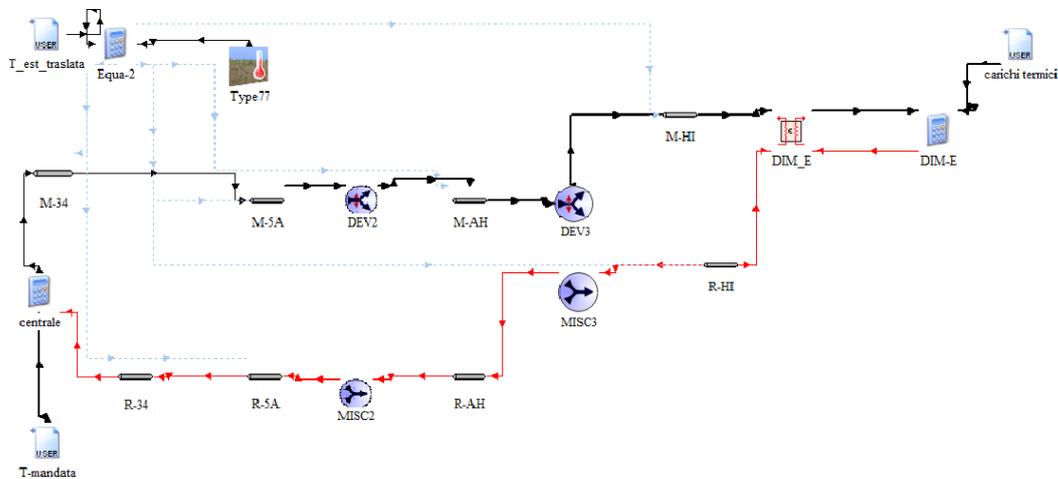


Figura 34. Linea DIM-E

Come per la rete invernale si calcola la temperatura dei tunnel sotterranei come media tra la temperatura del file climatico e quella del terreno. Questo valore viene utilizzato in tutte le type condotte per determinare le dispersioni verso l'ambiente.

La centrale è modellata semplicemente per mezzo di una calcolatrice che mantiene la temperatura di mandata pari a 7°C durante le ore di funzionamento. La temperatura di ritorno è funzione delle dispersioni e dello scambio realizzato al secondario. Per migliorare la simulazione alla centrale è stata attribuita una potenza di 3600 kW, pari a quella nominale; in questo modo la temperatura di mandata non è più fissa ma varia sulla base della potenza e della temperatura di ritorno, con un vincolo sulla temperatura limite inferiore pari a 7°C . Il salto termico nominale realizzabile dalla centrale frigorifera è pari a 5°C .

Le sottostazioni vengono rappresentate come degli scambiatori anche dove fisicamente essi non sono presenti, ovvero dove si utilizza la tecnica dello spillamento diretto. Si tratta di una scelta quasi obbligata per la modellazione per garantire una maggiore simmetria tra le sezioni della rete e per evitare l'eccessiva complicazione della modellazione dello spillamento diretto. Si tratta, in ogni caso, di una buona approssimazione dello scambio termico che il fluido vettore realizza presso i circuiti secondari degli edifici serviti. Come per la rete di teleriscaldamento è stata considerata un'efficienza dello scambiatore pari a 0,8.

I fabbisogni per il raffrescamento, ottenuti dalla modellazione dinamica, sono stati maggiorati di un 10% per considerare i rendimenti di impianto (emissione, regolazione e distribuzione) e quindi sono forniti in input al modello della rete tramite un foglio di testo. Essi fanno riferimento al clima di Legnaro e sono ottenuti dall'unione dei risultati di questo elaborato con quello del mio collega Michael Campaci.

Infine non è stato possibile ottenere dalla simulazione dinamica della rete un andamento della temperatura del tutto simile a quello rilevato nei monitoraggi. La temperatura notturna, infatti, sebbene sia lasciata libera di aumentare e di portarsi al limite in equilibrio con la temperatura ambiente calcolata dal software, non raggiunge mai il valore registrato nei monitoraggi, il cui massimo è pari a 28°C . Questo confermerebbe l'ipotesi avanzata in precedenza, secondo cui i secondari siano lasciati attivi nelle ore notturne, generando uno scambio termico inverso per la rete, ovvero il riscaldamento del fluido vettore a spese del flusso dei secondari..

3.4. Analisi climatica

Gli edifici analizzati sono situati a Padova mentre il file climatico utilizzato per le simulazioni fa riferimento alla località di Tessera (VE). Nonostante le due città non distino molto tra di loro la vicinanza del mare influisce sul clima di Venezia, rendendolo differente da quello di Padova. Inoltre il file climatico fa riferimento a un anno tipo mentre i consumi energetici disponibili riferiscono all'anno 2015/2016. Per questo motivo è necessario riparametrizzare i risultati ottenuti dalla modellazione dinamica rispetto il clima di Padova o quantomeno un clima simile. I dati climatici disponibili riguardano la stazione meteorologica ARPAV di Legnaro e sono relativi al periodo analizzato. Esistono diversi metodi per riportare i risultati di una simulazione ad un clima reale ma il più utilizzato è quello dei gradi giorno.

In questa tesi sono stati utilizzati due metodi diversi:

- Analisi dei gradi giorno (GG) per la stagione invernale;
- Analisi dei cooling degree day (CDD) per la stagione estiva.

3.4.1. Analisi gradi giorno (GG)

La norma (UNI-EN-ISO 15927-6) fornisce la definizione del primo parametro e il relativo metodo di calcolo. Secondo normativa i gradi giorno di una località sono calcolati come la sommatoria, estesa al periodo convenzionale di riscaldamento, della differenza tra la temperatura interna T_i e la temperatura media giornaliera esterna T_e , presa se sotto un valore di soglia.

$$GG = \sum_{e=1}^n (T_i - T_e)$$

In Italia il periodo convenzionale di riscaldamento va dal 15 ottobre al 15 aprile, la temperatura di soglia è fissata a 12°C e quella interna a 20°C.

L'utilizzo di un unico valore di GG per tutta la stagione invernale risulta per questa analisi troppo semplificato e non permette di analizzare in maniera efficace il contributo della ventilazione e gli effettivi fabbisogni degli edifici. Vista la disponibilità delle temperature orarie esterne nel file climatico e di quelle relative alla stazione di misura dell'ARPAV di Legnaro è stato deciso di modificare il metodo di calcolo dei gradi giorno rispetto quello della normativa.

Inizialmente sono stati calcolati i GG secondo normativa per le due località a disposizione, ottenendo per Legnaro un valore di 2176 GG e per Venezia-Tessera un valore di 2334 GG. Si osservi come l'anno considerato per la località di Legnaro risulti più caldo rispetto l'anno tipo. Il rapporto tra i gradi giorno delle due località è pari a 0,93. Per capire più a fondo le differenze tra i dati climatici a disposizione, sono calcolati i gradi giorno medi mensili, ottenendo i risultati di tabella 55:

Tabella 55. Gradi giorno mensili

Mese	Tessera [GG]	Legnaro [GG]	Rapporto L/T [GG]
Gennaio	538	523	0,97
Febbraio	451	352	0,78
Marzo	353	277	0,79
Aprile	91	91	1
Ottobre	92	86	0,94
Novembre	308	338	1,10
Dicembre	496	516	1,04

Si vede immediatamente come l'andamento medio delle temperature sia diverso nei vari mesi. A novembre e dicembre le temperature di Legnaro risultano inferiori a quelle del file climatico mentre per il resto della stagione invernale sono sempre superiori. Il rapporto dei gradi giorno delle due località serve per parametrizzare i fabbisogni ottenuti dalle simulazioni. Viene ritenuto preferibile utilizzare il rapporto di GG mensile invece che stagionale. Il fabbisogno mensile riferito a Legnaro di ciascun edificio è stato calcolato moltiplicando il fabbisogno mensile riferito a Venezia-Tessera per il rapporto di GG mensile di tabella 55, come riportato di seguito

$$Q_{Legnaro,mese} = Q_{Venezia,mese} * R_{GG,mese} = (Vent_{mese} + Trnsys_{mese}) * R_{GG,mese}$$

Nel capitolo relativo al calcolo dei fabbisogni questo parametro sarà molto utile e permetterà di confrontare i risultati della simulazione con i consumi reali ottenuti dalle fatture.

3.4.2. Analisi cooling degree day (CDD)

Per la stagione estiva il problema è lo stesso, la simulazione riguarda un anno tipo e una località differente da quella in cui è situato il complesso analizzato. Non esiste però un metodo secondo normativa in quanto il condizionamento estivo non è obbligatorio in Italia. I metodi presenti in letteratura sono molteplici ma spesso realizzati per lo specifico caso analizzato. In generale si utilizza il parametro CDD calcolato come:

$$CDD = \sum_{e=1}^n T_e - T_b$$

dove T_e è la temperatura esterna media giornaliera, T_b la temperatura di baseline e la sommatoria è estesa al periodo considerato di condizionamento. Si esegue la sommatoria solo se T_e è maggiore di una temperatura di soglia. Il valore di T_e e T_b sono i parametri variabili dell'equazione e che devono essere valutati tenendo in considerazione l'andamento delle temperature esterne nell'arco della stagione.

L'analisi estiva qui effettuata è particolare in quanto separa il contributo della ventilazione dal contributo legato alle dispersioni e carichi interni degli edifici e richiede quindi una maggior attenzione nella riparametrizzazione del fabbisogno rispetto il caso invernale. In particolare il contributo della ventilazione genera problemi non trascurabili quando origina freecooling, cioè quando contribuisce al raffrescamento gratuito degli ambienti. In questa condizione la richiesta da parte dell'edificio è positiva (richiede di essere raffrescato) mentre la ventilazione è negativa (si trova sotto la temperatura di set point e consente di avere freecooling), moltiplicando per un unico rapporto di CDD si altera la reale situazione. Per chiarire le scelte effettuate si fa un esempio:

si ipotizzi di avere un rapporto di CDD maggiore di uno, per cui le temperature di Legnaro sono maggiori di quelle dell'anno tipo. Moltiplicando per questo rapporto il contributo di $Trnsys$ ho un aumento della richiesta di raffrescamento, mentre se moltiplico per il contributo della ventilazione negativo ottengo un aumento in modulo del valore e quindi un aumento del freecooling. Opposto a quello che succede nel caso reale perché a un aumento delle temperature deve corrispondere una diminuzione dell'effetto di freecooling. Per risolvere questo problema vengono calcolati due diversi rapporti mensili di CDD, uno relativo alla sola ventilazione e uno relativo al contributo di $Trnsys$.

Per riparametrizzare il contributo di $Trnsys$ è stato utile lavorare sulle temperature sole-aria in quanto sono quelle che realmente vengono raggiunte sulle superfici esterne degli edifici. Questa scelta porta a dover calcolare la temperatura sole-aria per il file climatico e per Legnaro secondo (BETTANINI, BRUNELLO). I dati richiesti per questo calcolo sono le temperature esterne, la radiazione incidente su piano orizzontale, il coefficiente di scambio per convezione della parete e il coefficiente di assorbimento.

$$T_{sa} = T_e + \frac{\alpha}{h} * B_r$$

Dove:

- T_e è la temperatura esterna dell'aria [°C];
- B_r è la radiazione globale incidente sull'asse orizzontale [W/m²];
- α è il coefficiente di assorbimento della parete;

- h è il coefficiente di scambio liminare tra parete e aria [$W/(m^2 \cdot K)$].

Le temperature così calcolate sono più alte della sola T_e e permettono valutazioni migliori, dato che nella stagione estiva il contributo della radiazione solare è molto elevato.

In figura 35 è riportato l'andamento della temperatura esterna del file climatico Venezia-Tessera rispetto quello della temperatura sole-aria, T ed L stanno a indicare rispettivamente il riferimento a Tessera e Legnaro.

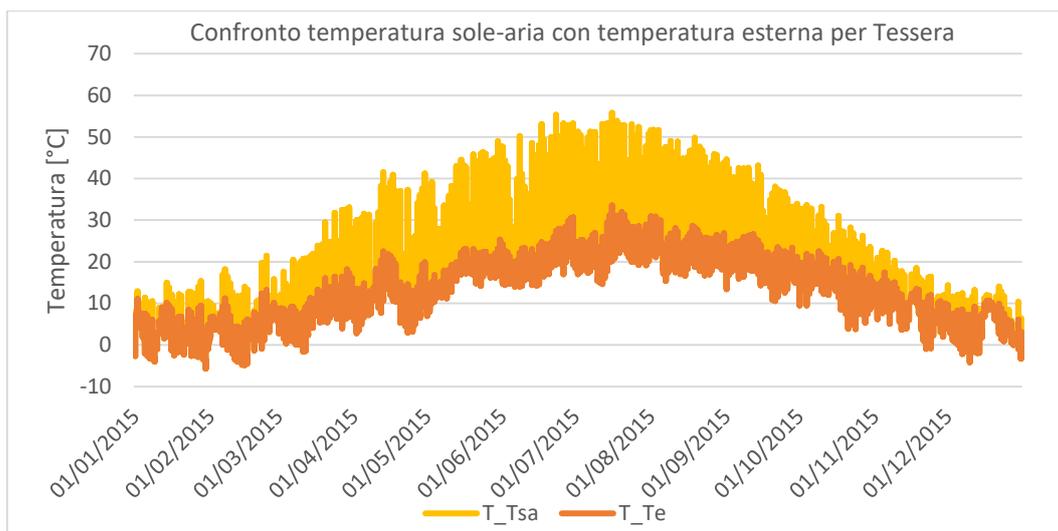


Figura 35. Temperatura sole-aria ed esterna per Tessera

Il grafico conferma come lo scostamento tra le due temperature sia molto importante per la stagione estiva mentre è quasi trascurabile per la stagione invernale. Lo stesso grafico si può ottenere per le temperature di Legnaro e viene mostrato in figura 36.

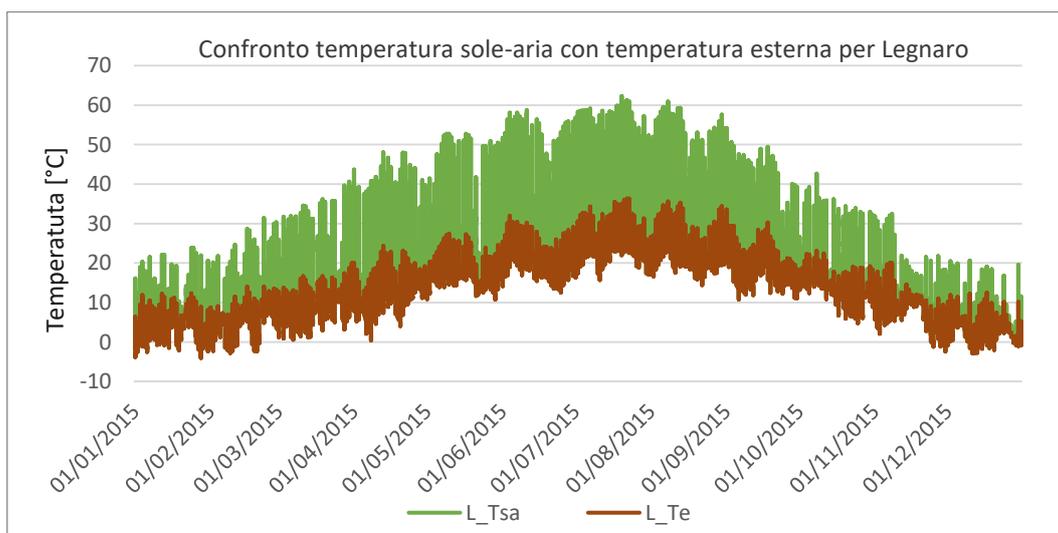


Figura 36. Temperatura sole-aria ed esterna per Legnaro

I CDD relativi al contributo di Trnsys sono quindi calcolati usando come temperatura esterna quella sole-aria appena ricavata, temperatura di soglia di 22,3°C e temperatura di base di 18,3°C. Si ottengono così i valori mensili riportati in tabella 56.

Tabella 56. Cooling degree day mensili per il contributo Trnsys

	L_CDD [CDD]	T_CDD [CDD]	Rapporto L/T [CDD]
Maggio	249	188	1,32
Giugno	384	279	1,37
Luglio	521	379	1,38
Agosto	399	304	1,31
Settembre	220	169	1,30

Per riparametrizzare il fabbisogno di Trnsys rispetto alle temperature sole-aria di Legnaro è sufficiente moltiplicare il fabbisogno simulato per il rapporto di CDD tra Legnaro e Tessera come mostrato nella seguente formula:

$$Q_{trnsys,L} = R_{L/T} * Q_{trnsys,T}$$

La ventilazione sensibile viene riportata al clima di Legnaro facendo delle considerazioni sulla sola temperatura esterna, che altro non è che la temperatura effettiva dell'aria che viene trattata dalle UTA. Le temperature del file climatico e quelle del clima di Legnaro si scostano notevolmente in termini di temperatura minima e massima mensile, in tabella 57 vengono riassunti questi valori.

Tabella 57. Andamento temperatura esterna Legnaro e Tessera

	Tessera	Legnaro		Tessera	Legnaro	
	T_{max} [°C]	T_{max} [°C]	Scost. [%]	T_{min} [°C]	T_{min} [°C]	Scost. [%]
Maggio	25,6	29	-13	7	10,8	-35
Giugno	30,8	33,5	-8	14	12,6	+11
Luglio	33,6	39,6	-15	14,6	15,7	-7
Agosto	31	33,8	-8	15,4	14,4	+7
Settembre	26,6	27,5	-3	10,5	10,8	-3

L'andamento della temperatura massima e minima è lo stesso anche analizzando le temperature orarie giornaliere. La temperatura media invece ha andamento costante nel mese e induce a pensare che complessivamente i due climi in termini di temperature esterne siano simili. In tabella 58 le temperature medie mensili.

Tabella 58. Temperature medie mensili

	Tessera	Legnaro	
	T_{media} [°C]	T_{media} [°C]	Scostamento [%]
Maggio	17,24	18,61	7
Giugno	20,76	22,43	7
Luglio	23,82	26,45	10
Agosto	22,75	24,32	6
Settembre	19,62	19,57	0

Partendo da queste considerazioni è stato ottenuto un profilo di temperatura relativo a Legnaro che abbia un andamento medio simile a quello del file climatico e che al tempo stesso sia più simile anche in termini di temperature massime e minime. Il nuovo profilo sarà utilizzato come file di temperature in input per il calcolo del contributo della ventilazione relativo a Legnaro. Viene ricavato prendendo come riferimento la temperatura media mensile del file climatico e confrontandola con lo scostamento rispetto la temperatura massima mensile o quella minima seguendo lo stesso criterio per tutta la stagione estiva:

- Se la temperatura esterna oraria è maggiore della media mensile la nuova temperatura sarà ottenuta dalla somma della temperatura oraria con il fattore D+.
- Se la temperatura esterna oraria è minore della media mensile la nuova temperatura sarà ottenuta come somma della temperatura oraria e il fattore D-.

Il fattore D+ può essere calcolato secondo la formula:

$$D+ = (T_{max,mese} - T_{media,mensile})_{Legnaro} - (T_{max,mese} - T_{media,mensile})_{Venezia}$$

dove $T_{max,mese}$ è la massima temperatura del mese considerato e $T_{media,mensile}$ è la temperatura media del mese in questione.

Il fattore D- viene calcolato come:

$$D- = (T_{media,mensile} - T_{min,mese})_{Legnaro} - (T_{media,mensile} - T_{min,mese})_{Venezia}$$

dove $T_{min,mese}$ è la minima temperatura registrata nel mese.

In questo modo è possibile calcolare le temperature orarie del nuovo profilo per tutto l'anno, i valori di interesse per questo studio sono solamente quelli relativi ai mesi estivi. Nella tabella 59 vengono riportati i valori delle temperature medie, minime e massime che caratterizzano il nuovo profilo di temperatura.

Tabella 59. Nuove temperature mensili per Legnaro

	T_{max} [°C]	T_{med} [°C]	T_{min} [°C]
Maggio	27,63	17,37	4,57
Giugno	31,83	22,85	17,07
Luglio	36,98	26,24	16,12
Agosto	32,22	24,64	17,97
Settembre	27,55	19,92	10,15

Come già anticipato questo profilo orario deve essere utilizzato per calcolare il fabbisogno di ventilazione sensibile relativo alla località di Legnaro.

L'umidità esterna deve essere anch'essa riparametrizzata per permettere di calcolare il contributo di latente. È stato preso in considerazione il valore medio mensile per l'umidità relativa esterna utilizzando i dati relativi a Legnaro che viene impiegato per calcolare il titolo di vapore esterno in corrispondenza delle temperature del nuovo profilo orario modificato.

Il fabbisogno per ventilazione complessivo riferito a Legnaro può essere ora ottenuto sommando i due contributi.

3.5. Fabbisogno energetico complessivo

I fabbisogni degli edifici vengono calcolati con riferimento al file climatico Venezia-Tessera e riparametrizzati rispetto Legnaro. In entrambi i casi il valore ottenuto è dato dalla somma di due contributi: ventilazione e Trnsys. Aver separato i due contributi richiede particolare attenzione nella fase di riparametrizzazione dei risultati, come spiegato nei paragrafi precedenti, ma anche per il calcolo del fabbisogno complessivo. Ventilazione e Trnsys sono ottenuti su base oraria e permettono di calcolare il fabbisogno complessivo orario.

Nella stagione invernale il calcolo del fabbisogno complessivo orario si ottiene semplicemente sommando il contributo di Trnsys con quello della ventilazione:

$$Q_{inv} = Q_{vent,inv} + Q_{trnsys,inv}$$

Dove:

- Q_{inv} è il fabbisogno orario per la stagione invernale [kWh];
- $Q_{vent,inv}$ è il contributo orario della ventilazione [kWh];
- $Q_{trnsys,inv}$ è il contributo orario di Trnsys [kWh].

Il fabbisogno relativo all'intera stagione invernale è dato dalla sommatoria dei valori orari estesa al numero di ore della stagione di riscaldamento.

$$Q_{inv,tot} = \sum_{i=1}^n Q_{inv,i}$$

È possibile calcolarne il valore su base mensile semplicemente variando gli intervalli della sommatoria.

La stagione estiva non permette un calcolo così semplificato in quanto è presente il fenomeno del freecooling, il quale va a ridurre i fabbisogni rispetto quelli stimati da Trnsys. Non si vuole però considerare l'overcooling, cioè un raffrescamento degli edifici oltre la temperatura di set point sempre a opera della ventilazione. Per trascurare questo effetto nella determinazione del fabbisogno complessivo è stato realizzato un filtro in un foglio Excel. Il filtro lavora su base oraria e considera una quota di freecooling pari, dove possibile, alla richiesta da parte del software Trnsys. In altre parole se nelle prime ore della giornata la temperatura esterna è inferiore ai 26° il contributo della ventilazione sarà negativo e verrà sommato al contributo di Trnsys per determinare il fabbisogno complessivo orario con un valore inferiore limite pari a zero. Non si considera l'eventuale possibilità di raffrescare ulteriormente.

$$Q_{est} = Q_{vent,est} + Q_{trnsys,est} \geq 0$$

Una volta applicato il filtro e calcolato il fabbisogno complessivo orario è possibile calcolare il fabbisogno per tutta la stagione di raffrescamento o i mesi di interesse tramite una sommatoria estesa al periodo individuato.

$$Q_{est,tot} = \sum_{i=1}^n Q_{est,i}$$

4. FABBISOGNI ENERGETICI E DISCUSSIONE

Dopo aver adattato i modelli all'analisi in corso e costruito quelli mancanti si possono eseguire le simulazioni dinamiche e ottenere in output il valore dei fabbisogni netti degli edifici e il comportamento della rete. I risultati delle simulazioni devono essere riparametrizzati rispetto il clima di Legnaro. Nei paragrafi successivi verranno esposti in maniera dettagliata i fabbisogni netti calcolati per gli edifici in analisi e poi il fabbisogno netto complessivo del Nord Piovego, ottenuto collaborando con il mio collega Michael Campaci il quale ha determinato i fabbisogni degli edifici da me non trattati. Non ci si limita a riportare il fabbisogno netto di ciascun edificio ma viene diviso nei diversi contributi che lo compongono, ventilazione e Trnsys. Si tiene inoltre in considerazione la quota di fabbisogni coperti attraverso macchine autonome e infine la quota di fabbisogno che può essere attribuita alla rete di teleraffrescamento e teleriscaldamento. Quando non si hanno informazioni a riguardo delle macchine autonome viene utilizzata la dicitura n.c. Per avere un'idea più specifica di come la richiesta di energia sia suddivisa nell'arco della giornata si sono calcolati i profili orari medi mensili suddivisi per giorni feriali, sabati e domenica che vengono presentati utilizzando in tutti i casi l'ora solare. I risultati ottenuti dalle simulazioni della rete sono in comune con il mio collega Campaci in quanto il fabbisogno fornito in input al sistema è lo stesso, le valutazioni effettuate sono però personali e svolte singolarmente.

4.1. DIM-A

Il DIM-A è costituito per la maggior parte da uffici del personale e dei docenti con conseguente utilizzo dello stabile per tutto l'arco dell'anno alla stessa maniera, a eccezione dei periodi di chiusura dell'ateneo. Il profilo ottenuto per il fabbisogno presenta per questo andamento molto simile a quello teorico. La richiesta di calore dipende fortemente dalla temperatura esterna, con richieste più elevate a gennaio per la stagione invernale e a luglio per quella estiva. L'unico mese con andamento atipico è agosto, con una richiesta di raffrescamento appena superiore a quella di giugno quando le temperature medie giornaliere sono più elevate. Questi valori sono giustificati dallo schedule impiegato; ad agosto si sono considerate due settimane di chiusura dello stabile e il fabbisogno calcolato quindi è molto inferiore a quello che si avrebbe se fosse aperto tutta agosto.

Anche il fabbisogno di febbraio è elevato a causa dei bassi carichi interni presenti nel mese. Gli impianti utilizzati sono costituiti da fan coil con aria primaria, con un tasso di ricambio dell'aria nei locali non eccessivamente alto dovuto alla bassa occupazione dello stabile. Il contributo della ventilazione non è quindi molto elevato, circa 40% rispetto quello di Trnsys che corrisponde al calore elaborato dai fan coil.

Le macchine autonome presenti servono unicamente la biblioteca del piano terra nella stagione estiva.

Tabella 60. Componenti del fabbisogno netto DIM-A riferito a Tesserà

	Trnsys [kWh]	Ventilazione [kWh]	Fabbisogno [kWh]	Macchine autonome [kWh]	Rete [kWh]
Gennaio 2016	-49331	-21419	-70751	n.c.	-70751
Febbraio 2016	-43800	-21509	-65308	n.c.	-65308
Marzo 2015	-25317	-16416	-41732	n.c.	-41732
Aprile 2015	-4117	-4110	-8227	n.c.	-8227
Maggio 2015	4992	-3443	1549	n.c.	1549
Giugno 2015	17297	-2962	14736	400	14335
Luglio 2015	30300	714	32417	1404	31013
Agosto 2015	14868	154	15591	569	15022
Settembre 2015	10857	-4320	6790	253	6537
Ottobre 2015	-5684	-5092	-10775	n.c.	-10775
Novembre 2015	-29424	-15244	-44668	n.c.	-44668
Dicembre 2015	-34771	-15170	-49941	n.c.	-49941

Tabella 61. Componenti del fabbisogno netto DIM-A riferito a Legnaro

	Trnsys [kWh]	Ventilazione [kWh]	Fabbisogno [kWh]	Macchine autonome [kWh]	Rete [kWh]
Gennaio 2016	-47922	-20807	-68730	n.c.	-68730
Febbraio 2016	-34140	-16764	-50905	n.c.	-50905
Marzo 2015	-19881	-12891	-32772	n.c.	-32772
Aprile 2015	-4106	-4098	-8204	n.c.	-8204
Maggio 2015	6606	-2632	3974	n.c.	3974
Giugno 2015	23474	-1930	21544	4100	21074
Luglio 2015	40971	16101	57073	2115	55852
Agosto 2015	19230	2255	21485	677	20963
Settembre 2015	14005	-3673	10332	225	9975
Ottobre 2015	-5335	-4778	-10114	n.c.	-10114
Novembre 2015	-32367	-16769	-49136	n.c.	-49136
Dicembre 2015	-36193	-15789	-51983	n.c.	-51983

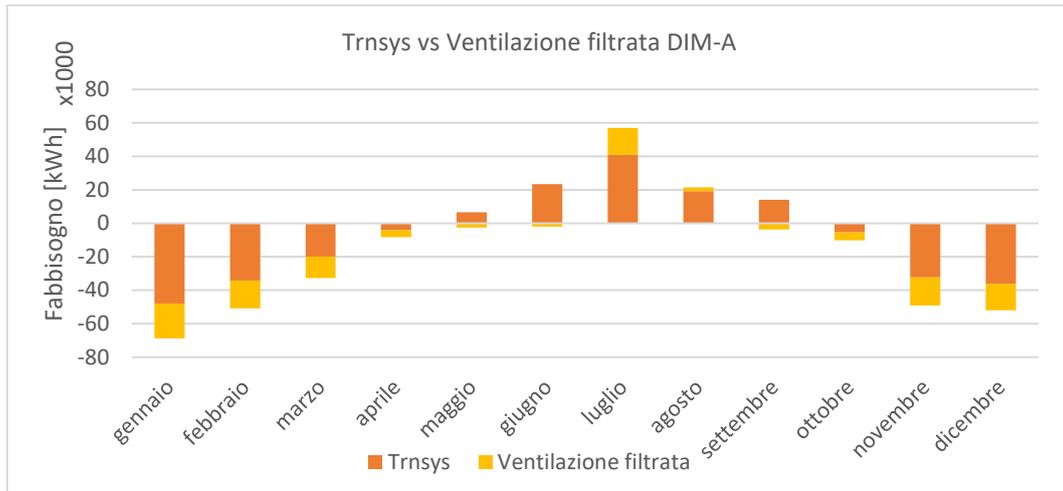


Figura 37. Contributo Ventilazione e Trnsys DIM-A riferito a Legnaro

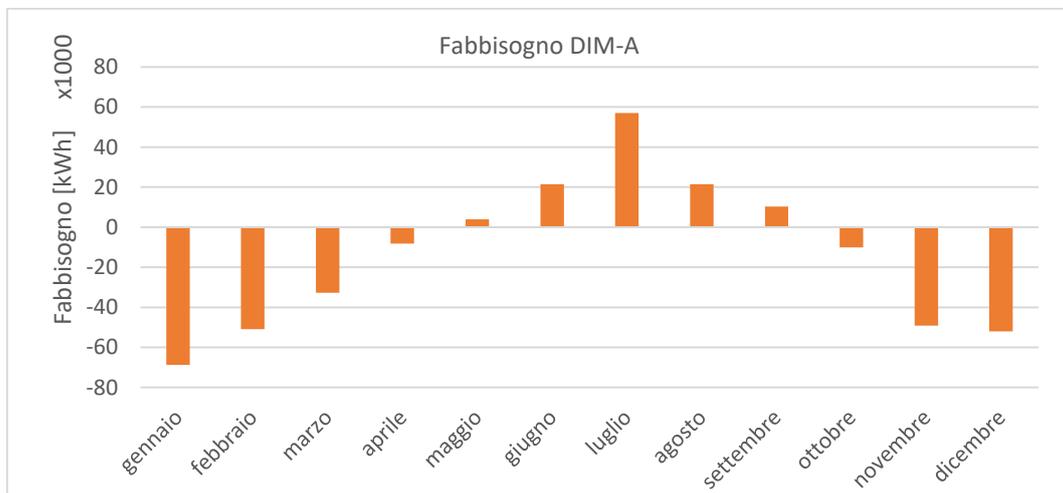


Figura 38. Fabbisogno netto DIM-A Legnaro

Dai profili orari di potenza richiesta dall'edificio è possibile ricavare il valore massimo richiesto nella stagione estiva e in quella invernale per poterlo confrontare con la potenza nominale degli scambiatori posti in sottostazione, ove presenti.

Tabella 62. Potenza massima richiesta al DIM-A

	Riscaldamento	Raffrescamento
Max. potenza richiesta [kW]	450	311
Potenza nominale scambiatore [kW]	700	*

*scambiatore non presente, viene effettuato uno spillamento diretto

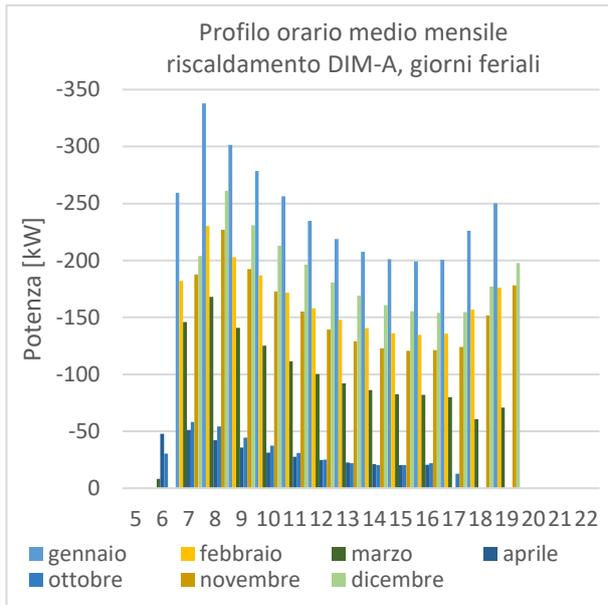


Figura 39. Profilo orario medio mensile riscaldamento DIM-A, giorni feriali.

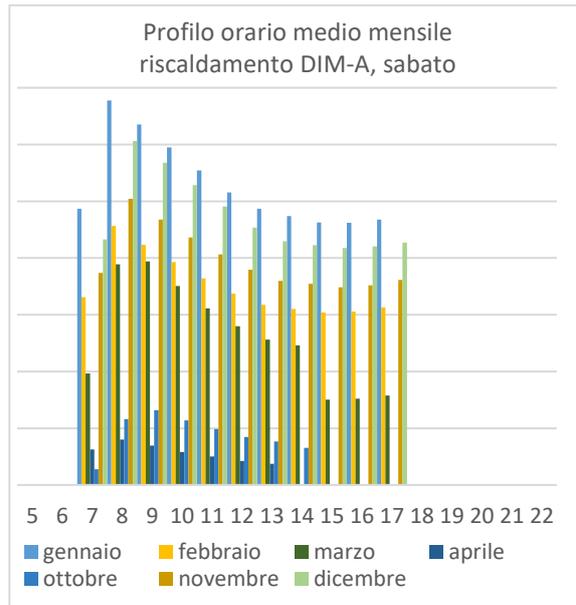


Figura 40. Profilo orario medio mensile riscaldamento DIM-A, sabato.

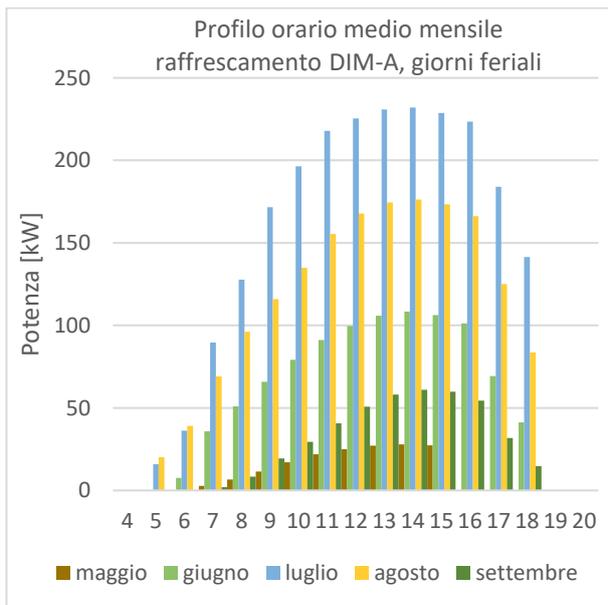


Figura 41. Profilo orario medio mensile raffrescamento DIM-A, giorni feriali.

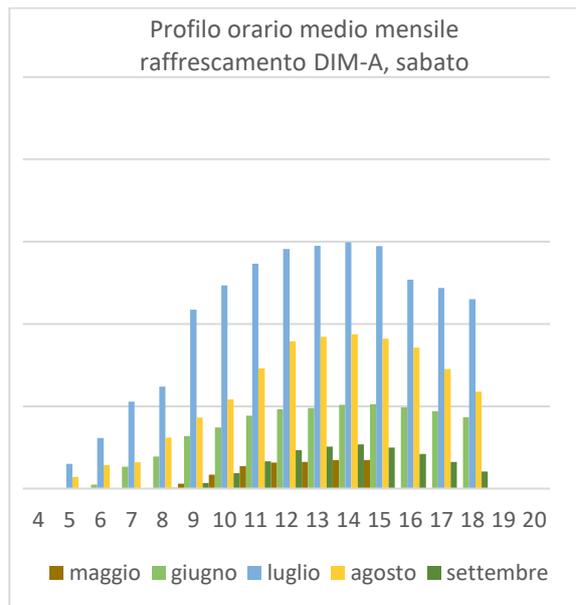


Figura 42. Profilo orario medio mensile raffrescamento DIM-A, sabato.

I profili orari medi mensili riportati sopra consentono di vedere se i fabbisogni hanno andamento simile a quello classico per un edificio. L'esito è positivo in quanto nella stagione invernale si vede come la richiesta diminuisca durante le ore centrali a opera della radiazione solare e dei contributi interni mentre per l'estivo i contributi gratuiti comportano un incremento della richiesta. Gli stessi grafici possono essere ottenuti per ogni singolo mese ma non vengono qui riportati per non appesantire troppo la trattazione.

È interessante il confronto dei profili orari medi mensili tra giorni feriali e sabato. Nella stagione invernale il sabato la potenza richiesta è maggiore che nei giorni di effettivo utilizzo dello stabile, situazione che si verifica per la ridotta presenza di persone e altri carichi interni e la necessità di coprire quindi un carico maggiore tramite gli impianti. Viceversa nella stagione estiva i carichi interni sono un contributo negativo che comportano una richiesta maggiore, nuovamente confermato dal fatto che il sabato il profilo orario medio mensile è inferiore al corrispettivo per giorni feriali.

4.2. DIM B

Lo stabile in questione presenta due grandi aule utilizzate per la didattica e diversi laboratori e officine. Per il riscaldamento vengono impiegate termostrisce e l'aria primaria viene fornita tramite delle centrali di trattamento aria. La geometria e la stratigrafia dell'edificio sono la causa dell'elevata richiesta di riscaldamento durante la stagione invernale. La ventilazione contribuisce in maniera molto ridotta al fabbisogno complessivo.

Le macchine autonome sono presenti in grande numero e devono sopperire a tutta la richiesta durante la stagione estiva essendo il DIM-B non allacciato alla rete di teleraffrescamento. Per questo il fabbisogno imputabile alla rete è nullo nel periodo estivo.

Tabella 63. Componenti del fabbisogno netto DIM-B riferito a Tessera

	Trnsys [kWh]	Ventilazione [kWh]	Fabbisogno [kWh]	Macchine autonome [kWh]	Rete [kWh]
Gennaio 2016	-88084	-8378	-96462	n.c.	-96462
Febbraio 2016	-90822	-8322	-99144	n.c.	-99144
Marzo 2015	-49639	-6109	-55748	n.c.	-55748
Aprile 2015	-8818	-1408	-10226	n.c.	-10226
Maggio 2015	475	-254	221	221	0
Giugno 2015	5838	298	6136	6136	0
Luglio 2015	13783	1716	15499	15499	0
Agosto 2015	4867	1059	5926	5926	0
Settembre 2015	1487	-196	1291	1291	0
Ottobre 2015	-11221	-1671	-12892	n.c.	-12892
Novembre 2015	-49003	-5572	-54575	n.c.	-54575
Dicembre 2015	-61289	-5819	-67108	n.c.	-67108

Tabella 64. Componenti del fabbisogno netto DIM-B riferito a Legnaro

	Trnsys [kWh]	Ventilazione [kWh]	Fabbisogno [kWh]	Macchine autonome [kWh]	Rete [kWh]
Gennaio 2016	-85568	-8139	-93708	n.c.	-93708
Febbraio 2016	-70791	-6487	-77278	n.c.	-77278
Marzo 2016	-38981	-4797	-43778	n.c.	-43778
Aprile 2016	-8794	-1404	-10198	n.c.	-10198
Maggio 2016	628	-239	389	389	0
Giugno 2016	7847	75	7922	7922	0
Luglio 2016	18310	7923	26234	26234	0
Agosto 2016	6209	1492	7701	7701	0
Settembre 2016	1991	-194	1797	1797	0
Ottobre 2016	-10532	-1568	-12100	n.c.	-12100
Novembre 2016	-53905	-6130	-60034	n.c.	-60034
Dicembre 2016	-63794	-6057	-69852	n.c.	-69852

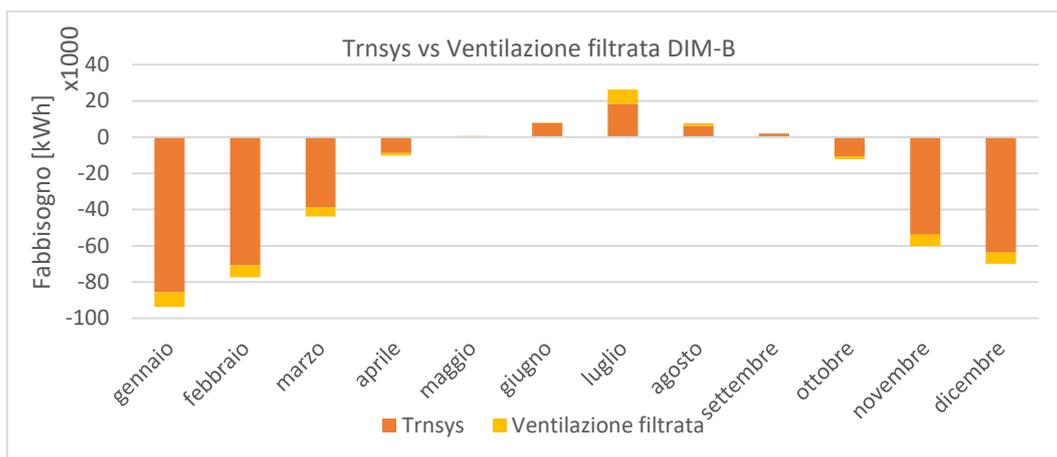


Figura 43. Contributo Trnsys e Ventilazione filtrata DIM-B Legnaro

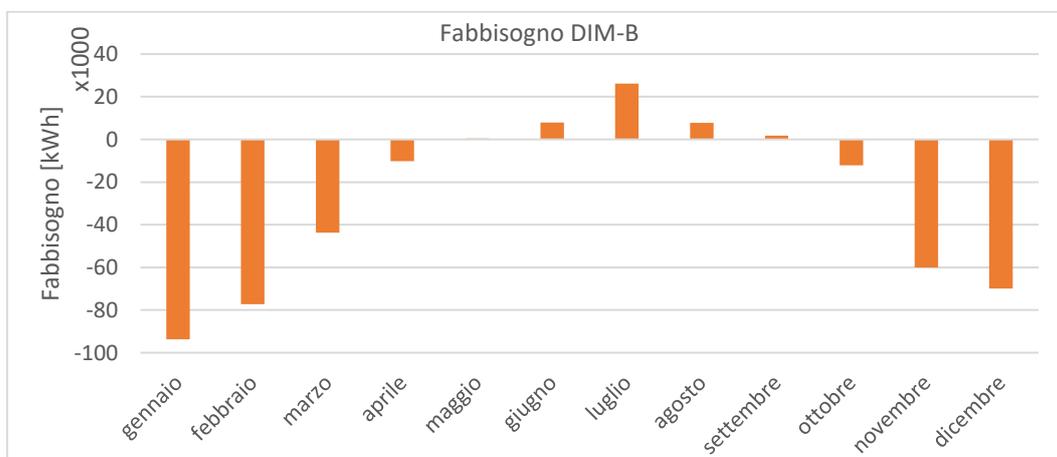


Figura 44. Fabbisogno netto DIM-B Legnaro

In tabella 65 sono riportati la massima potenza richiesta e quella nominale installata presso la sottostazione.

Tabella 65. Potenza massima richiesta al DIM-B

	Riscaldamento	Raffrescamento
Max. potenza richiesta [kW]	527	*
Potenza nominale scambiatore [kW]	930	*

*Scollegata dalla rete

La potenza richiesta in inverno viene soddisfatta pienamente dalla centrale e dallo scambiatore installato in essa. In fase di progetto hanno mantenuto un margine di sicurezza nel dimensionamento dello scambiatore molto elevato, forse per lasciare la possibilità di allacciare altri ambienti alla linea che alimenta il DIM-B.

Per la stagione estiva non si riporta alcun valore in quanto l'edificio non è allacciato alla centrale ed è provvisto solamente di macchine autonome.

I profili orari medi mensili hanno andamento come quello del DIM-A con osservazioni analoghe a quelle fatte sopra. L'unica differenza è il profilo relativo al periodo di riscaldamento per i giorni di sabato. La sottostazione viene chiusa anticipatamente rispetto i giorni feriali e non si ha la risalita della domanda di energia dovuta alla riduzione delle temperature esterne. Per questo edificio tale fenomeno è più evidente rispetto il DIM-A, forse per la posizione più coperta o l'altezza inferiore raggiunta e quindi una minor esposizione alla radiazione solare.

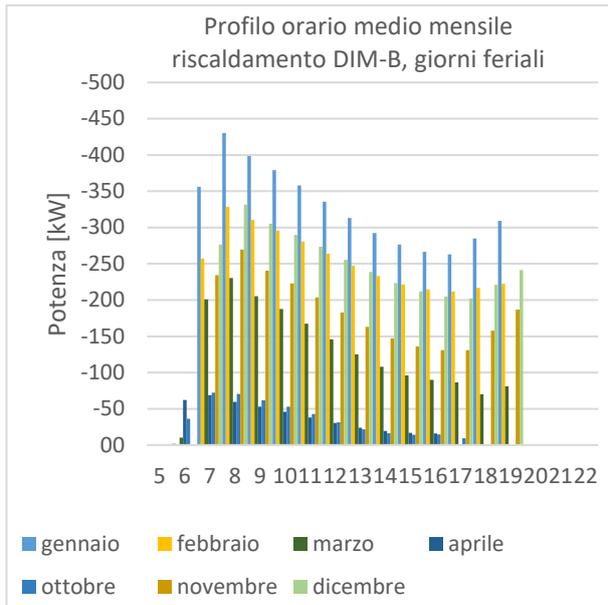


Figura 45. Profilo orario medio mensile riscaldamento DIM-B, giorni feriali.

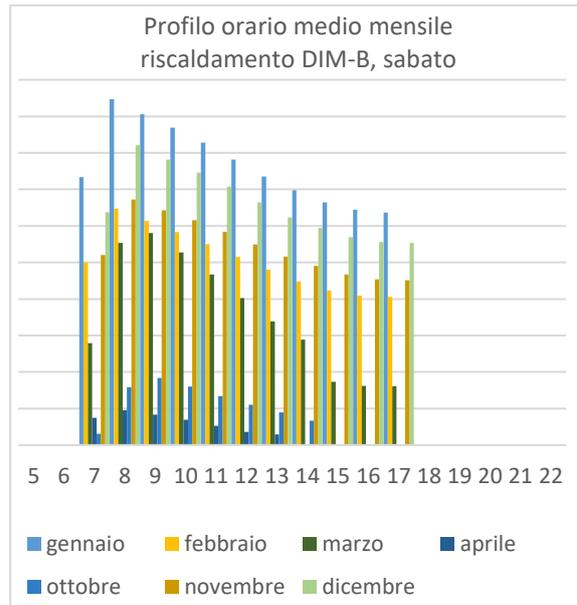


Figura 46. Profilo orario medio mensile riscaldamento DIM-B, sabato.

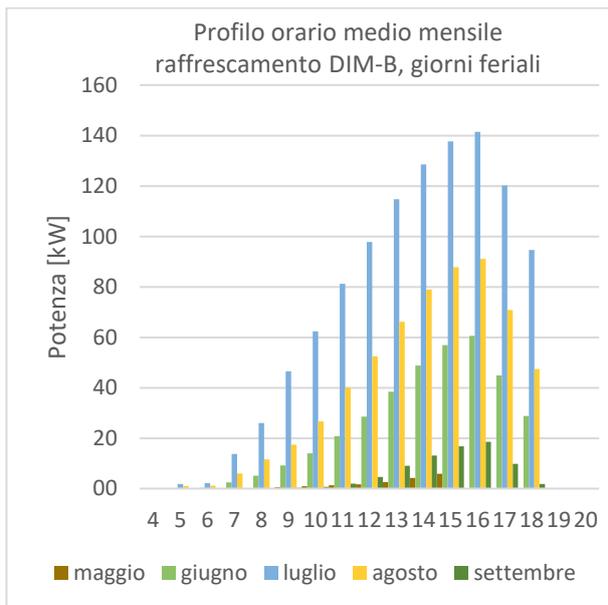


Figura 47. Profilo orario medio mensile raffrescamento DIM-B, giorni feriali.

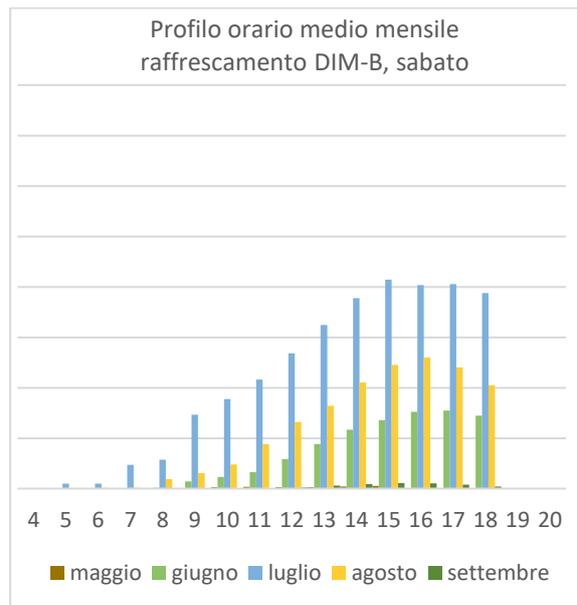


Figura 48. Profilo orario medio mensile raffrescamento DIM-B, sabato.

4.3. DIM-CD

Gli spazi del DIM-CD sono utilizzati maggiormente come aule per la didattica, i carichi interni seguono il profilo orario tipico della didattica per tutto l'anno. Per questo motivo l'edificio risulta chiuso tutti i sabati dell'anno e i carichi sono ridotti nei periodi di pausa della didattica. L'elevata presenza di persone nelle aule richiede un elevato tasso di ricambio dell'aria attribuendo alla ventilazione parte importante nel calcolo del fabbisogno dell'edificio. Nella stagione invernale la ventilazione è il 50% del contributo di Trnsys, inferiore nella stagione estiva per via dello schedule utilizzato.

Il mese di febbraio ha la richiesta maggiore di energia per il riscaldamento quando solitamente questa si verifica a gennaio. È una conseguenza delle pause delle lezioni nel mese di gennaio per le feste natalizie che riducono il periodo di riscaldamento del mese.

Tabella 66. Componenti del fabbisogno netto DIM-CD riferito a Tesserà

	Trnsys [kWh]	Ventilazione [kWh]	Fabbisogno [kWh]	Macchine [kWh]	Rete [kWh]
Gennaio 2016	-53958	-30915	-84873	n.c.	-84873
Febbraio 2016	-60611	-31044	-91655	n.c.	-91655
Marzo 2015	-27655	-23693	-51348	n.c.	-51348
Aprile 2015	-4525	-5934	-10458	n.c.	-10458
Maggio 2015	8990	-6375	2615	497	2118
Giugno 2015	22595	-3860	18736	9356	9379
Luglio 2015	33753	3827	37581	21868	15713
Agosto 2015	15109	1579	16688	10031	6657
Settembre 2015	12852	-5424	7428	2723	4705
Ottobre 2015	-6619	-7349	-13968	n.c.	-13968
Novembre 2015	-31681	-22002	-53683	n.c.	-53683
Dicembre 2015	-37941	-21895	-59836	n.c.	-59836

Tabella 67. Componenti del fabbisogno netto DIM-CD riferito a Legnaro

	Trnsys [kWh]	Ventilazione [kWh]	Fabbisogno [kWh]	Macchine [kWh]	Rete [kWh]
Gennaio 2016	-52417	-30032	-82449	n.c.	-82449
Febbraio 2016	-47243	-24197	-71441	n.c.	-71441
Marzo 2015	-21717	-18606	-40323	n.c.	-40323
Aprile 2015	-4512	-5917	-10430	n.c.	-10430
Maggio 2015	11896	-5048	6848	3415	3433
Giugno 2015	30920	-3324	27596	12132	15464
Luglio 2015	45950	24314	70264	29799	40465
Agosto 2015	19706	3670	23376	10727	12649
Settembre 2015	16807	-5485	11322	5496	5826
Ottobre 2015	-6213	-6898	-13110	n.c.	-13110
Novembre 2015	-34850	-24203	-59054	n.c.	-59054
Dicembre 2015	-39492	-22790	-62282	n.c.	-62282

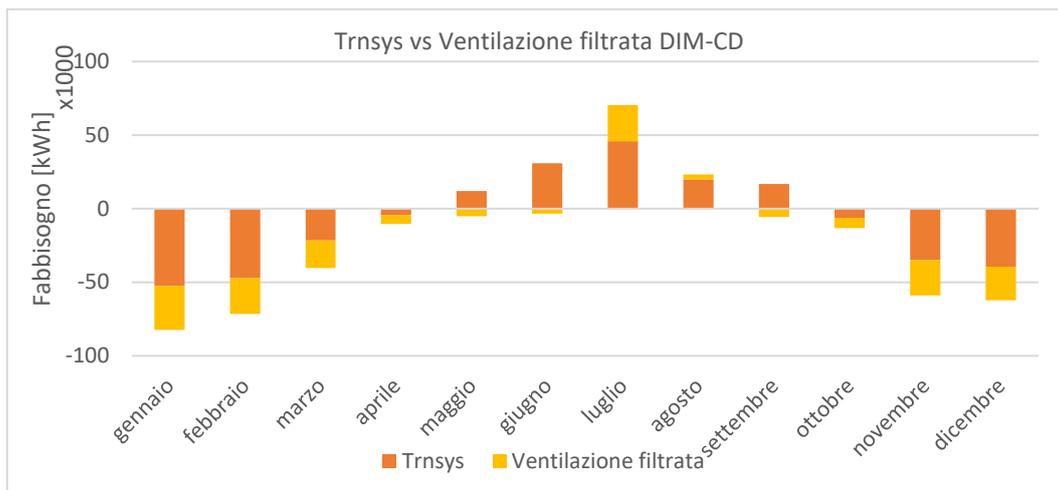


Figura 49. Contributi Trnsys e Ventilazione filtrata DIM-CD Legnaro

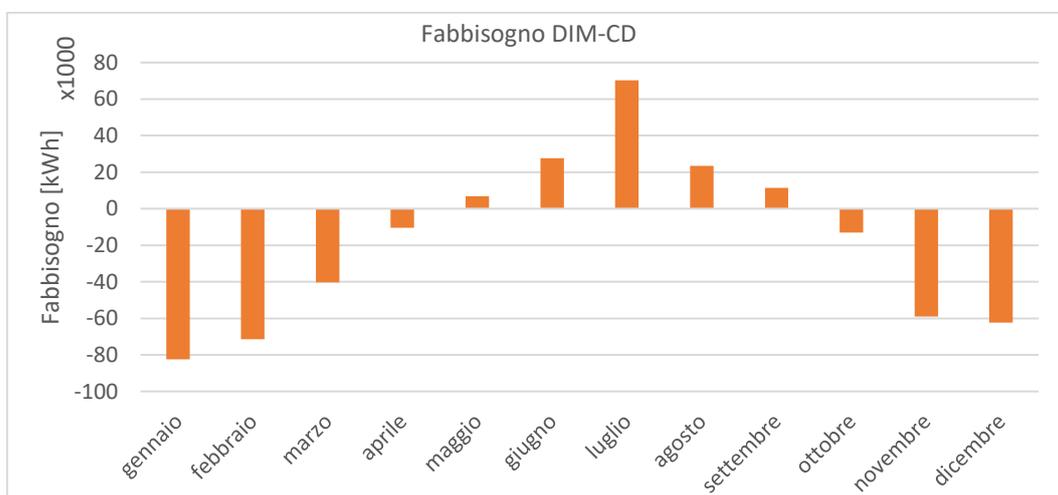


Figura 50. Fabbisogno netto DIM-CD Legnaro

Le macchine autonome coprono parte non indifferente dei fabbisogni nei mesi estivi. Questo giustifica la taglia della macchina ed è dovuto al fatto che inizialmente lo stabile non era condizionato in tutte le sue zone. La macchina autonoma è stata installata successivamente per poter raffrescare le zone non raggiunte dalla rete.

In tabella 68 vengono riportate la potenza massima richiesta dall'edificio nella stagione invernale ed estiva e confrontate con la potenza nominale installata in sottostazione.

Tabella 68. Potenza massima richiesta al DIM-CD

	Riscaldamento	Raffrescamento
Max. potenza richiesta [kW]	576	381
Potenza nominale scambiatore [kW]	900	*

*Spillamento diretto, non vi sono scambiatori in sottostazione

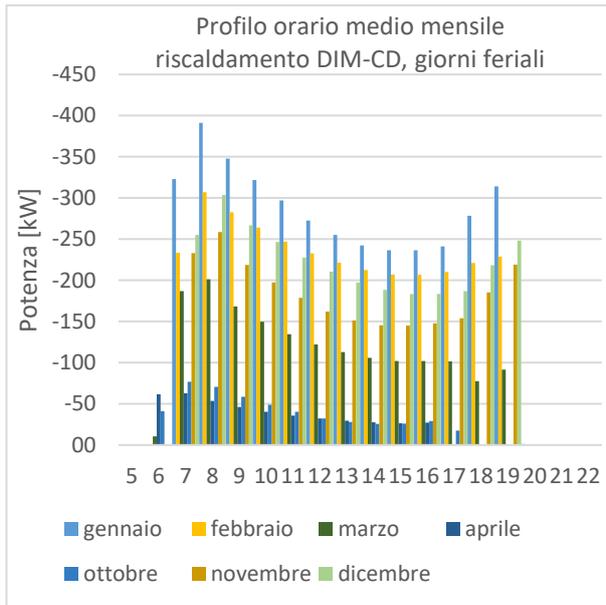


Figura 51. Profilo orario medio mensile riscaldamento DIM-CD, giorni feriali.

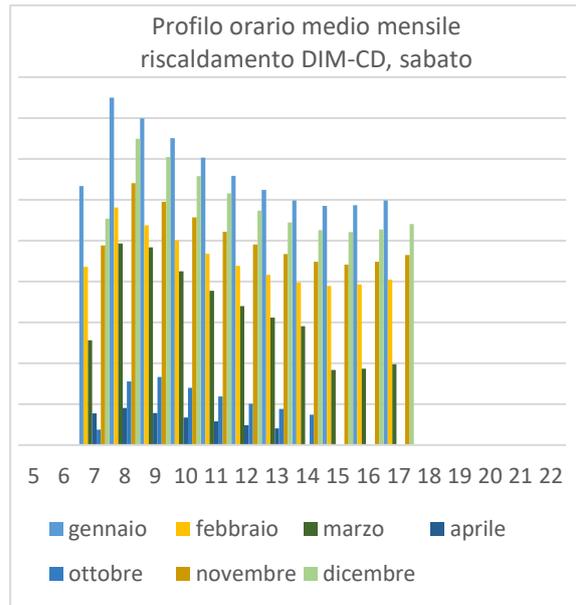


Figura 52. Profilo orario medio mensile riscaldamento DIM-CD, sabato.

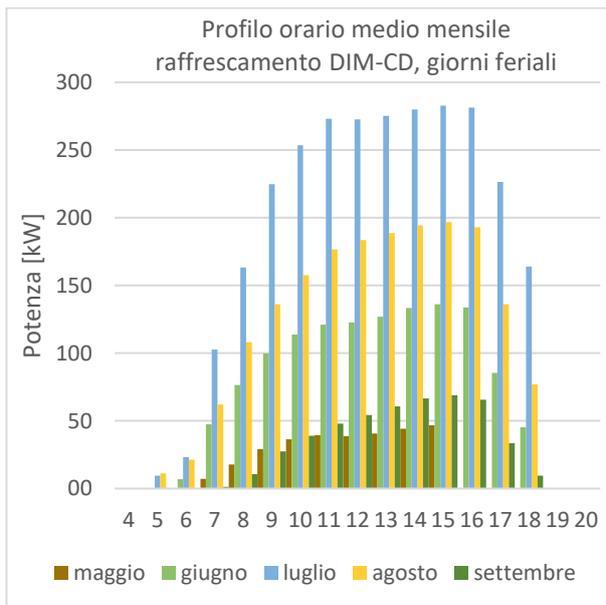


Figura 53. Profilo orario medio mensile raffrescamento DIM-CD, giorni feriali.

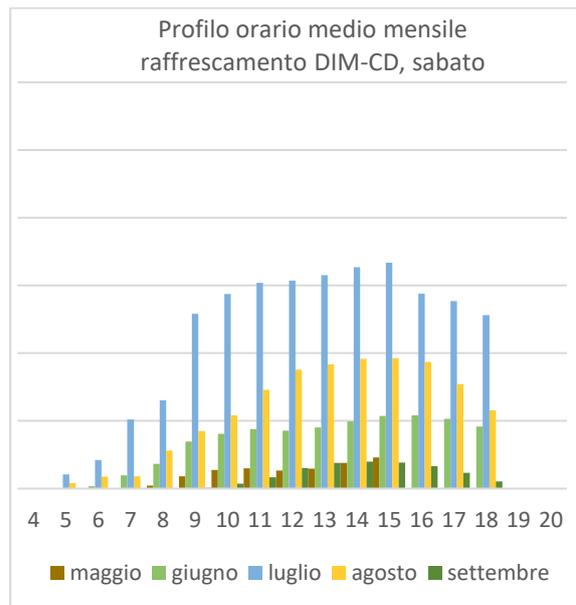


Figura 54. Profilo orario medio mensile raffrescamento DIM-CD, sabato.

I commenti relativi ai grafici riportati sopra sono analoghi a quelli per gli altri edifici già esposti e quindi non ripetuti in questo e nei futuri paragrafi a meno del verificarsi di particolari situazioni che richiedono giustificazioni specifiche.

4.4. DIM-E

Questo stabile è simile in caratteristiche e utilizzo al DIM-A, non presenta la biblioteca e ha dimensioni inferiori. Al piano terra è presente invece un laboratorio di conduttività. I ragionamenti fatti per il DIM-A possono essere adattati a questo edificio.

Le macchine autonome servono per la sola stagione estiva per il laboratorio di conduttività, per questo coprono una parte del fabbisogno complessivo molto ridotta.

Tabella 69. Componenti del fabbisogno netto DIM-E con riferimento Tessera

	Trnsys [kWh]	Ventilazione [kWh]	Fabbisogno [kWh]	Macchine autonome [kWh]	Rete [kWh]
Gennaio 2016	-21108	-7891	-28999	n.c.	-28999
Febbraio 2016	-18874	-7924	-26797	n.c.	-26797
Marzo 2015	-10561	-6047	-16609	n.c.	-16609
Aprile 2015	-1471	-1513	-2984	n.c.	-2984
Maggio 2015	2443	-1146	1297	n.c.	1297
Giugno 2015	7819	-738	7081	246	6836
Luglio 2015	13304	905	14209	943	13266
Agosto 2015	5923	429	6352	309	6043
Settembre 2015	3997	-1124	2873	39	2834
Ottobre 2015	-1749	-1876	-3625	n.c.	-3625
Novembre 2015	-11538	-5616	-17154	n.c.	-17154
Dicembre 2015	-14471	-5588	-20059	n.c.	-20059

Tabella 70. Componenti del fabbisogno netto DIM-E con riferimento Legnaro

	Trnsys [kWh]	Ventilazione [kWh]	Fabbisogno [kWh]	Macchine autonome [kWh]	Rete [kWh]
Gennaio 2016	-20505	-7665	-28171	n.c.	-28171
Febbraio 2016	-14711	-6176	-20887	n.c.	-20887
Marzo 2015	-8294	-4749	-13043	n.c.	-13043
Aprile 2015	-1466	-1509	-2976	n.c.	-2976
Maggio 2015	3233	-805	2428	n.c.	2428
Giugno 2015	10648	-552	10096	258	9838
Luglio 2015	18023	6168	24191	1303	22888
Agosto 2015	7683	942	8625	375	8250
Settembre 2015	5206	-1139	4067	38	4029
Ottobre 2015	-1642	-1761	-3402	n.c.	-3402
Novembre 2015	-12693	-6178	-18870	n.c.	-18870
Dicembre 2015	-15062	-5817	-20879	n.c.	-20879

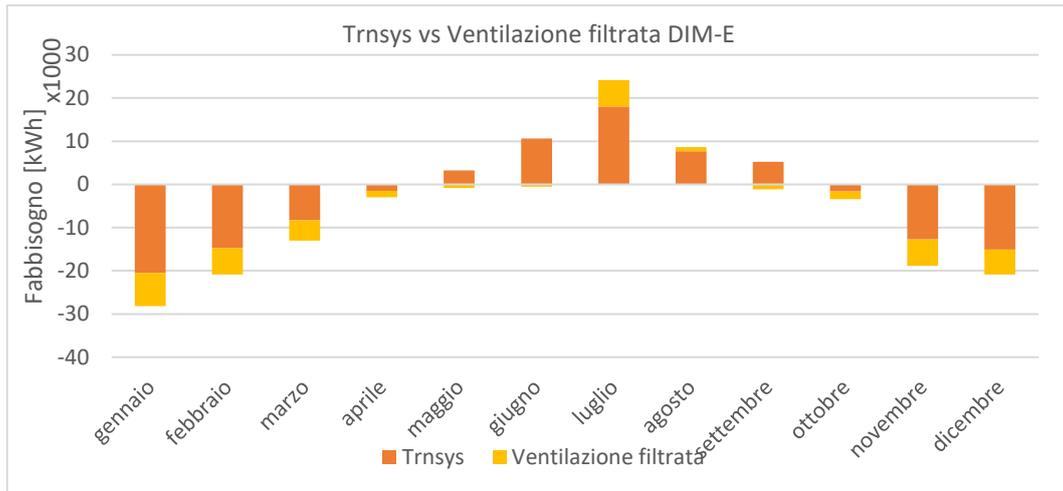


Figura 55. Contributi Trnsys e Ventilazione filtrata DIM-E Legnaro

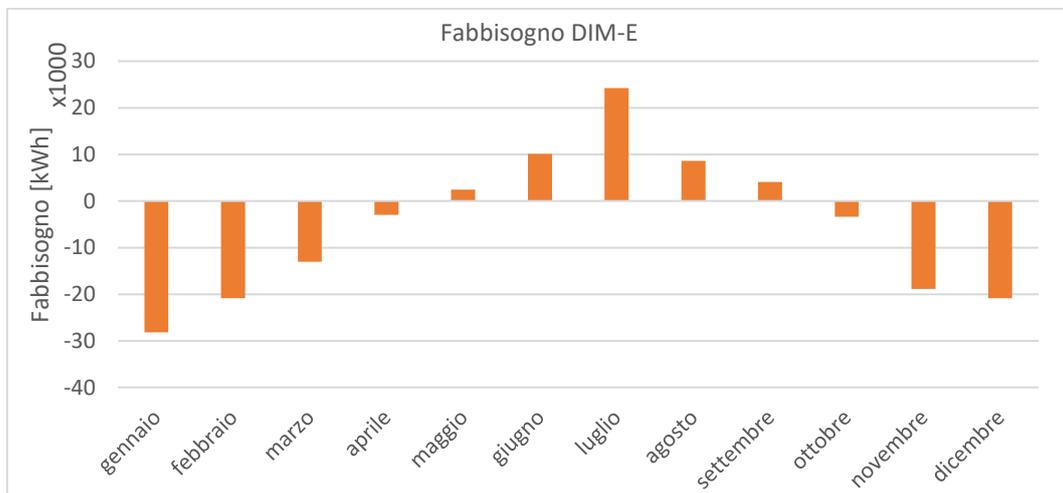


Figura 56. Fabbisogno netto DIM-E Legnaro

In tabella 71 vengono riportate le potenze massime rilevate nelle due stagioni. Gli scambiatori installati consentono di coprire tale picco.

Tabella 71. Potenza massima richiesta al DIM-E

	Riscaldamento	Raffrescamento
Max. potenza richiesta [kW]	237	131
Potenza nominale scambiatore [kW]	350	*

*Spillamento diretto, in sottostazione non è installato lo scambiatore

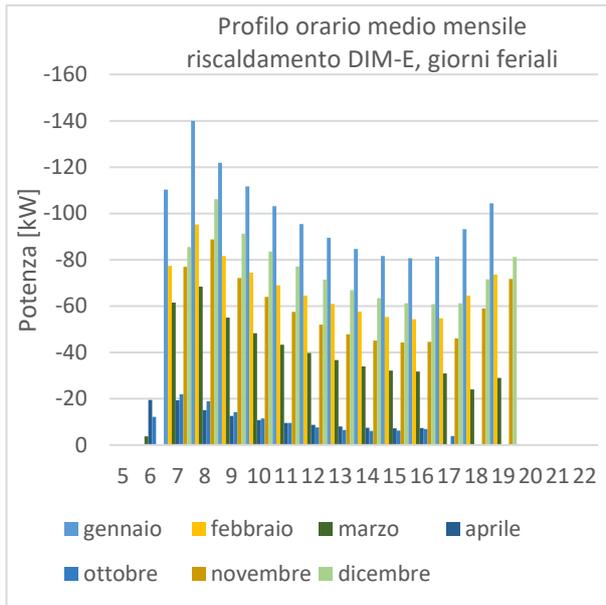


Figura 57. Profilo orario medio mensile riscaldamento DIM-E, giorni feriali.

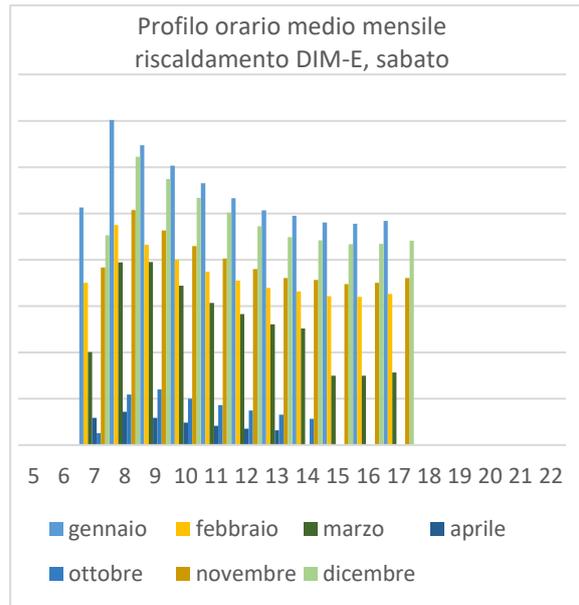


Figura 58. Profilo orario medio mensile riscaldamento DIM-E, sabato.

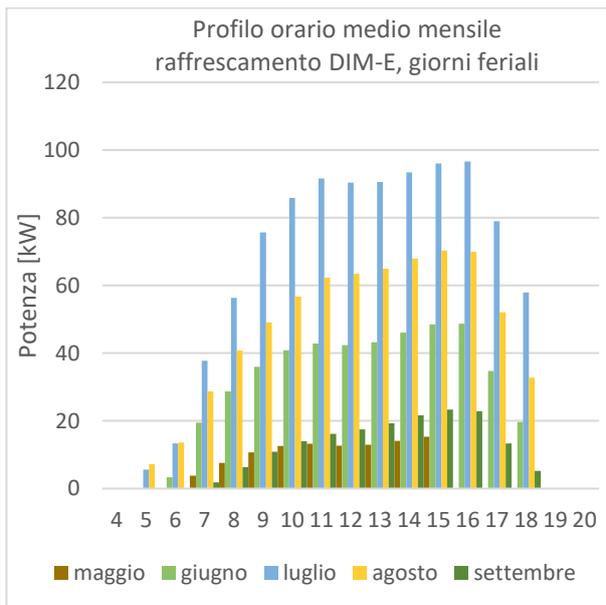


Figura 59. Profilo orario medio mensile raffrescamento DIM-E, giorni feriali.

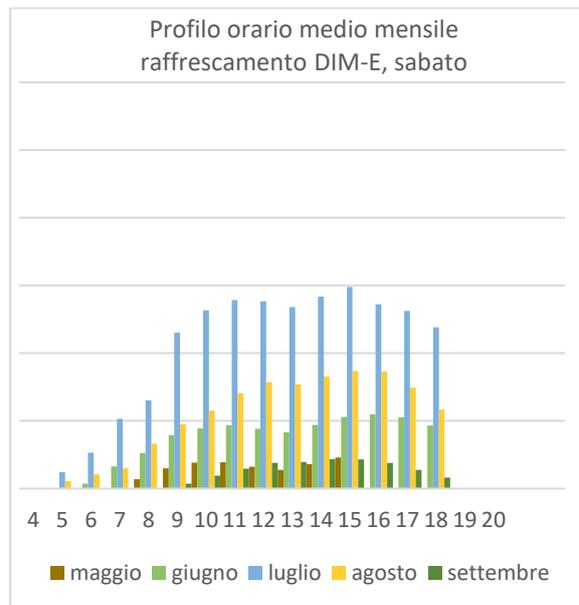


Figura 60. Profilo orario medio mensile raffrescamento DIM-E, sabato.

4.5. PSICO-1

L'edificio PSICO-1 è quello più particolare per la presenza dello stabulario. La differente temperatura di set point rispetto gli altri locali e la differente tipologia impiantistica ha portato a una leggera differenziazione nel metodo di calcolo del fabbisogno. Per tale motivo nelle tabelle 72 e 73 viene riportato anche il fabbisogno dello stabulario, che risulta essere coperto interamente da macchine autonome durante l'estate ma solo parzialmente durante l'inverno. La ventilazione è una componente importante, conseguenza delle buone proprietà isolanti dell'involucro dell'edificio.

Tabella 72. Componenti del fabbisogno netto PSICO-1 riferito Tessera

	Trnsys [kWh]	Ventilazione [kWh]	Fabbisogno [kWh]	Stabu [kWh]	Rete [kWh]
Gennaio 2016	-23017	-28423	-51440	-8345	-43095
Febbraio 2016	-19886	-28232	-48118	-6317	-41801
Marzo 2015	-8933	-20723	-29655	-6528	-23127
Aprile 2015	-782	-4876	-5658	-4897	-761
Maggio 2015	5914	-4496	1417	-5846	7264
Giugno 2015	18063	-2621	15442	-5435	20877
Luglio 2015	28250	4616	32865	-3599	36464
Agosto 2015	13777	1999	15776	-4456	20232
Settembre 2015	10366	-4373	5993	-5065	11059
Ottobre 2015	-611	-5674	-6285	-4457	-1828
Novembre 2015	-9648	-18903	-28551	-5939	-22612
Dicembre 2015	-15243	-19742	-34985	-8988	-25997

Tabella 73. Componenti del fabbisogno netto PSICO-1 riferito Legnaro

	Trnsys [kWh]	Ventilazione [kWh]	Fabbisogno [kWh]	Stabu [kWh]	Rete [kWh]
Gennaio 2016	-22360	-27611	-49971	-8107	-41864
Febbraio 2016	-15501	-22005	-37506	-4924	-32582
Marzo 2015	-7015	-16273	-23288	-5127	-18162
Aprile 2015	-780	-4862	-5642	-4884	-759
Maggio 2015	7825	-1917	4258	6280	42580
Giugno 2015	24842	-2553	22289	4946	22289
Luglio 2015	38866	27206	66073	2658	66073
Agosto 2015	18108	4036	22145	3944	22145
Settembre 2015	13456	-3621	9210	5402	9210
Ottobre 2015	-574	-5326	-5899	-4187	-1716
Novembre 2015	-10613	-20794	-31407	-6534	-24874
Dicembre 2015	-15866	-20549	-36415	-30979	-27060

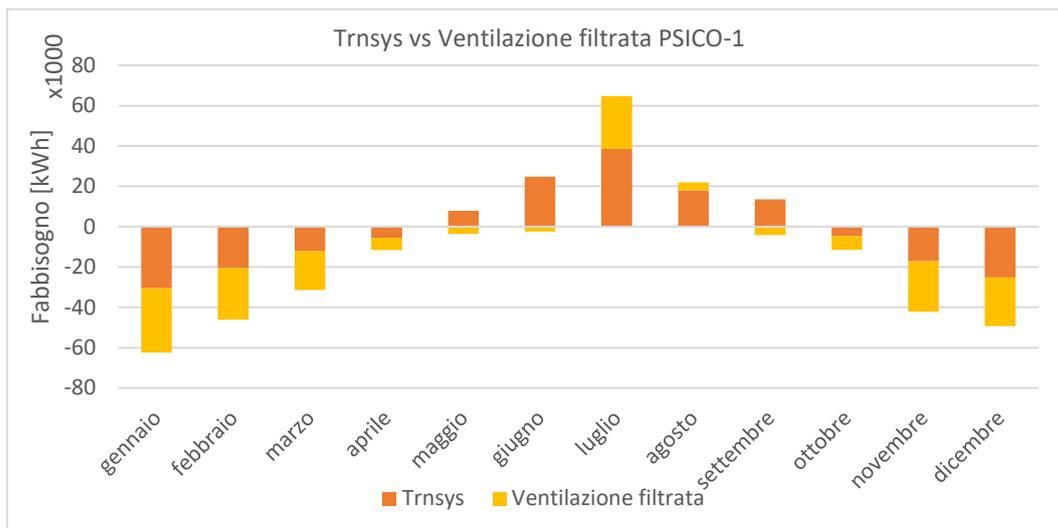


Figura 61. Contributi Trnsys e Ventilazione filtrata PSICO-1 Legnaro

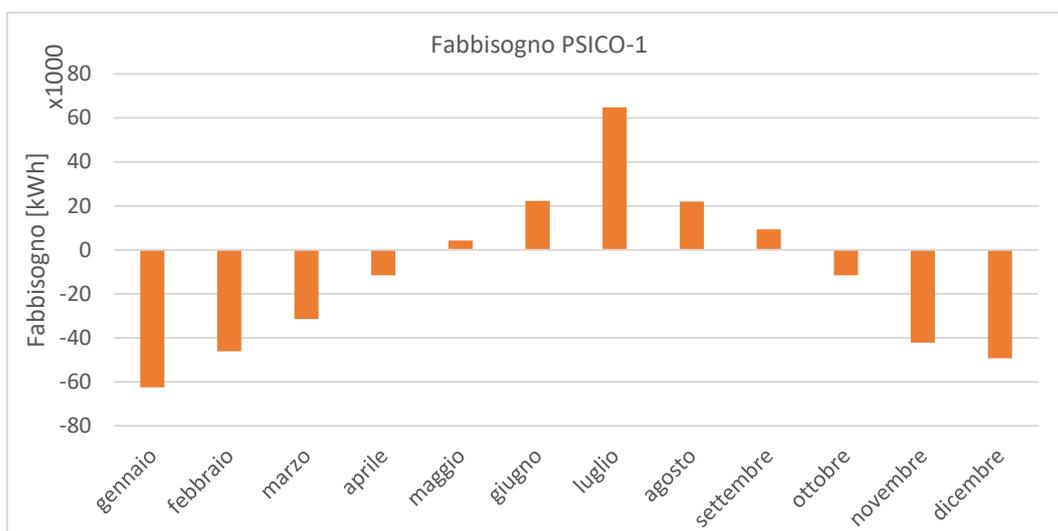


Figura 62. Fabbisogno netto PSICO-1 Legnaro

Dalla tabella 74 risulta che la potenza richiesta dall'edificio è maggiore di quella disponibile in sottostazione, facendo pensare a un sottodimensionamento dello scambiatore. In realtà una richiesta superiore alla potenza installata si verifica solamente per alcune ore in tutta la stagione invernale, non andando a pregiudicare il funzionamento dell'impianto e consentendo comunque nella realtà di sopperire alla richiesta

Tabella 74. Potenza richiesta PSICO-1

	Riscaldamento	Raffrescamento
Max. potenza richiesta [kW]	394	351
Potenza nominale scambiatore [kW]	330	800

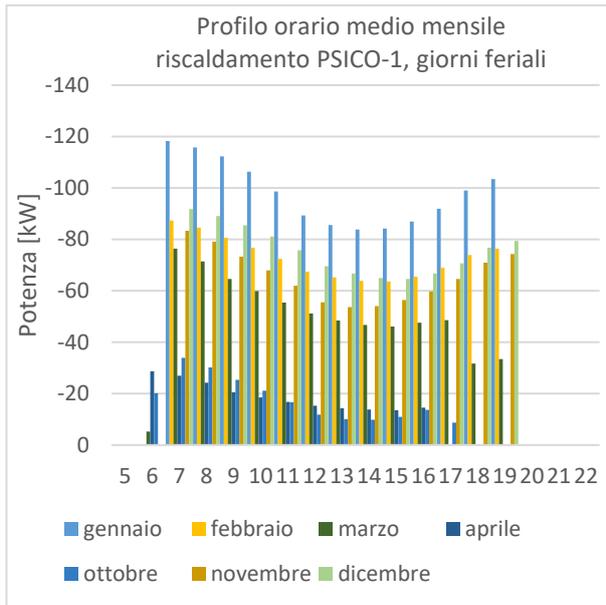


Figura 63. Profilo orario medio mensile riscaldamento PSICO-1, giorni feriali.

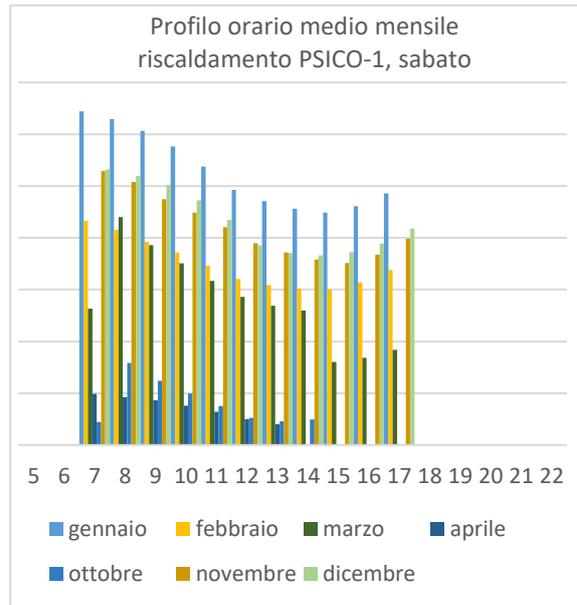


Figura 64. Profilo orario medio mensile riscaldamento PSICO-1, sabato.

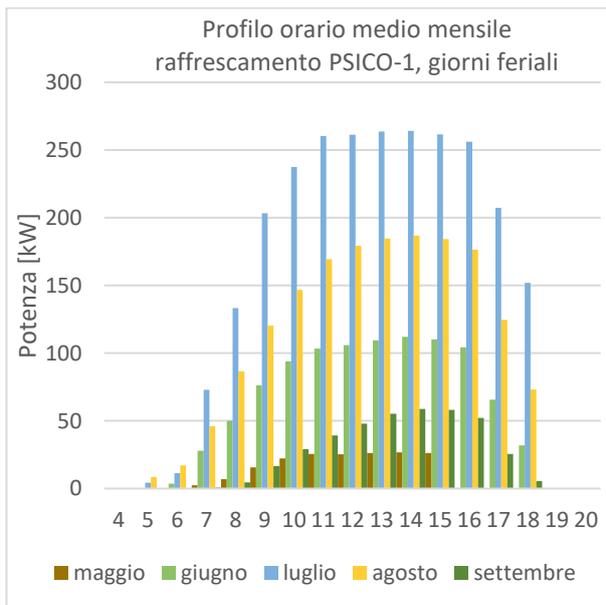


Figura 65. Profilo orario medio mensile raffrescamento PSICO-1, giorni feriali.

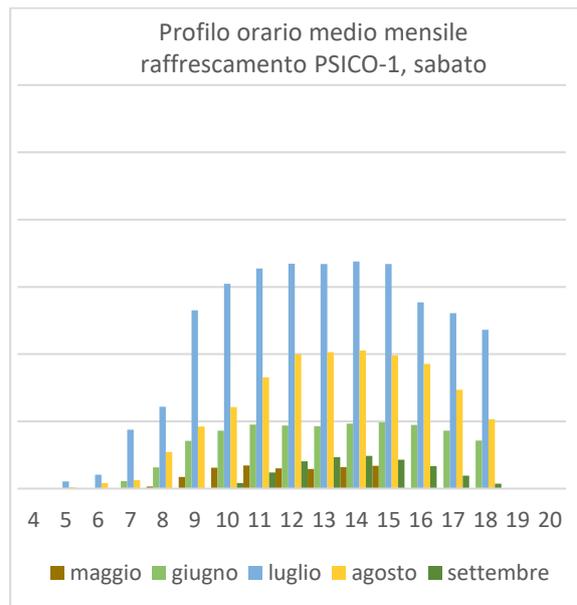


Figura 66. Profilo orario medio mensile raffrescamento PSICO-1, sabato.

I profili di questo edificio sono molto simili a quelli degli edifici già presentati e non necessitano di spiegazioni ulteriori. Si può solamente far notare la risalita della richiesta di riscaldamento il sabato, maggiore di quella riscontrata negli altri edifici e più simile al profilo relativo ai giorni feriali.

4.6. PSICO-2

Si tratta di un edificio adibito prettamente a didattica con conseguente necessità di un'elevata portata di aria di rinnovo che giustifica l'elevato fabbisogno relativo a tale contributo. Un altro fattore che rende elevata la quota di ventilazione è l'involucro dell'edificio. Come per PSICO-1 le buone proprietà isolanti riducono il fattore dispersivo di Trnsys e rendono importante quello della ventilazione. La posizione e la geometria fa sì che la radiazione solare incidente sia elevata andando a determinare un'elevata richiesta di raffrescamento nei mesi di giugno, luglio e agosto.

Tabella 75. Parametri analizzati nella stima del fabbisogno netto PSICO-2 riferito Tessera

	Trnsys [kWh]	Ventilazione [kWh]	Fabbisogno [kWh]	Macchine autonome [kWh]	Rete [kWh]
Gennaio 2016	-14909	-40440	-55349	n.c.	-55349
Febbraio 2016	-16852	-40123	-56976	n.c.	-56976
Marzo 2015	-5463	-29624	-35088	n.c.	-35088
Aprile 2015	-624	-7123	-7747	n.c.	-7747
Maggio 2015	15650	-8661	6989	n.c.	6989
Giugno 2015	38568	-5436	33131	n.c.	33131
Luglio 2015	52091	5102	57193	n.c.	57193
Agosto 2015	26095	1937	28033	n.c.	28033
Settembre 2015	26552	-8268	18283	n.c.	18283
Ottobre 2015	-404	-8270	-8675	n.c.	-8675
Novembre 2015	-4966	-27002	-31968	n.c.	-31968
Dicembre 2015	-8473	-28260	-36733	n.c.	-36733

Tabella 76. Parametri analizzati nella stima del fabbisogno netto PSICO-2 riferito Legnaro

	Trnsys [kWh]	Ventilazione [kWh]	Fabbisogno [kWh]	Macchine autonome [kWh]	Rete [kWh]
Gennaio 2016	-15945	-39285	-55230	n.c.	-55230
Febbraio 2016	-14012	-31274	-45287	n.c.	-45287
Marzo 2015	-4546	-23264	-27810	n.c.	-27810
Aprile 2015	-630	-7104	-7734	n.c.	-7734
Maggio 2015	20710	-6342	14368	n.c.	14368
Giugno 2015	53302	-4038	49264	n.c.	49264
Luglio 2015	71516	31524	103039	n.c.	103039
Agosto 2015	34227	4593	38820	n.c.	38820
Settembre 2015	34900	-8220	26680	n.c.	26680
Ottobre 2015	-392	-7762	-8154	n.c.	-8154
Novembre 2015	-5830	-29703	-35533	n.c.	-35533
Dicembre 2015	-9696	-29416	-39112	n.c.	-39112

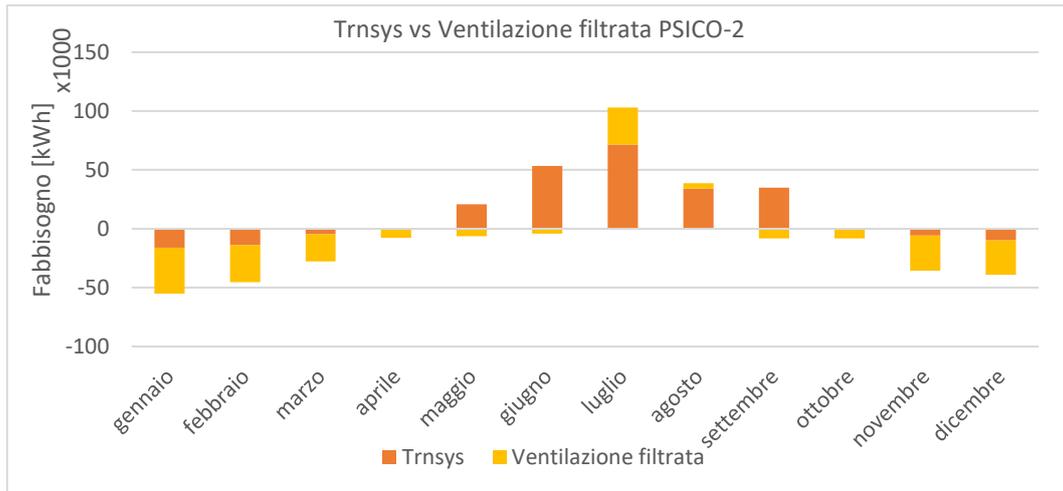


Figura 67. Contributi Trnsys e Ventilazione filtrata PSICO-2 Legnaro

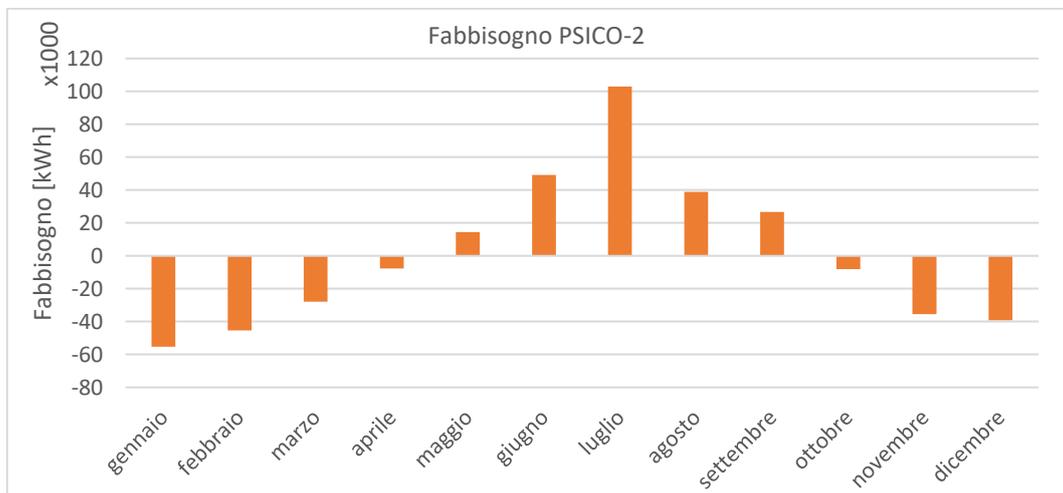


Figura 68. Fabbisogno netto PSICO-2 Legnaro

In tabella 77 vengono riportate le potenze installate in sottostazione e la massima potenza richiesta dagli edifici secondo la simulazione. Vengono soddisfatte in entrambe le stagioni con buoni margini che fanno pensare alla possibilità di ridurre le dimensioni degli scambiatori installati..

Tabella 77. Potenza richiesta PSICO-2

	Riscaldamento	Raffrescamento
Max. potenza richiesta [kW]	373	530
Potenza nominale scambiatore [kW]	720	780

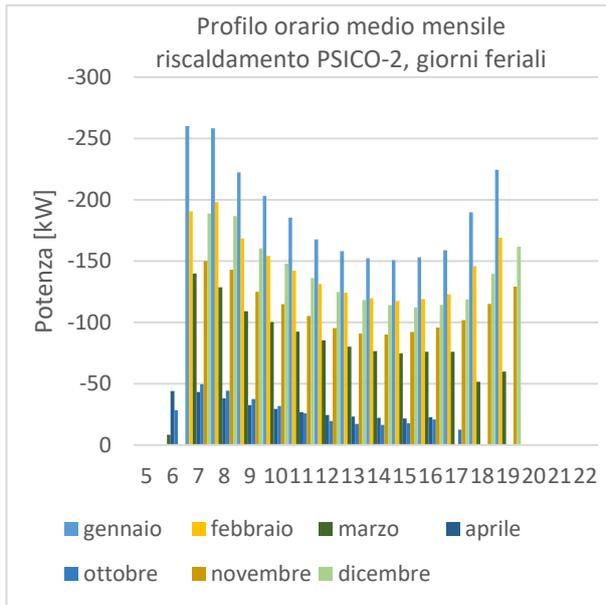


Figura 69. Profilo orario medio mensile riscaldamento PSICO-2, giorni feriali.

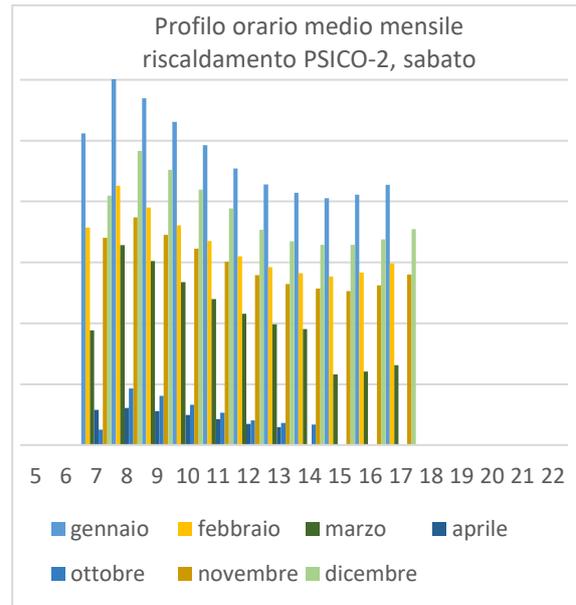


Figura 70. Profilo orario medio mensile riscaldamento PSICO-2, sabato.

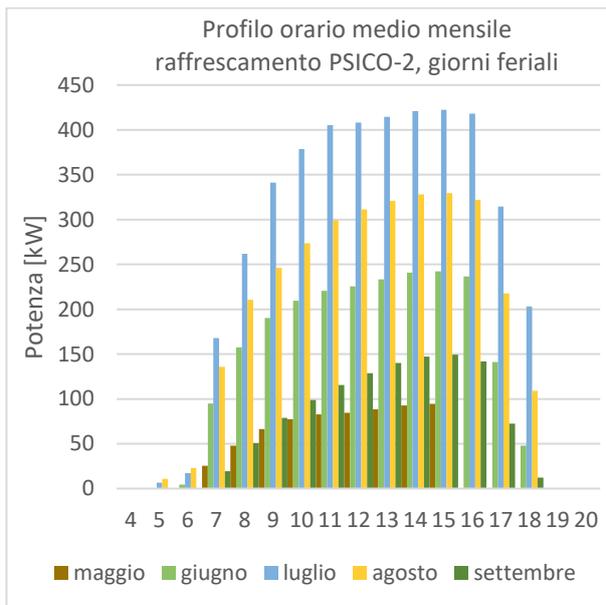


Figura 71. Profilo orario medio mensile raffrescamento PSICO-2, giorni feriali.

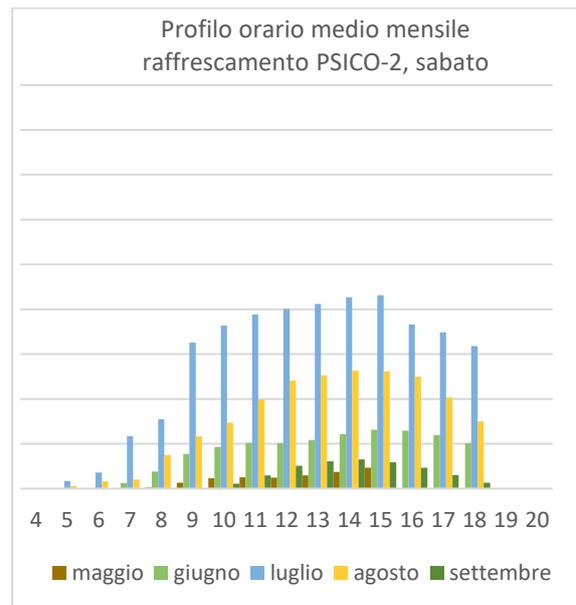


Figura 72. Profilo orario medio mensile raffrescamento PSICO-2, sabato.

Per spiegazioni o riflessioni sul significato dei profili sopra riportati fare riferimento agli edifici precedenti.

4.7. CLA

Trattandosi di un edificio prettamente didattico con molte zone servite da impianti a tutt'aria i fabbisogni stimati risentono notevolmente dell'assenza di carichi interni nei periodi di pausa della didattica. La ventilazione ha un ruolo preponderante tutto l'anno a eccezione dei mesi in cui si ha freecooling a seguito delle caratteristiche dell'involucro. Durante questo periodo la quota di ventilazione è bassa a causa del filtro impiegato nel calcolo del fabbisogno e che trascura l'overcooling. Nelle tabelle seguenti vengono riepilogati i fabbisogni stimati.

Tabella 78. Parametri analizzati nella stima del fabbisogno netto CLA riferito Tesserà

	Trnsys [kWh]	Ventilazione [kWh]	Fabbisogno [kWh]	Macchine autonome [kWh]	Rete [kWh]
Gennaio 2016	-9143	-42593	-51736	n.c.	-51736
Febbraio 2016	-23927	-42306	-66232	n.c.	-66232
Marzo 2015	-3620	-31053	-34673	n.c.	-34673
Aprile 2015	-248	-7302	-7550	n.c.	-7550
Maggio 2015	10687	-8199	2488	n.c.	2488
Giugno 2015	31167	-2354	28814	n.c.	28814
Luglio 2015	7380	17639	25019	n.c.	25019
Agosto 2015	3780	9211	12991	n.c.	12991
Settembre 2015	24507	-9233	15274	n.c.	15274
Ottobre 2015	-22	-8506	-8528	n.c.	-8528
Novembre 2015	-1098	-28327	-29425	n.c.	-29425
Dicembre 2015	-3736	-29584	-33320	n.c.	-33320

Tabella 79. Parametri analizzati nella stima del fabbisogno netto CLA riferito Legnaro

	Trnsys [kWh]	Ventilazione [kWh]	Fabbisogno [kWh]	Macchine autonome [kWh]	Rete [kWh]
Gennaio 2016	-8882	-41376	-50259	n.c.	-50259
Febbraio 2016	-18650	-32975	-51625	n.c.	-51625
Marzo 2015	-2843	-24386	-27229	n.c.	-27229
Aprile 2015	-247	-7282	-7530	n.c.	-7530
Maggio 2015	14142	-6698	7443	n.c.	7443
Giugno 2015	42864	-4353	38511	n.c.	38511
Luglio 2015	10154	44063	54217	n.c.	54217
Agosto 2015	4969	8031	13000	n.c.	13000
Settembre 2015	31811	-9367	22444	n.c.	22444
Ottobre 2015	-20	-7984	-8004	n.c.	-8004
Novembre 2015	-1208	-31161	-32369	n.c.	-32369
Dicembre 2015	-3889	-30793	-34682	n.c.	-34682

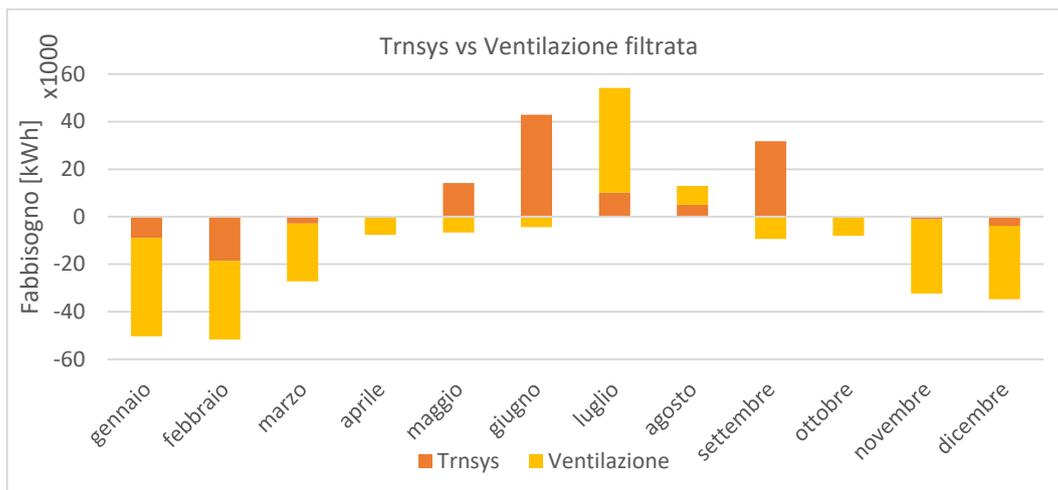


Figura 73. Contributo Trnsys e ventilazione filtrata CLA riferito a Legnaro

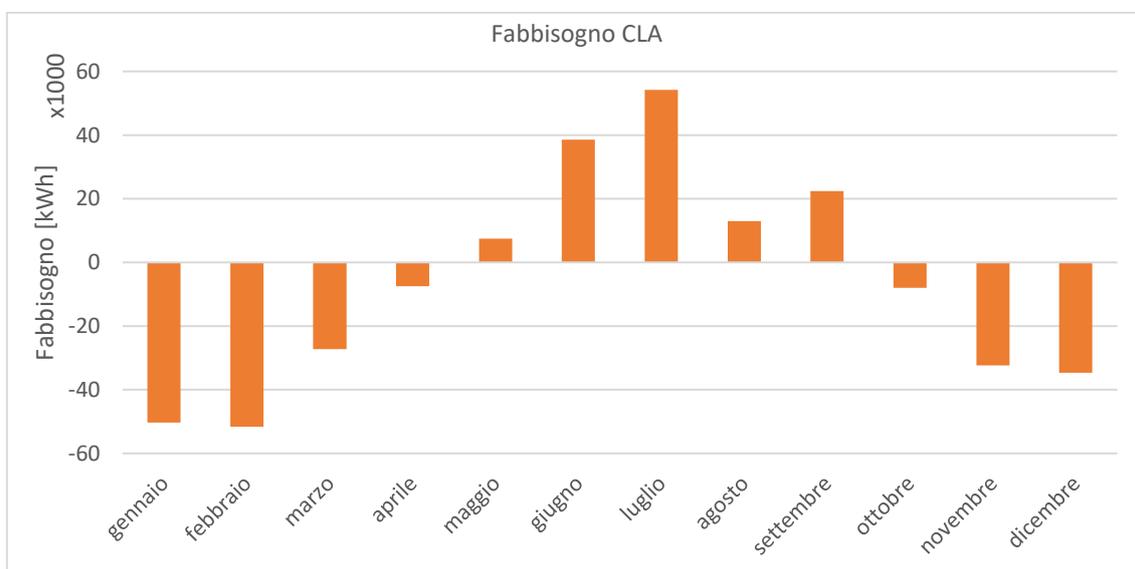


Figura 74. Fabbisogno netto CLA Legnaro

Tabella 80. Potenza richiesta CLA

	Riscaldamento	Raffrescamento
Max. potenza richiesta [kW]	320	341
Potenza nominale scambiatore [kW]	1400	1100

La potenza installata in centrale soddisfa largamente quella richiesta facendo pensare a un eccessivo sovradimensionamento in fase di progettazione.

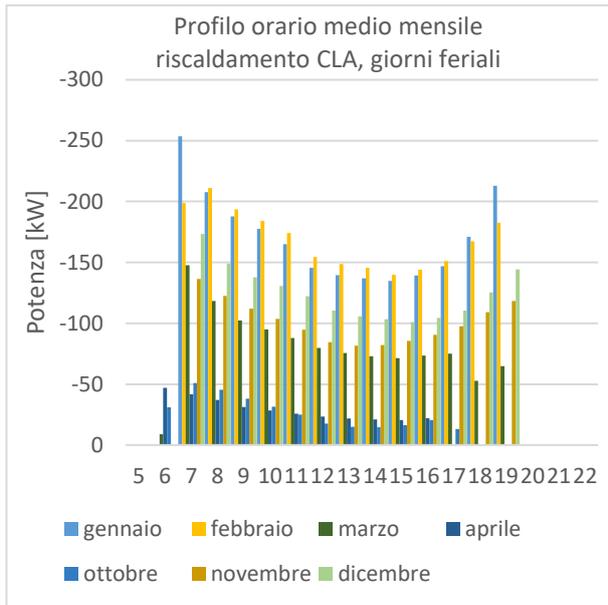


Figura 75. Profilo orario medio mensile riscaldamento CLA, giorni feriali.

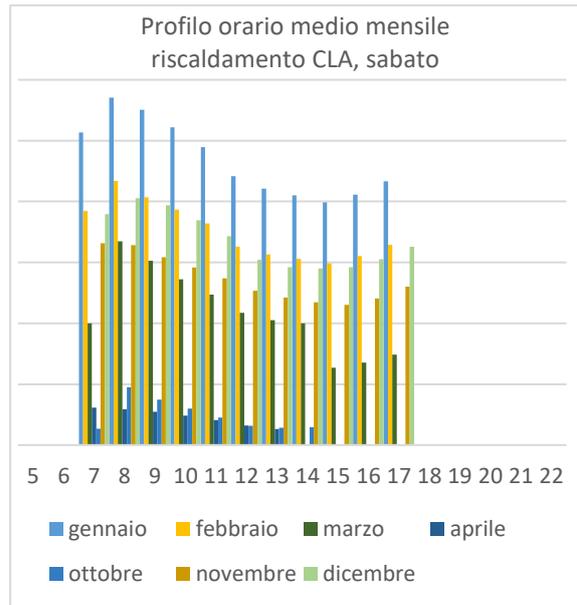


Figura 76. Profilo orario medio mensile riscaldamento CLA, sabato.

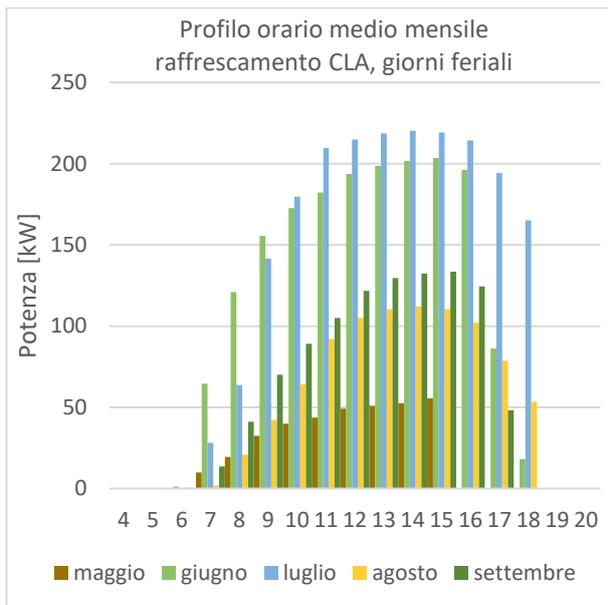


Figura 77. Profilo orario medio mensile raffrescamento CLA, giorni feriali.

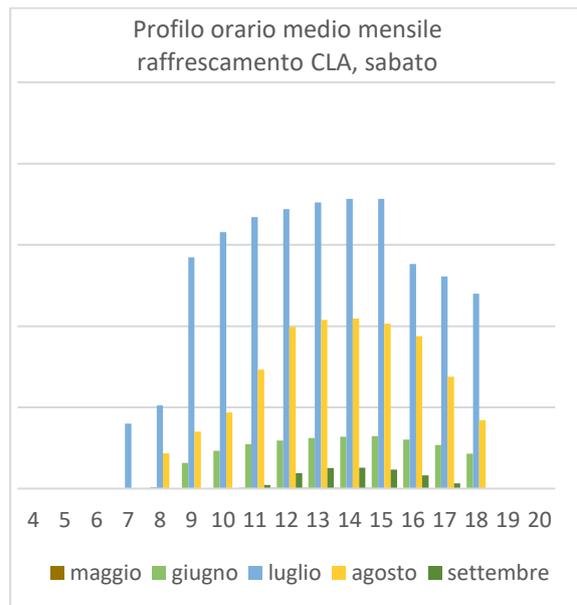


Figura 78. Profilo orario medio mensile raffrescamento CLA, sabato.

4.8. Fabbisogno complessivo Nord-Piovego

Unendo i valori illustrati precedentemente con quelli calcolati da Michael Campaci si ottiene il fabbisogno complessivo del complesso del Nord Piovego per entrambe le stagioni di condizionamento. Il fabbisogno è stato prima ottenuto con riferimento al file climatico Venezia-Tessera e poi riparametrizzato rispetto a Legnaro come è stato fatto per i fabbisogni dei singoli edifici.

I risultati ottenuti sono riportati di seguito in forma tabellare e grafica con riferimento al clima di Legnaro. Per non appesantire l'elaborato i risultati che fanno riferimento al file climatico Venezia-Tessera non vengono riportati.

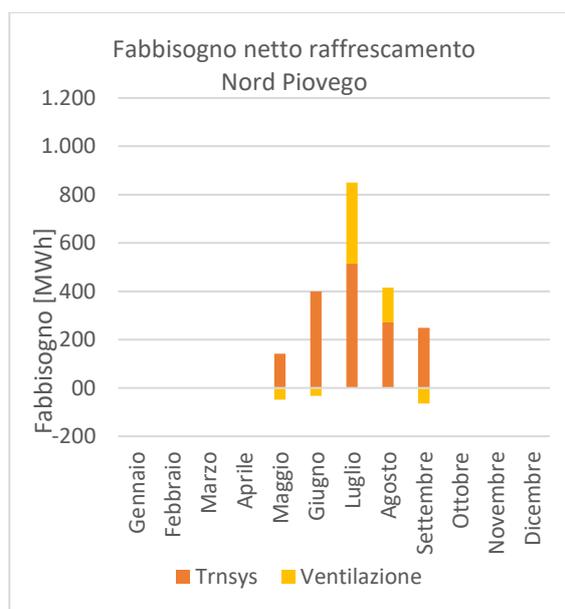
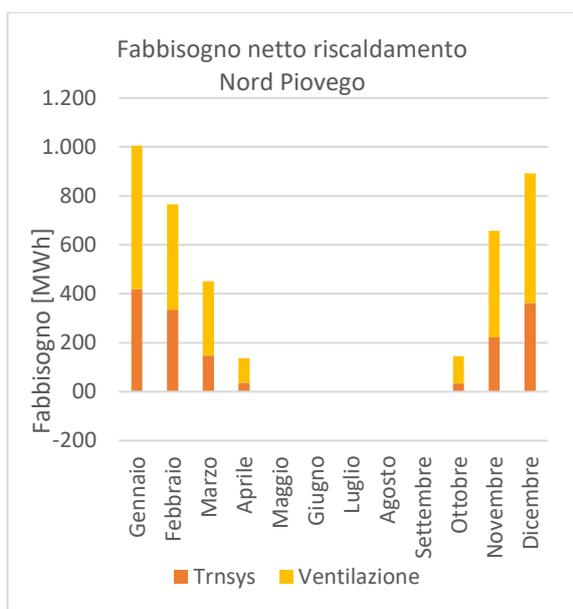


Figura 79. Fabbisogno netto riscaldamento Nord Piovego

Figura 80. Fabbisogno netto raffrescamento Nord Piovego

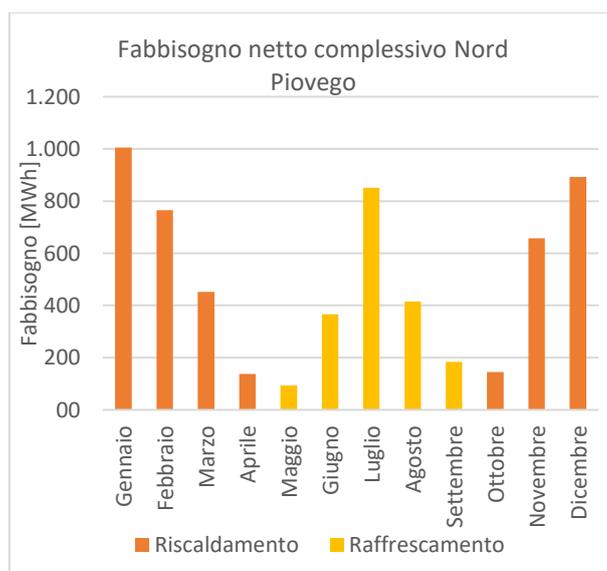


Figura 81. Fabbisogno netto complessivo Nord Piovego

Tabella 81. Fabbisogno netto del complesso Nord Piovego

	LEGNARO		
	Fabb. netto [MWh]	Macchine [MWh]	Rete [MWh]
Gennaio 2016	-1006	-8	-998
Febbraio 2016	-766	-5	-761
Marzo 2015	-452	-5	-447
Aprile 2015	-138	-5	-133
Maggio 2015	93	14	85
Giugno 2015	366	39	332
Luglio 2015	850	83	771
Agosto 2015	415	34	385
Settembre 2015	184	20	169
Ottobre 2015	-145	-4	-141
Novembre 2015	-658	-7	-652
Dicembre 2015	-893	-31	-883

I valori riportati in tabella 81 sono i fabbisogni netti complessivi simulati tramite il software Trnsys, la quota coperta dalle macchine autonome e la parte soddisfatta dalla rete. Questi valori non sono molto significativi se presi da soli ma diventano essenziali come input per il modello della rete e per un primo confronto con i consumi fatturati. I valori riportati possono essere confrontati con i consumi rilevati dalle fatture per avere un'idea del rendimento degli impianti ma non è sufficiente questo passaggio perché non tiene conto dell'efficienza della rete di distribuzione e del rendimento d'impianto di ogni singolo edificio.

Il rendimento della rete viene ottenuto dopo le simulazioni con Simulation Studio mentre il rendimento degli impianti viene assunto pari a 10%. È legato alla tipologia di impianti e al periodo di installazione. I fabbisogni aumentati del rendimento di impianto possono essere usati per determinare il rendimento della rete.

Diventa più utile andare a studiare l'andamento orario medio mensile del fabbisogno netto del complesso per vedere come si comportano mediamente i carichi nell'arco della giornata e se hanno andamento simile a quello atteso e illustrato nei paragrafi relativi ai singoli edifici.

Nelle figure successive vengono riportati questi profili. I fattori che originano questo andamento, come già anticipato, sono i carichi interni gratuiti e la radiazione incidente. I profili sono suddivisi in giorni lavorativi, sabato, domeniche e festivi. Questa scelta è stata fatta per poter caratterizzare al meglio i profili e non averne uno unico medio con attenuazione del valore dei picchi a opera de giorni di chiusura degli stabili.

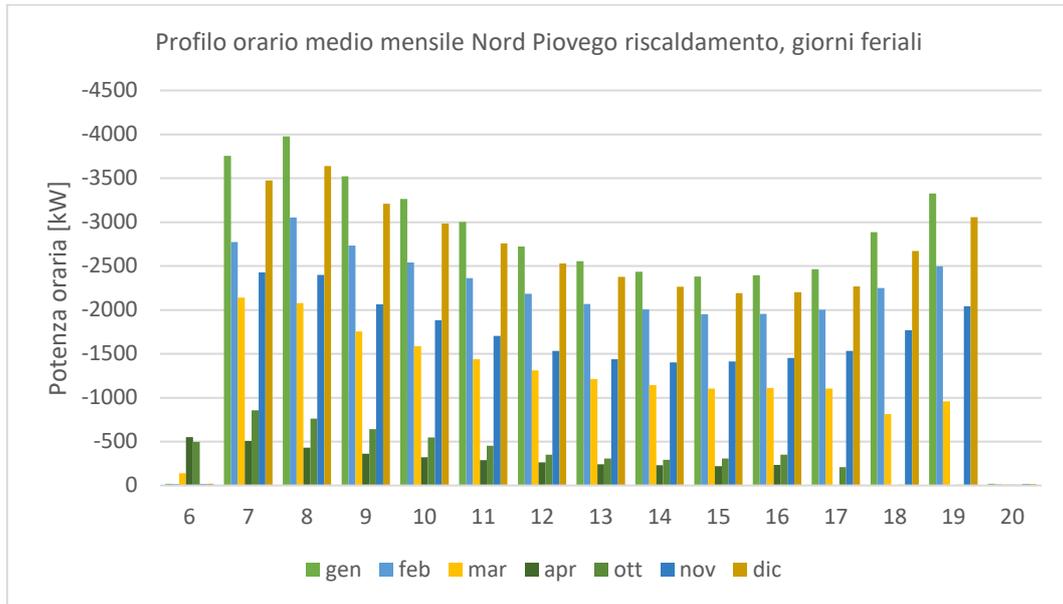


Figura 82. Profilo orario medio mensile riscaldamento Nord Piovego per i giorni feriali escluso il sabato

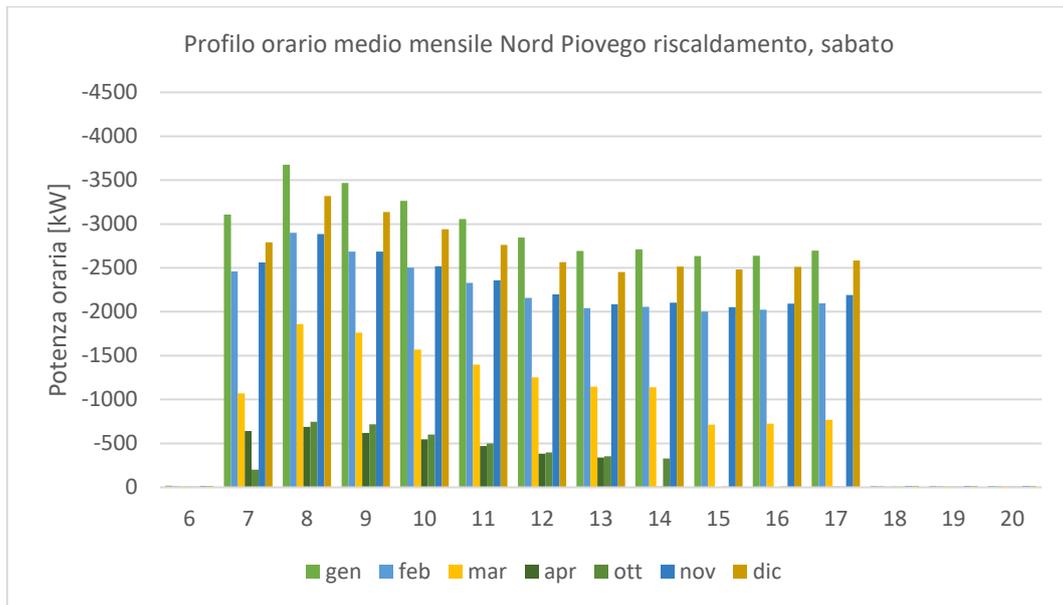


Figura 83. Profilo orario medio mensile riscaldamento Nord Piovego, sabato

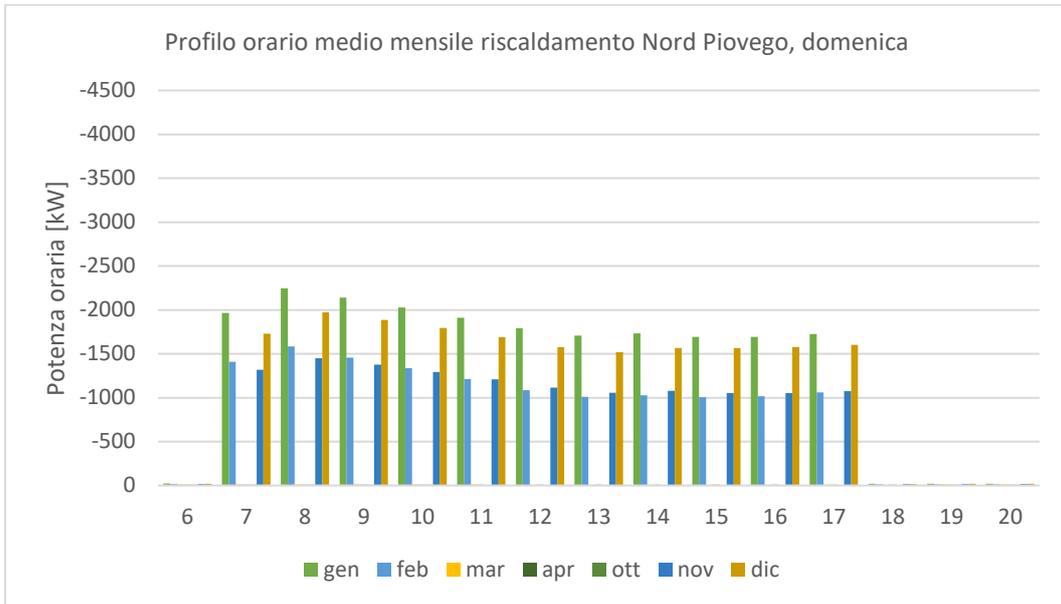


Figura 84. Profilo orario medio mensile riscaldamento Nord Piovego, domenica

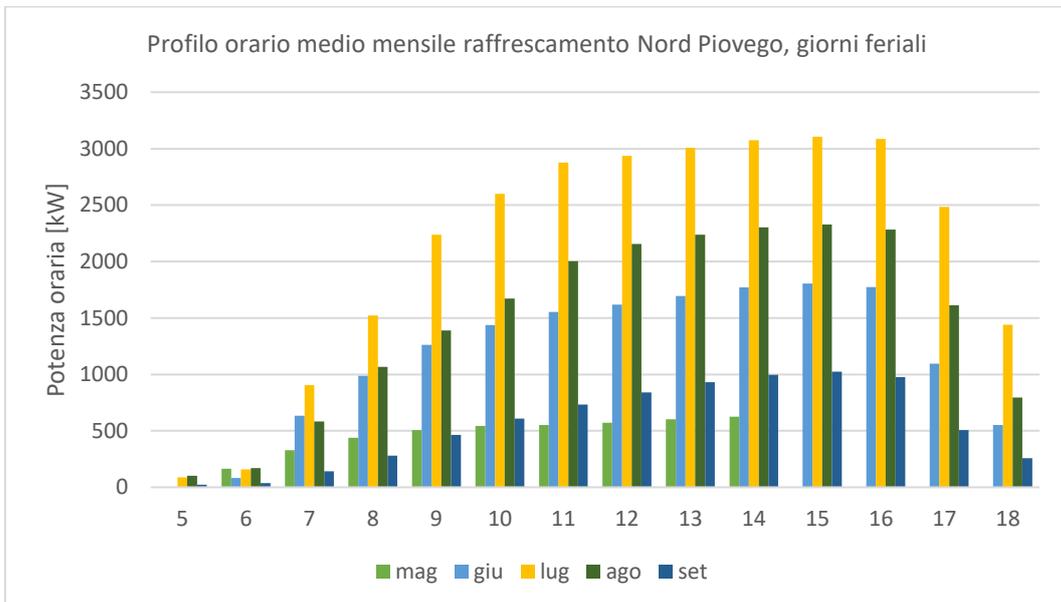


Figura 85. Profilo orario medio mensile raffrescamento Nord Piovego, giorni feriali escluso il sabato

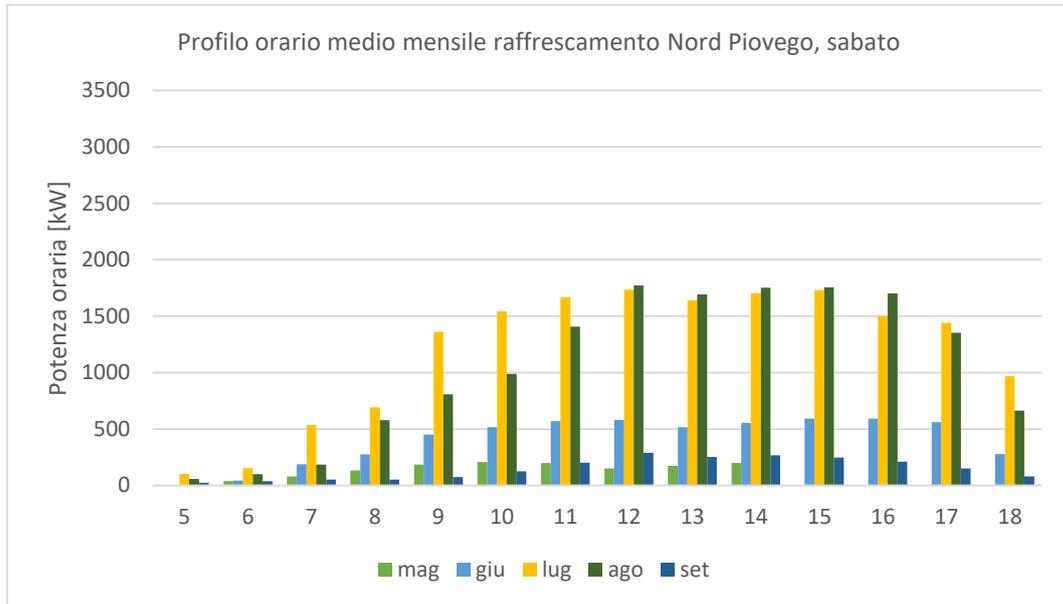


Figura 86. Profilo orario medio mensile raffrescamento Nord Piovego, sabato

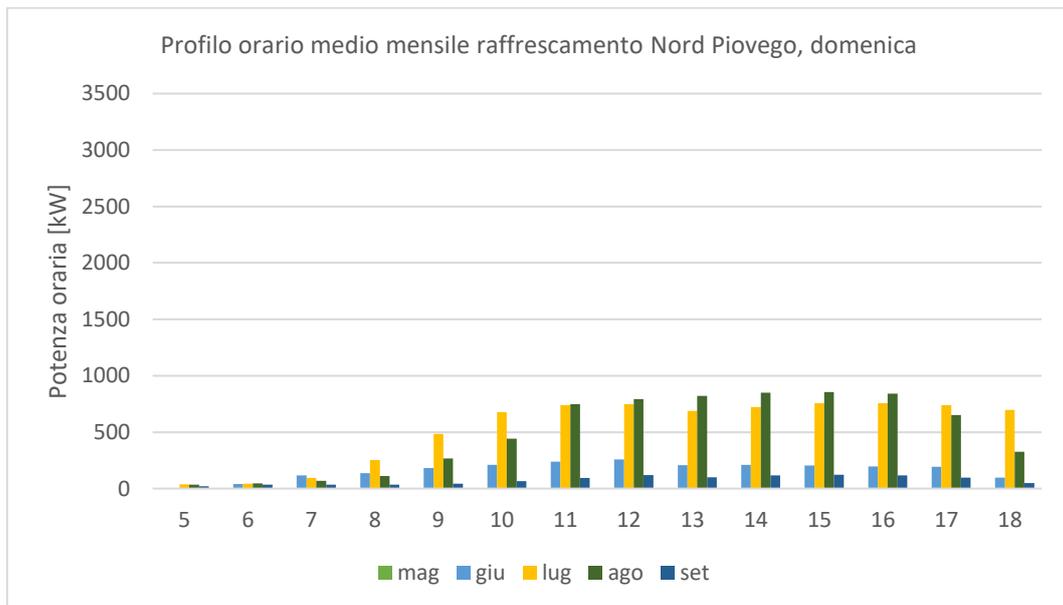


Figura 87. Profilo orario medio mensile raffrescamento Nord Piovego, domenica

La determinazione del fabbisogno è stata realizzata dando particolare importanza alla ventilazione in entrambe le stagioni. Per avere una visione completa di come questa influenzi il fabbisogno è possibile utilizzare i profili orari medi mensili e analizzare il contributo di calore sensibile rispetto quello latente per la stagione estiva mentre per entrambe le stagioni il contributo della ventilazione nella giornata.

STAGIONE ESTIVA

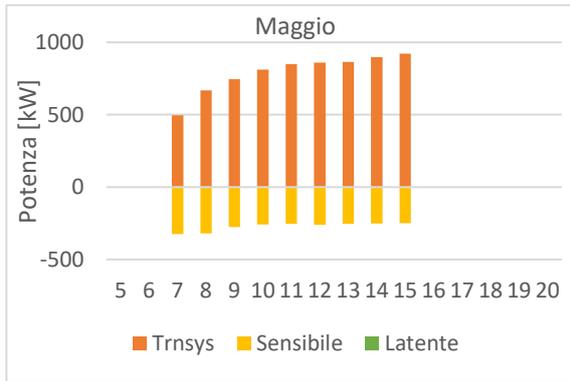


Figura 88. Profilo orario medio mensile maggio

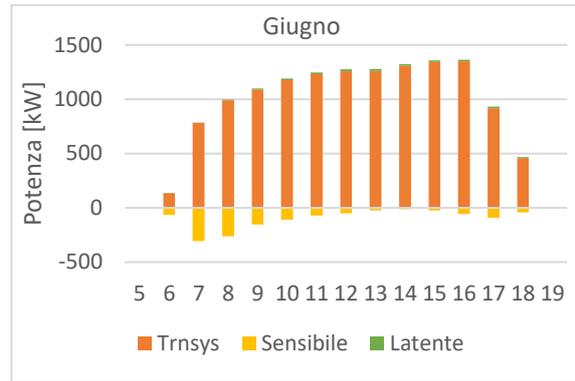


Figura 89. Profilo orario medio mensile giugno

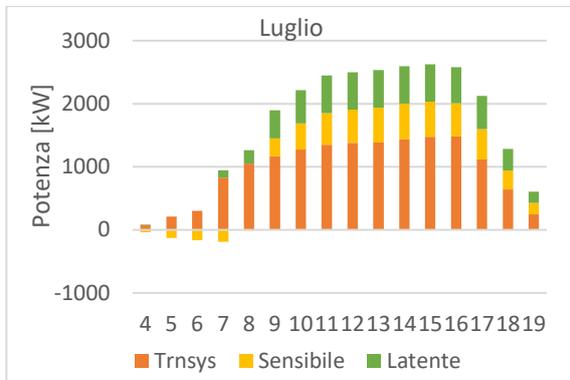


Figura 90. Profilo orario medio mensile luglio

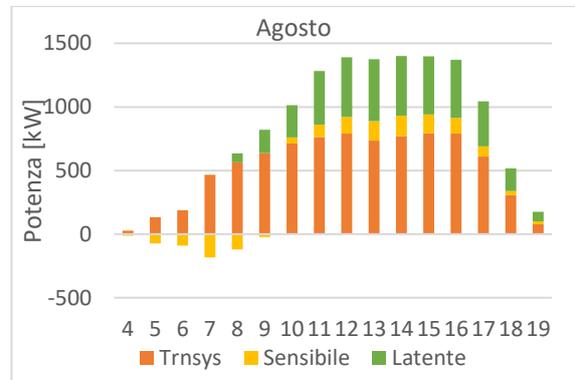


Figura 91. Profilo orario medio mensile agosto

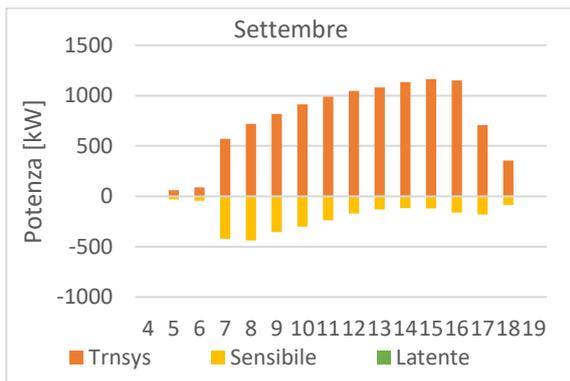


Figura 92. Profilo orario medio mensile settembre

STAGIONE INVERNALE

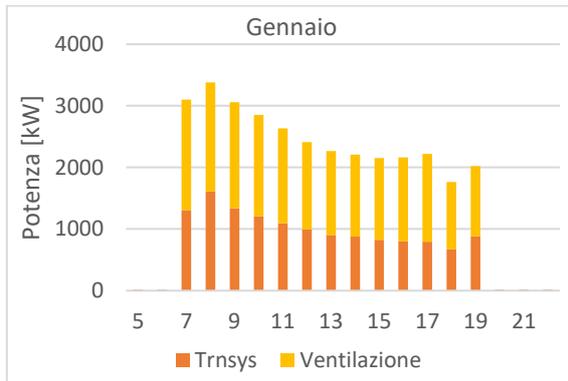


Figura 93. Profilo orario medio mensile gennaio

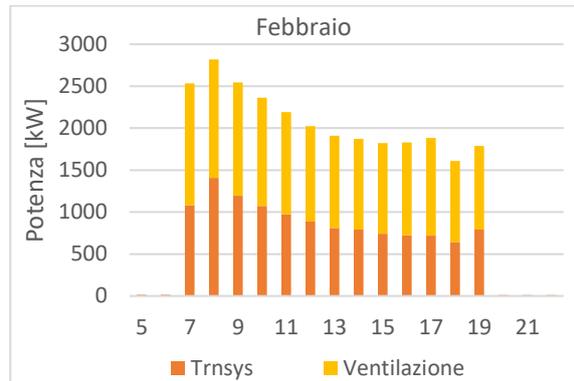


Figura 94. Profilo orario medio mensile febbraio

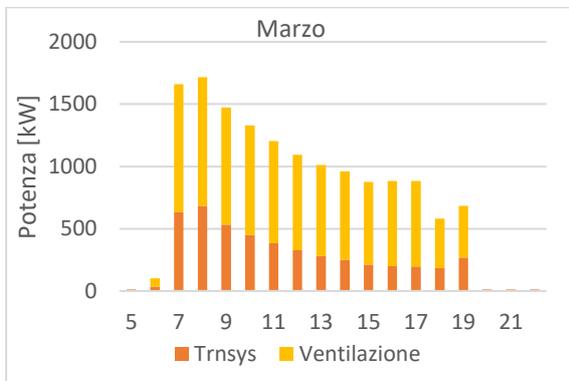


Figura 95. Profilo orario medio mensile marzo

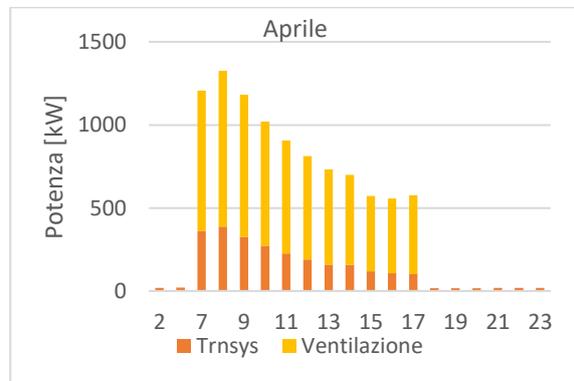


Figura 96. Profilo orario medio mensile aprile

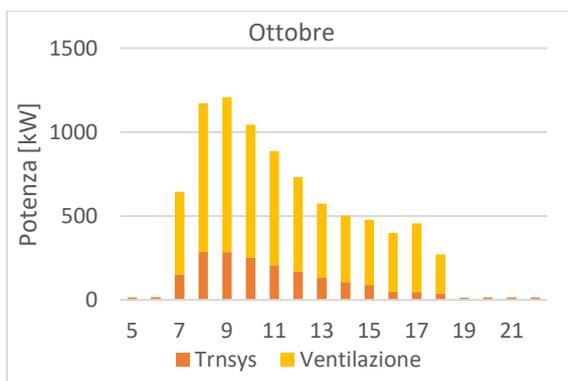


Figura 97. Profilo orario medio mensile ottobre

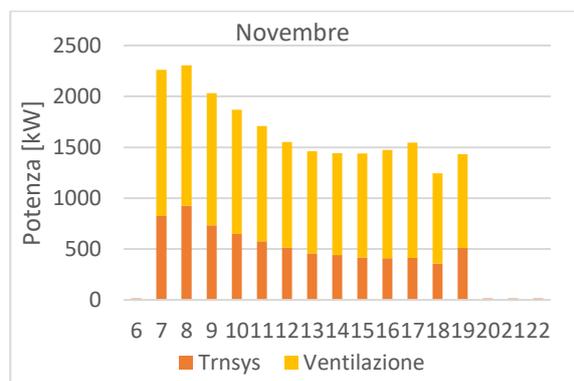


Figura 98. Profilo orario medio mensile novembre

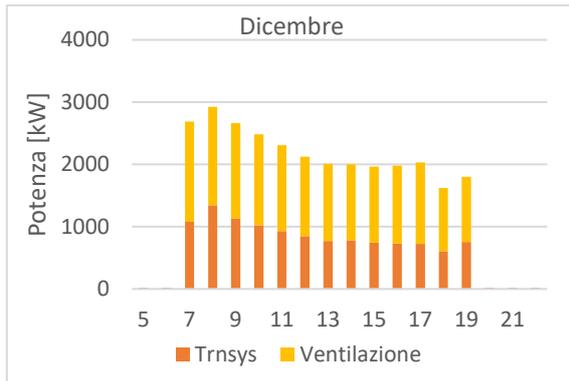


Figura 99. Profilo orario medio mensile dicembre

Dai grafici precedenti si vede come il contributo della ventilazione vari nei mesi, in particolare in quelli estivi. A maggio le basse temperature esterne originano un effetto freecooling, contribuendo a ridurre il fabbisogno complessivo dell'edificio. Nel mese di giugno la temperatura aumenta e l'effetto del freecooling si riduce, anche se rimane preponderante. In luglio e agosto il freecooling si manifesta solamente nelle prime ore della giornata, mentre, la sostenuta umidità ambientale, causa un elevato fabbisogno latente e richiede la presenza di batterie di deumidificazione efficienti nelle UTA. L'elevato calore latente da asportare coincide con un'elevata umidità relativa esterna che comporta anche problemi di funzionamento delle torri evaporative. L'insieme di questi due fattori abbassa l'efficienza del sistema di raffrescamento dell'intero complesso del Nord Piovego. Mediamente si può affermare che il fabbisogno per ventilazione equivale al 50% del contributo di Trnsys.

Nella stagione invernale l'andamento è simile per tutti i mesi. La ventilazione è sempre una voce di incremento del fabbisogno e ha un peso maggiore, rispetto il fabbisogno complessivo, nelle prime ore della giornata, quando le temperature esterne sono più basse. I contributi gratuiti, interni e solari, contribuiscono a ridurre il carico, come spiegato precedentemente. In condizioni invernali non si effettua la deumidificazione dell'aria di rinnovo e anzi sarebbe opportuno umidificarla per mantenere gli ambienti in condizioni ottimali. Le batterie di umidificazione non sono presenti in tutti gli edifici e dove presenti non vengono impiegate per problemi di manutenzione e igiene. Di conseguenza il contributo della ventilazione in questo periodo non è più suddiviso in più voci ma è dato dalla sola quota sensibile.

Noti i fabbisogni mensili può essere interessante valutare il peso che ogni edificio ha sul sistema complessivo. In tabella 82 e 83 sono riportate la percentuale di fabbisogno mensile di ogni edificio rispetto la richiesta complessiva.

Tabella 82. Percentuale mensile e stagionale dei fabbisogni per riscaldamento di ogni edificio sul totale

	DIM-A	DIM-B	DIM-CD	DIM-E	PSICO-1	PSICO-2	CLA	UB	V
Gennaio 2016	6,8%	9,3%	8,2%	2,8%	6,2%	5,5%	4,7%	4,9%	51,5%
Febbraio 2016	6,6%	10,1%	9,3%	2,7%	6,0%	5,9%	6,4%	5,7%	47,1%
Marzo 2015	7,3%	9,7%	8,9%	2,9%	7,0%	6,2%	5,7%	6,9%	45,6%
Aprile 2015	6,0%	7,4%	7,6%	2,2%	8,4%	5,6%	5,5%	7,6%	49,7%
Ottobre 2015	7,0%	8,3%	9,0%	2,3%	7,9%	5,6%	5,2%	7,7%	47,0%
Novembre 2015	7,5%	9,1%	9,0%	2,9%	6,4%	5,4%	4,5%	5,7%	49,5%
Dicembre 2015	5,8%	7,8%	7,0%	2,3%	5,5%	4,4%	3,3%	3,8%	60,0%
	6,7%	9,0%	8,4%	2,7%	6,3%	5,4%	4,8%	5,4%	51,4%

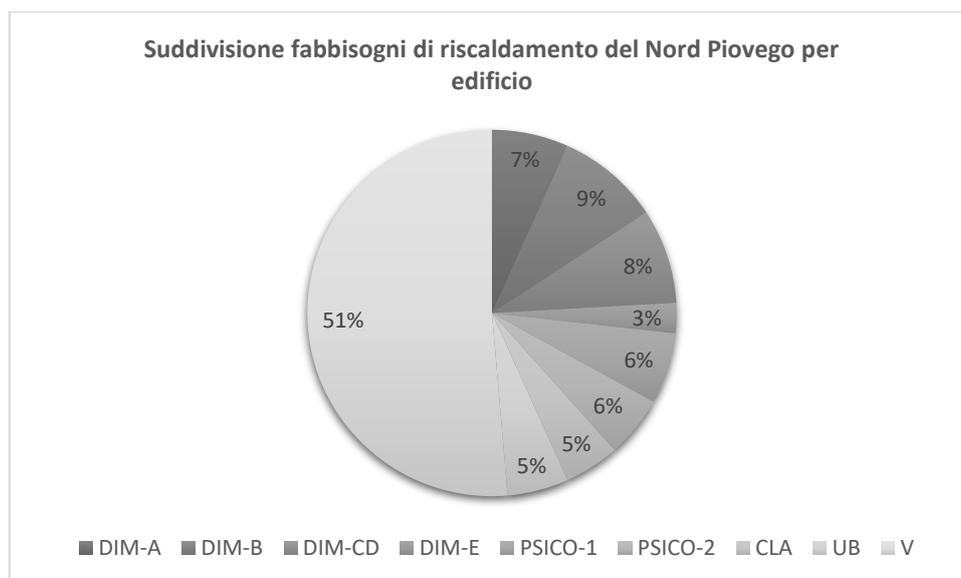


Figura 100. Suddivisione percentuale dei fabbisogni di riscaldamento del Nord Piovego per edificio

Il Vallisneri è responsabile di una quota di fabbisogno superiore alla metà, dovuta in parte al grande volume dell'edificio e in buona parte al basso isolamento delle pareti e superfici vetrate. Guardando nel dettaglio mensile si vede nuovamente come la didattica abbia una forte influenza sulla richiesta di calore. Negli edifici dove l'impiego maggiore degli ambienti riguarda la didattica il fabbisogno percentuale richiesto si riduce nei mesi di piena attività come dicembre e gennaio grazie ai numerosi apporti di contributi gratuiti interni.

Tabella 83 Percentuale mensile e stagionale dei fabbisogni per raffrescamento di ogni edificio sul totale

	DIM-A	DIM-B	DIM-CD	DIM-E	PSICO-1	PSICO-2	CLA	UB	V
Maggio 2015	4,3%	0,4%	7,3%	2,6%	4,6%	15,4%	9,2%	0,9%	55,3%
Giugno 2015	5,9%	2,2%	7,5%	2,8%	6,1%	13,5%	10,5%	4,4%	47,1%
Luglio 2015	6,7%	3,1%	8,3%	2,8%	7,6%	12,1%	4,6%	4,6%	50,2%
Agosto 2015	5,2%	1,9%	5,6%	2,1%	5,3%	9,4%	4,0%	0,0%	66,6%
Settembre 2015	5,6%	1,0%	6,1%	2,2%	5,1%	14,5%	13,4%	3,8%	48,3%
	6,0%	2,3%	7,3%	2,6%	6,4%	12,2%	6,7%	3,3%	53,2%

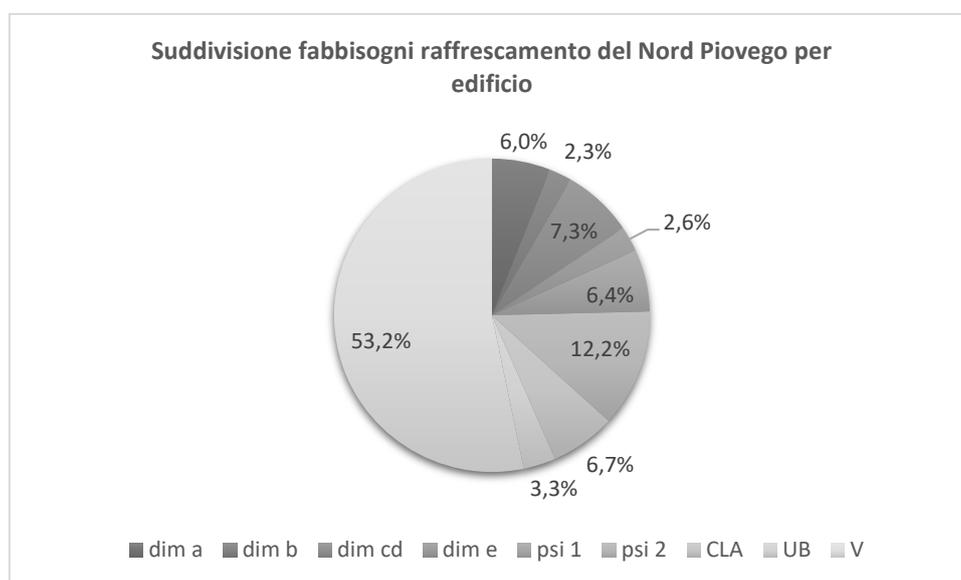


Figura 101. Suddivisione percentuale dei fabbisogni di raffrescamento del Nord Piovego per edificio

Nella stagione estiva la quota richiesta dal Vallisneri cresce ulteriormente assieme a quella di PSICO-2 mentre si riduce molto la quota del DIM-B. Ciò che rimane evidente è come il Vallisneri sia l'edificio più energivoro di tutto il complesso in entrambe le stagioni mentre PSICO-2 e DIM-B hanno un comportamento differente tra estate e inverno.

4.9. Rendimento del sistema di riscaldamento

I fabbisogni invernali complessivi del Nord Piovego vengono utilizzati nel software Simulation Studio per poter simulare la rete e l'intero sistema di generazione e distribuzione del calore. Il contributo dei fabbisogni coperto dalla rete viene maggiorato del 10% per tener conto dei rendimenti d'impianto.

Non tutto il fabbisogno viene coperto dalla rete e si genera un fabbisogno non fornito che andrà a ridurre l'efficienza dell'intero sistema. Tale quota è dovuta allo schedule impiegato per la centrale. La chiusura anticipata rispetto le sottostazioni fa sì che il fabbisogno richiesto sia maggiore di quello che la rete è in grado di fornire. Tale scelta deriva dai monitoraggi effettuati in centrale e da diverse prove. L'ammontare di fabbisogni non soddisfatti non è elevato e coincide solamente con l'ultima ora di utilizzo dei locali, per cui i carichi interni sono ancora presenti e gli edifici presentano una certa inerzia termica che non provoca una riduzione immediata ed elevata della temperatura interna. Nella tabella 84 vengono ricapitolati i risultati ottenuti, si ricorda che fanno riferimento alla quota di fabbisogno coperta dalla sola rete.

Tabella 84. Fabbisogni coperti dalla rete per riscaldamento analizzati su base mensile

	Fabb. netto	Fabb. netto	Fabb. netto+imp	Fabb. netto+imp	Fabb_non soddisfatto	Perdite rete_teler	Fabb_netto+imp+rete	Consumo Gas
	Richiesto	Servito	Richiesto	Servito			Servito	
	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]
Gennaio 2016	998	943	1098	1037	60	139	1176	1419
Febbraio 2016	761	726	837	798	39	131	929	1113
Marzo 2015	447	434	492	478	13	122	600	660
Aprile 2015	133	132	146	145	1	48	193	202
Ottobre 2015	141	141	155	155	0,4	60	215	237
Novemb. 2015	652	624	717	687	30	131	818	952
Dicembre 2015	883	839	971	923	49	138	1061	1301
TOTALE	4014	3839	4415	4222	193	769	4991	5884

Con la dicitura servito si vuole indicare la quota di fabbisogni richiesti dall'edificio che viene resa disponibile dal sistema di riscaldamento. Il fabbisogno servito è sempre inferiore a quello richiesto per via della scelta di tenere in considerazione i fabbisogni non serviti nell'ultima ora di funzionamento.

Le perdite di rete vengono calcolate come somma delle dispersioni verso l'esterno di tutti i tratti di condotta.

L'energia complessiva prodotta dalle caldaie e trasferita al fluido termovettore viene calcolata direttamente dal software di simulazione. Per una ulteriore verifica si è deciso di calcolare in maniera autonoma tale valore e confrontarlo con quello fornito. I risultati ottenuti sono gli stessi, come atteso, e sono riportati nell'ultima colonna dei fabbisogni.

Le differenti voci di fabbisogno riportate in tabella 84 in termini assoluti non sono intuitive da visualizzare e non consentono di avere un'immediata percezione del funzionamento dell'impianto. Permettono però di calcolare il rendimento complessivo dell'impianto e i singoli rendimenti della rete, dell'impianto di generazione e degli impianti dei secondari su base mensile e stagionale. I valori dei rendimenti vengono riportati in tabella 85.

Tabella 85. Rendimento impianti, rete, generazione e sistema di riscaldamento

	Fabb_non soddisfatto <i>($\frac{\text{non soddisfatto}}{\text{fabb.netto} + \text{imp}}$)</i>	Rendimento di impianto <i>($\frac{\text{netto}}{\text{netto} + \text{imp}}$)</i>	Rendimento rete <i>($\frac{\text{perdite rete}}{\text{tot sistema}}$)</i>	Rendimento di generazione <i>($\frac{\text{sistema tot}}{\text{consumo gas}}$)</i>	Rendimento sistema riscald. <i>($\frac{\text{netto}}{\text{consumo gas}}$)</i>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Gennaio 2016	5,8%	90,9%	88,2%	82,9%	66,4%
Febbraio 2016	4,8%	90,9%	85,9%	83,4%	65,2%
Marzo 2015	2,8%	90,9%	79,6%	91,0%	65,9%
Aprile 2015	0,7%	90,9%	75,0%	95,7%	65,3%
Ottobre 2015	0,3%	90,9%	72,1%	90,5%	59,3%
Novembre 2015	4,4%	90,9%	84,0%	85,9%	65,6%
Dicembre 2015	5,3%	90,9%	87,0%	81,5%	64,5%
TOTALE	4,6%	90,9%	84,6%	84,8%	65,2%

Nella tabella sopra sono riassunti i risultati più importanti dell'elaborato per la stagione invernale. Si hanno ora a disposizione dei valori che possono caratterizzare l'intero sistema e permettono di valutarlo in termini di prestazioni e possibili modifiche o integrazioni. Ci si riferisce sempre all'intero sistema di riscaldamento del Nord Piovego in quanto la centrale è unica, è stato analizzato anche ogni tratto di rete separatamente per vedere quale abbia un maggior impatto ma risultano tutti simili e per ciò non vengono riportati i valori calcolati. La rete infatti è costituita dagli stessi materiali e per questo ha comportamento uguale nel modello. Nel caso reale si potrebbero riscontrare incrostazioni o sezioni di rete danneggiate che alterano il corretto funzionamento della stessa ma ciò non è simulabile tramite i software. Le figure 103, 104, 105, 106 e 107 riportano gli stessi risultati permettendo un approccio più veloce.

Capitolo 4. Fabbisogni edifici e reti

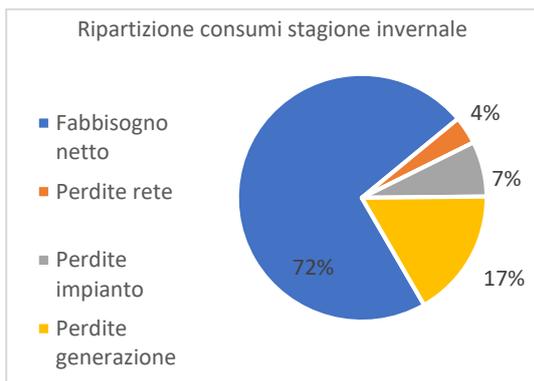


Figura 102. Consumo di gas naturale per la stagione invernale suddiviso per le varie cause

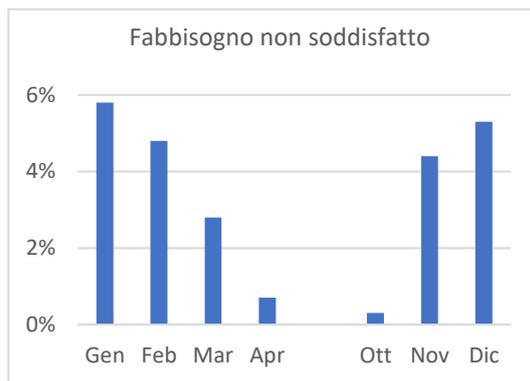


Figura 103. Andamento percentuale dei fabbisogni non soddisfatti nella stagione invernale

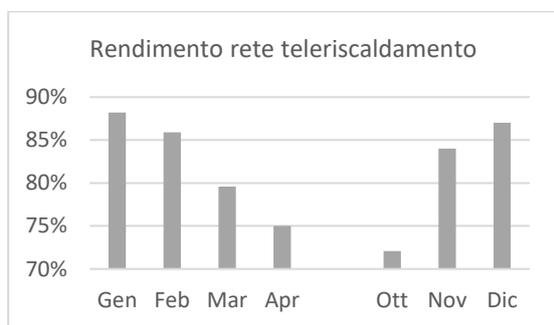


Figura 104. Andamento percentuale del rendimento della rete di teleriscaldamento

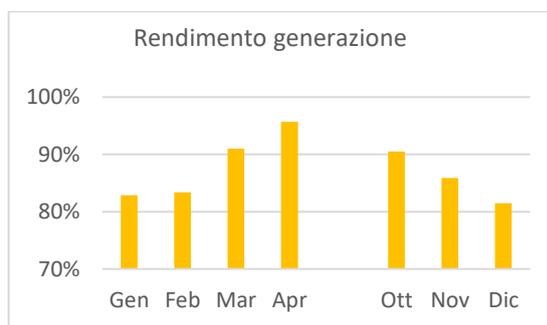


Figura 105. Andamento percentuale del rendimento di generazione nella stagione invernale

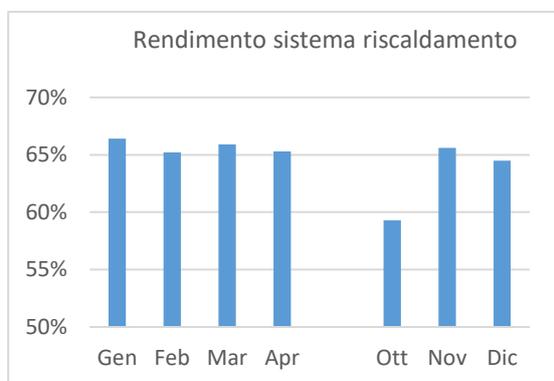


Figura 106. Andamento percentuale del rendimento complessivo del sistema di teleriscaldamento

Assumendo che la rete funzioni in condizioni nominali di cui discusse al quarto capitolo si ottiene un rendimento stagionale di rete dell'84,6%. È un valore un po' al di sotto di quello atteso, mediamente i sistemi di distribuzione hanno un rendimento del 90%. Entrando nel dettaglio mensile del rendimento si individuano i mesi di ottobre e aprile come mesi critici.

Il rendimento ottenuto in questi mesi è molto inferiore a quello medio, indice di un cattivo funzionamento della rete anche se le temperature esterne non sono più drastiche come quelle degli altri

mesi invernali. Si attribuisce questo strano andamento al ridotto periodo di accensione della centrale con riduzione dell'energia prodotta e quindi un aumento delle perdite in percentuale elevato. Disperdere verso l'esterno più del 15% dell'energia prodotta nella stagione non è indice di sostenibilità del sistema di riscaldamento centralizzato e comporta dei costi inutili per l'università.

Il rendimento d'impianto era già stato impiegato per calcolare i fabbisogni da fornire in input al modello della rete e posto pari al 90%. Il valore di 90,9 riportato in tabella fa riferimento al fabbisogno servito e quindi comporta una piccola variazione.

Come già accennato il fabbisogno non soddisfatto è un contributo marginale, inferiore al 5% stagionale e dovuto alla chiusura anticipata della centrale rispetto le sottostazioni. L'aver introdotto questa modifica consente di sfruttare l'inerzia termica della rete e di abbassare le perdite della rete. Sarebbe interessante andare a simulare la temperatura interna raggiunta negli ambienti con lo spegnimento anticipato della centrale, ma non si avranno grandi abbassamenti vista la presenza di carichi interni ancora elevata.

Per il sistema di produzione di acqua surriscaldata presente in centrale è stato stimato un rendimento medio stagionale del 84,8%, in accordo con l'età e lo stato delle caldaie. Sicuramente non è efficiente se paragonato con più recenti sistemi di produzione di calore, in queste condizioni il 15% dell'energia consumata viene perso immediatamente in centrale pari a 893 MWh. I valori mensili più alti sono ottenuti per aprile e ottobre, sempre dovuti alla minor richiesta da parte degli edifici legata a una temperatura esterna più mite. Oltre al fattore temperatura le basse richieste vengono probabilmente sopperite tramite l'utilizzo di un'unica caldaia in funzionamento a pieno regime e quindi con rendimento elevato.

Complessivamente l'intero sistema di riscaldamento, partendo dalla produzione in caldaia fino alla distribuzione all'interno dei singoli edifici tramite i circuiti secondari ha un rendimento medio stagionale del 65,2%. Tale risultato induce a valutare la possibilità di migliorare il sistema o almeno la gestione degli impianti in tutto il complesso. Particolare attenzione occorre prestare allo stabile del Vallisneri e alla centrale: il primo con un fabbisogno netto superiore al 50% del complessivo del Nord Piovego è sicuramente uno degli stabili da analizzare più accuratamente e sul quale è possibile ottenere importanti miglioramenti. La centrale presenta invece generatori molto datati con tutti i problemi di manutenzione e funzionamento che questo può comportare. Un primo passo è stato compiuto dall'università in quanto le caldaie presenti nell'anno di analisi di questa tesi sono state sostituite ed entreranno in funzionamento per la stagione invernale 2017-2018.

I risultati ottenuti sono in linea con quelli attesi, a indicare che il percorso seguito nella costruzione dei modelli e nei calcoli effettuati è stato corretto. Per questo motivo sfruttando il lavoro fatto in questo elaborato e raccogliendo nuovi dati relativi al funzionamento delle caldaie appena installate sarà possibile in futuro individuare il nuovo rendimento di generazione e avere un'ulteriore conferma sulla validità dei risultati qui ottenuti.

4.10. Rendimento del sistema di raffrescamento

Come per la stagione di riscaldamento la quota di fabbisogni coperta dalla rete è aumentata del 10% per tener conto dei rendimenti degli impianti dei singoli edifici e utilizzati come input per il modello della rete. I risultati ottenuti dalla simulazione e da una successiva elaborazione dei dati sono riportati in tabella 86

Tabella 86. Fabbisogni coperti dalla rete per il raffrescamento su base mensile

	Fabb_netto	Fabb_netto	Fabb_non	Fabb_netto	Perdite_rete	Fabb_netto
	Servito	Richiesto	soddisfatto	+imp.		+imp+rete
	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]
Maggio 2015	85,3	85,3	0,0	93,8	12,1	105,9
Giugno 2015	331,5	331,7	0,1	364,7	24,1	388,8
Luglio 2015	770,7	771,0	0,3	847,8	32,3	880,1
Agosto 2015	384,9	385,1	0,2	423,4	30,3	453,7
Settembre 2015	169,2	169,2	0,1	186,1	20,2	206,3
TOTALE	1741,6	1742,3	0,7	1915,8	119,1	2034,9

La terminologia impiegata è la stessa del paragrafo relativo al riscaldamento. Non sono riportati i consumi relativi di energia elettrica perché presi in considerazione successivamente per il calcolo degli EER delle macchine. Il fabbisogno non soddisfatto nella stagione estiva è molto basso e trascurabile ai fini delle analisi. Tale quota è dovuta all'andamento dei profili simulati che non viene seguito perfettamente dagli scambiatori delle sottostazioni.

In termini assoluti l'energia dispersa verso l'ambiente è bassa rispetto la stagione invernale. Questa nota positiva è conseguenza della differenza di temperatura tra la rete e l'esterno che per la stagione estiva è molto ridotta, con un massimo di 35°C.

In tabella 87 sono riportati i valori percentuali delle voci calcolate.

Tabella 87. Rendimenti di impianto, rete e fabbisogno non soddisfatto nella stagione estiva

	Fabb. Non soddisfatto	Rendimento di impianto	Rendimento rete teleraff.
		$\left(\frac{\text{netto}}{\text{netto+imp}}\right)$	$\left(\frac{\text{perdite rete}}{\text{tot sistema}}\right)$
	[%]	[%]	[%]
Maggio 2015	0,0%	90,9%	88,6%
Giugno 2015	0,0%	90,9%	93,8%
Luglio 2015	0,0%	90,9%	96,3%
Agosto 2015	0,1%	91,0%	93,3%
Settembre 2015	0,0%	90,9%	90,2%
TOTALE	0,0%	90,9%	94,1%

Le figure 108 e 109 permettono una visualizzazione immediata dei contributi sopra calcolati e di valutare l'andamento complessivo della rete.

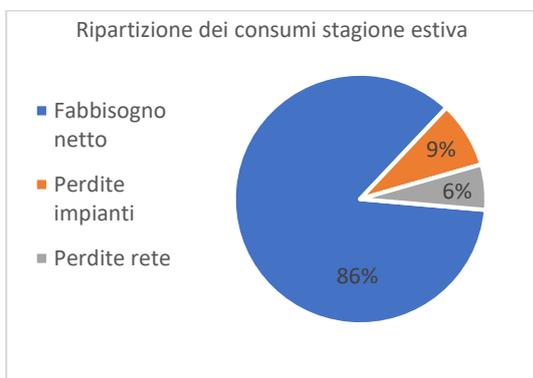


Figura 107. Ripartizione dei consumi elettrici per la stagione estiva

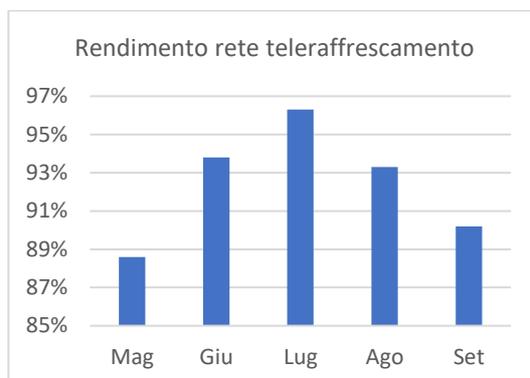


Figura 108. Andamento percentuale del rendimento della rete di teleraffrescamento

La percentuale media stagionale di fabbisogno non soddisfatto è inferiore allo 0,1%, a conferma di quanto detto sopra.

Il rendimento della rete per la stagione estiva è del 94,1%. Un valore molto elevato dovuto come anticipato alla bassa differenza di temperatura tra la rete e l'esterno. I valori sono abbastanza omogenei in tutti i mesi a eccezione di maggio in cui si scosta molto dalla media. Si tratta di un mese di avviamento della rete nella quale la richiesta da parte degli edifici è ancora bassa e le perdite che si generano hanno quindi una maggiore incidenza in termini percentuali.

Per poter determinare il rendimento di generazione è necessario ricordarsi che le macchine frigorifere vengono classificate tramite l'utilizzo dell'EER (Energy Efficiency Ratio), tale valore può essere ottenuto su base mensile o stagionale seguendo le normative. L'obiettivo del lavoro svolto non è quello di determinare in maniera esatta l'EER delle macchine ma di individuare un valore che le caratterizzi e permetta di fare delle valutazioni sul loro funzionamento. Viene calcolato come rapporto tra l'energia fornita in uscita dal sistema di raffrescamento e l'energia elettrica assorbita.

Per non trascurare importanti fattori o fornire dei valori medi che risultano essere poco rappresentativi del vero funzionamento delle macchine si determinano gli EER secondo due differenti scenari: il primo considera tutti gli ausiliari come parte integrale delle macchine frigorifere andando quindi a utilizzare l'assorbimento elettrico complessivo mentre il secondo valuta i consumi delle sole macchine presenti in centrale.

Il primo parametro è quello che viene considerato come rappresentativo del sistema di generazione e considerato più corretto proprio perché non si vuole caratterizzare la macchina in sé ma il sistema di raffrescamento.

Un'ulteriore differenziazione adottata riguarda il limite di potenza della centrale. Gli EER sono stati calcolati con due limitazioni della potenza in centrale: la prima a un valore di 3600 kW che corrisponde

alla potenza nominale delle macchine, la seconda a 2844 kW che è la potenza nominale che si ottiene con le portate registrate durante i monitoraggi effettuati per questo elaborato. Per maggiori informazioni fare riferimento al capitolo 2.

I valori di EER quindi ottenuti sono quattro e ovviamente diversi tra di loro, consentono di fare analisi sul funzionamento della centrale e il sistema di raffrescamento.

Sono stati definiti su base oraria media mensile per le 24 ore della giornata e rielaborati per poterne presentare anche il valore medio mensile, l'ora utilizzata è sempre quella solare.

Ulteriore approfondimento viene fatto variando la fascia oraria dei consumi e fabbisogni analizzati. Difatti le ore notturne di funzionamento e le prime ore di avviamento della rete sono molto penalizzate e andrebbero ad abbassare il rendimento delle macchine. Per avere un'idea di quanto ciò influenzi il funzionamento dell'intero sistema si determinano gli EER considerando i consumi nelle sole ore di pieno carico (dalle 8 alle 18) e in un'altra versione considerando i consumi di tutte le ore della giornata. I risultati ottenuti sono riportati di seguito, suddivisi in base alla limitazione sulla potenza.

Potenza limitata alla nominale installata in centrale - con ausiliari

Tabella 88, EER con ausiliari mensili calcolati considerando i consumi notturni e di avviamento

	Consumi [MWh]	Fabbisogni [MWh]	EER [/]
Mag-15	42	115	2,7
Giu-15	190	420	2,2
Lug-15	400	947	2,4
Ago-15	236	476	2,0
Set-15	137	223	1,6
Stagione	1004	2180	2,2

Tabella 89, EER con ausiliari mensili calcolati considerando solo i consumi diurni

	Consumi [MWh]	Fabbisogni [MWh]	EER [/]
Mag-15	36	101	2,8
Giu-15	162	384	2,4
Lug-15	273	803	2,9
Ago-15	197	410	2,1
Set-15	110	202	1,8
Stagione	778	190	2,5

Tabella 90. EER con ausiliari orari medi mensili senza notte e avviamento

	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Mag-15		2,1	2,5	2,7	2,9	3,1	3,5	2,7	3,1			
Giu-15	1	1,6	2,1	2,3	2,6	2,6	2,4	2,4	2,6	2,9	2,2	3,0
Lug-15	1	1,8	2,5	2,7	2,9	3,0	2,8	3,1	3,4	3,5	3,1	3,7
Ago-15	0,6	1,1	1,6	1,9	2,3	2,4	2,3	2,5	2,5	2,5	2,0	1,9
Set-15	0,4	0,9	1,3	1,6	1,9	2,0	2,0	2,3	2,5	2,4	1,4	1,4

Nelle condizioni di calcolo specificate sopra si ottiene un valore di EER stagionale di 2,2 con consumi notturni e di 2,5 senza tale contributo. È un valore molto basso se paragonato con le nuove tecnologie disponibili attualmente sul mercato ma anche per le macchine installate in centrale. Le motivazioni possono essere molteplici a partire da mancanza di fluido refrigerante nel circuito primario del compressore, una scarsa manutenzione e un sistema di smaltimento del calore al condensatore non efficiente per il clima padovano. Anche il circuito dell'acqua refrigerata in centrale non è ottimale, la

necessità di avere la quarta pompa in funzionamento tutta la stagione per avere bilanciamento della rete anche se il corrispondente gruppo è spento comporta un incremento dei consumi.

Le tabelle 88 e 89 presentano valori mensili molti vicini tra di loro, lo scostamento maggiore si verifica a luglio. È dovuto al funzionamento del quarto gruppo per l'intera giornata per sopperire alle richieste notturne del Vallisneri.

Oltre al valore medio mensile dell'efficienza del sistema è interessante andare a valutare i valori orari medi mensili come in tabella 90. L'orario più critico è sempre all'avviamento a seguito dell'elevata richiesta per portare la rete in temperatura e l'avviamento in più step dei gruppi. L'accensione dei primi tre gruppi nella prima ora di funzionamento della giornata a prescindere dalla richiesta di raffrescamento influisce notevolmente, non riescono a parzializzare in maniera ottimale e sono costretti a funzionare in condizioni poco efficienti. Durante la giornata, con l'aumento del carico termico da smaltire si riscontra un trend crescente con un massimo di efficienza nel pomeriggio del mese di luglio. A conferma che i gruppi a pieno regime hanno un buon andamento, riuscendo a parzializzare se necessario.

Da questi risultati emerge che il problema maggiore è la gestione della centrale nelle ore di avviamento e in quelle notturne. Nelle tabelle 91,92 e 93 sono riportati i valori degli EER calcolati trascurando gli ausiliari del sistema e considerando solo i gruppi in centrale. Un paragone tra i due parametri calcolati può fornire informazioni importanti sull'incidenza degli ausiliari sul sistema di raffrescamento e andare a confermare le ipotesi appena effettuate della cattiva gestione della centrale.

Potenza limitata alla nominale installata in centrale – senza ausiliari

Tabella 91, EER senza ausiliari mensili calcolati considerando i consumi notturni e di avviamento

	Consumi [MWh]	Fabbisogni [MWh]	EER [/]
Mag-15	33	115	3,5
Giu-15	131	420	3,2
Lug-15	330	947	2,9
Ago-15	181	476	2,6
Set-15	91	223	2,5
Stagione	766	2180	2,8

Tabella 92, EER senza ausiliari mensili calcolati considerando solo i consumi diurni

	Consumi [MWh]	Fabbisogni [MWh]	EER [/]
Mag-15	28	101	3,6
Giu-15	113	384	3,4
Lug-15	223	803	3,6
Ago-15	152	410	2,7
Set-15	72	202	2,8
Stagione	588	1901	3,2

Tabella 93. EER senza ausiliari orari medi mensili

	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Mag-15		2,8	3,2	3,4	3,6	4,0	4,6	3,3	3,8			
Giu-15	1,5	2,4	3,1	3,3	3,7	3,6	3,3	3,2	3,5	4,0	3,4	5,7
Lug-15	1,3	2,3	3,2	3,3	3,6	3,6	3,4	3,9	4,2	4,4	4,0	3,9
Ago-15	0,8	1,5	2,1	2,4	3,0	3,1	2,8	3,1	3,1	3,1	2,6	2,4
Set-15	0,6	1,5	2,2	2,5	3,1	2,9	2,9	3,4	3,7	3,7	2,2	2,1

I valori ottenuti sono più alti perché a parità di fabbisogno soddisfatto il consumo elettrico è inferiore. L'andamento è lo stesso dei parametri sopra presentati e viene fornito sia in termini di media mensile che come profilo orario medio mensile.

I valori medi mensili che si ottengono in questo caso sono più vicini a quelli attesi per macchine equivalenti a quelle installate. Come più sopra specificato in questo elaborato si considerano più rappresentativi del sistema il primo EER esposto. Il secondo valore, più vicino all'EER atteso per la macchina e ottenuto con metodi di calcolo più tipici può essere preso come riferimento per la bontà dei calcoli eseguiti e indica che le analisi svolte sui carichi elettrici e la determinazione dei fabbisogni sono corretti.

Gli ausiliari hanno un'incidenza del 20% sulle prestazioni del sistema di raffrescamento. Considerando l'elevato numero di tali accessori presenti in tutto il complesso l'impatto non è eccessivo. Il problema maggiore rimane la centrale frigorifera con la cattiva gestione dei gruppi e l'efficienza degli stessi.

In ogni caso esiste un buon margine di miglioramento anche sulle prestazioni degli ausiliari, in particolare nei ventilatori delle UTA ai quali corrisponde il maggior consumo di energia elettrica.

Ora vengono presentati i risultati ottenuti considerando come potenza massima erogabile dalla centrale quella calcolata a seguito dei monitoraggi di portata effettuati.

Limitata alla potenza registrata durante i monitoraggi – con ausiliari

Tabella 94, EER con ausiliari mensili calcolati considerando i consumi notturni e di avviamento

	Consumi [MWh]	Fabbisogni [MWh]	EER [/]
Mag-15	42	102	2,5
Giu-15	190	382	2,0
Lug-15	400	807	2,0
Ago-15	236	430	1,8
Set-15	137	199	1,5
Annuale	1004	1920	1,9

Tabella 95, EER con ausiliari mensili calcolati considerando solo i consumi diurni

	Consumi [MWh]	Fabbisogni [MWh]	EER [/]
Mag-15	36	99	2,7
Giu-15	162	364	2,2
Lug-15	273	693	2,5
Ago-15	197	386	2,0
Set-15	110	194	1,8
Annuale	778	1736	2,2

Tabella 96. EER con ausiliari orari medi mensili

	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Mag-15		2,0	2,4	2,6	2,8	3,0	3,4	2,6	3,0			
Giu-15	1,0	1,6	2,0	2,2	2,4	2,4	2,3	2,2	2,4	2,6	2,0	2,8
Lug-15	1,0	1,6	2,3	2,4	2,5	2,6	2,4	2,6	2,9	3,0	2,7	3,2
Ago-15	0,6	1,0	1,5	1,7	2,2	2,3	2,1	2,3	2,3	2,2	1,9	1,8
Set-15	0,4	0,8	1,3	1,5	1,9	1,9	1,9	2,2	2,4	2,3	1,3	1,2

Aver limitato la potenza a un valore inferiore comporta una riduzione dei fabbisogni soddisfatti a parità di consumi. Gli EER calano del 10% rispetto quelli ottenuti precedentemente. L'andamento resta lo stesso e i commenti fatti per il caso precedente valgono anche per questo. Questa riduzione indica che i gruppi frigoriferi hanno la possibilità di funzionare molto meglio perciò cambiato i settaggi in centrale e andando ad aumentare la portata elaborata dalle pompe.

Nelle tabelle 97, 98 e 99 sono riepilogati i risultati corrispondenti alla limitazione di potenza sulla base dei monitoraggi calcolate senza il contributo degli ausiliari.

Limitata alla potenza registrata durante i monitoraggi – senza ausiliari

Tabella 97, EER senza ausiliari mensili calcolati considerando i consumi notturni e di avviamento

	Consumi [MWh]	Fabbisogni [MWh]	EER [/]
Mag-15	33	102	3,1
Giu-15	131	382	2,9
Lug-15	330	807	2,4
Ago-15	181	430	2,4
Set-15	91	199	2,2
Annuale	766	1920	2,5

Tabella 98, EER senza ausiliari mensili calcolati considerando solo i consumi diurni

	Consumi [MWh]	Fabbisogni [MWh]	EER [/]
Mag-15	28	99	3,5
Giu-15	113	364	3,2
Lug-15	223	693	3,1
Ago-15	152	386	2,5
Set-15	72	194	2,7
Annuale	588	1736	3,0

Tabella 99. EER senza ausiliari medi mensili

	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Mag-15		2,7	3,1	3,3	3,5	3,9	4,5	3,2	3,7			
Giu-15	1,4	2,3	2,9	3,1	3,5	3,5	3,1	3,1	3,3	3,8	3,1	5,2
Lug-15	1,2	2,1	2,8	2,9	3,1	3,1	2,9	3,2	3,6	3,8	3,4	3,4
Ago-15	0,8	1,4	2,0	2,3	2,8	2,9	2,7	2,9	3,0	2,9	2,4	2,2
Set-15	0,6	1,4	2,2	2,4	3,0	2,8	2,7	3,3	3,6	3,5	2,0	1,8

Come per il caso con gli ausiliari per i commenti fare riferimento al primo gruppo di risultati inerenti alla potenza limitata con il valore nominale installato.

Definendo più rappresentativo per il sistema l'EER calcolato tenendo in considerazione il contributo degli ausiliari e con la potenza limitata al valore dei monitoraggi si individuano dei possibili punti di intervento per migliorarne le prestazioni.

Essendo le perdite della rete basse rimane da valutare la possibilità di intervenire in centrale sostituendo i gruppi frigoriferi oppure modificando il circuito di mandata dell'acqua refrigerata ma anche considerare una gestione migliore delle macchine.

I bassi valori ottenuti nella fase di avviamento sono legati anche al funzionamento delle torri evaporative. Nelle prime ore della giornata l'umidità relativa esterna è elevata e l'efficienza delle torri è di conseguenza ridotta, andando a individuare un'ulteriore possibilità di miglioramento delle prestazioni del sistema. L'utilizzo di un apparato di supporto alle torri nella fase di avviamento potrebbe incrementare le prestazioni delle macchine frigorifere e consentire alla rete di portarsi alla temperatura di set point più velocemente.

L'incidenza degli ausiliari sull'efficienza del sistema non è eccessiva ma la mancanza di schede tecniche e dati di targa rendono la valutazione delle loro prestazioni molto difficile e poco accurata. Per svolgere un lavoro più preciso è necessario effettuare dei monitoraggi degli assorbimenti elettrici per ciascun dispositivo, operazione sicuramente non facile e che richiederebbe tempi molto lunghi.

Prima di intervenire e sostituire i gruppi frigoriferi presenti in centrale o le condotte principali sarebbe opportuno concentrarsi sul sistema di accensione centralizzato delle macchine. Si tratta di un computer che permette di regolare accensione e spegnimento dei gruppi, nonché modificare i set point dei gruppi e delle pompe. Tale strumento è però inutilizzabile a seguito dell'interfaccia antica e la scarsa manutenzione effettuata in passato. Le impostazioni tuttora utilizzate sono le stesse impostate all'installazione dei gruppi e possono non essere più ottimali per le stagioni attuali. Sostituire questo dispositivo con uno che permette il controllo da remoto potrebbe aumentare l'efficienza dell'intero sistema. In questo modo anche non avendo un conduttore di centrale per la stagione estiva i tecnici dell'università possono monitorare l'andamento complessivo ed eventualmente intervenire da remoto o in loco. L'unico riscontro che ottengono i tecnici attualmente sono le telefonate dei dipendenti presenti nel complesso quando la temperatura interna dei locali è troppo alta.

Infine si può affermare che il valore che le macchine realizzano praticamente sarà intermedio tra quelli calcolati in questo elaborato e risente dell'influenza del clima esterno che viene riscontrato ogni anno.

5. CONCLUSIONI

Il complesso pluridipartimentale Nord Piovego è da oltre un anno oggetto di un'attività di ricerca mirata a identificarne i fabbisogni di energia, i consumi energetici e proposte di efficientamento energetico. Lo scopo di questa tesi era verificarne il fabbisogno di energia termica e frigorifera, le potenze richieste, le temperature e le portate di esercizio delle reti di teleriscaldamento e di teleraffrescamento ed implementare un modello dinamico della rete di distribuzione, con particolare attenzione alla stagione estiva, fino ad ora mai analizzata.

La determinazione della richiesta energetica degli edifici per entrambe le stagioni ha richiesto un'analisi complessa per ridefinire il profilo orario di utilizzo degli stabili e di funzionamento della centrale. La collaborazione con il collega Michael Campaci è stata fondamentale per completare la modellazione dinamica degli edifici del complesso Nord Piovego e stimare il fabbisogno energetico. A partire dai risultati delle simulazioni, ottenuti per le condizioni climatiche del TRY di tessera (VE), i fabbisogni sono stati riparametrizzati rispetto al clima reale registrato dalla stazione meteorologica ARPAV di Legnaro. Il risultato è un fabbisogno netto invernale dell'intero complesso pari a 4058 MWh mentre il fabbisogno netto estivo si attesta a 1908 MWh. I valori ottenuti confermano come la zona presa in considerazione sia altamente energivora e richieda ulteriori studi e approfondimenti; in particolare la richiesta energetica del Vallisneri è la più elevata dell'area, con una quota pari al 51,4% del fabbisogno invernale e al 53,2% di quello estivo.

È stato poi determinato il rendimento stagionale invernale dell'intero sistema pari a 65,2%, i cui fattori sono il rendimento di rete (84,6%), il rendimento di generazione (84,8%) e il rendimento stimato per gli impianti tecnici degli edifici (90,9%). I rendimenti di rete su base mensile raggiungono i valori minori nei mesi di aprile e ottobre, a causa della ridotta richiesta termica complessiva e la conseguente maggior incidenza delle dispersioni. La richiesta energetica globale soddisfatta dalla centrale termica risulta pari a 5844 MWh, comprensiva di perdite di generazione. L'efficienza complessiva stimata è piuttosto ridotta e dimostra la necessità di intervenire per massimizzare la valorizzazione dell'energia primaria. Il primo passo è già stato compiuto con la riqualificazione dei generatori della centrale termica, mentre interventi di efficientamento sono programmati presso tutte le sottostazioni del complesso, e un sistema di monitoraggio e gestione da remoto sarà installato nel corso della presente stagione di esercizio.

Mentre le analisi effettuate sul funzionamento della rete di teleriscaldamento avevano lo scopo di ottimizzare valutazioni precedenti, maggior attenzione è stata posta al sistema di generazione e distribuzione dell'energia frigorifera. Per la stagione estiva è stato determinato un rendimento medio di rete pari a 94,1% e una richiesta energetica globale soddisfatta dalla centrale frigo pari a 2035 MWh. Dopo attente valutazioni sul funzionamento della centrale e un'analisi approfondita dei consumi elettrici, sono stati definiti diversi scenari per determinare l'indice di prestazione globale del sistema e gli EER dei gruppi frigoriferi.

Si osservi come, in realtà, non sia stato possibile valutare la prestazione energetica dei gruppi frigoriferi installati in centrale, infatti non sono disponibili gli assorbimenti elettrici della sola centrale termica,

così come non lo sono quelli delle macchine autonome installate nel complesso, pertanto dalla sola analisi dei profili elettrici globali non è stato possibile distinguere le due componenti. Ciò nonostante è stato calcolato un EER medio di macchina che combina i consumi legati ai gruppi frigoriferi e alle macchine autonome scorporando gli assorbimenti richiesti dagli ausiliari.

Il primo scenario considera di poter erogare una potenza pari al valore nominale delle macchine installate, ovvero 3600kW. In queste condizioni è possibile determinare un indice di prestazione globale pari a 2,2, considerando anche gli assorbimenti elettrici degli ausiliari della centrale e dei secondari. Limitando l'analisi alle sole ore di funzionamento a pieno regime ed escludendo gli ausiliari dell'impianto è possibile stimare l'EER massimo realizzabile dalle macchine frigorifere, pari a 3,2. Il secondo scenario prevede di limitare la potenza erogabile dalla centrale frigorifera ad un valore di 2844 kW, coerente con le misure condotte sulla rete di tele raffrescamento che hanno individuato una portata inferiore al valore di progetto. In queste condizioni l'indice di prestazione globale del sistema è stimato pari a 1,9 mentre gli EER massimi delle macchine, escludendo gli assorbimenti degli ausiliari e considerando il funzionamento a pieno carico, sarebbero pari a 3,0.

La notevole differenza tra i valori ottenuti riferendosi al sistema nel suo complesso o alla singola macchina evidenzia come sarebbe possibile migliorare l'efficienza globale intervenendo sulla gestione della centrale frigorifera e sostituendo gli ausiliari esistenti con componenti più performanti.

Attualmente la centrale frigorifera è composta di quattro gruppi frigoriferi di uguale potenza, di cui tre gestiti da un sistema automatico e uno attivato manualmente. Il controllo non permette di gestire separatamente le macchine, per cui in condizioni di basso carico esse sono forzate a parzializzare eccessivamente e lavorare in condizioni non ottimali. Il quarto gruppo è attivato e disattivato manualmente secondo le esigenze dell'utenza, i profili di assorbimento elettrico dimostrano che generalmente viene attivato all'inizio del mese di luglio e spento a fine agosto, rimanendo in esercizio continuo 24 ore al giorno, per la mancanza di un conduttore della centrale frigorifera. Variare le modalità di accensione dei gruppi, sfruttando al loro modularità, potrebbe contribuire significativamente all'incremento delle prestazioni del sistema.

Tali ipotesi possono essere confermate o migliorate attraverso una campagna di monitoraggio dei consumi effettuata direttamente sui gruppi o sui singoli dispositivi che compongono il sistema di raffrescamento.

Le analisi condotte e soprattutto i risultati ottenuti rispondono efficacemente agli interrogativi iniziali circa l'efficienza energetica dei sistemi in esame, tuttavia stime più accurate potrebbero essere ottenute per mezzo di monitoraggi più specifici e mirati degli assorbimenti elettrici dei singoli componenti.

L'analisi mostra come la centrale frigorifera lavori con elevati livelli di efficienza nelle condizioni di elevato carico, segno che le macchine, sebbene datate, siano comunque di buona qualità. Le più scarse prestazioni in condizioni di carico parziale mostrano come sia la dinamica di gestione dei gruppi frigoriferi a dover essere ottimizzata, infatti pur restando le perdite di rete (che al ridursi del fabbisogno di raffrescamento sono percentualmente più rilevanti), è in tali condizioni che sono possibili i maggiori margini efficientamento. Un ulteriore incremento delle prestazioni globali potrebbe essere ottenuto sostituendo gli ausiliari elettrici con dispositivi più efficienti.

BIBLIOGRAFIA

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

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

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

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

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

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

MAZZARELLA, L. (s.d.). Test reference year.

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

PROGLHOF, A. M. (s.d.). User behavior and energy performance in buildings.

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

Trnsys. (s.d.). Manuale d'uso.

UNI 10349. (s.d.). Riscaldamento e raffrescamento degli edifici.

UNI 10351. (s.d.). Materiali da costruzione. Conduttività termica e permeabilità al vapore.

UNI 10355. (s.d.). Murature e solai. Valori di resistenza termica e metodo di calcolo.

UNI-EN-ISO 15927-6. (s.d.).

UNI-ISO 7730. (s.d.). Ergonomia degli ambienti termici.

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio tutte le persone che ho incontrato durante il mio percorso di studi, dai miei compagni ai docenti. Hanno reso questa esperienza stimolante e molto soddisfacente.

Ringrazio il prof. De Carli che mi ha seguito nelle mie esperienze all'estero e mi ha permesso di lavorare per questa tesi.

Un particolare ringraziamento va all'ing. Samantha Graci; è stata sempre disponibile in questi mesi aiutandomi a risolvere tutti i dubbi e permettendo la realizzazione di questo elaborato. La grande passione che mette nel proprio lavoro è contagiosa e ti spinge a fare sempre di più, un modello d'esempio per tutti i docenti.

Devo assolutamente ringraziare lo sport, i miei amici e la Sosta. Mi hanno aiutato a distogliere il pensiero dagli esami e dalla paura di non essere sufficientemente preparato.

La mia famiglia mi ha sempre sostenuto, aiutato e reso ciò che sono oggi; a loro va forse il mio più grande ringraziamento.

Devo ringraziare Silvia, anche lei sempre presente e punto di riferimento. Mi ha sostenuto nelle scelte e spronato a non mollare mai. Un bacio.