



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Facoltà di Ingegneria Meccanica

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN TERMOTECNICA

“EFFICIENTAMENTO ENERGETICO DEL COMPLESSO DI EDIFICI NORD PIOVEGO, CON
PARTICOLARE ATTENZIONE AGLI STABILI VALLISNERI ED AULE UGO BASSI”

Relatore: Michele De Carli

Laureando: Pasquale Rotolo

Anno accademico: 2015/2016

Ai miei genitori

Indice

Introduzione	1
Capitolo 1: La Centrale termica e Frigorifera Nord Piovego	3
1.1 Centrale Termica e rete di teleriscaldamento	3
1.2 Centrale frigorifera e rete di teleraffrescamento	5
1.3 Cabina elettrica	7
1.4 Consumi Termici ed Elettrici	8
1.5 Monitoraggi	10
1.6 Profili termici	12
3.7 Profili elettrici	15
Capitolo 2: Il Complesso Pluridipartimentale Vallisneri	18
2.1 L'edificio	18
2.1.1 Il piano terra	21
2.1.2 Il piano rialzato	22
2.1.3 Il piano "tipo"	23
2.1.4 Il piano interrato ed il piano 7° stabulario	25
2.2 Caratteristiche termofisiche dell'edificio	27
2.2.1 Pareti interne	28
2.2.2 Pareti esterne	29
2.2.3 Solai e soffitti	32
2.2.4 Serramenti esterni	34
2.2.5 Il ponte termico	44
2.3 Gli impianti aeraulici e la Sottocentrale Termica	46
2.3.1 Impianto di termoventilazione ed estrazione dell'aria viziata per ognuna delle aule del corpo didattico Est dal 1° al 5° piano compresi	46
2.3.2 Impianto di termoventilazione ed estrazione dell'aria viziata delle sei aule del piano rialzato del corpo didattico Est	49
2.3.3 Impianto di termoventilazione ed estrazione dell'aria viziata per ognuna delle sei aule del piano rialzato del corpo scientifico Nord	50
2.3.4 Impianto di condizionamento e CTA dell'Aula Magna al piano terra-rialzato corpo scientifico	52
2.3.5 Impianto di condizionamento e CTA delle 4 aule al piano terra-rialzato del corpo scientifico lato Sud	54
2.3.6 Impianto di termoventilazione ed estrazione dell'aria viziata della zona uffici, biblioteca, aula studio, aula lettura e copisteria al piano terra lato Nord	56
2.3.7 Impianto di condizionamento ad aria primaria del sesto piano dell'ala Est (CRIBI)	58

2.3.8 Impianto di condizionamento e CTA dell’aula “E” ed impianto di riscaldamento della zona uffici al piano terra del corpo didattico Est	61
2.3.9 Impianto di termoventilazione delle bussole Nord e Sud della Hall di ingresso ed impianto di riscaldamento del piano terra	63
2.3.10 Impianto ad aria primaria per i laboratori dei piani dal 1° al 6° del corpo scientifico Nord e Sud	64
2.3.11 Impianto a doppio condotto per i laboratori ed uffici dal 1° al 6° piano lato Nord e Sud	66
2.3.12 Impianto di estrazione (cappa) e reintegro dei laboratori dei piani dal 1° al 6° corpo scientifico Nord e Sud	67
2.3.13 L’impianto a doppio condotto nel suo complessivo	69
2.3.14 Tabella riassuntiva delle CTA e corpi ventilanti dell’edificio	72
2.3.15 La sottocentrale termica	74
2.4 Modelli e Simulazioni	79
2.4.1 I modelli	81
2.4.2 Scheduling e Monitoraggi	86
2.4.3 Simulazioni e risultati	92
Capitolo 3: Le Aule Ugo Bassi	111
3.1 L’edificio	111
3.2 Caratteristiche termofisiche dell’edificio	112
3.2.1 Serramenti Esterni	112
3.2.2 Pareti esterne	113
3.2.3 Solai e soffitti	114
3.2.4 Pareti Interne	115
3.3 Gli impianti di climatizzazione riscaldamento e ventilazione	116
3.3.1 La sottocentrale termica del 1°, 2°, 3° piano	116
3.3.2 Gli impianti di climatizzazione delle aule	118
3.3.3 Gli impianti di riscaldamento dei corridoi e della zona servizi	120
3.3.4 Regolazione automatica e controllo degli impianti	121
3.3.5 Regolazione della centrale di trattamento aria (CTA 1,2,3,4,5,6)	121
3.3.6 Regolazione della CTA7 e sezione ventilazione SVE della zona servizi comuni al piano primo	123
3.3.7 Il Nuovo piano terra	124
3.4 Modelli e Simulazioni	127
Capitolo 4: L’area Nord Piovegno Modellizzata	133
4.1 Risultati ottenuti	133
4.2 Confronto delle simulazioni con i consumi reali	134
Allegato: Sinottico Refrigeratori	139
Conclusioni	140

Introduzione

L'area denominata "Nord Piovego" è una delle zone più energivore dell'Università degli Studi di Padova. Nell'ottica di un percorso verso la sostenibilità dell'Università è stato deciso di analizzare tale area, in quanto vi è notevole margine di miglioramento dell'efficienza energetica da ottenere sia mediante opere edilizie che mediante interventi impiantistici. È stato deciso pertanto di cominciare ad analizzare la zona mediante delle tesi di laurea mirate alla raccolta di informazioni degli edifici e degli impianti, al fine di giungere a un audit energetico che permetta di chiarire i possibili interventi ed analizzare le eventuali priorità degli stessi.

L'attività è iniziata a febbraio 2016, coinvolgendo l'ufficio tecnico dell'Università e i responsabili tecnici degli edifici dell'area Nord Piovego. Il percorso che si è svolto prevede:

- 1) Verifica della centrale termica e frigorifera
- 2) Verifica delle sottocentrali termiche e frigorifere
- 3) Verifica della distribuzione delle reti di teleriscaldamento e teleraffrescamento, verifica delle temperature di esercizio e delle differenze di temperatura operativa
- 4) Analisi delle tipologie di impianto a servizio degli edifici, logiche di regolazione, orari di funzionamento degli impianti, set-point di temperatura, ecc.
- 5) Definizione del fabbisogno energetico degli edifici mediante simulazioni dinamiche
- 6) Definizione delle curve di fabbisogno termico, frigorifero ed elettrico della centrale
- 7) Identificazione delle percentuali di consumo per edificio della zona e identificazione dei potenziali risparmi energetici relativi all'involucro degli edifici.

Lo scopo del presente studio e dei futuri interventi è di arrivare a una gestione più accurata dell'intero complesso, anche in virtù del fatto che gli edifici analizzati comprendono stabili privi di isolamento termico, edifici isolati e edifici di nuova costruzione con buon grado di coibentazione.

Gli stabili che ne fanno parte sono:

- Complesso Pluridipartimentale di Biologia "Vallisneri";
- Aule Via Ugo Bassi (complesso didattico Piovego);
- Psicologia 1;
- Psicologia 2;
- Centro Linguistico di Ateneo (CLA);
- Centro Congressi (identificato anche come Psicologia 3);
- 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).

L'intero complesso fa capo ad un'unica Centrale Termica e Frigorifera, la quale produce acqua surriscaldata, per il periodo di riscaldamento, ed acqua refrigerata, per il periodo di raffrescamento, usata come fluida termovettore per scaldare e raffrescare le varie utenze. Per quanto riguarda la fornitura elettrica gli edifici sono serviti dal cosiddetto Anello di Media Tensione "Nord Piovego" al quale è collegata anche la "Mensa Esu Nord Piovego".

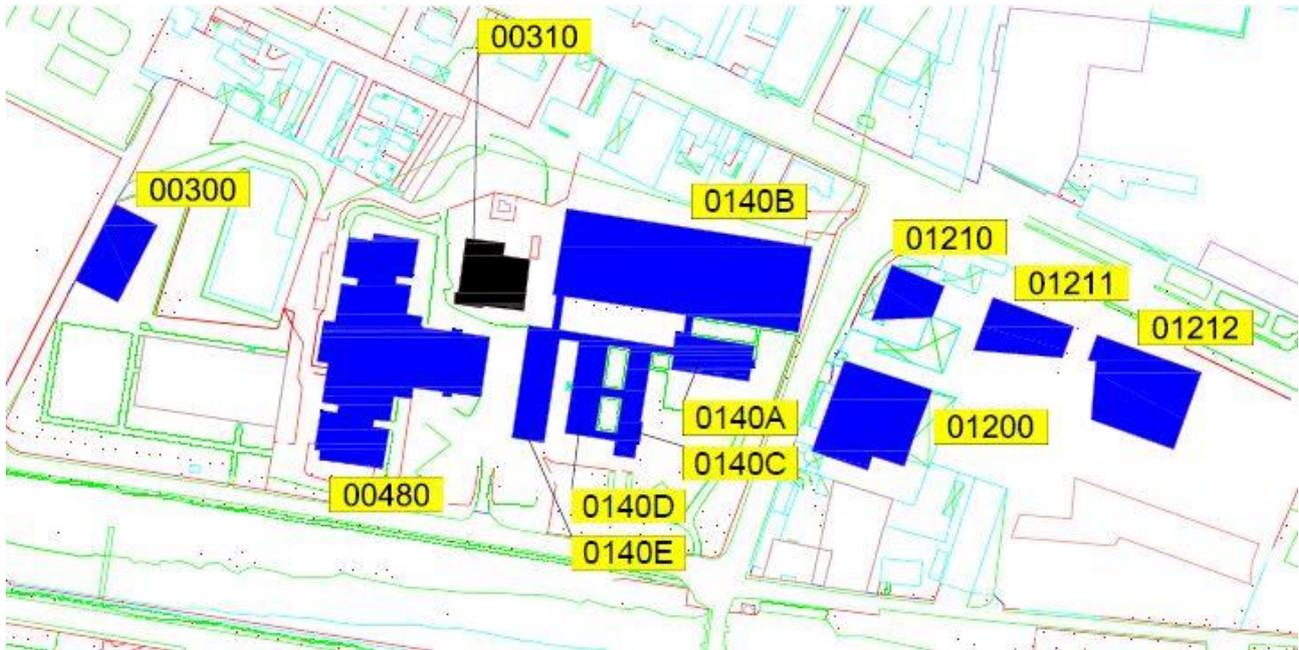


Figura 1 il complesso di edifici dell'Area Nord Piovego

Gli stabili del Complesso Nord Piovego sono identificati con un codice numerico. La tabella seguente riporta le caratteristiche delle utenze servite dalla Centrale Termica.

Codice	Descrizione Edificio	Superficie utile coperta al lordo delle murature (m ²)	Volume edificio fuori terra (m ³)	Volume edificio interrato (mc)	Altezza fuori terra (m)
00300	COMPLESSO DIDATTICO PIOVEGO	3840	12800	-	13
00480	COMPLESSO PLURIDIPARTIMENTALE "A. VALLISNERI"	33006	101600	15200	30,00
00310	CENTRALE TERMICA NORD PIOVEGO				
00140	COMPLESSO INGEGNERIA MECCANICA	15556	69811	-	30,85
01200	PSICOLOGIA 1	7137	16547	8238	22,5
01210	PSICOLOGIA 2	7679	24255	3562	23
01211	CENTRO CONGRESSI	2173	9648	218	20,42
01212	CENTRO LINGUISTICO	6706	27007	-	24,15

Capitolo 1: La Centrale termica e Frigorifera Nord Piovego

1.1 Centrale Termica e rete di teleriscaldamento

La centrale termica monta tre caldaie che producono vapore; questo viene incanalato in uno scambiatore a fascio tubiero (uno per caldaia) il cui fluido secondario è costituito da acqua surriscaldata alla $p_{max} = 15$ bar. La temperatura di esercizio era originariamente pari a 160 °C; nel corso del tempo tale valore è stato abbassato. Durante i monitoraggi effettuati, si sono registrate temperature non superiori ai 110 °C con un ritorno che si aggira intorno ai 90°C. Dai fasci tubieri il vettore termico viene convogliato in un collettore di mandata grazie a tre pompe disposte in parallelo dalle seguenti caratteristiche:

- prevalenza $h=35m$;
- portata $Q= 1333$ l/min;
- velocità $n=1450$ giri/min.

Di queste, due sono attive e funzionano alternativamente.

Il fluido viene poi inviato alla sottocentrale di ogni edificio servito dalla rete dove avviene il prelievo di energia. L'unico edificio sprovvisto di sottostazione è il corpo officina del Dipartimento di Ingegneria Meccanica che presenta uno scambiatore a fascio tubiero collocato all'interno della stessa centrale termica. La centrale si occupa anche della produzione di acqua calda sanitaria per il 7° piano Stabulario dell'edificio Vallisneri. In centrale sono poi montati il vaso di espansione per il circuito dell'acqua surriscaldata e un serbatoio di accumulo per il reintegro.

Le caratteristiche principali delle tre caldaie sono riassunte in tabella:

	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

Il Generatore 1 ha subito la rottura dello scambiatore e sono ora al vaglio una serie di ipotesi su come sopperire alla richiesta termica per la prossima stagione di riscaldamento.

Nella pagina successiva si presenta uno schema riassuntivo e aggiornato allo stato di fatto dell'intera rete di teleriscaldamento. La rete raggiunge gli stabili tramite cunicoli di 1,5 m di altezza. Si distinguono 3 linee:

- LINEA 1 Vallisneri, Ugo Bassi e Fisica Tecnica (rossa)
- LINEA 2 Dipartimento di Ingegneria, Psicologia 1,2,3 e Centro Linguistico (gialla)
- LINEA 3 Corpo officina di meccanica (arancio)

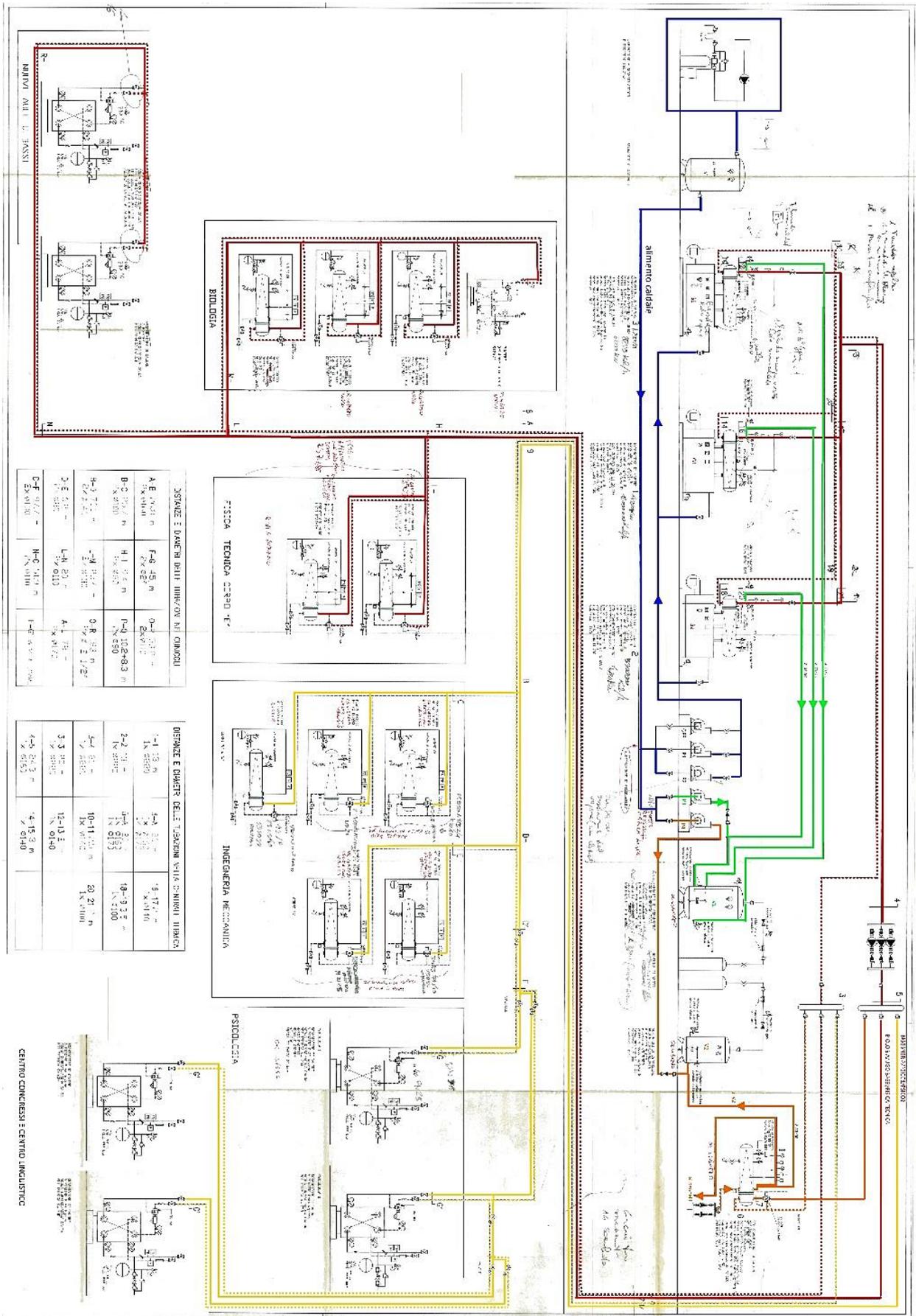


Figura 2 Schema della rete di teleriscaldamento

La rete raggiunge gli stabili tramite cunicoli di 1,5 m di altezza.

La potenza installata nelle sottostazioni si può riepilogare con la seguente tabella riassuntiva.

Id	Sottostazione	Numero di unità	Tipologia di scambiatori	Taglia [kWt]	Totale potenza installata [kWt]
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	812	812
7	EX DIPARTIMENTO DI FISICA TECNICA	2	FASCIO TUBIERO	175	350
8	AULE VIA UGO BASSI	1	PIASTRE	600	750
			PIASTRE	150	
9	COMPLESSO PLURIDIPART. VALLISNERI	2	FASCIO TUBIERO	1600	3200
		1	FASCIO TUBIERO	800	800
		1	PIASTRE	800	800
TOTALE		10762 kWht			

1.2 Centrale frigorifera e rete di teleraffrescamento

La centrale frigorifera è ubicata nella parte ovest della Centrale Nord Piovego ed è raggiungibile attraverso un ingresso dedicato. Il numero di macchine installate e la potenza di ognuna di esse sono riassunte nella tabella che segue.

	Gruppo frigorifero 1	Gruppo frigorifero 2	Gruppo frigorifero 3	Gruppo frigorifero 4
Potenza Nominale [kW]	900	900	900	900

La rete di teleraffrescamento viaggia parallelamente al circuito dell'acqua surriscaldata all'interno degli stessi cunicoli. Raggiunge le sottostazioni di Biologia, delle Aule di Via Ugo Bassi e del Dipartimento di Ingegneria Meccanica e viene spillata senza l'utilizzo di uno scambiatore. La scelta impiantistica di non montare scambiatori lato freddo pone in una condizione di "sofferenza" gli

edifici più sfavoriti i quali faticano a raffreddare (Aule Bassi, l'ultima ad essere servita, e gli edifici Psicologia 1,2, CC e CL).

Nella tabella riassuntiva sono riportati gli scambiatori lato freddo. La rete di teleraffrescamento è in Figura 3

Il Centro Linguistico ed il Centro Congressi sono serviti dalla stessa sottocentrale.

Id	Sottostazione	Numero di unità	Tipologia di scambiatori	Taglia [kWf]	Totale potenza installata [kWf]
1	PSICO 1	2	PIASTRE	400(*)	800(*)
2	PSICO 2	1	PIASTRE	780	780
3	CENTRO CONGRESSI+CENTRO LINGUISTICO	2	PIASTRE	550	1100
4	DIM-corpo uffici	/	/	/	/
5	DIM-corpo aule	/	/	/	/
6	DIM-officina	/	/	/	/
7	EX DIPARTIMENTO DI FISICA TECNICA	/	/	/	/
8	AULE VIA UGO BASSI	/	/	/	/
9	COMPLESSO PLURIDIPART. VALLISNERI	/	/	/	/
		/	/	/	/
TOTALE					2680

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

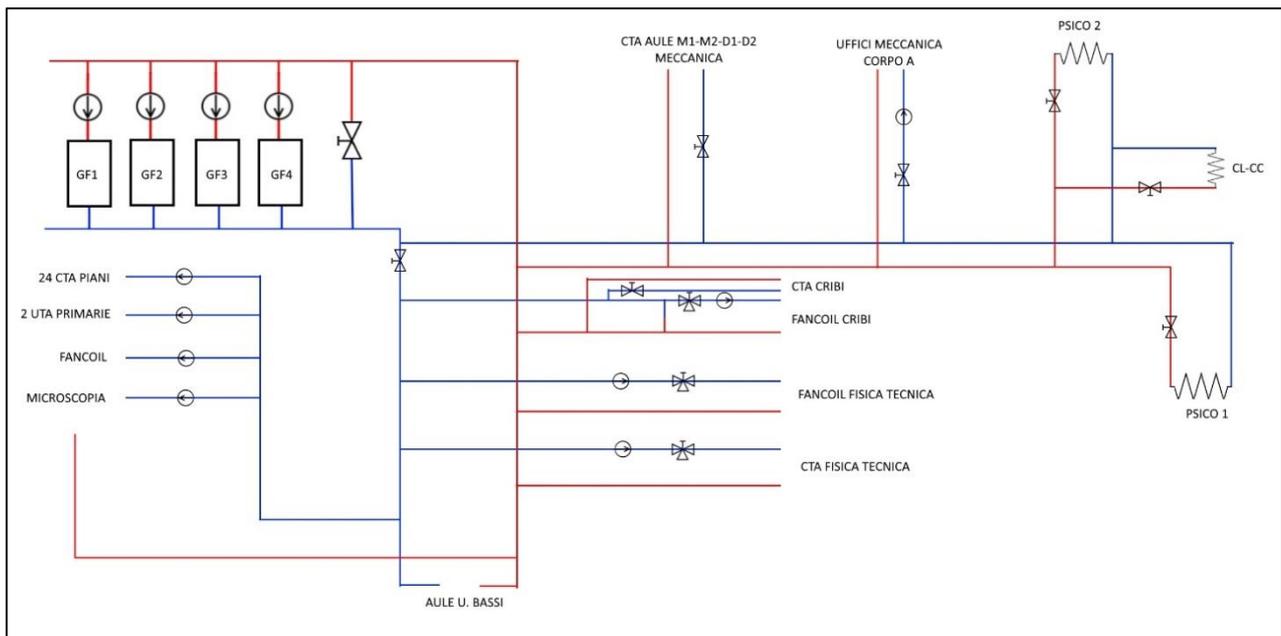


Figura 3 Schema qualitativo della rete di teleraffrescamento

1.3 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.

La mappa del polo energetico del Nord Piovego è qui di seguito riportata.

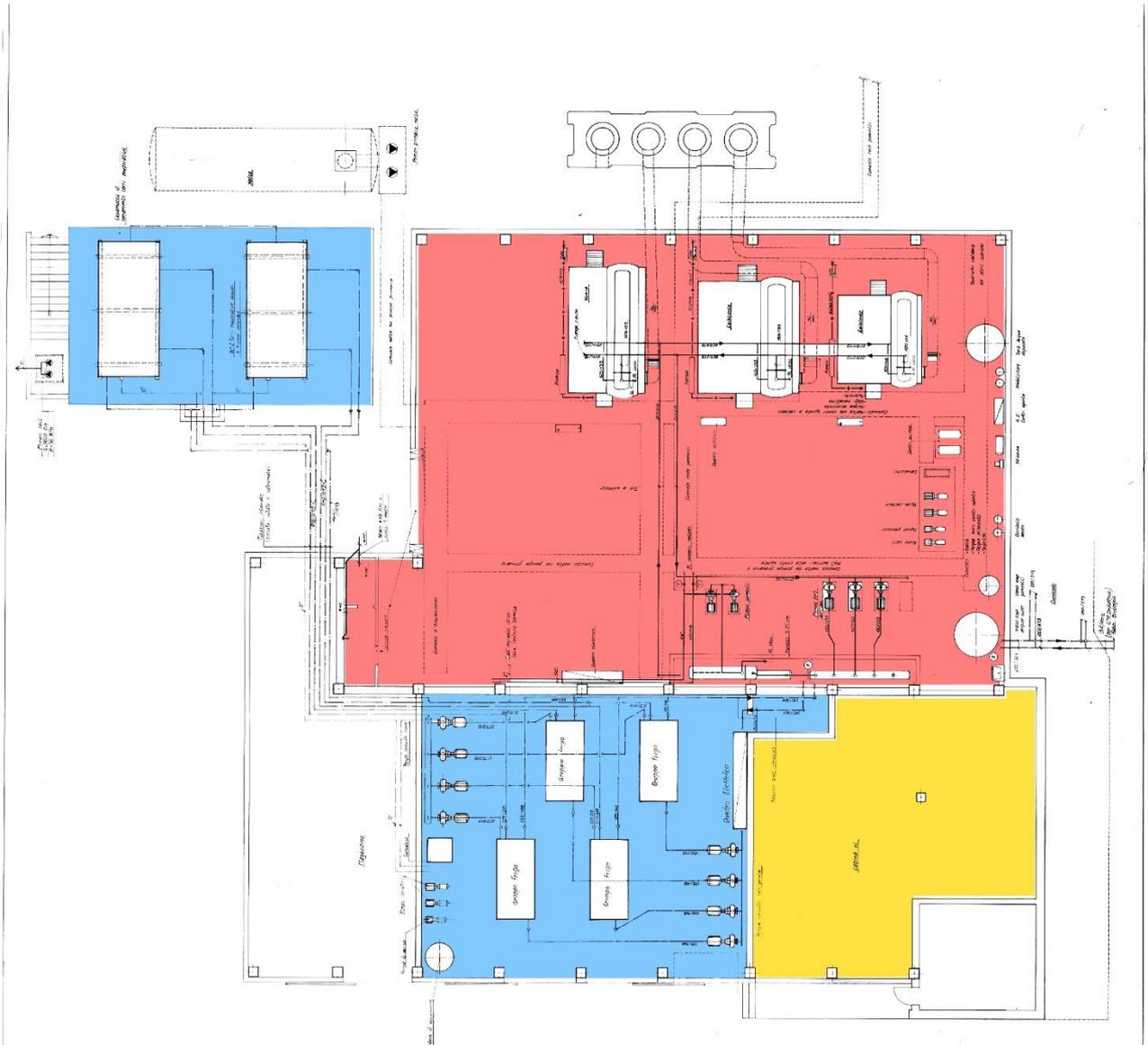


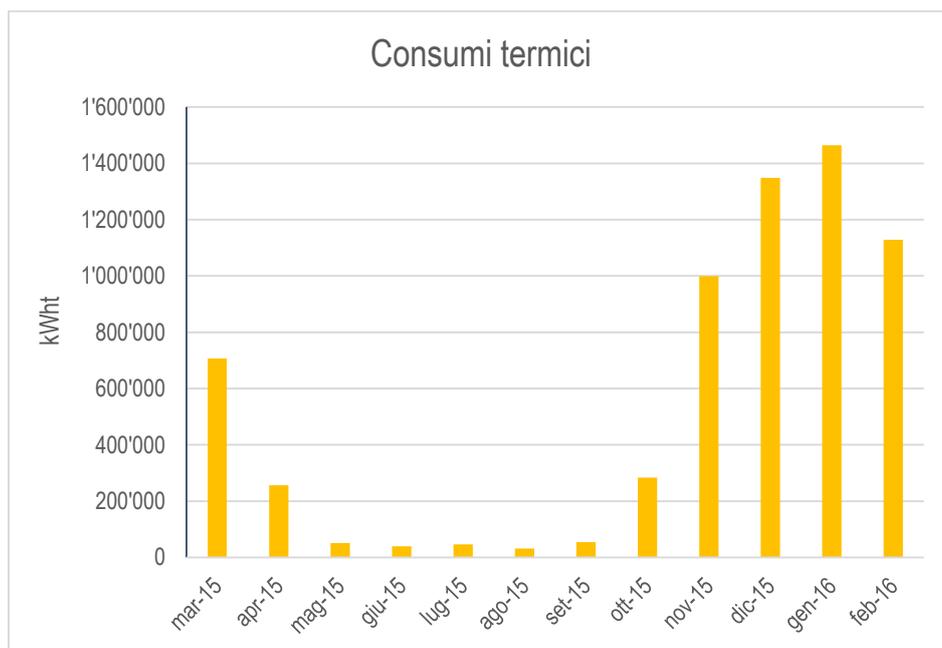
Figura 4 In rosso è raffigurata la centrale termica con le caldaie, in azzurro la Centrale Frigorifera con i 4 gruppi frigo e le torri evaporative mentre in giallo la cabina elettrica

1.4 Consumi Termici ed Elettrici

È stata eseguita un'opera di analisi delle bollette per verificare i consumi annuali e mensili utili, anche in un'ottica di confronto con la simulazione dinamica prevista e la proposta di interventi per il miglioramento dell'efficienza e l'aumento della sostenibilità da parte dell'Università. Il prospetto che segue riporta i consumi mensili di gas naturale della centrale termica.

Mese	Consumo di gas [m³]	Consumi termici [kWh]	Costo energia termica esclusa IVA [€]
mar-15	73610	706247	40684
apr-15	26740	256555	13854
mag-15	5312	50966	3346
giu-15	4095	39289	2276
lug-15	4856	46591	2814
ago-15	3304	31700	1808
set-15	5621	53930	3010
ott-15	29551	283525	15327
nov-15	104139	999156	53939
dic-15	140556	1348557	114704
gen-16	152813	1464458	82612
feb-16	117642	1128707	67514
TOTALE	668239	6409682	401889

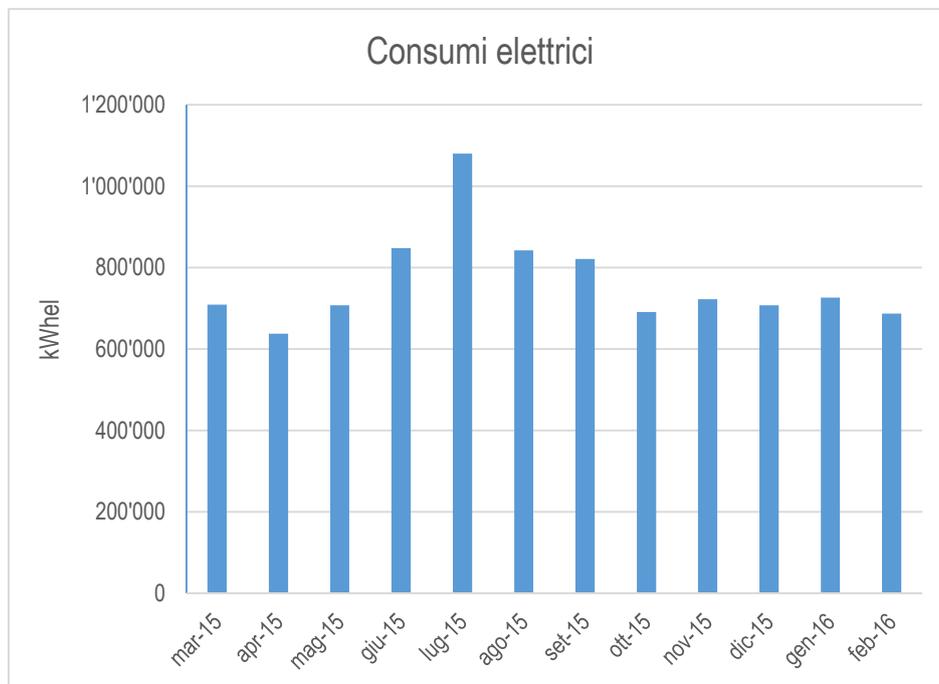
Nell'ultima colonna sono comprese oltre ai servizi di vendita anche le imposte e i servizi di rete. I consumi termici sono stati rappresentati in un istogramma.



Ne risulta un contratto che prevede la spesa di 0.058 €/kWh termico (IVA esclusa).

Per quanto riguarda il vettore elettrico è stato fatto lo stesso tipo di analisi attraverso la consultazione delle bollette e la rappresentazione attraverso grafici.

Mese	Consumo elettrico [kWhel]	Costo energia elettrica esclusa IVA [€]
mar-15	709379	104210
apr-15	637705	688136
mag-15	707295	95882
giu-15	847763	112352
lug-15	1079949	140742
ago-15	842537	898547
set-15	821004	123966
ott-15	691046	108203
nov-15	722423	86755
dic-15	707744	92504
gen-16	726727	790282
feb-16	687092	82192
TOTALE	9180664	3323772

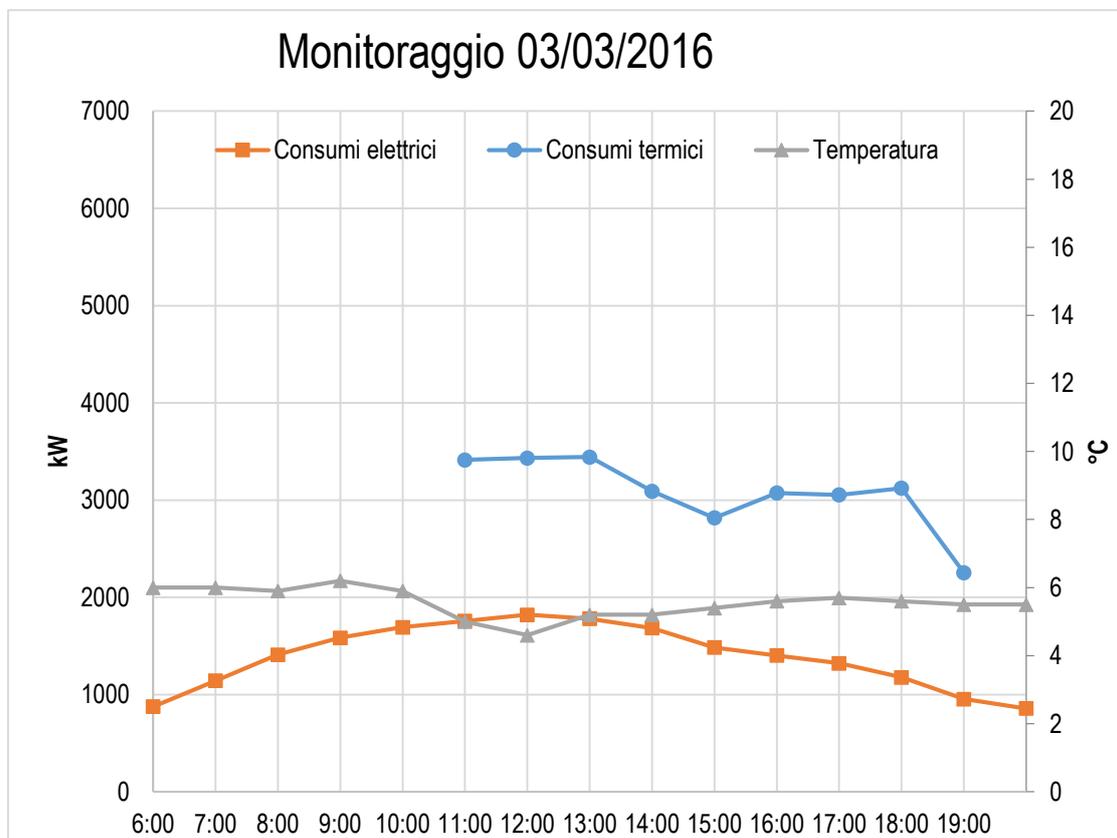


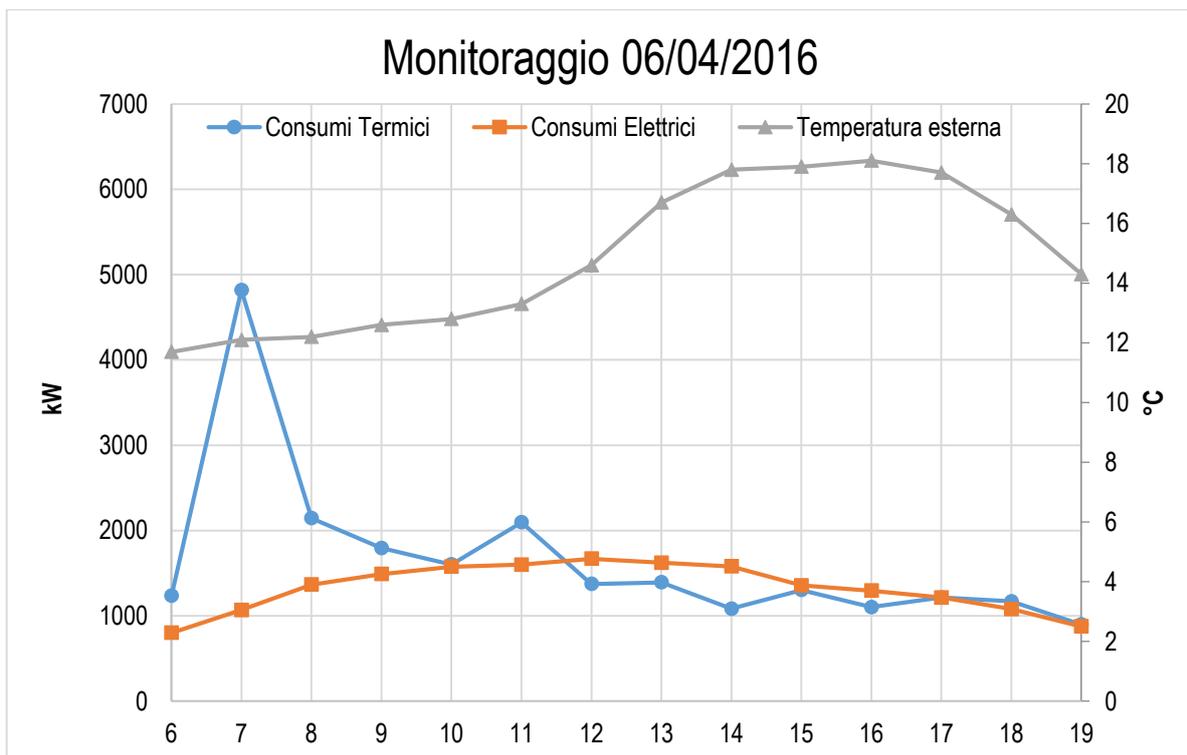
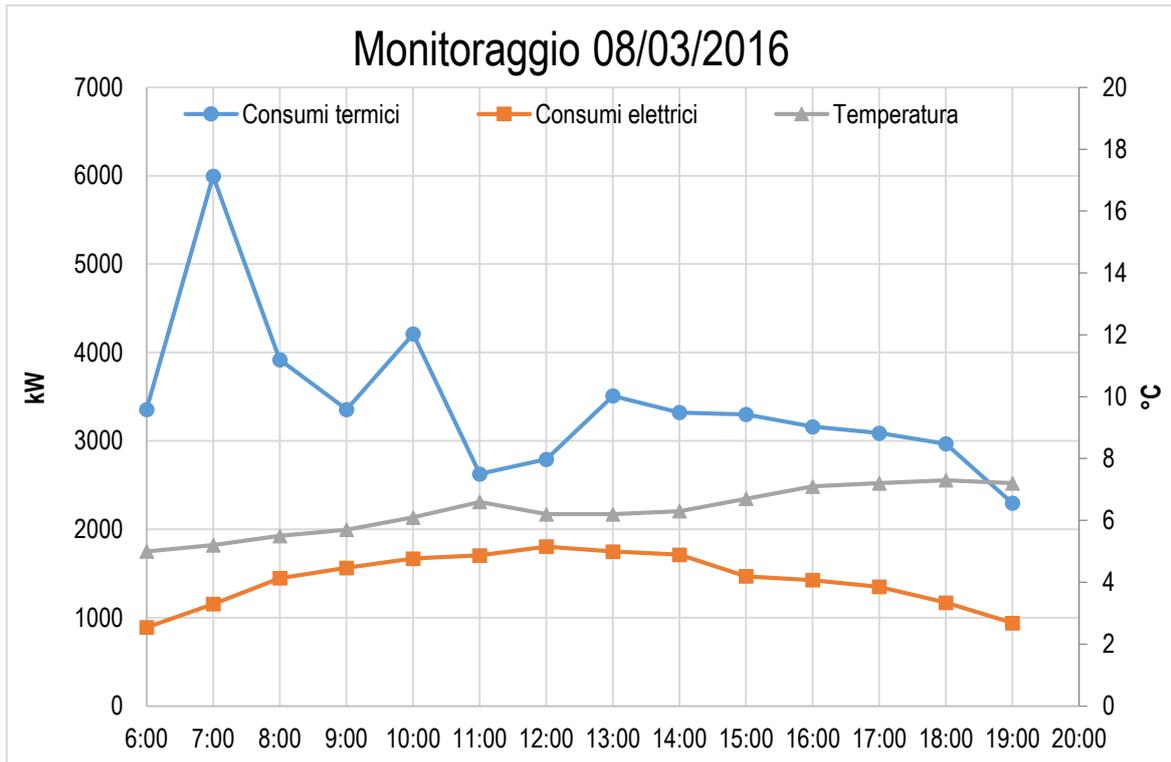
Il costo unitario dell'energia elettrica è pari a 0,134 €/kWh elettrico (IVA esclusa).

1.5 Monitoraggi

Durante la fase di recupero e analisi del materiale degli edifici, al fine di poter svolgere un audit energetico su di essi, sono stati condotti una serie di monitoraggi dei consumi elettrici e termici in giornate spot. Le giornate in cui si sono verificati tali monitoraggi, al fine di estrapolare un profilo medio dei consumi, sono il 03/03, l'08/03 e il 06/04/2016. Nella prima, a causa della mancanza delle autorizzazioni necessarie, il periodo di misurazione della portata di gas naturale è stato limitato. Nelle altre giornate, tale intervallo, ha invece interessato tutto l'arco temporale di funzionamento della centrale. I consumi elettrici sono ricavati dal profilo messo a disposizione dal fornitore attraverso il suo portale. Le curve ricavate sono diagrammate nei grafici seguenti.

Nei diagrammi sono riportate anche le temperature (fonte: Arpav) relative alle misurazioni effettuate al centro meteorologico di Legnaro. Si può osservare la dipendenza del consumo termico dalla temperatura esterna. Come si evince dai grafici, all'accensione della centrale si verifica un picco durante il quale le caldaie esercitano una maggior richiesta di energia per portare a temperatura l'acqua del circuito. Con un'ora di ritardo, i plc, che controllano le sottostazioni, avviano le pompe di circolazione e gli scambiatori permettono lo scambio tra fluido primario e secondario. L'andamento altalenante osservato negli ultimi monitoraggi è dovuto alle periodiche richieste di apporto termico da parte del "sistema edificio".



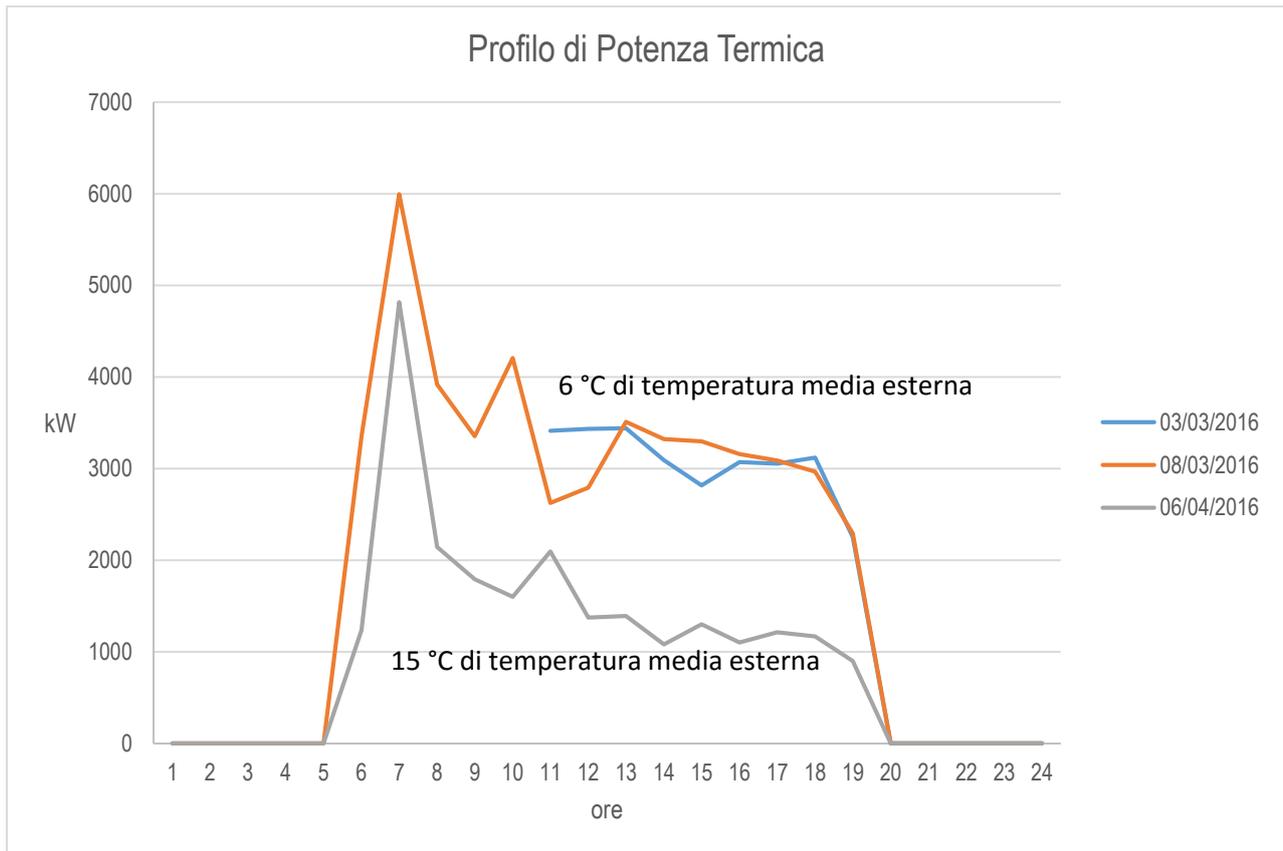


Le caldaie montate in centrale sono regolate manualmente da un tecnico specializzato e operano diversamente a seconda delle esigenze. La regolazione controlla la temperatura di ritorno dell'acqua surriscaldata e agisce sulla valvola di adduzione del gas alla caldaia. Al raggiungimento della temperatura impostata la valvola chiude spegnendo la caldaia.

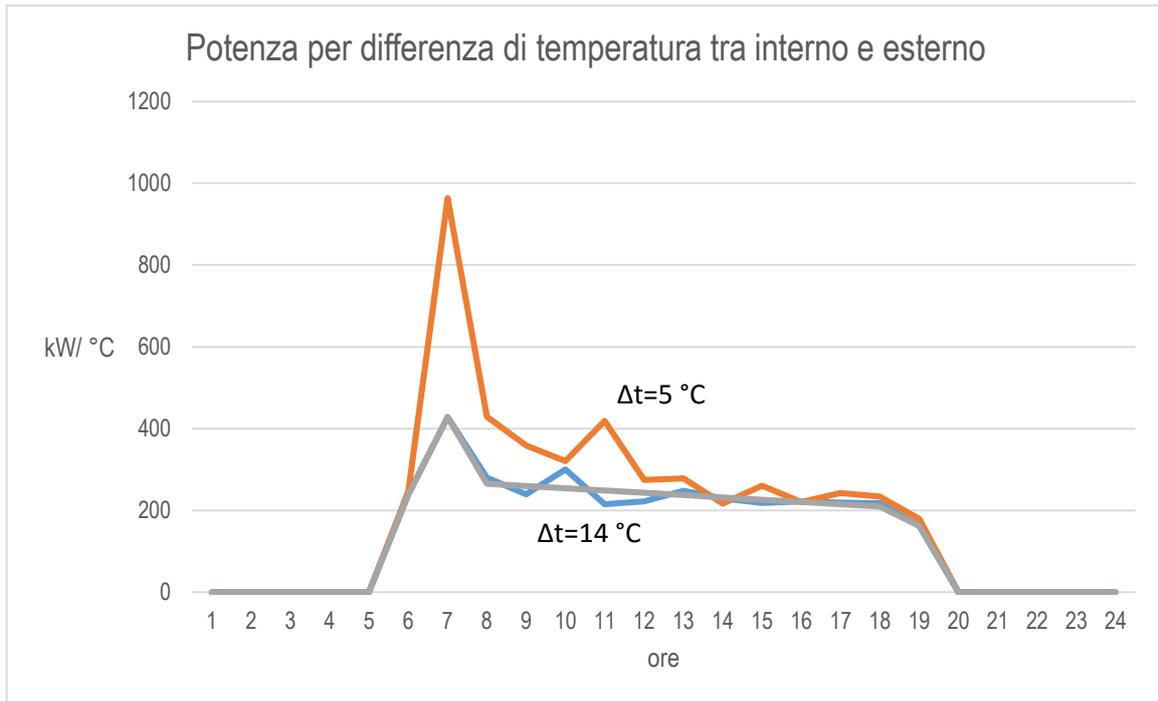
Per quanto riguarda la componente elettrica l'andamento del carico evidenzia nettamente la domanda elevata durante la pausa pranzo; questa è da addebitarsi alla fornitura di energia elettrica al complesso "Mensa Esu Nord Piovego" (la quale monta in prevalenza fornelli elettrici).

1.6 Profili termici

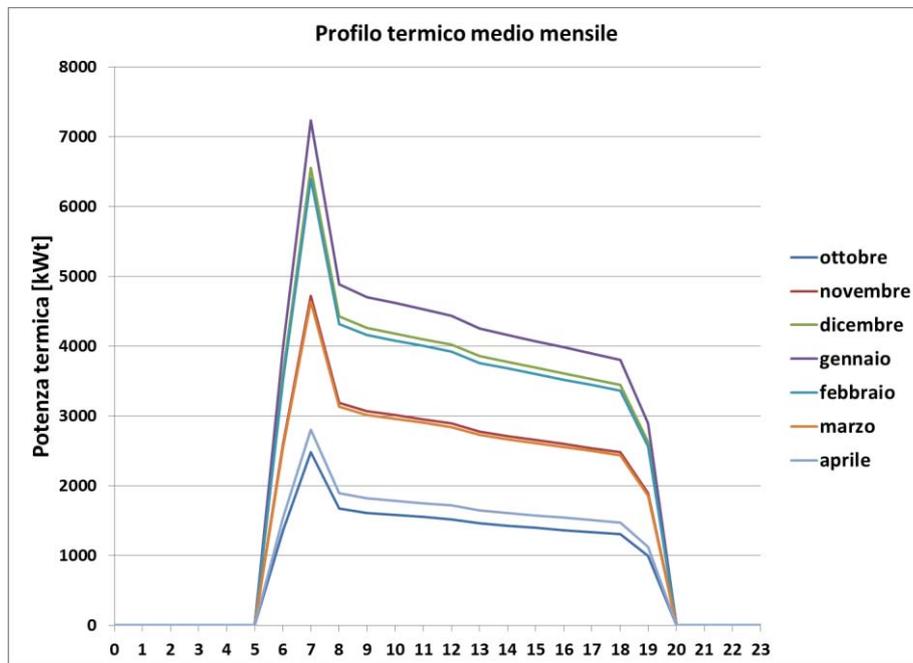
Nel diagramma seguente sono stati riportati gli andamenti delle potenze delle tre giornate.



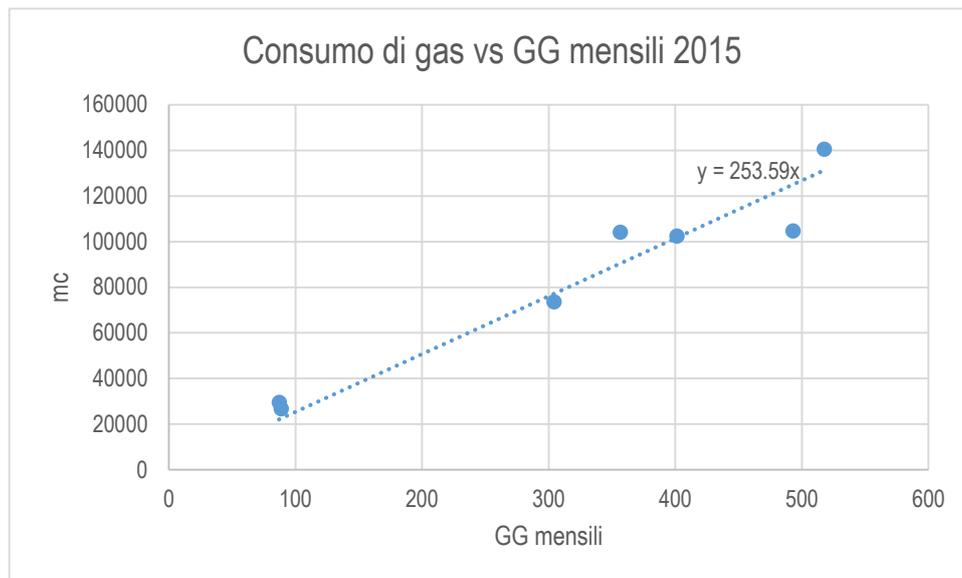
Sulla base di questi profili è stata svolta un'analisi per verificare il valore del consumo rilevato in rapporto con i gradi giorno della giornata considerata. Come si evince dalla figura sottostante, il valore di potenza per grado giorno risulta tanto maggiore, quanto maggiore è la temperatura esterna; questo comportamento è tipico di una centrale termica priva di modulazione in cui ai carichi parziali pesano maggiormente le irreversibilità. Per tale motivo è stato ritenuto più rappresentativo delle condizioni medie invernali il profilo relativo alla potenza per grado giorno della giornata più fredda (6°C medi esterni, ossia 14°C di differenza di temperatura tra interno ed esterno).



Il profilo termico è stato linearizzato (linea grigia) ottenendo un consumo pari a 3400 kWh/GG. Sulla base dei valori medi mensili delle temperature esterne (UNI 10349) si sono ricavati i profili termici riportati nella figura successiva.



Dopo la determinazione dei profili medi mensili si è deciso di stimare il carico massimo giornaliero ed orario nella giornata più fredda. Dall'analisi delle bollette di gas dell'anno 2015 è risultato un consumo pari a 605000 m³. È stata trovata una relazione lineare tra GG mensili e consumi di gas mensili per l'anno 2015. Vengono consumati circa 253 Smc/GG, pari a circa 2,433 MWh/GG, considerando un PCI del gas metano pari a 34,54 MJ/Smc.



Quindi trovando i GG del giorno più freddo dell'anno si ottiene l'energia termica necessaria per soddisfare il carico termico di picco. Da un'analisi delle temperature degli ultimi 11 anni (stazione ARPAV di Legnaro) si vede che la temperatura media giornaliera non è mai scesa sotto i -5°C a parte in una giornata particolarmente fredda del 2008.

Prendendo un valore di 25 GG per ricavare l'energia giornaliera da fornire in condizioni di progetto:

$$E_{term_giorn_max} = 2,433 * 25 = 60,826 \text{ MWh}_t$$

Il picco orario (che corrisponde all'accensione mattutina degli impianti) dipende dal profilo di carico orario utilizzato. L'accensione anticipata delle caldaie permette di smorzare il picco. Quindi la potenza oraria di picco dipende dal numero di ore di accensione dell'impianto. Da un calcolo semplificato risulta che il consumo di picco possa andare dal 10 al 14% del consumo giornaliero passando da 18 a 10 ore di accensione degli impianti. Col normale funzionamento a 13 ore il picco è pari al 12.5%.

Si fanno le seguenti ipotesi:

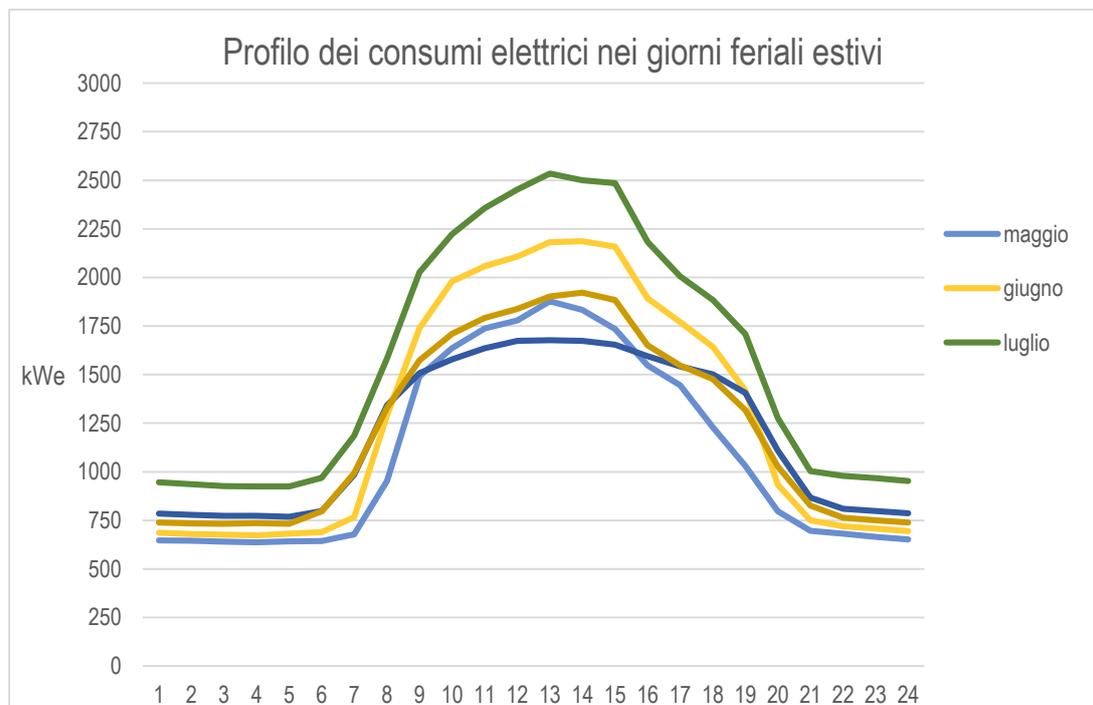
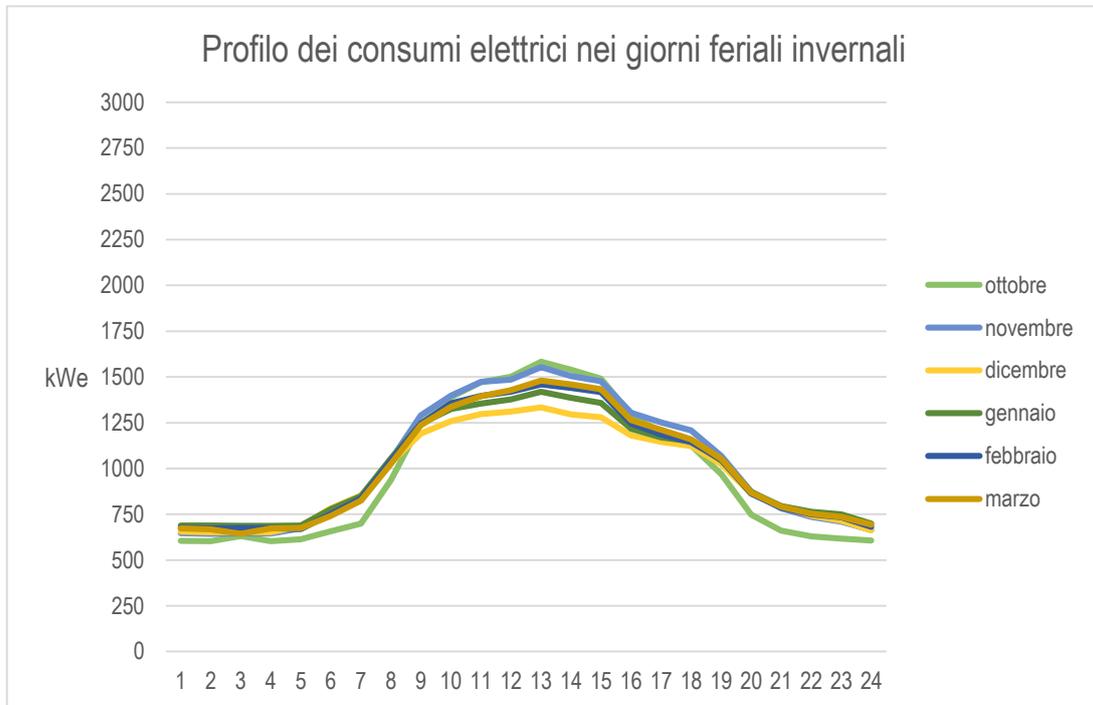
- Fabbisogno di energia primaria nel giorno più freddo dell'anno = 60,826 MWh.
- Potenza oraria di picco nel giorno più freddo dell'anno = 11-12.5% dell'energia termica consumata nell'arco della giornata.

Si ottiene così una potenza di picco pari a 6690-7600 kW.

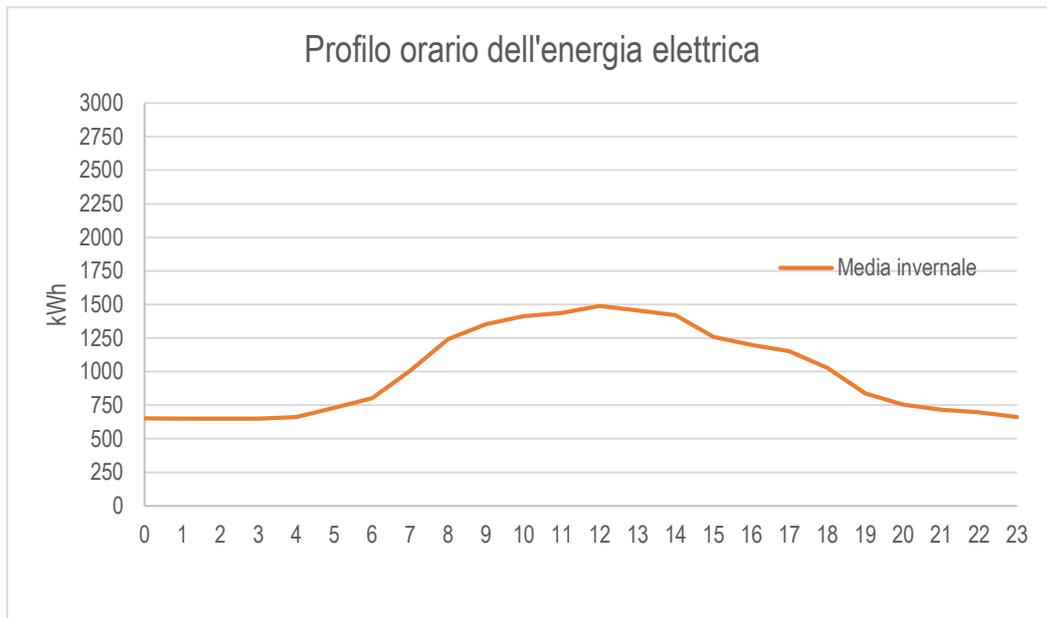
Tale valore verifica i profili ricavati in precedenza.

3.7 Profili elettrici

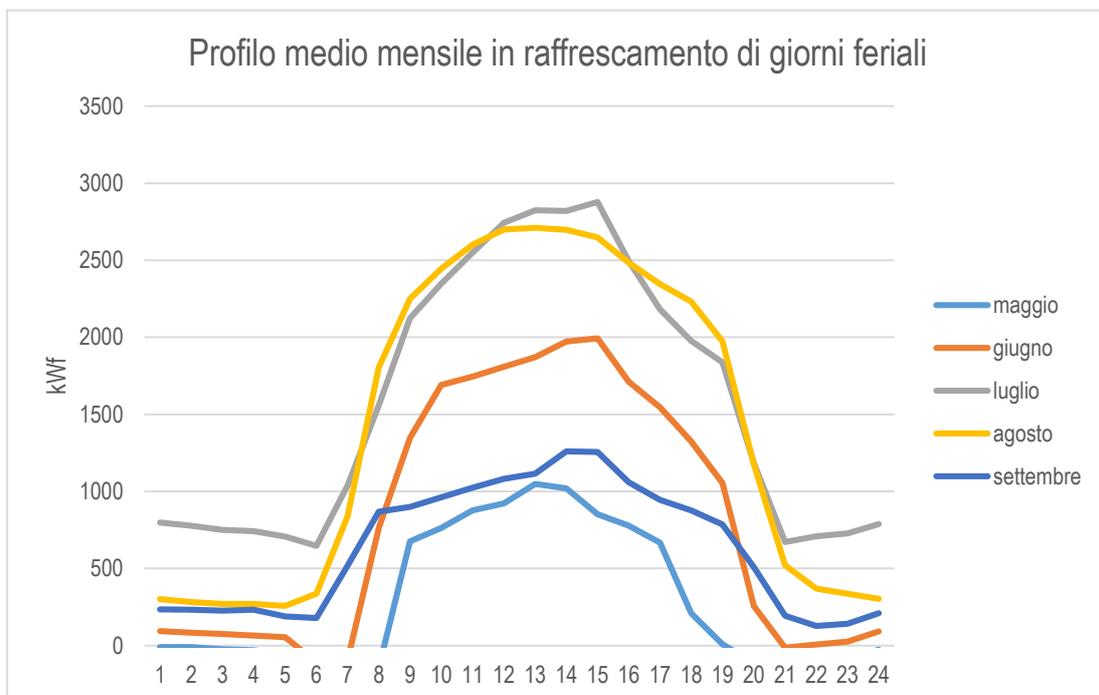
I profili elettrici presentano un maggiore grado di dettaglio. Sono stati analizzati i profili medi orari mensili per le giornate feriali, riportati nelle figure sottostanti rispettivamente per giornate invernali ed estive.



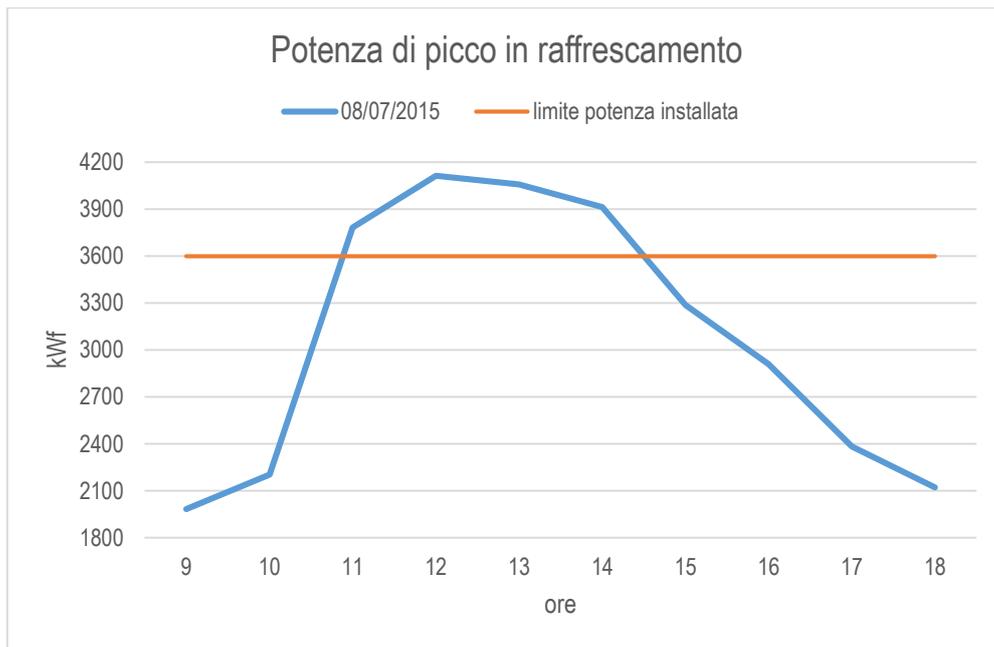
Vista la poca differenza tra carichi invernali, è stato considerato un valore medio orario dei profili elettrici feriali invernali, come riportato nella figura sottostante.



Sottraendo tale profilo di energia elettrica dai consumi estivi e moltiplicando per un coefficiente di efficienza dei gruppi frigoriferi $EER = 2.7$ si sono ricavati i profili orari di energia frigorifera richiesta da tutta l'area.



Essendo installati nella centrale frigorifera 3600 kW si vede come il fabbisogno medio mensile in raffrescamento sia potenzialmente soddisfatto. Questo risulta vero nell'andamento medio ma non in quello puntuale. Da un'analisi più approfondita, infatti, nella giornata dell'anno appena trascorso con il picco massimo di consumo orario di energia elettrica, si sono registrati valori di potenza richiesta superiori a quella presente in centrale. Per giungere a tale risultato si è operato analogamente a quanto fatto per i profili medi mensili. Dal diagramma che segue si può osservare come nelle ore centrali della giornata del 08/07/2015 si siano raggiunti 4114 kW_f.



Per questo motivo alcuni edifici dell'area hanno dovuto far ricorso a macchine esterne per sopperire ai carichi.

Capitolo 2: Il Complesso Pluridipartimentale Vallisneri

2.1 L'edificio



Figura 5 L'edificio analizzato

Il complesso pluridipartimentale "A. Vallisneri" è una struttura edilizia risalente ai primi anni '80 costituita da un telaio portante in travi d'acciaio, sul quale si distinguono pannelli prefabbricati in cemento armato ed elementi modulari finestrati; nel complesso quindi si presenta come uno stabile molto leggero. È costituito da nove piani, di cui otto fuori terra.

Nella seguente tabella sono proposte le superfici lorde per piano e le corrispondenti volumetrie.

	Superficie Lorda [m²]	Volume [m³]
Piano interrato	4750	15200
Piano terra	3880	12400
Piano Rialzato	3630	12400
Piano Primo-Sesto	3675	11760
Piano Settimo	1070	3425
Totale	34200	114000

Per descrivere la struttura è intuitivo scomporla secondo due criteri

- *Secondo una sezione piana:* saltano subito all'occhio le caratteristiche simmetriche dello stabile e la suddivisione in tre corpi principali dello stesso: uno a Nord, uno a Sud esattamente simmetrico ed uno ad Est. La zona Nord e Sud sono collegate da un polmone centrale costituito essenzialmente da sale riunioni e dal vano scale che si protende tramite una passerella di collegamento verso il corpo Est.

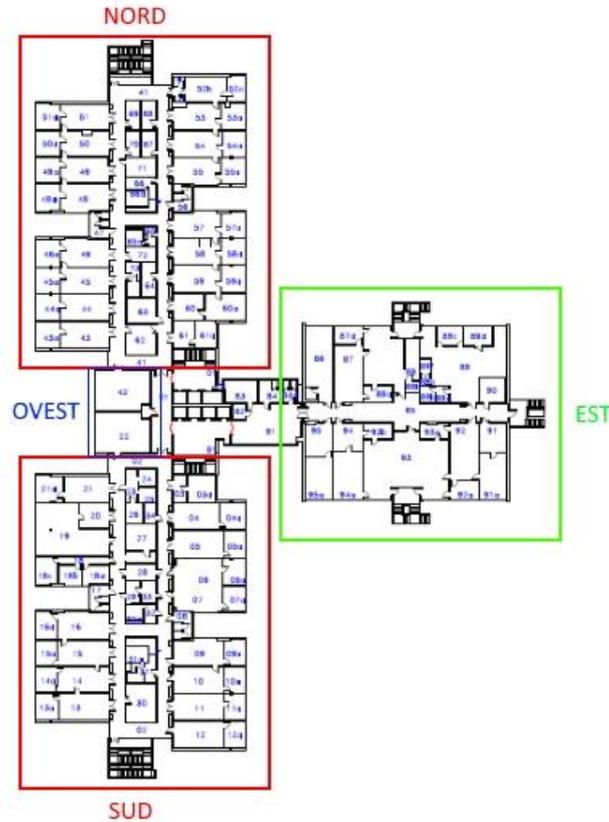


Figura 6 Sezione orizzontale di un piano tipo

- *Secondo una sezione verticale:* si distingue il piano interrato, il piano terra e rialzato che assieme formano un corpo “svincolato” da gran parte dell’edificio, i piani dal 1° al 6° che rappresentano il fulcro principale dello stabilimento, caratteristici per la particolare pannellatura opaca rossa al di sotto delle superfici finestrate, ed infine il piano 7°, dove è situato lo stabulario.



Figura 7 Suddivisione secondo una sezione verticale dell'edificio

A livello di semplice nomenclatura, è senz'altro utile distinguere le varie zone dell'edificio in base alla funzione alle quali esse sono adibite. Prendendo sempre come riferimento il piano tipo in Figura 6 chiameremo "Corpo Scientifico" l'asse Nord Sud; questo poiché all'interno di queste zone, come mostreremo più avanti, vi sono una serie di stanze modulari adibite a laboratori dipartimentali con corrispettivi uffici. Chiameremo invece "Corpo Didattico" l'ala Est, poiché all'interno di essa, ad eccezione del sesto piano, troviamo una serie modulare di sei aule adibite a laboratori didattici.

I piani Terra e Rialzato risentono imprecisamente di questa distinzione anche se all'interno di essi si svolgono prettamente attività didattiche o di ufficio.

2.1.1 Il piano terra

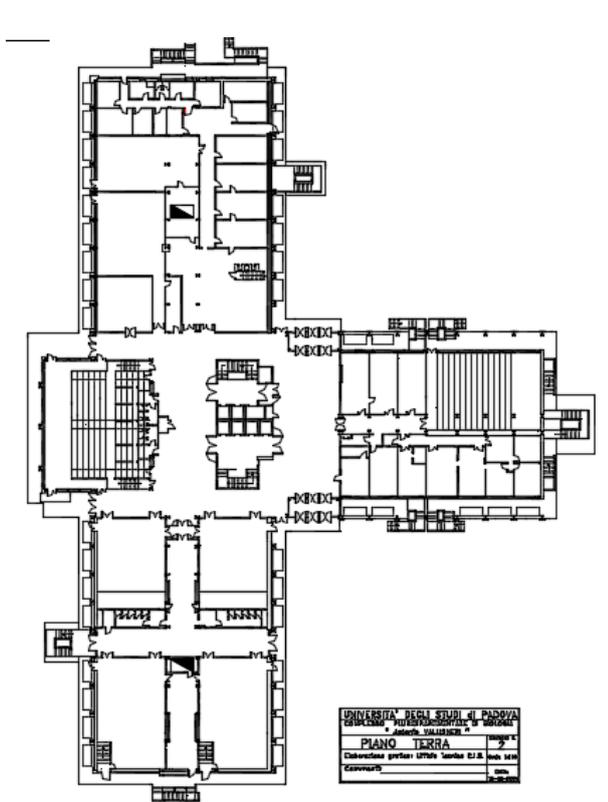


Figura 8 Pianta Piano Terra

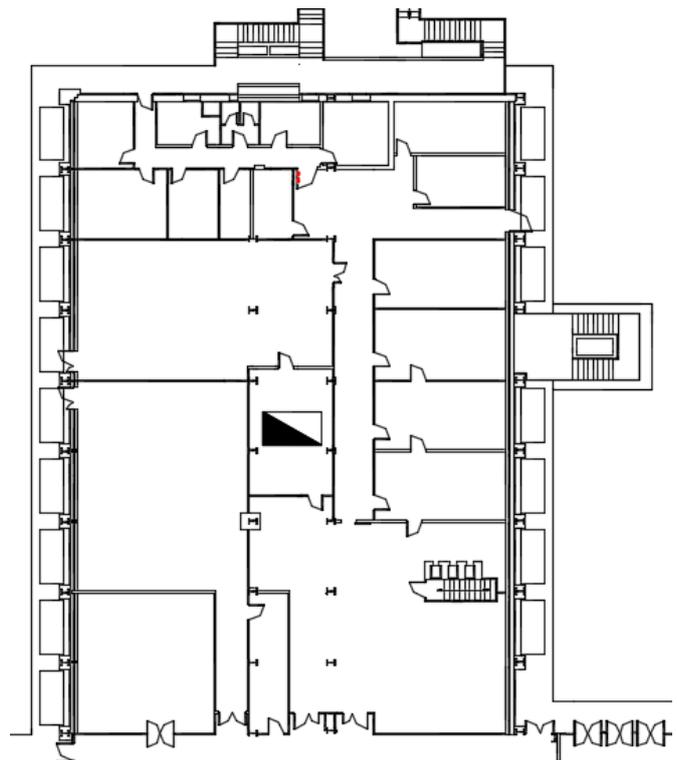


Figura 9 Ala Nord: Uffici, biblioteca, aule studio

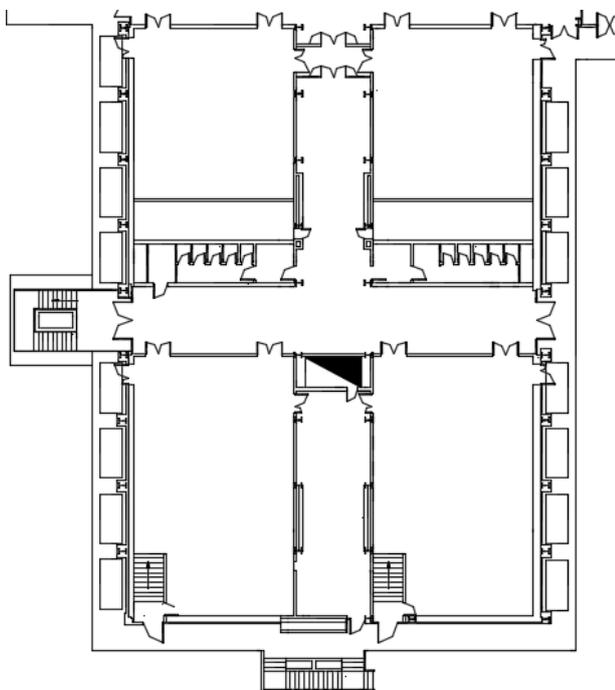


Figura 11 Ala Sud: le quattro aule didattiche A, B, C, D che si protendono fino al piano rialzato

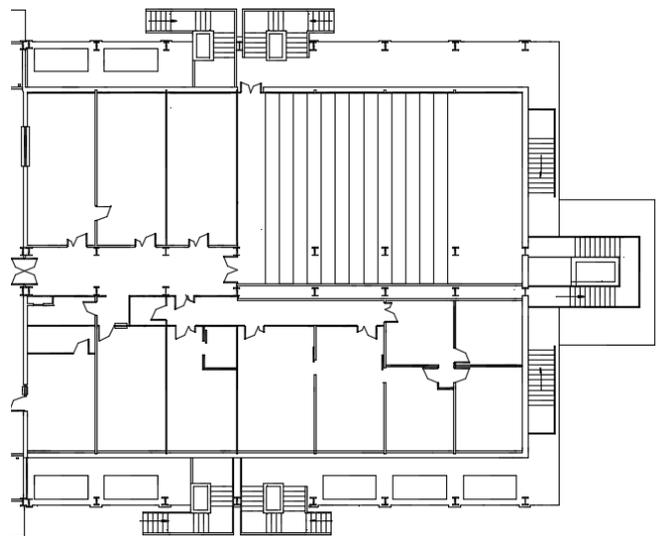


Figura 10 Ala Est: Aula didattica E, uffici Est e portineria.

Come già sottolineato precedentemente il piano terra è adibito prettamente a funzioni didattiche e di ufficio. Possiamo suddividerlo in 4 corpi principali:

- *Ala Nord* (Figura 9): nella parte Nord di essa è situato l'ufficio tecnico del complesso Vallisneri, nella parte ovest vi sono 2 biblioteche ed una copisteria, ad est una zona mista tra uffici e biblioteca.
- *Ala Sud* (Figura 11): vi sono le quattro aule principali del complesso. Hanno volumi molto elevati, tant'è che si estendono fino al piano rialzato. Le capienze massime variano dai 190 ai 210 posti (aule "A;B;C;D").
- *Ala Est* (Figura 10): in questa zona è stata collocata un'altra aula didattica da 200 posti (aula "E") adiacente ad una zona mista tra uffici e portineria.
- *Ala Ovest + Corpo Centrale* (si desume per esclusione da Figura 6): in questa zona troviamo una *Hall* di ingresso che si estende su due piani (terra + rialzato), il vano scale del corpo centrale dell'edificio, l'*aula speciale* o *aula Magna* da 250 posti, anch'essa su due piani. Sia la Hall che l'aula Magna dispongono di un "tetto indipendente" poiché svincolate dal resto dell'edificio.

2.1.2 Il piano rialzato

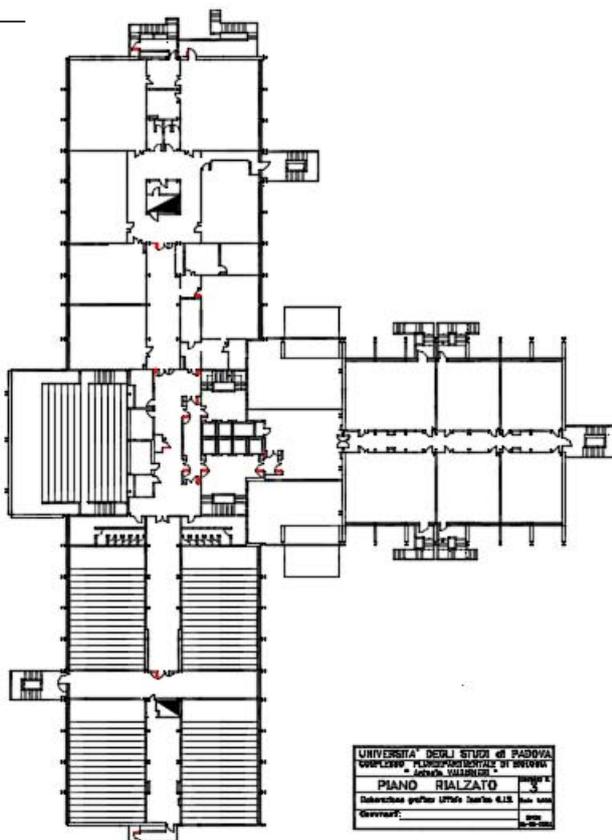


Figura 12 Pianta Piano rialzato

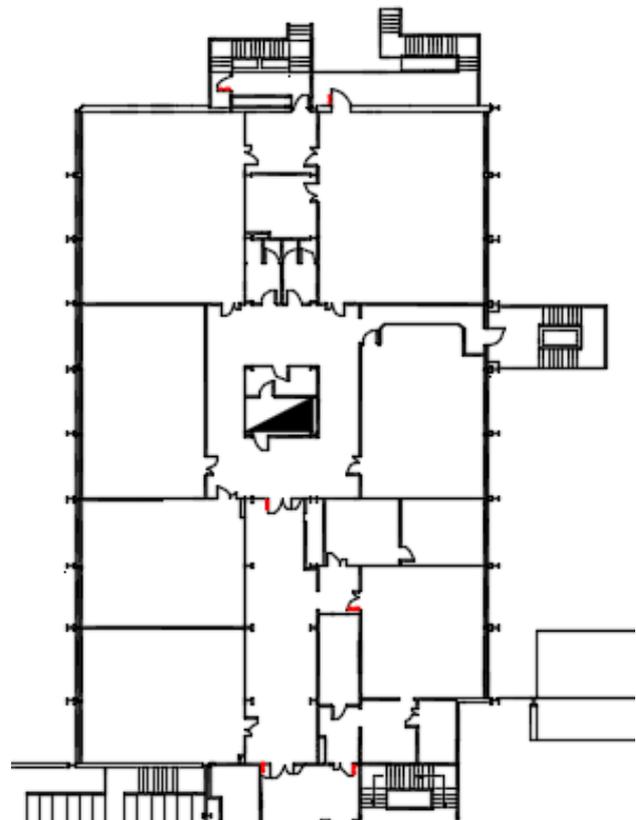


Figura 13 Piano rialzato Lato Nord.

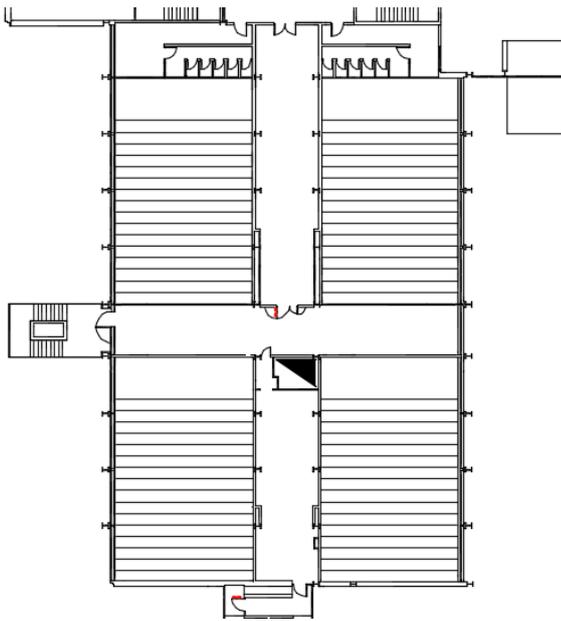


Figura 14 Piano rialzato Lato Sud

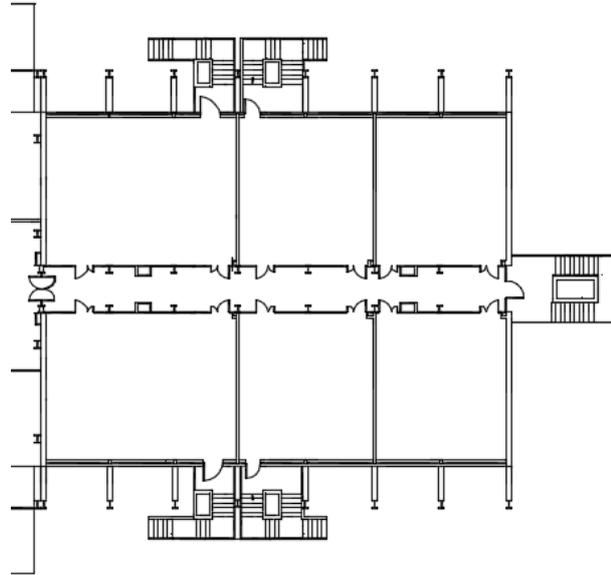


Figura 15 Piano rialzato lato Est

Anche in questo caso la suddivisione è identica:

- Ala Nord (Figura 13): complesso di sei aule didattiche di diversa capienza laboratori di ricerca
- Ala Sud (Figura 14): servizi igienici, aula studio, e parte superiore delle aule "A,B,C,D"
- Ala Est (Figura 15): complesso di sei aule didattiche
- Corpo Centrale (per esclusione in Figura 12): parte superiore aula Magna, parte superiore Hall con passerella sospesa e zona ristoro, vano scale.

2.1.3 Il piano "tipo".

I piani dal primo al sesto sono perfettamente identici sia dal punto di vista architettonico che dal punto di vista funzionale. Unica eccezione è l'ala Est del sesto piano, dedicata al Centro di Ricerca Interdipartimentale per le Biotecnologie Innovative (CRIBI) (Figura 19).

- L'ala Nord, speculare all'ala Sud, è a sua volta simmetrica. Possiamo notare dalla Figura 16 come le zone rivolte verso l'esterno dell'edificio siano suddivise letteralmente in due parti: la prima, quella più interna, è adibita a laboratori di ricerca, la seconda, più esterna, ad uffici. La parte Est dell'ala Nord è separata dalla parte Ovest da un corridoio perimetrale e da una "spina centrale". In questa zona di collegamento sono collocate diverse macchine frigorifere, rubinetterie di vario utilizzo, semplici depositi, macchine per il trattamento dell'aria (CTA a doppio condotto) ed infine i cavedi tecnici dell'impianto aeraulico. Tra l'Ala Nord e l'Ala Sud

vi sono due stanze identiche rivolte a Ovest. Esse sono servite dallo stesso impianto del semipiano corrispondente ed il loro utilizzo principale è quello di uffici o sale riunioni.

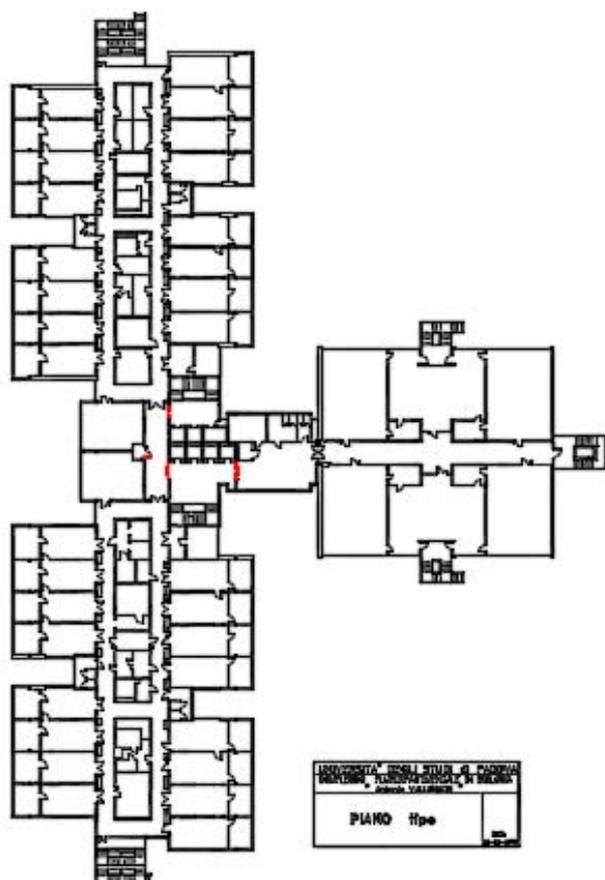


Figura 17 Piano Tipo rappresentativo dei piano compresi dal 1° al 5°

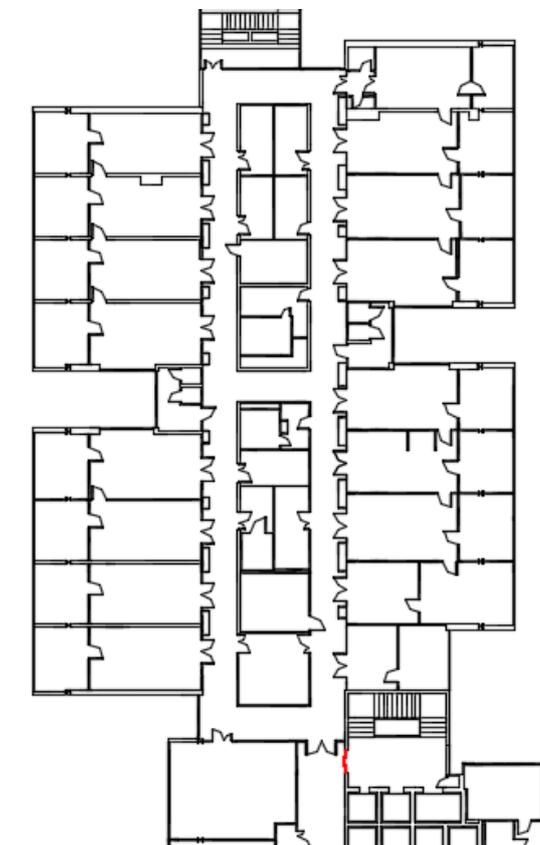


Figura 16 Ala Nord Piano Tipo

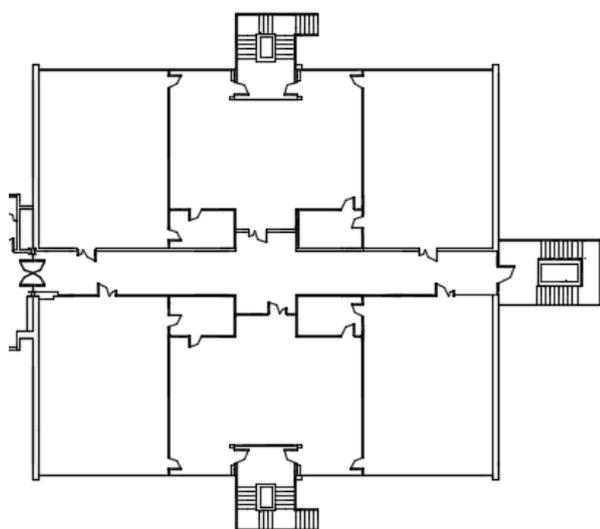


Figura 18 Ala est Piano Tipo

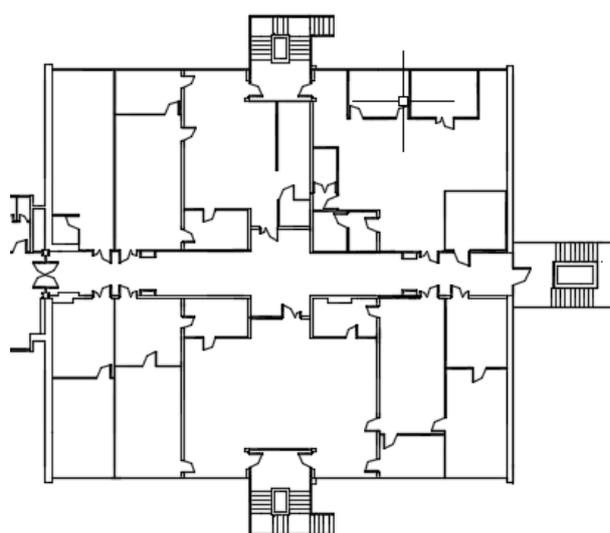


Figura 19 Ala Est Piano Sesto (CRIBI)

È importante sottolineare che, sebbene da un punto di vista generale ogni piano sembra identico all'altro, da un'attenta analisi si può notare come diverse macchine frigorifere e varie camere calde radioattive siano sparse per l'edificio, esse quindi particolarizzano quasi ogni piano dell'asse Nord/Sud a livello funzionale.

- L'ala Est (Figura 18) è simmetrica lungo l'asse Est-Ovest. All'interno di essa, vi sono sei aule adibite a laboratori didattici. È proprio per questo motivo che originariamente si pensò di non prevedere una climatizzazione estiva in tali aule, poiché il loro utilizzo era circoscritto esclusivamente alla stagione che comprende la durata delle lezioni.

Allo stato attuale, le lezioni che originariamente si esercitavano in questa zona, sono state trasferite al nuovo complesso di Biologia e Biomedicina "Fiore di Botta" situato in Via Pescarotto; ne risulta quindi un'area parzialmente, se non del tutto, inutilizzata (e per questo non riscaldata). È previsto comunque un piano di rinnovo e ristrutturazione, atto ad estendere, a livello di funzionalità l'ala Nord/Sud all'ala Est (cioè si creeranno nuovi uffici e laboratori).

- L'ala Est del sesto piano, come già sottolineato in precedenza, è adibita al CRIBI. Esso, a differenza dei piani inferiori è servito da un impianto ad aria primaria indipendente durante il periodo di raffrescamento grazie ad un sistema di fancoils e ad una CTA posta sul piano copertura (che genera appunto aria primaria riscaldata e raffrescata). Tale sistema è alimentato da acqua refrigerata staccata direttamente dalla centrale frigorifera Nord Piovego. Nel capitolo di descrizione impiantistica dell'edificio verranno spiegate le peculiarità di tale impianto.

2.1.4 Il piano interrato ed il piano 7° stabulario.

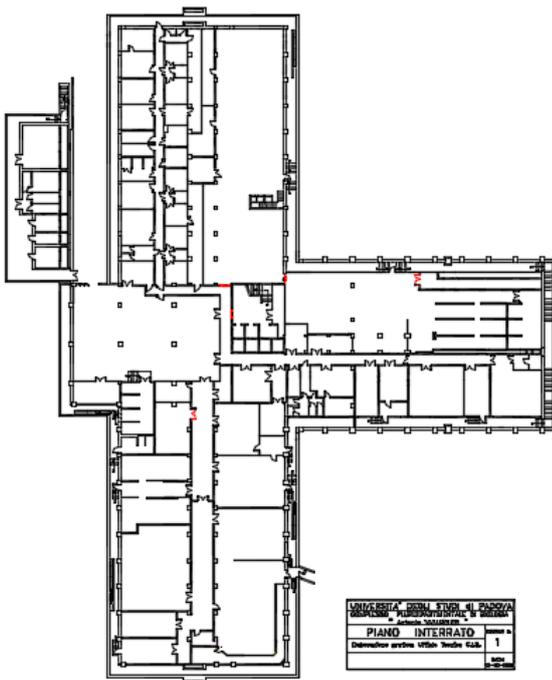


Figura 20 Interrato Piano

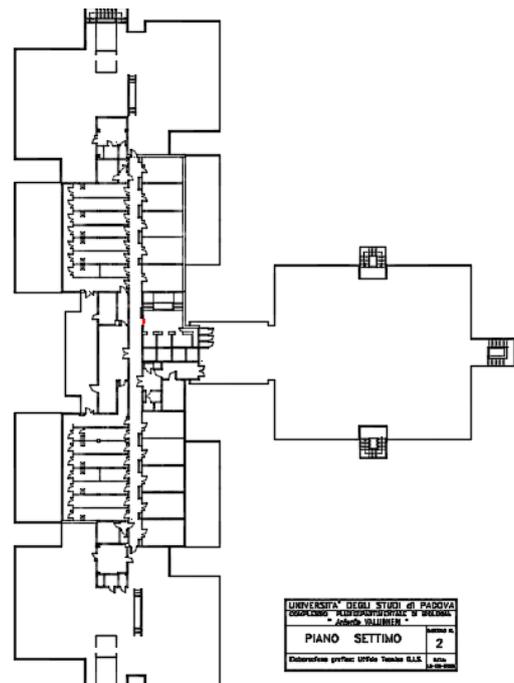


Figura 21 Piano 7° Stabulario

- Il *Piano interrato* (Figura 20) è suddivisibile in tre zone principali, con lo stesso criterio usato fino ad ora: Nord, Sud Est.

La *zona a Nord* è essenzialmente attiva, in essa vi sono diversi laboratori nella parte Ovest (Microscopia), un deposito libri comunicante con la biblioteca sovrastante del piano terra accennata in precedenza.

La *zona Sud* invece è adibita a locali tecnici, quali stazioni di sollevamento, locali Cta, locale Compressori (il sistema di regolazione dell'impiantistica, come avremo modo di vedere in seguito, è prettamente pneumatico) ed infine un locale per il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria.



Figura 23 Locale ACS con relativa stazione di sollevamento



Figura 22 Locale compressori

La *zona Est* infine è caratterizzata da un mix di locali tecnici, laboratori di ricerca e laboratori NMR (dove vi sono macchine per risonanze magnetiche nucleari) ed infine una biblioteca.

- Il *Piano stabulario* (Figura 21) è l'ultimo piano dell'edificio (7° per la suddivisione adottata, il 9° in totale). All'interno di esso vi sono gabbie di vari animali e colture particolari. La parte Nord è stata completamente ristrutturata, la parte Sud è stata invece smantellata (i lavori di rifacimento sono tutt'ora in corso). Essendo una zona con accesso limitato, è stata difficoltosa l'attività di ispezione. Comunque rimanendo un'area parzialmente funzionante, il suo peso nell'analisi dell'intero edificio che verrà proposta in seguito, è stato ritenuto trascurabile.

Si precisa, in ogni caso, che in origine l'area era stata pensata per essere indipendente (a livello di teleriscaldamento) dalla sottocentrale, inserendo delle caldaie in appositi vani tecnici sul piano copertura. Questo poiché, per le particolari esigenze, si necessitava di zone riscaldate anche durante i periodi nei quali la centrale termica Nord Piovego non era attiva.

2.2 Caratteristiche termofisiche dell'edificio

Nel seguente paragrafo verranno descritte le strutture principali dell'intero stabile. Analizzando la composizione dei vari muri, dei solai e della copertura superiore, si possono mettere in luce diverse composizioni cui corrispondono inevitabilmente diverse trasmittanze.

La descrizione delle pareti, metterà in evidenza i diversi materiali costituenti i vari strati, le caratteristiche termofisiche e il valore della trasmittanza.

Ciascun muro verrà etichettato, per rendere più agevole l'individuazione a livello grafico. La stratigrafia è descritta partendo dall'interno verso l'esterno.

La tabella riporta i materiali utilizzati nell'analisi. I valori e le caratteristiche inseriti fanno riferimento alle norme UNI 10351 e UNI/TR 11552 (2014)

	λ [W/m*K]	λ [kJ/(hmK)]	cp [kJ/kgK]	ρ [kg/m ³]
acciaio	17	61.2	2	8000
alluminio	209	752.4	0.89	2700
argilla espansa	0.12	0.432	0.92	450
bitume	0.23	0.828	3.5	1200
cartongesso	0.6	2.16	0.84	900
CLS	0.55	1.98	0.88	1400
CLS armatura leggera	1.67	6.012	0.88	2400
intercapedine d'aria s=15mm	0.026	0.0936		1.3
intonaco_int	0.7	2.52	1.01	1400
lamiera d'acciaio	17	61.2	1.99	8000
lana di roccia	0.045	0.162	0.67	30
lana di vetro	0.053	0.1908	0.8	11
linoleum	0.23	0.828	1.25	1800
massetto ordinario	1.06	3.816	1	1700
mattoni forati	0.3	1.08	0.84	1000
perlite	0.066	0.2376	0.24	100
piastrelle	1.47	5.292	1	1700
polistirene espanso	0.06	0.216	1.47	10
poliuretano espanso	0.04	0.144	1.453	35
vetro smaltato	1	3.6	0.795	2500

Tabella 1 Caratteristiche termofisiche dei materiali utilizzati come layers per l'analisi della trasmittanza termica delle pareti.

2.2.1 Pareti interne

1) Cartongesso interno

1-Cartongesso Interno				
Materiali	Spessore m	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	Trasmittanza Termica [W/m ² K]
intonaco_int	0.01	0.70	0.01	0.69
cartongesso	0.01	0.60	0.02	
lana di vetro	0.07	0.05	1.37	
cartongesso	0.01	0.60	0.02	
intonaco_int	0.01	0.70	0.01	
totale	0.12		1.44	

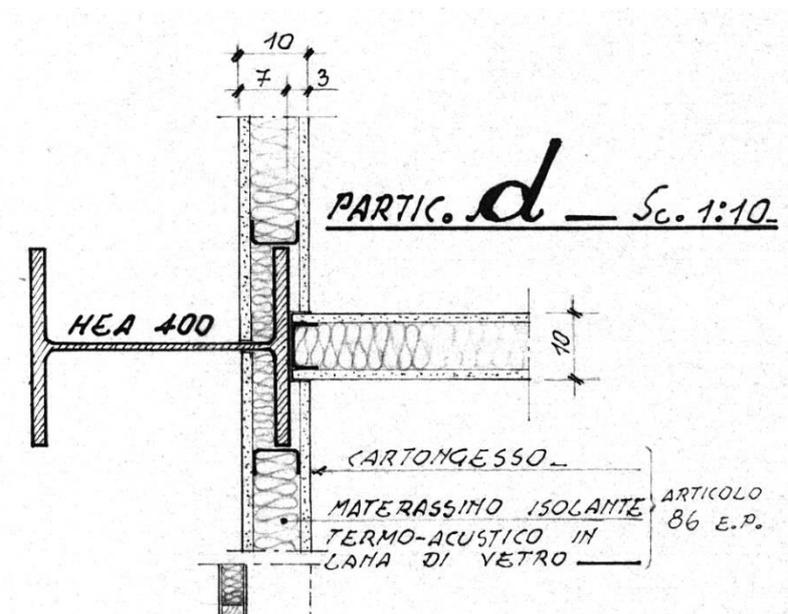


Figura 24 Particolare architettonico della parete in cartongesso interno

Il concept dell'edificio è quello di essere assolutamente flessibile a livello di modifiche architettoniche. Ad eccezione di particolari casi, quali le aule al piano terra dove è stato inserito uno strato di isolante acustico (cfr "perlite" in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) e per il vano scale dove è stato utilizzata una parete in cls di spessore pari a 25 cm, per tutte le restanti pareti interne è stato utilizzato il codice n° 1.

2.2.2 Pareti esterne

 2) Pannello in cls rifoderato con intercapedine d'aria

2-Pannello in cls con Rifodera				
Materiali	Spessore m	λ [W/mK]	R [m²K/W]	Trasmittanza Termica [W/m²K]
intonaco_int	0.02	0.70	0.02	0.76
cartongesso	0.01375	0.60	0.02	
lana di vetro	0.0525	0.05	0.99	
cartongesso	0.01375	0.60	0.02	
intercapedine d'aria	0.14	/	0.18	
pannello in cls	0.12	1.67	0.07	
totale	0.36		1.31	

Tale parete interessa esclusivamente i piani dal 1° al 6° ed è una delle poche pareti “pesanti” dell’edificio. Ricopre prettamente i lati Nord e Sud della fascia *Scientifica*, Est e Ovest della *Didattica*. È distribuita nel seguente modo (colore marrone):

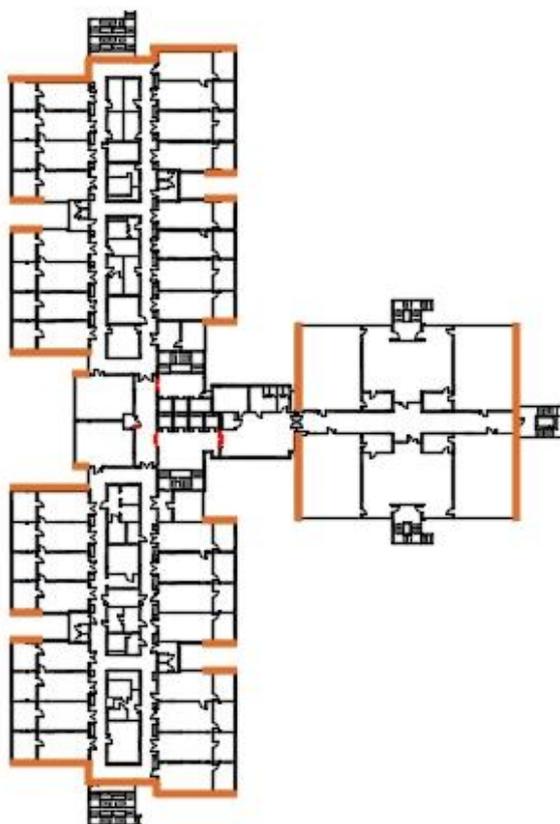


Figura 25 Distribuzione del Codice 2 sul piano tipo (1° - 6°)

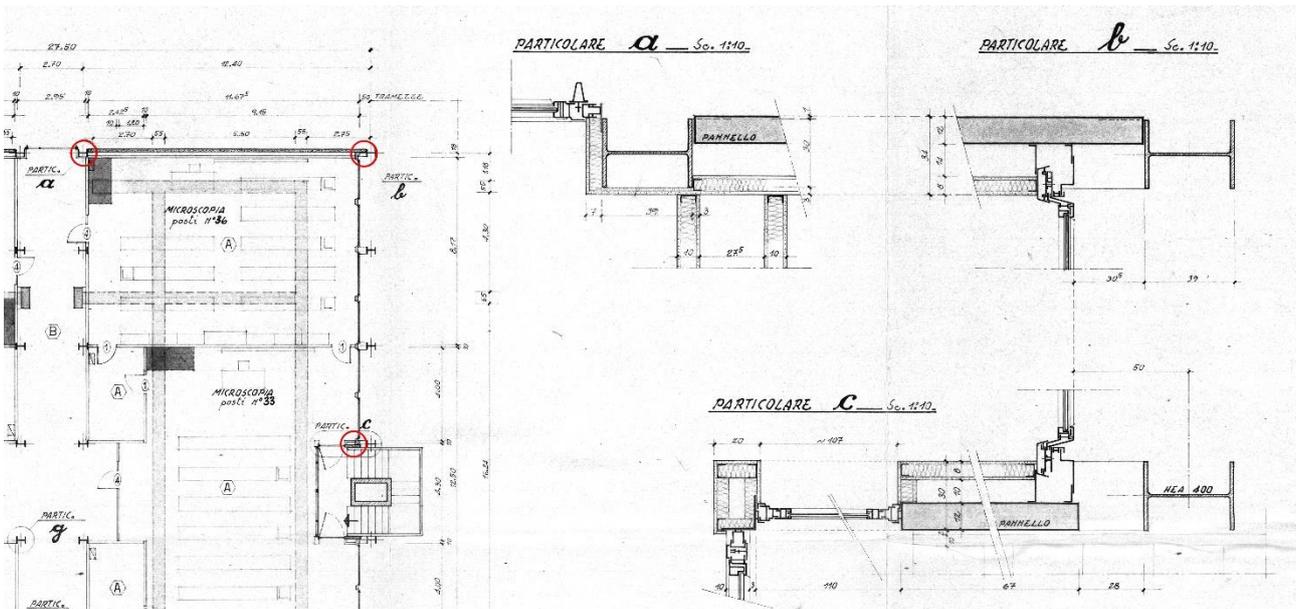


Figura 26 Particolari progettuali del codice 2 preso da una tavola descrittiva dell'ala Est Didattica.

3) Pannello in cls rifoderato

3-Pannello in cls rifodera semplice				
Materiali	Spessore m	λ [W/mK]	R [m²K/W]	Trasmittanza Termica [W/m²K]
intonaco_int	0.02	0.70	0.02	0.64
cartongesso	0.01375	0.60	0.02	
lana di vetro	0.0725	0.05	1.37	
cartongesso	0.01375	0.60	0.02	
pannello in cls	0.21	1.67	0.13	
totale	0.33		1.56	

La pannellatura prefabbricata in questione si estende su due piani, il piano terra ed il rialzato descrivendo tutto il perimetro di essi. Anche le passerelle che uniscono il vano scale di ogni piano con l'ala Est Didattica sono state costruite con lo stesso criterio.

A differenza del codice n°2 non è presente una intercapedine d'aria isolante.

4) Pannellatura in alluminio

4-Pannellatura in alluminio				
Materiali	Spessore m	λ [W/mK]	R [m²K/W]	Trasmittanza Termica [W/m²K]
alluminio	0.002	209.00	0.00	1.00
poliuretano	0.04	0.04	1.00	
alluminio	0.002	209.00	0.00	
totale	0.04		1.00	

Tale pannellatura è stata inserita in post processo di costruzione: essa infatti ricopre parti dell'edificio che inizialmente furono lasciate aperte per permettere l'inserimento in loco di tutte le attrezzature, arredi tecnici e non, macchine di utilizzo tecnico ecc. tramite un sistema di carroporti posto sul tetto dello stabile.

Il codice 4 interessa esclusivamente i piani dal 1° al 6°. La distribuzione perimetrale è evidenziata in verde in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

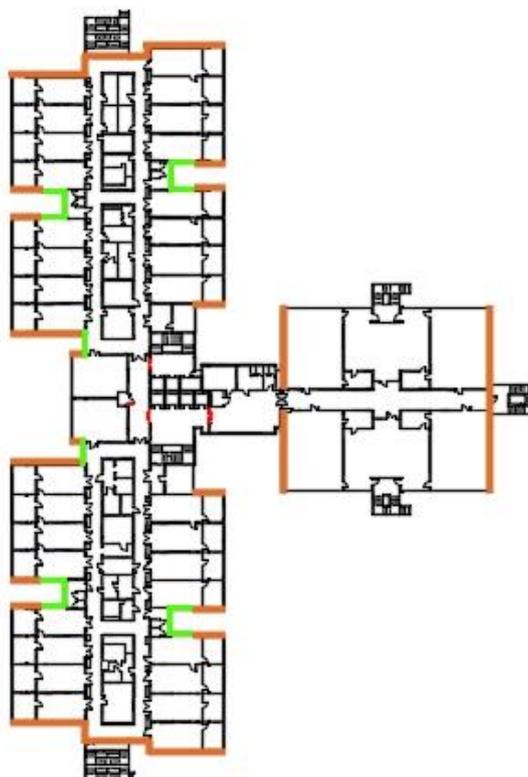
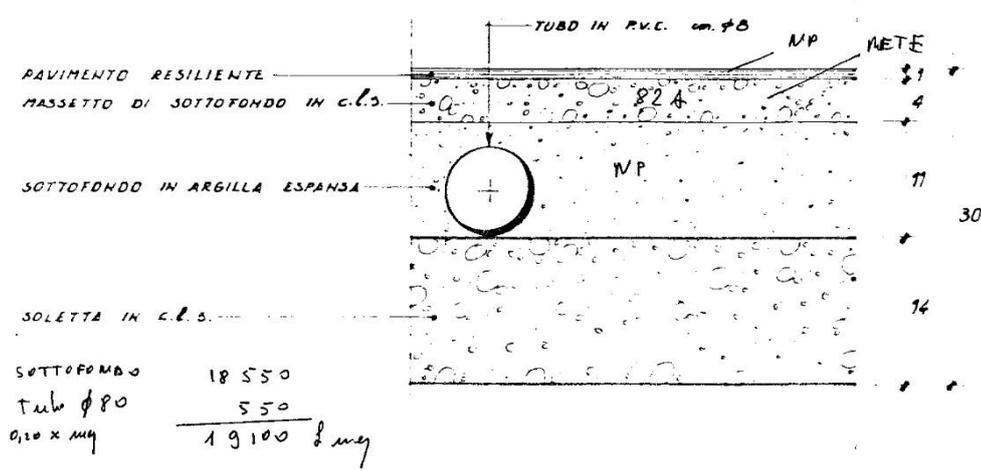


Figura 27 Pannellatura codice 4. Distribuzione perimetrale

2.2.3 Solai e soffitti

5) Solaio tipo

5-Solaio Tipo				
Materiali	Spessore m	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	Trasmittanza Termica [W/m ² K]
linoleum	0.002	0.23	0.01	0.90
massetto in cls	0.04	1.67	0.02	
sottofondo in argilla espansa	0.12	0.12	1.00	
solette in cls armato	0.14	1.67	0.08	
totale	0.30		1.12	



Ing. PIO GUARALDO S.N.C. **Impresa Generale di Costruzioni**
 Strada Castellana 31038 Paese TV tel. 95135 (3 linee)

Figura 28 Solaio (soffitto).

Dai vari disegni esaminati, vi è la certezza che, non tutto l'edificio sia caratterizzato da tale solaio. L'altra soluzione presentava dei supporti in c.a. al posto del sottofondo in argilla espansa, sui quali sono poggiati quadroni sempre in cemento. Tuttavia in mancanza di informazioni (quali ad esempio il passo di tali supporti) si è deciso di estendere il codice n°5 su tutto l'edificio. A detta dell'autore, nonostante la trasmittanza sia differente nei due casi, nel quadro complessivo è praticamente indifferente considerare l'uno o l'altro caso.

I soffitti, sono identici al solaio appena descritto con la differenza di avere una stratigrafia opposta nell'ipotesi di interno verso esterno.

6) Solaio Primo Piano Esterno

6-Solaio 1° piano Esterno				
Materiali	Spessore m	λ [W/mK]	R [m²K/W]	Trasmittanza Termica [W/m²K]
linoleum	0.002	0.23	0.01	0.26
massetto in cls	0.04	1.67	0.02	
sottofondo in argilla espansa	0.12	0.12	1.00	
solette in cls armato	0.14	1.67	0.08	
lana di roccia	0.12	0.05	2.67	
totale	0.30		3.78	

Tale codice è stato inserito per tener conto dei solai sporgenti verso l'esterno del piano 1°.

7) Tetto

7-Tetto				
Materiali	Spessore m	λ [W/mK]	R [m²K/W]	Trasmittanza Termica [W/m²K]
bitume	0.016	0.23	0.07	0.35
polistirene espanso	0.1	0.06	1.67	
massetto in cls	0.04	1.67	0.02	
sottofondo in argilla espansa	0.12	0.12	1.00	
solette in cls	0.14	1.67	0.08	
totale	0.28		2.84	

Il tetto considerato fa riferimento alla copertura dell'aula Magna e del piano 6°, e non al 7° appartenente allo stabulario.

2.2.4 Serramenti esterni

8) Finestra perimetrale rossa

Osservando l'edificio "Vallisneri" saltano immediatamente all'occhio i particolari serramenti esterni posti su tutto il perimetro del suddetto. Infatti, a differenza del piano terra e del piano rialzato che possiedono una struttura "svincolata" dal resto, i piani compresi dal primo al sesto sono caratterizzati da pannellature trasparenti che compongono gran parte delle facciate più estese dello stabile. Ponendo l'attenzione sui piani interessati, si evince che la superficie costituita da questa struttura è decisamente estesa: la superficie complessiva di facciata perimetrale tra il primo ed il sesto piano è di circa 9610 m², di cui 3850 m² di pannellatura. Esattamente il 40%.

È dunque lecito pensare che, un implementazione a livello di isolamento di questa vasta superficie, possa giocare un ruolo fondamentale per ridurre il fabbisogno energetico dell'edificio stesso.

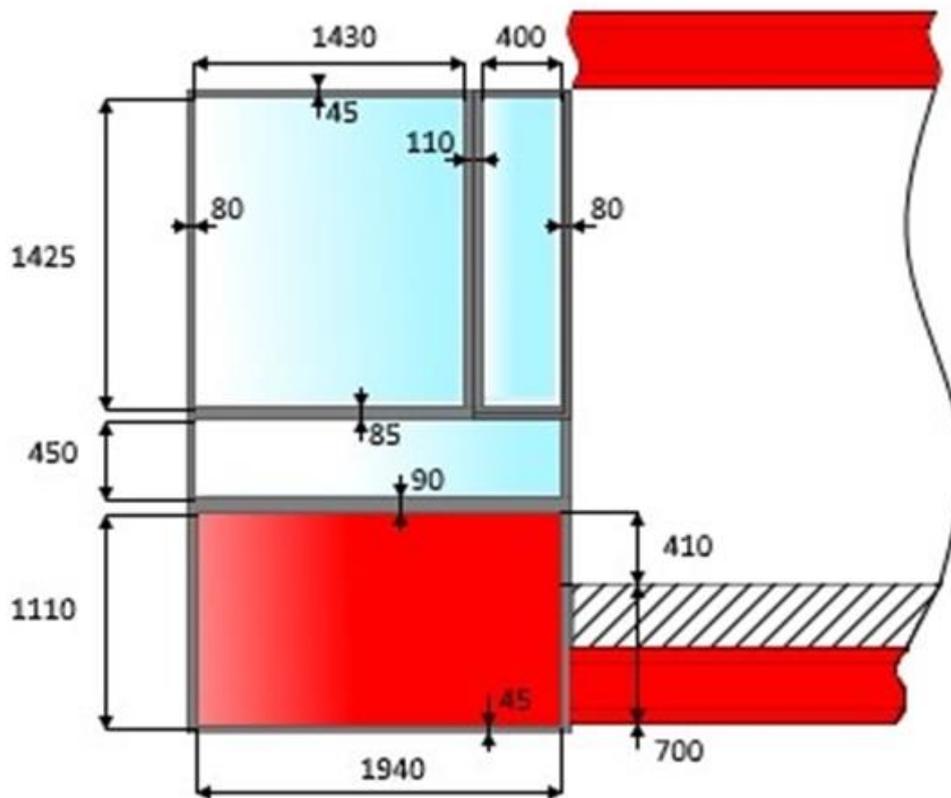


Figura 29 La finestra perimetrale analizzata: quote.

Le dimensioni principali sono 2.1m x 3.25m. Le caratteristiche peculiari sono quotate in figura e sintetizzate in tabella.

Finestra Singola	
Superficie Totale	6,825 m ²
Superficie Finestrata	3,48 m ²
Lunghezza Telaio	16,005 m
Spessore Medio (misurato)	0.075 m
Superficie Telaio	1,205 m ²
Pannello in Vetro Smaltato	2,15 m ²
di cui interessata per calcolo della trasmittanza	0,795 m ²

Come sottolineato in tabella non tutta la superficie del vetro smaltato rosso (con il corrispettivo telaio) interessa l'ambiente interno. Parte di essa infatti copre il solaio portante di 30 cm di spessore, la restante superficie invece, ricopre la putrella del piano sottostante di 40 cm.

Per il calcolo della trasmittanza quindi non si farà riferimento alla superficie totale, ma esclusivamente alla superficie di serramento che separa l'ambiente dall'esterno. Inoltre non sono ancora stati analizzati i ponti termici in corrispondenza delle putrelle, quindi nel calcolo non saranno considerati.

Dovendo utilizzare il programma di calcolo TRNSYS, il quale chiede esplicitamente di inserire tra i vari parametri della finestra il rapporto tra superficie del telaio e finestrata (A_f/A_g), non si è eseguito il classico calcolo rigoroso distinguendo le varie superfici che compongono la stessa, ma è stato opportuno realizzare un metodo *ad hoc* altrettanto valido e che meglio si adegua alle richieste del programma.

Il concetto è intuitivo: considerare la superficie finestrata a sé stante, con la propria trasmittanza, mentre il telaio sarà composto non solo dalla struttura portante in alluminio, ma verrà aggiunto ad esso il gruppo "isolante + vetro smaltato". La trasmittanza di questo *unico telaio* sarà quindi pesata in conformità con tutti questi materiali che lo compongono.

La trasmittanza termica della finestra intera è dunque:

$$U_w = \frac{A_g U_g + A_f U_f + \psi_g l_g}{A_{tot}}$$

Con:

$$A_f = A_{\text{telaioAl}} + A_{\text{isolante+vetro smaltato}}$$

$$U_f = U_{\text{telaioAl}} * \%_{\text{telaioAl}} + U_{\text{isolante+vetro smaltato}} * \%_{\text{isolante+vetro smaltato}}$$

$$\psi_g = \text{trasmissione termica lineare del distanziatore metallico} \left[\frac{W}{mK} \right]$$

(pari a 0.02 per metalli senza taglio termico)

Le tabelle seguenti portano i risultati ottenuti applicando tale procedimento di calcolo.

Vetro Smaltato + Isolante				
materiale	s [m]	l [W/mK]	R [m ² K/W]	trasmissione_vetro+isolante [W/m ² K]
acciaio	0,0015	52	2,88E-05	0,992
poliuretano	0,04	0,04	1	
vetro smaltato	0,008	1	0,008	
			1,008	

Telaio = Struttura Al + (Vetro Smaltato + Isolante)				
materiale	m ²	%	trasmissione [W/m ² K]	trasmissione Telaio [W/m ² K]
Telaio in Al_interessato	1	0,557	5,5	3,5
Vetro Smaltato+isolante interessato	0,795	0,443	0,992	
	1,795			

Finestra			
	Superficie [m ²]	Trasmittanza [W/m ² K]	U _{TOT} [W/m ² K]
Sup Vetrata	3,48	3,3	3,422
Telaio	1,79	3,5	
Ponte termico distanziatore	Lunghezza	Trasmittanza lineica [W/mK]	
	14.14	0.02	
Totale Interessata [m ²]	5,275		
A _f /A _g	0,34		

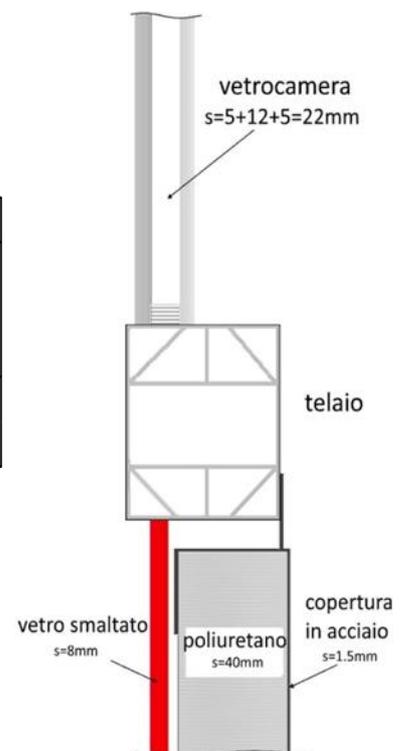




Figura 32 facciata zona scientifica Nord



Figura 31 Vista di quattro finestre all'interno di un laboratorio didattico in zona scientifica Est: si nota come la parte superiore delle stesse confini con la trave mentre la parte inferiore è ricoperta da una pellicola isolante

Complessivo su intero edificio					
	<i>Nord</i>	<i>Sud</i>	<i>Est</i>	<i>Ovest</i>	<i>TOT</i>
<i>n°finestre</i>	72	72	192	228	564
<i>Swindow [m²]</i>	491.4	491.4	1310.4	1556.1	3849.3
<i>Sw_vetrata[m²]</i>	250.56	250.56	668.16	793.44	1962.72
<i>Lframe [m]</i>	1152.36	1152.36	3072.96	3649.14	9026.82
<i>Sframe [m²]</i>	86.76	86.76	231.36	274.74	679.62

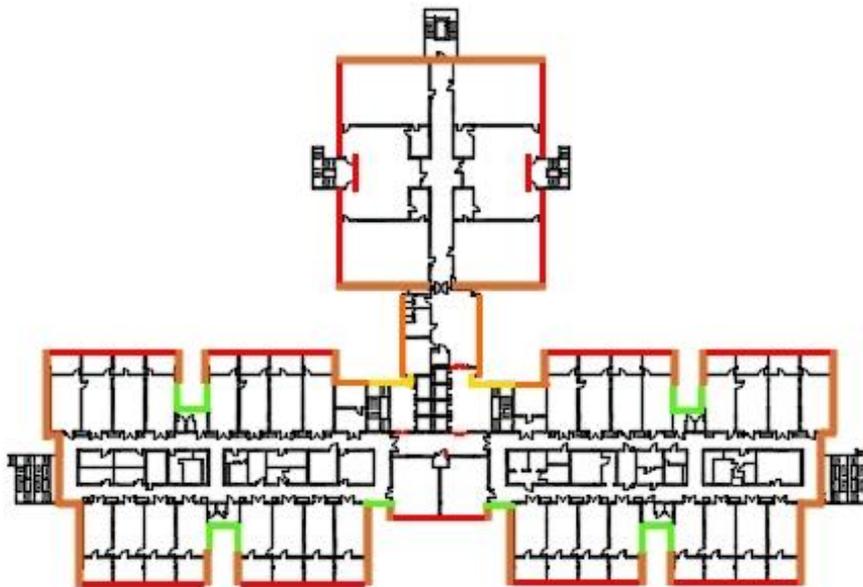


Figura 30 distribuzione perimetrale delle pareti dei piani 1°-6°

Da Figura 30 possiamo avere un'idea di come siano distribuiti i codici fin qui descritti su tutto l'edificio a livello perimetrale:

- Rosso: "Finestra perimetrale rossa" codice 8
- Giallo: "Cemento armato Vano Scale" descritto ad inizio capitolo (sezione codice 1)
- Arancio: "Pannello in cls Rifoderato" codice 3
- Verde: "Pannello in Alluminio" codice 4
- Marrone: "Pannello in cls Rifoderato con intercapedine d'aria" codice 2

9) Corpo finestrato "Bussole"

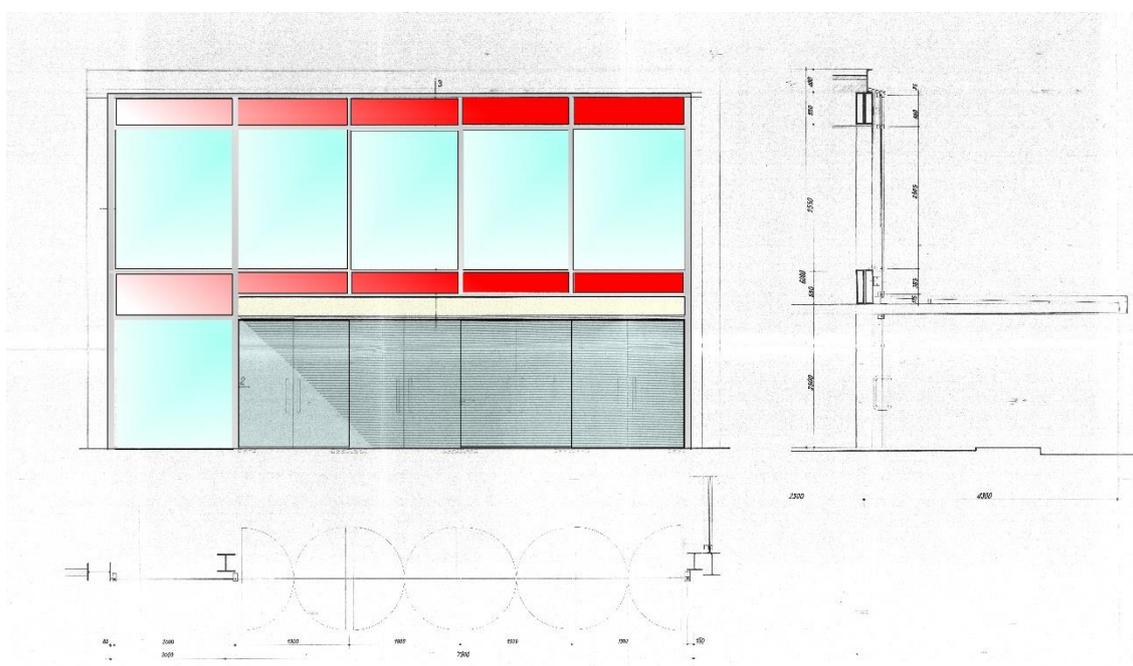


Figura 33 Bussola Sud, Disegno Preliminare

9) Bussole Nord/Sud				
telaio				
<i>materiale</i>	<i>[m²]</i>	<i>%</i>	<i>trasmissione</i> <i>[W/m²K]</i>	<i>trasmissioneTOT</i> <i>[W/m²K]</i>
<i>SupAl</i>	6.77	0.43	5.50	2.93
<i>VetroSmaltato+isolante</i>	8.96	0.57	0.99	
<i>tot</i>	15.73			
Finestra				
<i>Materiale</i>	<i>[m²]</i>	<i>U</i> <i>[W/m²K]</i>	<i>Utot</i> <i>[W/m²K]</i>	<i>At/Af</i>
<i>Sup. Vetrata</i>	48.00	2.80	2.86	0.25
<i>Telaio</i>	15.73	2.93		
<i>Sup Totale</i>	63.73			

Così come per il codice 8, lo stesso procedimento è stato utilizzato per calcolare i parametri delle bussole Nord e Sud di ingresso alla Hall. Si segnala che la trasmittanza della superficie vetrata, è stata presa dalla libreria del programma TRNBuild che offre un'ampia scelta di parametri con caratteristiche simili al caso reale. La scelta è ricaduta su una finestra corrispondente ad un doppio vetro 4-16-4 con le seguenti caratteristiche:

IDnumber : 1002

$U_{value} = 2.8 \text{ W/m}^2\text{K}$

$g_{value} = 75.5 \%$

10) Finestra Passerella

10) Passerella



Figura 34: La componente finestrata del corpo di collegamento.

È la finestra caratteristica del corpo di collegamento tra la zona Didattica Est e la zona Scientifica Nord-Sud. Interessa quindi solo i piani dal 1° al 6°, sono in totale 10 per piano. Da come si può dedurre in Figura 34 è composta essenzialmente da due parti con differente orientazione:

- *Verticale*: include il corpo finestrato effettivo
- *Inclinata*: è composta da una lamiera metallica (Alluminio) isolata internamente.

Anche in questo caso come per il codice 9, si è deciso di scegliere la finestra IDnumber:1002 con doppio vetro, dagli stessi parametri termo fisici.

dimensioni totali			
<i>b</i> [m]	<i>h</i> [m]	<i>Stot</i> [m ²]	<i>Sfinestra</i> [m ²]
0.975	1.6	1.56	0.525675

Piastra Isolata				
<i>Materiale</i>	<i>s</i> [m]	λ [W/mK]	<i>R</i> [m ² K/W]	<i>Trasmittanza Termica</i> [W/m ² K]
<i>Alluminio</i>	0.0015	209	7.18E-06	2.00
<i>Poliuretano</i>	0.02	0.04	0.50	
<i>Alluminio</i>	0.0015	209	7.18E-06	
			0.50	

Telaio			
<i>Materiale</i>	[m ²]	<i>U</i> [W/m ² K]	<i>U telaio</i> [W/m ² K]
<i>Struttura in Al</i>	0.57	5.50	3.92
<i>Piastra Isolata</i>	0.47	2.00	
<i>Totale</i>	1.03		

Finestra				
<i>Materiale</i>	[m ²]	<i>U</i> [W/m ² K]	<i>Utot</i> [W/m ² K]	<i>At/Af</i>
<i>Sup. Vetrata</i>	0.78	2.83	3.45	0.57
<i>Telaio</i>	1.03	3.92		
<i>Sup Totale</i>	1.81			

11) Finestra con Pannelli Semplici


Tale codice è stato inserito per considerare tutti i corpi finestrati che consentono di illuminare naturalmente alcune zone di collegamento:

- Vani Scale 1°-6° piano
- Pareti esterne dei corridoi Scientifica Nord e Sud
- Snodo tra “Sale Riunioni Ovest” ed i corrispettivi semipiani

Le dimensioni principali sono esattamente identiche a quelle del codice 8. Le caratteristiche peculiari e le prestazioni sono illustrate in tabelle

11) Finestra con Pannelli Semplici				
Piastra Isolata				
Materiale	s [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	Trasmittanza Termica [W/m ² K]
Alluminio	0.002	209	9.57E-06	1.00
Poliuretano	0.04	0.04	1.00	
Alluminio	0.002	209	9.57E-06	
			1.00	
Telaio				
Materiale	[m ²]	%	U [W/m ² K]	U telaio [W/m ² K]
Struttura in Al	1.22	0.68	5.50	4.16
Piastra Isolata	0.76	0.42	1.00	
Totale	1.98			
Finestra				
Materiale	[m ²]	U [W/m ² K]	U _{tot} [W/m ² K]	At/Af
Sup. Vetrata	3.38	2.83	3.32	0.37
Telaio	1.98	4.16		
Sup Totale	5.36			

12) Finestra Standard 1



Figura 35: Finestra perimetrale piano terra e rialzato

Tale codice è stato inserito per considerare tutti i corpi finestrati caratteristici dei piani Terra Rialzato, 7° Stabulario. Sono formati da moduli esattamente identici e ricoprono tutto il lato est e ovest dello stabile lato Scientifico, Nord e Sud lato Didattica. Le stesse caratteristiche termofisiche dei materiali sono state utilizzate anche per il computo della trasmittanza dei corpi finestrati delle aule didattiche A,B,C,D Piano Terra lato Sud, ovviamente facendo riferimento alle superfici finestrate di queste zone.

Dimensioni Totali				
<i>b</i> [m]	<i>h</i> [m]	<i>Stot</i> [m ²]	<i>Svetrata</i> [m ²]	<i>Stelaio</i> [m ²]
4.2	1.7	7.14	5.9136	1.2264
Finestra				
<i>Materiale</i>	[m ²]	<i>U</i> [W/m ² K]	<i>U_{tot}</i> [W/m ² K]	<i>At/Af</i>
<i>Sup. Vetrata</i>	5.9136	2.83	2.34	0.17
<i>Telaio</i>	1.2264	0.00		
<i>Sup Totale</i>	7.14			

13) Finestra Standard 2

Le trasmittanze delle componenti vetrate rimanenti sono state calcolate utilizzando sempre le caratteristiche di TRNBuild descritte precedentemente:

IDnumber : 1002

$U_{\text{value}} = 2.8 \text{ W/m}^2\text{K}$

$g_{\text{value}} = 75.5 \%$

sono le finestre che illuminano la zona WC ed parte di alcuni laboratori (poste lateralmente) dei piani 1°-6° Scientifica. Sono localizzate negli stacchi che suddividono i vari semipiani Nord e Sud come si può vedere da figura.



Figura 36: Finestre WC degli snodi tra semipiano.



Figura 37: Finestre del codice 13i collocate lateralmente agli snodi in zona Laboratori/Uffici

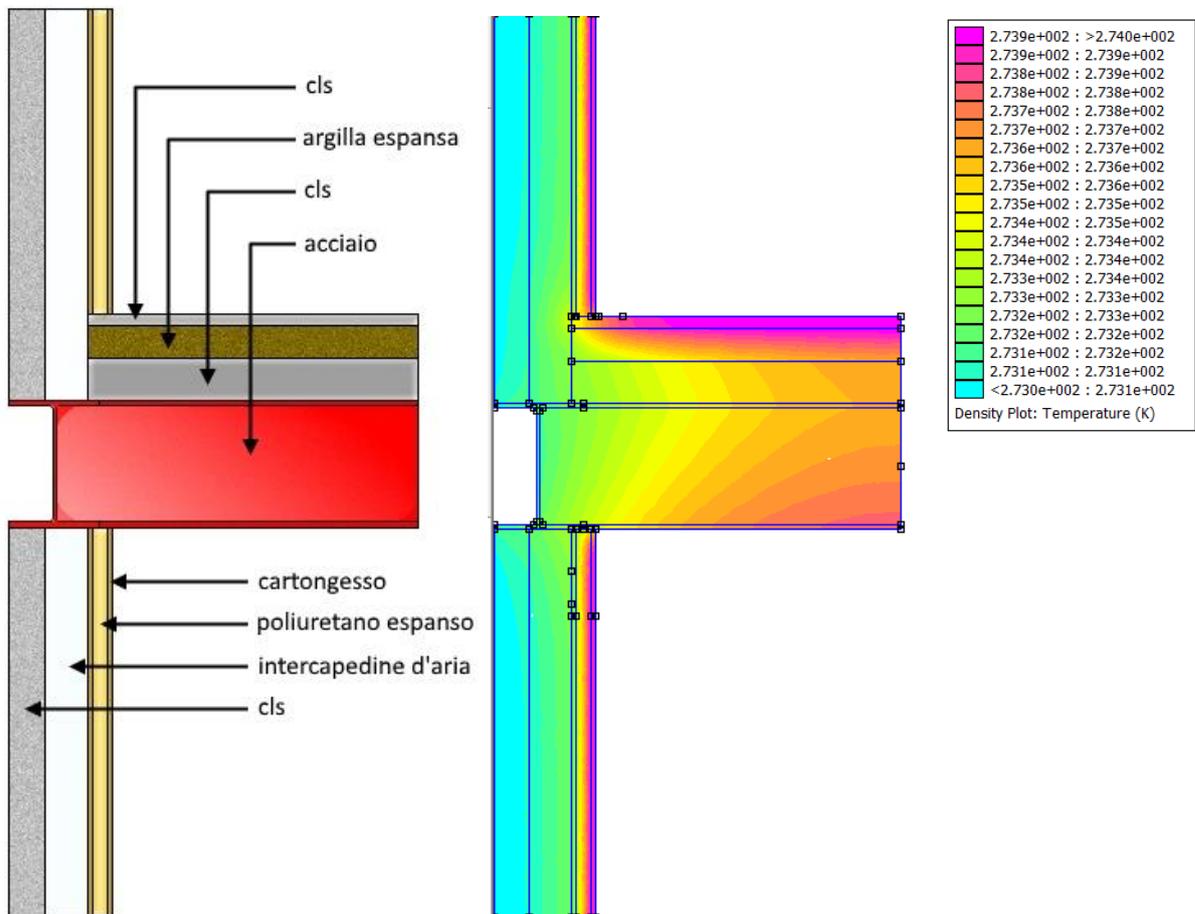
14) Altre Finestre

Le uniche finestre non modulari o comunque non codificabili, sono collocate nella zona Uffici Nord. I valori di riferimento sono identici al codice precedente.

2.2.5 Il ponte termico



Figura 38 In giallo, il Ponte termico analizzato



Il ponte termico “TRAVE A VISTA” salta immediatamente all’occhio osservando l’edificio. È l’unico ponte termico considerato nell’analisi in mancanza di dati al riguardo di altri ponti termici di caratteristiche assolutamente paragonabili e fonti di aumenti del fabbisogno termico dell’involucro.

Utilizzando il software ad elementi finiti “Mirage” ed imponendo un $\Delta T = 1K$ tra ambiente interno ed esterno è stata ottenuta una trasmittanza lineica pari a

$$\psi = 2.89 \text{ W/mK}$$

Tale valore è stato inserito all’interno della simulazioni sulle lunghezze delle pareti opache esterne in pannellatura prefabbricata in cemento (Figura 25).

2.3 Gli impianti aeraulici e la Sottocentrale Termica

2.3.1 Impianto di termoventilazione ed estrazione dell'aria viziata per ognuna delle aule del corpo didattico Est dal 1° al 5° piano compresi

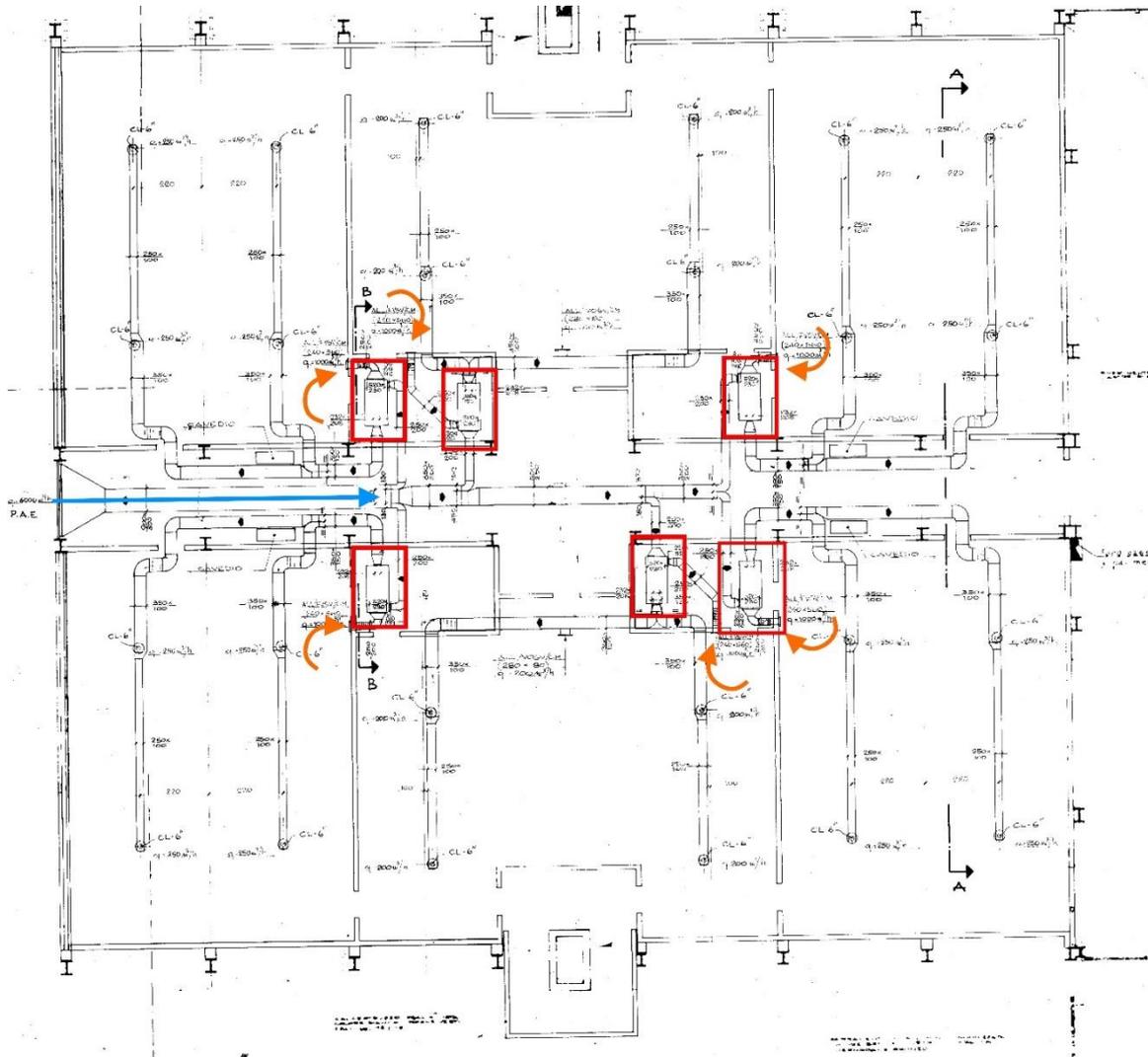


Figura 39 Impianto di termoventilazione di un piano tipo Ala Est Didattica

Volume Lordo	2360 m ³
riscaldamento	✓
raffrescamento	x
N° centrali di trattamento aria	6
Portata elaborata da ciascuna uta	1000 m ³ /h
Espulsione	cappe

Le aule del corpo didattico sono dotate ciascuna di proprio ed indipendente impianto di termoventilazione. Esso è costituito da una CTA composta da una sezione di presa di aria esterna ed una di ricircolo separate da serrande comandate ciascuna da servopistone proporzionale pneumatico. La CTA è composta inoltre da una sezione di filtri, da una sezione riscaldante, da una ventilante con ventilatore centrifugo.

Ogni piano dell'ala Est è servito (solo in riscaldamento) da un totale di 6 macchine del tipo appena descritto, ognuna delle quali elabora una portata massima di 1000 m³/h (in rosso).

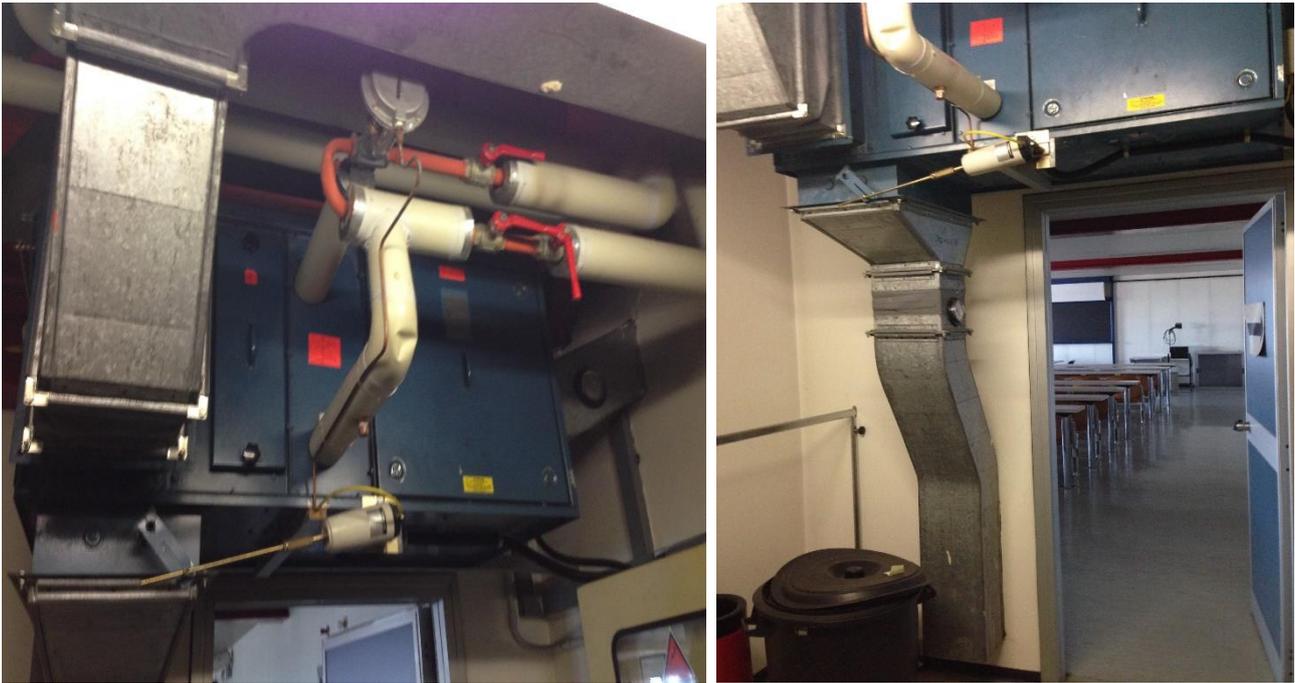


Figura 40 Una delle sei Uta di zona che si occupa del riscaldamento e ventilazione di un' aula nell' ala Est Didattica. Nella foto di sinistra si notano inoltre, gli attacchi della batteria calda ed il sistema di regolazione pneumatico che muove la serranda posta tra presa d'aria esterna (in alto) e ricircolo (in basso)

Il ventilatori prelevano l'aria esterna da un canale comune (6000 m³/h in azzurro) le cui griglie esterne sono poste nella parete est. La portata viene quindi filtrata e riscaldata e distribuita per mezzo di condotte e diffusori nell'aula.

Il ricircolo è effettuato mediante griglie poste in ambiente e collegate tramite canale alla apposita sezione della macchina (in arancio).

Ogni aula è dotata di cappa collegata con la tubazione in pvc ad un ventilatore centrifugo di estrazione posto sul piano copertura dell'edificio. Ogni cappa oltre a svolgere la mera funzione di esercizio estraendo prodotti aeriformi contenenti agenti chimici, si attiva contribuendo all'espulsione dell'aria viziata in ambiente.

Il rinnovo dell'aria esterna può essere variato manualmente fino alla portata massima introdotta dal ventilatore di mandata, tramite un variatore manuale delle serrande di regolazione. Esso si attiva con degli interruttori elettrici a risposta pneumatica ed agisce sugli estrattori di espulsione in ambiente (cappe).

Le condotte di rinnovo esterno e di ripresa quindi, sono dimensionate per l'intera portata di immissione in ambiente, si può cioè realizzare una regolazione "a tutta aria esterna", "a tutto ricircolo" o "a miscelazione" a seconda dell'affollamento interno.

La regolazione automatica è per l'appunto di tipo pneumatica: un trasmettitore di temperatura ambiente regola la temperatura di riscaldamento agendo sulla valvola a tre vie posta sull'alimentazione dell'acqua calda della batteria.

La temperatura invernale da ottenere dai suddetti impianti è stata dichiarata pari a 20 °C in ambiente.

L'ala Est dal 1° al 5° piano è praticamente scesa in disuso per via del trasferimento delle funzioni svolte all'interno di essa nel "nuovo edificio Fiore di Botta".

È lecito quindi, pensare di modificare o migliorare la gestione delle macchine e dei condotti aereaulici dell'ala Est a seconda dell'utilizzo che si desidera finalizzare all'interno di essa. I problemi fondamentali che "affliggono" tale area non sono trascurabili:

- Assenza della rete di teleraffrescamento
- Regolazione delle serrande di miscelazione quasi o del tutto non funzionante: queste ultime infatti sono spesso bloccate in una posizione (o a tutta aria esterna o a tutto ricircolo o a metà) rendendo inefficiente il sistema di regolazione pneumatico.
- I canali di distribuzione sono spesso ostruiti, provocando perdite non quantificabili nelle portate di immissione.

Le caratteristiche dell'impianto fin qui descritte non sono quindi da considerarsi effettive, poiché nel corso degli anni è venuto a meno il principio stesso per il quale è stato concepito.

A detta dell'autore è importante sottolineare che, in un impianto con portate di ventilazione così elevate, si debba necessariamente predisporre di un recupero dell'aria espulsa (ad esempio sfruttando i cavedi e recuperando sul tetto con uno scambiatore aria acqua ad esempio, lasciando alle cappe l'esclusiva funzione di espulsione di agenti chimici). Questo farebbe diminuire in maniera davvero significativa il fabbisogno energetico dell'ala Est. Poiché la stessa è già in procinto di ristrutturazione, si dovrebbe valutare in maniera ponderata, l'opzione di agire sull'impianto oltre che sull'architettonico seppur scendendo al compromesso di tempistiche di realizzazione più dilatate.

2.3.2 Impianto di termoventilazione ed estrazione dell'aria viziata delle sei aule del piano rialzato del corpo didattico Est



Figura 41 Impianto di termoventilazione di un piano tipo Ala Est Didattica

Volume Lordo	1920 m ³
riscaldamento	✓
raffrescamento	x
N° centrali di trattamento aria	6
Portata elaborata da ciascuna uta	2x 1800 m ³ /h 4x 1000 m ³ /h
Espulsione	Estrattori Elicoidali

Gli impianti di termoventilazione sono analoghi a quelli appena descritti.

Le sei centraline sono installate nel controsoffitto del corridoio di accesso alle aule. L'aria esterna viene prelevata in corrispondenza della parete Est tramite un unico canale.

L'aspirazione dei canali di ripresa è posta nella parete delle aule rivolte verso il corridoio principale. Esso, assieme alla canalizzazione di aria esterna di rinnovo, convoglia nella macchina realizzando miscelazione nella stessa. Le condotte di rinnovo esterno e di ripresa, sono dimensionate per l'intera portata di immissione in ambiente, si può cioè realizzare una regolazione "a tutta aria esterna", "a tutto ricircolo" o appunto "a miscelazione" a seconda dell'affollamento interno. La regolazione tramite serrande è identica alle macchine descritte nel paragrafo precedente.

A differenza dei piani superiori le aule al piano rialzato non sono dotate di cappe di aspirazione. L'espulsione dell'aria avviene per mezzo di estrattori elicoidali a parete (due per le aule da 50 posti e tre per quelle da 90). Il canale di aria esterna è dimensionato per 7600 m³/h

Quattro macchine elaborano portate di 1000 m³/h e servono le quattro aule più piccole a Est, due macchine elaborano 1800 m³/h servendo due aule più ampie adiacenti la hall dell'edificio.

2.3.3 Impianto di termoventilazione ed estrazione dell'aria viziata per ognuna delle sei aule del piano rialzato del corpo scientifico Nord

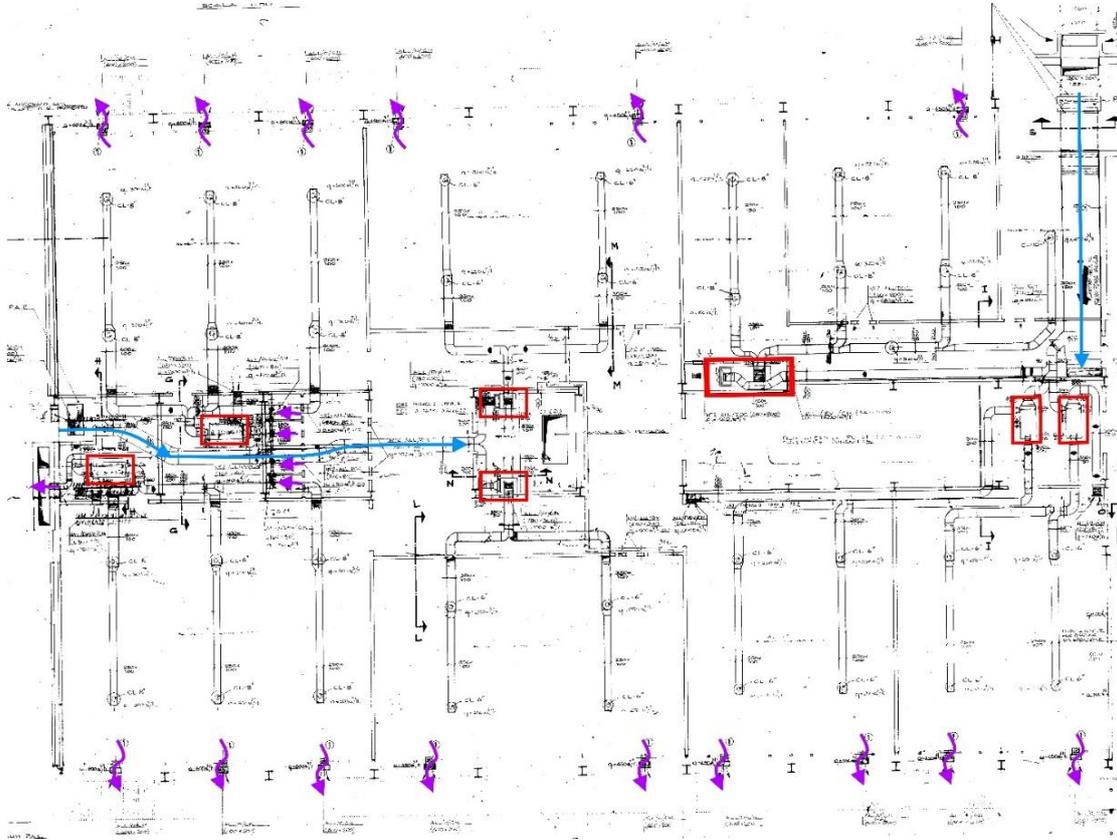


Figura 42 Impianto di termoventilazione di un piano piano Rialzato Corpo Scientifico Nord

Volume Lordo	1920 m ³
riscaldamento	✓
raffrescamento	✗
N° centrali di trattamento aria	6
Portata elaborata da ciascuna uta	2x 1800 m ³ /h 5x 1000 m ³ /h
Espulsione	Estrattori Elicoidali

I suddetti impianti sono identici a quelli descritti per le aule piano rialzato didattico.

Le 6 unità termoventilanti sono installate rispettivamente

- A soffitto dei locali di disimpegno adiacenti alle aule più capienti (n°2)
- Nel locale tecnico adiacente ai servizi (n°2)
- Nel controsoffitto della zona di ingresso scientifico lato sud (n°2)

Per i 4 locali più a Nord l'aria esterna viene prelevata in corrispondenza delle scale di emergenza a adiacenti le aule della zona stessa, nel vano tecnico tra le 2 aule più capienti il canale è dimensionato per una portata di aria esterna pari a 5600 m³/h. Da qui partono le canalizzazioni aerauliche che vanno ad interessare la varie cta locali. La cta delle due aule più capienti elaborano 1800 m³/h, le altre due i restanti 2000 suddivisi equamente.

L'aspirazione dei canali di ripresa è posta nella parete delle aule rivolte verso il corridoio principale. Esso, assieme alla canalizzazione di aria esterna di rinnovo, convoglia nella macchina realizzando miscelazione nella stessa. Le condotte di rinnovo esterno e di ripresa, sono dimensionate per l'intera portata di immissione in ambiente, si può cioè realizzare una regolazione "a tutta aria esterna", "a tutto ricircolo" o appunto "a miscelazione" a seconda dell'affollamento interno. La regolazione tramite serrande è identica alle macchine descritte nel paragrafo precedente.

A differenza dei piani dell'ala Est le aule al piano rialzato Nord non sono dotate di cappe di aspirazione. L'espulsione dell'aria avviene per mezzo di estrattori elicoidali posti sulle pareti esterne degli ambienti dimensionati per elaborare tutta la portata immessa.

L'estrazione dei bagni è realizzata con canale aeraulico indipendente il quale espelle l'aria sempre nella zona Nord adiacente le scale di emergenza, che per altro, è posto vicino all'aspirazione dell'impianto appena descritto.

I locali rimanenti della zona nord (ad eccezione del corridoio), sono serviti dalla stessa tipologia di impianto, l'unica differenza consta nel canale di rinnovo di aria esterna, le cui serrande di aspirazione sono poste sulla copertura del piano terra al di sopra della "bussola Nord". Le tre UTA sono poste nel controsoffitto del corridoio ed elaborano una portata di 1000 m³/h.

2.3.4 Impianto di condizionamento e CTA dell'Aula Magna al piano terra-rialzato corpo scientifico

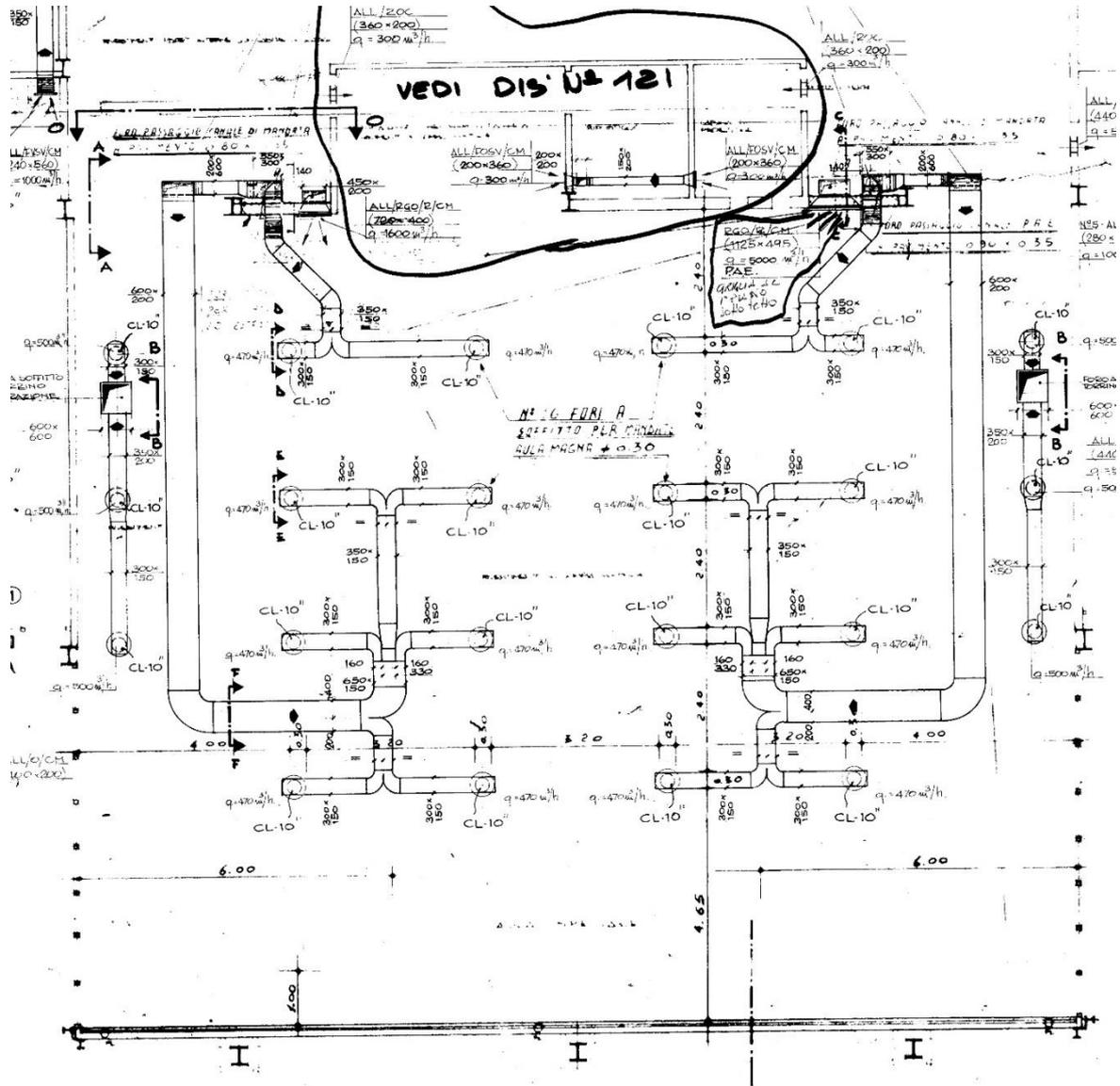


Figura 43 Impianto aerulico dell' Aula Magna piano terra-rialzato lato Ovest dell' edificio

Volume Medio Aula	1000 m ³
Riscaldamento	✓
Raffrescamento	✓
N° centrali di trattamento aria	1
Portata elaborata da ciascuna uta	7500 m ³ /h
Espulsione	Torrette di estrazione sul tetto del piano rialzato

L'impianto per l'aula speciale è realizzato con una cta indipendente ubicata al piano interrato in un apposito locale tecnico.

L'aria esterna viene aspirata sopra il tetto dell'aula stessa e convogliata alla macchina tramite condotte.

L'aria di recupero viene prelevata, tramite griglie di transito, al vano sotto le gradonate dell'aula, aspirata dalla macchina tramite apposite canalizzazioni.

L'unità di trattamento aria elabora una portata massima di 7500 m³/h ed è composta da:

- Sezione di presa d'aria esterna e ricircolo, completa di serrande dotate ognuna di servocomando
- Sezione filtrante
- Sezione di raffreddamento e deumidificazione
- Sezione di riscaldamento invernale utilizzata anche come post riscaldamento estivo
- Sezione umidificante di tipo adiabatico
- Bacinella di raccolta condensa
- Separatore di gocce
- Sezione ventilante

L'estrazione dell'aria avviene tramite anemostati costeggianti le pareti esterne e collegati a 2 estrattori posti sul tetto della stessa aula.

La regolazione della cta è effettuata come segue:

ESTATE: un trasmettitore di temperatura pneumatico da canale controlla la temperatura dell'aria all'uscita della batteria refrigerante esso è collegato ad un ricevitore pneumatico tarato a 13 °C agente sulla valvola a tre vie proporzionale posta sull'alimentazione dell'acqua refrigerata della batteria.

INVERNO: un trasmettitore di temperatura da condotta è tarato a 24 °C per il controllo dell'aria in uscita dalla batteria di preriscaldamento. Un trasmettitore di temperatura ambiente, anch'esso pneumatico, regola la temperatura tramite il ricevitore regolatore pneumatico di postriscaldamento agendo sulla 3 vie miscelatrice posta sulla alimentazione della batteria di postriscaldamento.

Vi è inoltre un umidostato ambiente tarato al 50% di UR che agisce sulla pompa della sezione umidificante.

La funzione principale dell'aula magna è quella di accogliere le proclamazioni di laurea delle facoltà di biologia, economia, ingegneria, ecc. In questi periodi è utilizzata al massimo della capienza, e quindi al massimo carico durante la stagione di raffrescamento. Tuttavia l'aula stessa è spesso utilizzata anche per accogliere conferenze di vario genere, soprattutto nel fine settimana quando la

centrale frigorifera è spenta per la maggior parte della giornata. A questo scopo sono state installate delle pompe di calore ad espansione diretta attivabili manualmente tramite comando digitale.

2.3.5 Impianto di condizionamento e CTA delle 4 aule al piano terra-rialzato del corpo scientifico lato Sud

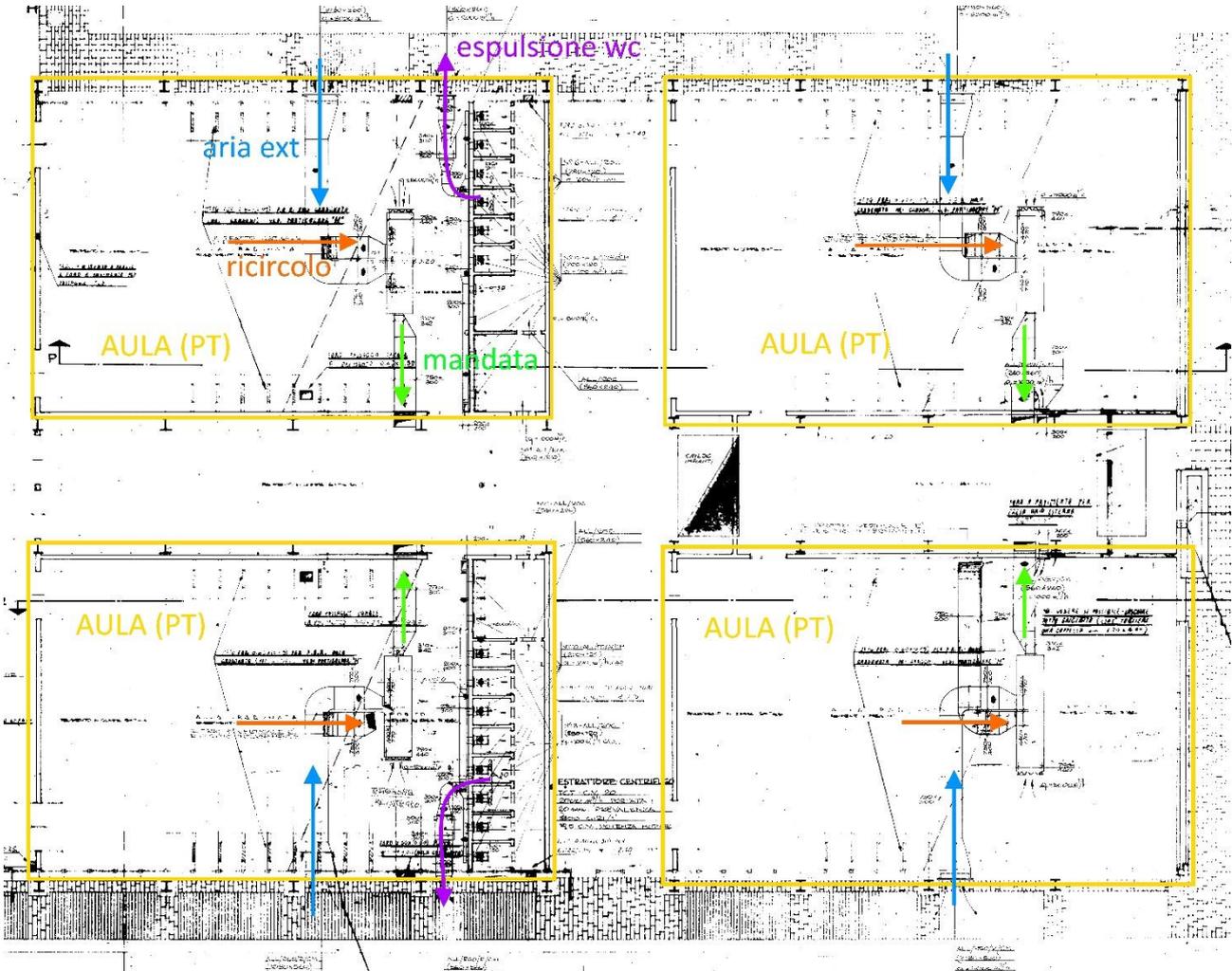


Figura 44 Impianto di Termoventilazione delle 4 aule al Piano Terra Sud dell'edificio. Sezione "locale Uta" posto al di sotto delle gradonate delle aule

Volume Medio di un'Aula	550 m ³
Riscaldamento	✓
Raffrescamento	✓
N° centrali di trattamento aria	4
Portata elaborata da ciascuna Uta	4x 1000 m ³ /h
Espulsione	Piano interrato

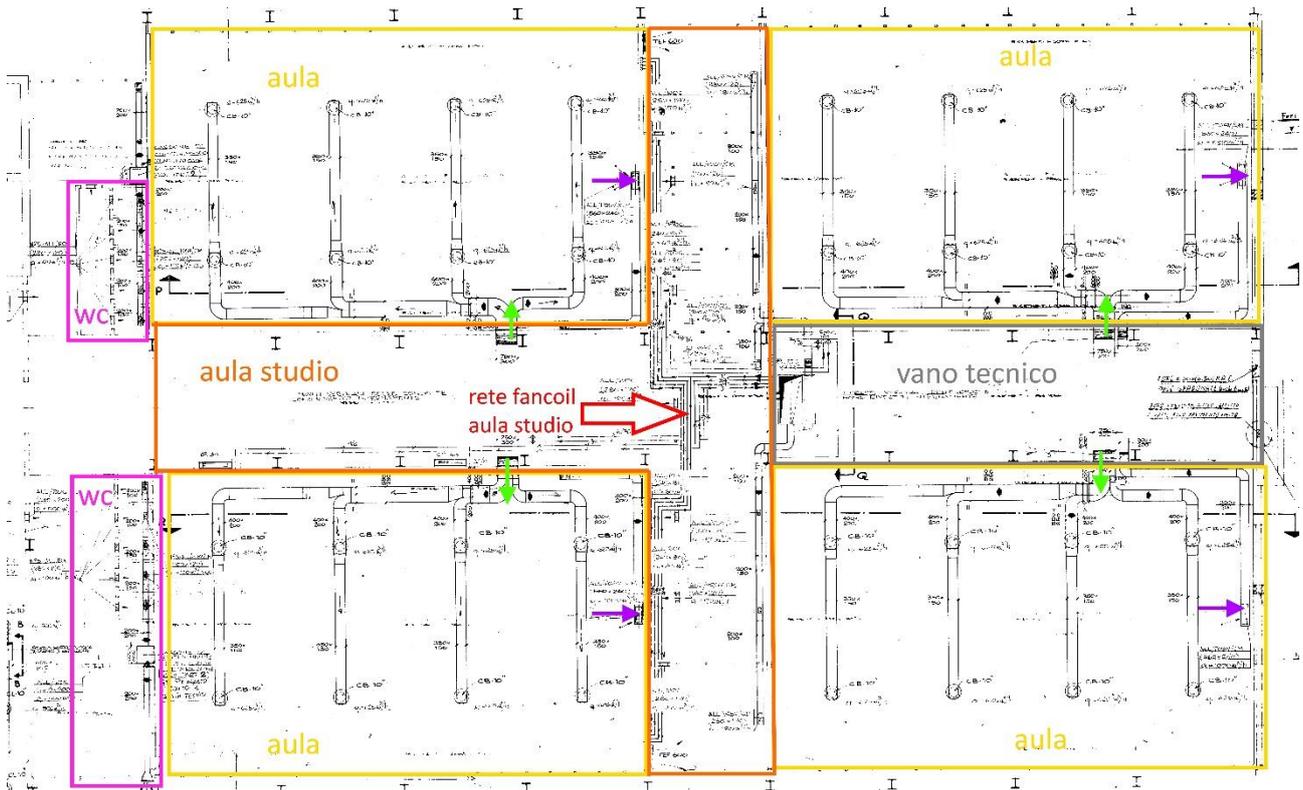


Figura 45 Distribuzione delle condotte dell' impianto aeraulico delle 4 aule. La sezione al piano rialzato mostra inoltre la rete del caldo che alimenta i fancoil dell' aula studio.

Anche le aule da 200 posti sono dotate di proprio e indipendente impianto di termoventilazione.

Le cta sono installate al di sotto delle gradonate delle aule stesse e sono formate dagli stessi componenti della cta precedente con l'unica aggiunta di una sezione ventilante di recupero/espulsione che sostituisce gli estrattori.

Un'altra peculiarità sta nel fatto che l'aria espulsa non viene mandata direttamente all'esterno, ma inviata ai locali piano interrato sottostanti tramite bocchette, mitigando la loro temperatura non essendo riscaldati.

La regolazione di tipo pneumatico è identica a quella descritta per gli impianti "Aule 1° e 5° Didattica Est".

La portata elaborata dalla singola utà è di 5000 m³/h e può essere regolata a seconda del numero di occupanti: "a tutta aria esterna", "a tutto ricircolo" o "a miscelazione".

Per sopperire ai grandi carichi interni durante il periodo di raffrescamento, sono stati installati a posteriori dei fancoil termostatati eseguendo degli stacchi dalla rete del freddo proveniente dalla sottocentrale. Questo poichè il lungo periodo di esercizio, in combinazione con canali aeraulici spesso intasati da sporco e polvere non permetteva di raggiungere le potenze frigorifere di progetto.

Al piano rialzato, nella zona adiacente le 4 aule, vi è un' aula studio asservita da fancoil attivi durante la stagione invernale.

2.3.6 Impianto di termoventilazione ed estrazione dell'aria viziata della zona uffici, biblioteca, aula studio, aula lettura e copisteria al piano terra lato Nord

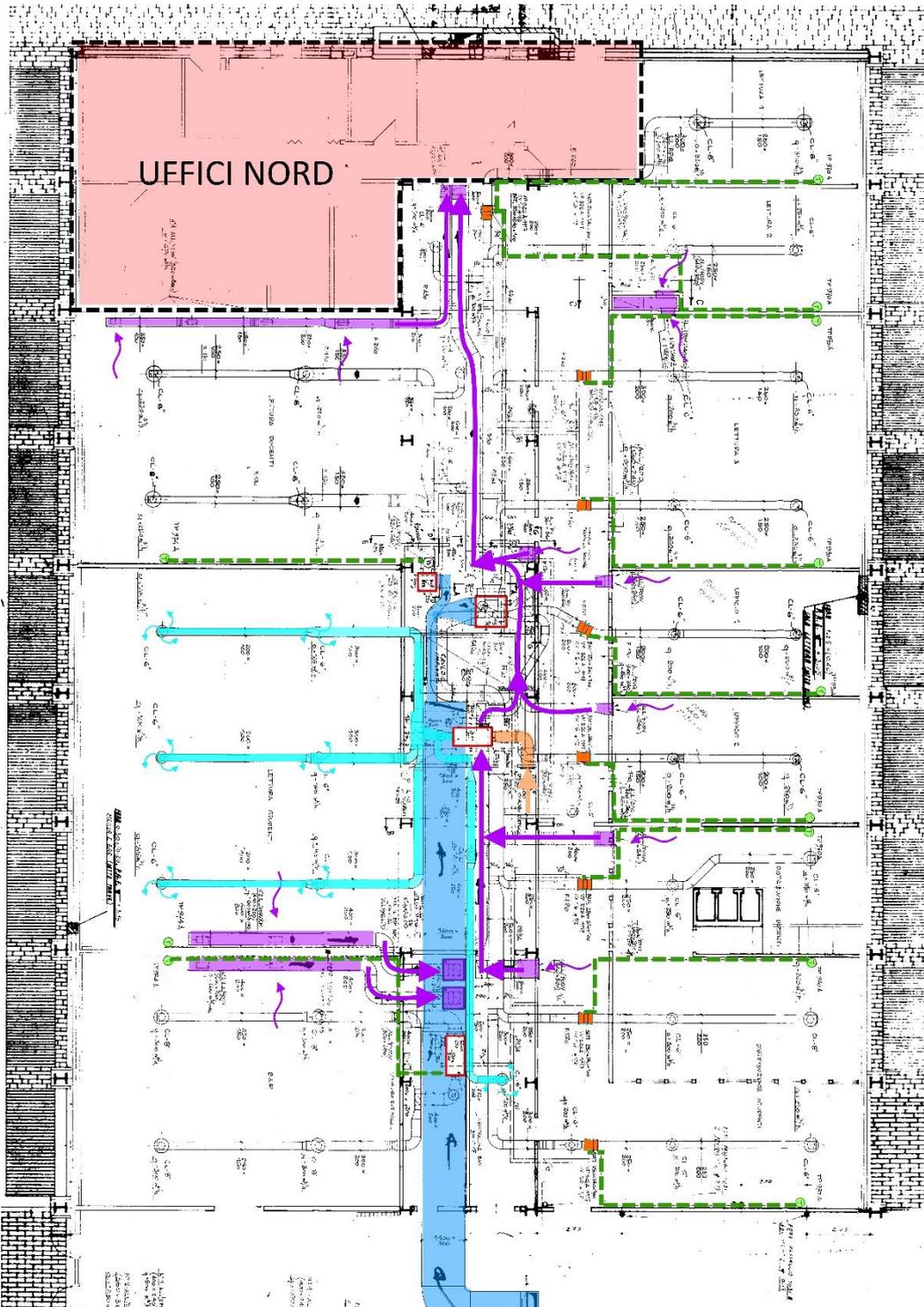


Figura 46 Impianto Aerulico dell' Ala Nord Piano Terra: in azzurro il prelievo di aria esterna, in rosso riquadrate le tre UTA, in arancio e verde il sistema di regolazione della portata con serrande pneumatiche, in celeste la mandata (di una macchina singola), ed in viola l'espulsione.

Volume Lordo dell' Ala Nord Piano Terra	2830 m ³
Volume Lordo interessato dall'impianto	2500 m ³
Riscaldamento	✓
Raffrescamento	✓ (fancoil)
N° centrali di trattamento aria	4
Portata elaborata da ciascuna Uta	3x 1200 m ³ /h 1x 1300 m ³ /h
Espulsione	Piano interrato

Si tratta di un impianto concettualmente simile a quello delle zone “Piano Rialzato Corpo Scientifico Lato Nord”. La differenza consiste nell’espulsione dell’aria esausta: nel primo era aspirata da estrattori a muro ed inviata all’esterno, in questo caso invece, è stato attuato un sistema di canalizzazioni e cavedi di espulsione che raccolgono per sovrappressione l’aria viziata e la inviano direttamente al piano interrato.

L’aria esterna viene prelevata dalla stessa “torretta di aspirazione” dell’impianto aeraulico Rialzato Nord posta sul tetto della bussola. Come si può vedere da Figura 42 vi è una separazione della portata di aria esterna (circa il 55% serve il piano rialzato Nord, la restante invece le zone in questione). All’interno dell’atrio prospiciente l’Ala Nord del piano terra, possiamo facilmente notare il canale di adduzione dell’aria esterna che scende dal soffitto.

La regolazione pneumatica con termostato regolatore di portata che comanda un sistema di serrande segue il concept di regolazione dell’intero edificio.

Per quanto riguarda il raffrescamento sono installati vari fancoil della stessa tipologia di quelli delle aule A;B;C;D;E che staccano dalla rete di teleraffrescamento dell’edificio.

Una peculiarità della zona Nord Piano Terra riguarda gli “Uffici Nord”. Originariamente infatti questi erano adibiti a “ Casa del Custode”, sono serviti in caldo da una classica caldaia murale a metano

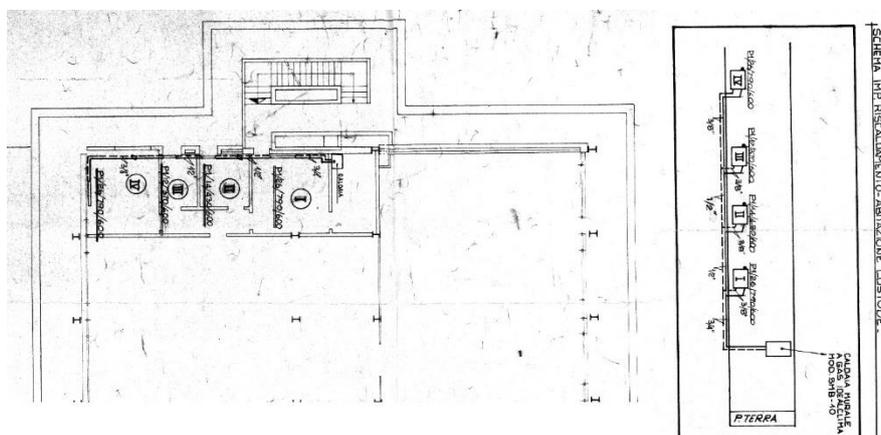


Figura 47 Uffici Nord serviti da sistema autonomo (caldaia)

che alimenta mobiletti ventilconvettori ed in freddo da un chiller posto sul tetto dalla potenza frigorifera stimata a 80-90 kWf che fornisce acqua refrigerata per splitter e mobiletti.

2.3.7 Impianto di condizionamento ad aria primaria del sesto piano dell'ala Est (CRIBI)

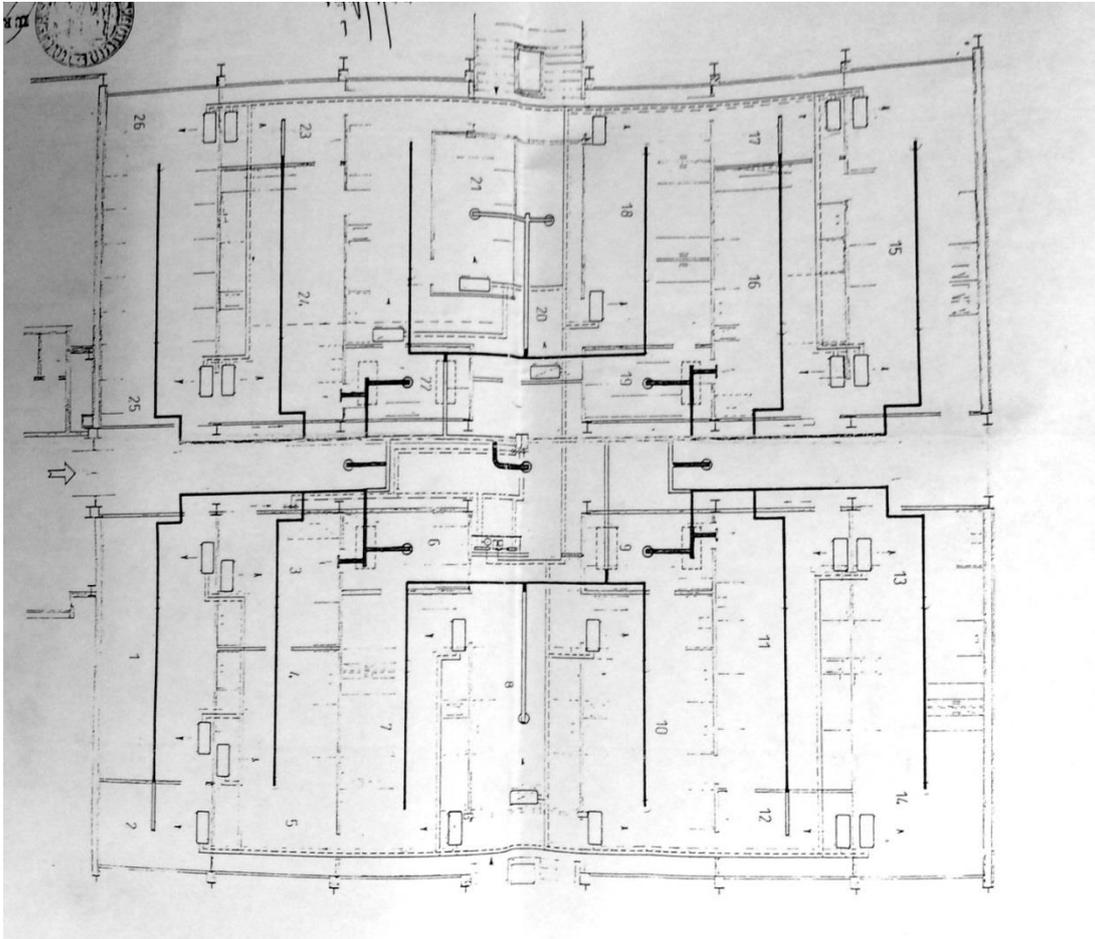


Figura 48 Impianto Aeraulico ad aria primaria e sistema Fancoils del Piano 6° Est (CRIBI)

Volume Lordo	2360 m ³
riscaldamento	✓
raffrescamento	✓
N° centrali di trattamento aria	1
Portata elaborata da ciascuna uta	8800 m ³ /h
Espulsione	cappe

A differenza dei piani sottostanti, l'impianto del sesto piano è caratterizzato da mobiletti fan coils ed integrazione di aria primaria.

L'acqua calda necessaria al funzionamento invernale dell'impianto è stata derivata dal circuito di termoventilazione dell'area Didattica Est, mentre l'acqua fredda necessaria al funzionamento estivo proviene dalla centrale frigorifera Nord Piovego. L'intercettazione di quest'ultimo circuito è effettuato in un cunicolo sotto la centrale frigo

L'impianto fancoils è alimentato di estate con acqua refrigerata 10-12 °C e di inverno ad acqua calda ad una temperatura tra i 30e i 40 °C. L'inversione per il passaggio "estate/inverno" è fatta manualmente dal manutentore della centrale Termica/Frigorifera tramite apposite saracinesche situate nel locale pompe.

La regolazione della temperatura è effettuata con valvola a tre vie miscelatrice con regolatore elettronico, il funzionamento invernale è di tipo climatico con la temperatura esterna mentre l'estivo è a punto fisso.



Figura 49 La Cta dell'aria primaria che serve il sesto piano CRIBI della Didattica Est. Si possono vedere i tubi del caldo e del freddo che alimentano le batterie

In ambiente la temperatura è regolata da termostati. Essi fermano il funzionamento dei ventilatori dei mobiletti fancoil se si raggiunge la temperatura di set-point, viceversa li riattiva quando cambia

Naturalmente d'estate si attivano quando la temperatura letta è superiore al setpoint, di inverno quando è inferiore. Le temperature vengono impostate da telecomando digitale.

Per il raggiungimento delle condizioni termoigrometriche richieste viene immessa in ambiente l'aria primaria opportunamente trattata dalla CTA sul piano copertura. L'aria viene intercettata da una serranda automatica.

In estate la CTA filtra raffredda e deumidifica, di inverno, filtra preriscalda, umidifica e post riscalda.

La valvola della batteria di preriscaldamento viene regolata da un pannello elettronico con sonda interna alla CTA settata sui 16/18 °C. La valvola della batteria di raffreddamento funziona in on/off. La pompa di umidificazione viene controllata da un umidostato ambiente (è stato verificato che, come per tutto l'edificio; l'umidificazione non viene effettuata).

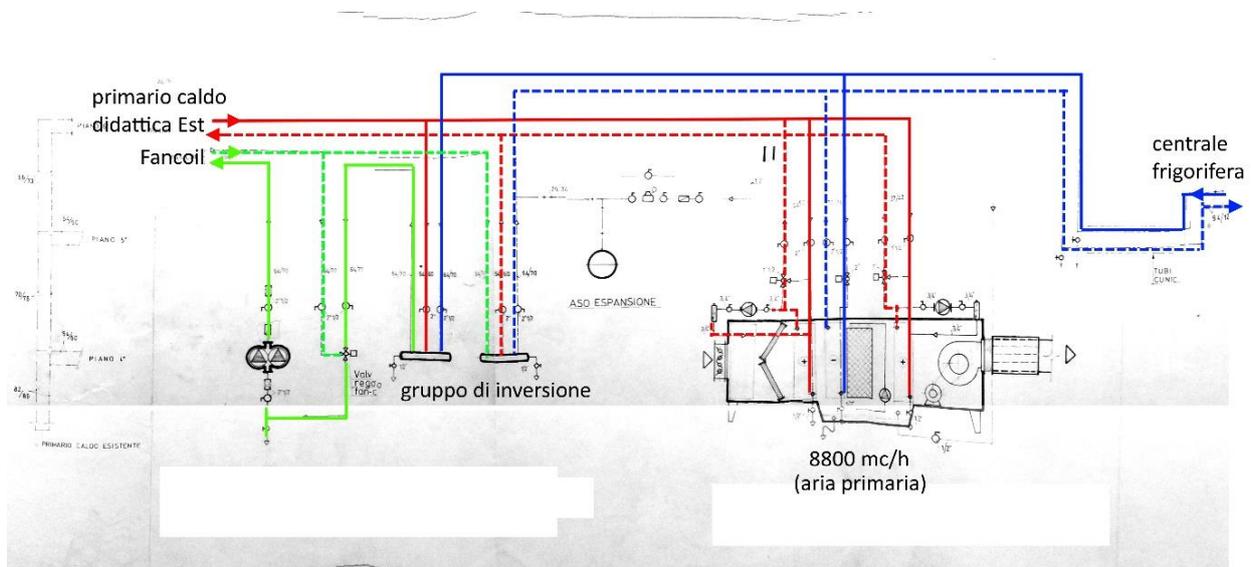


Figura 50 Impianto di gestione del 6° piano lato Est. Si nota l'inversione del gruppo Fancoil.

2.3.8 Impianto di condizionamento e CTA dell'aula "E" ed impianto di riscaldamento della zona uffici al piano terra del corpo didattico Est

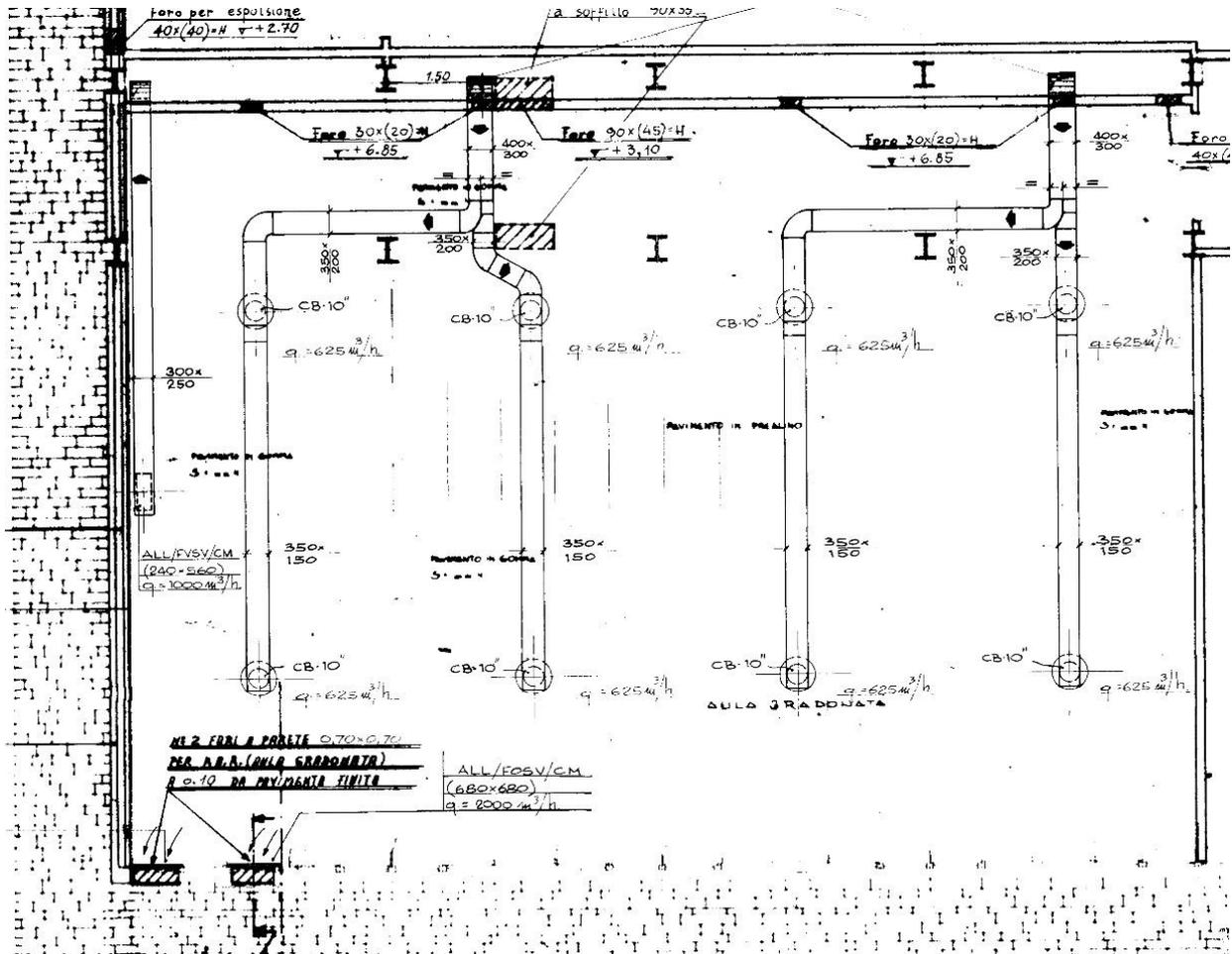


Figura 51 Impianto di Termoventilazione Aula "E" al piano terra Ala Est dell' edificio. La Uta è posizionata al piano interrato lato est.

Volume Medio Aula	640 m ³
Riscaldamento	✓
Raffrescamento	✓
N° centrali di trattamento aria	1
Portata elaborata da ciascuna Uta	5000 m ³ /h
Espulsione	Piano interrato

Anche tale aula è dotata di impianto autonomo di termoventilazione. L'unità è installata in un apposito locale tecnico al piano interrato lato Est, al di sotto dell'aula stessa. L'unità è del tutto simile, per componenti e funzionamento agli impianti descritti per le aule del piano terra lato sud.

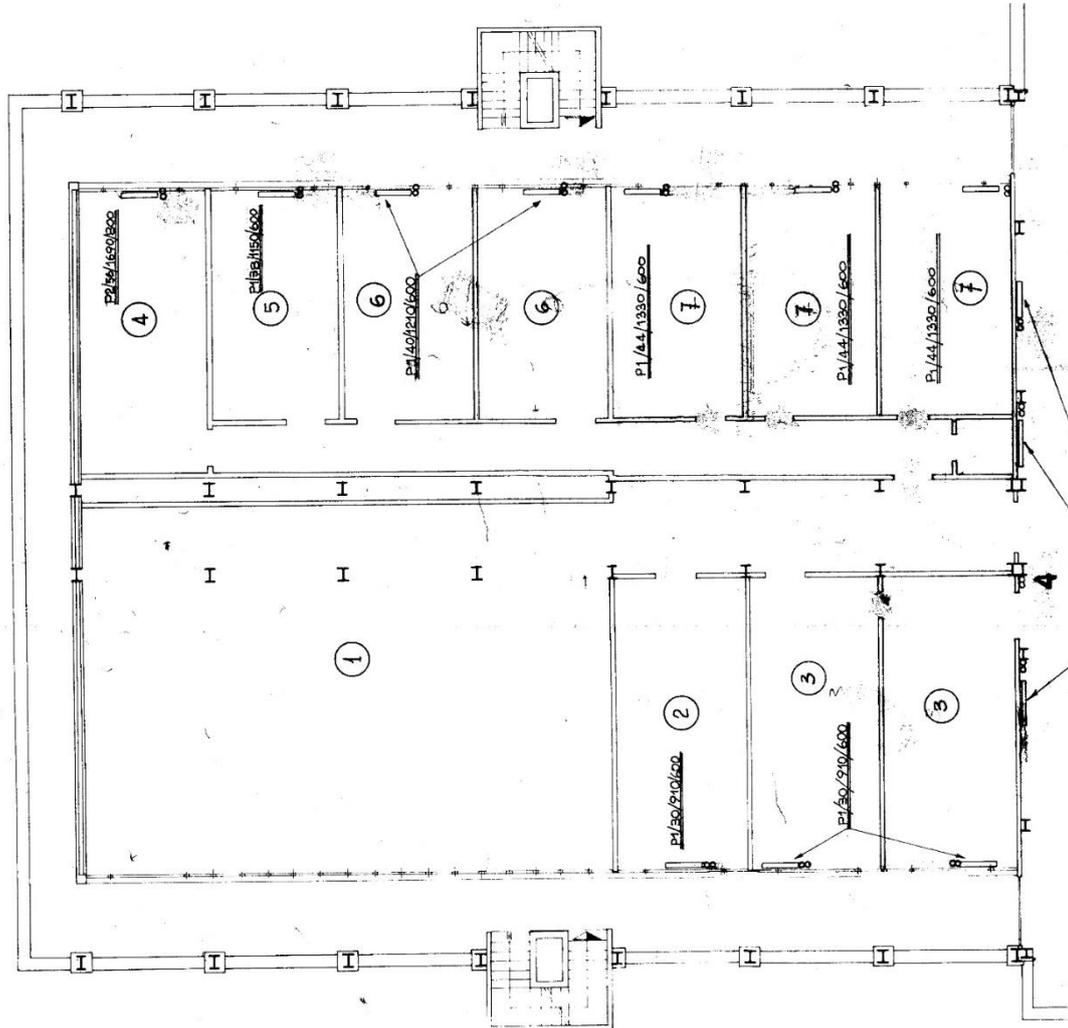


Figura 52 Piano terra ala Est: impianto misto fancoil caldi e radiatori

Anche quest'aula possiede fancoils che aiutano l'impianto a tutta aria a far fronte agli ingenti carichi estivi.

Volume Lordo	1280 m ³
Riscaldamento	✓ (fancoil e radiatori)
Raffrescamento	✓ (con pompe di calore dedicate)

Al piano terra dell'ala Est troviamo inoltre una zona uffici/portineria. Essa non è dotata di impianto a tutta aria come l'Alula "E", ma da una rete indipendente di fancoil e radiatori alimentati da acqua calda proveniente dalla sottocentrale termica. Essi assieme a tutto l'impianto di radiatori

dell'edificio sono tarati in modo da seguire una regolazione climatica con sistema dedicato in sottocentrale e sonda che rileva la temperatura dell'aria esterna.

2.3.9 Impianto di termoventilazione delle bussole Nord e Sud della Hall di ingresso ed impianto di riscaldamento del piano terra

Al fine di creare una barriera di aria calda e contrastare così i flussi entranti di aria fredda provocati dalle continue aperture delle porte di ingresso dell'istituto, ciascuna delle due bussole di ingresso è dotata di apposito impianto di termoventilazione.

Le rispettive centrali di trattamento dell'aria sono ubicate al piano interrato ala Est e sono perfettamente uguali tra loro e rese indipendenti a livello di regolazione.

I motori dei ventilatori di mandata dell'aria sono a due velocità:

- Alla minima velocità le unità termoventilanti aspirano aria dalle rispettive bussole attraverso griglie pedonali e dopo averla filtrata e riscaldata la reimmettono attraverso diffusori lineari a soffitto.
- Alla massima velocità invece, aspirano anche aria esterna oltre a quella di ripresa circolando maggior portata, necessaria a creare la sovrappressione necessaria a contrastare i flussi freddi dall'esterno. La scelta di questa modalità viene settata nei periodi di clima particolarmente rigido.

Per quanto riguarda i corridoi e l'atrio del corpo centrale, si tratta di locali serviti tutti da radiatori durante il periodo di riscaldamento, non climatizzati durante l'estate.

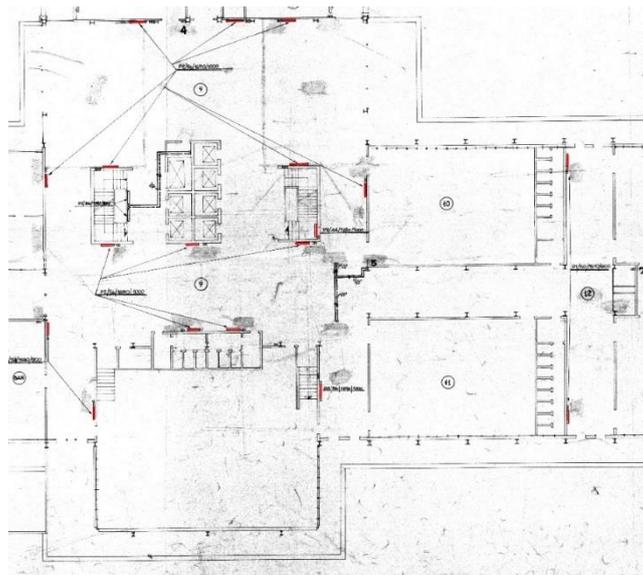


Figura 53 Schema di localizzazione dei radiatori del piano terra e del vano scale

2.3.10 Impianto ad aria primaria per i laboratori dei piani dal 1° al 6° del corpo scientifico Nord e Sud

Nella zona adiacente alla sottocentrale termica, al piano interrato del corpo scientifico Sud, sono state installate due centrali di trattamento dell'aria primaria, una al servizio dei piani 1°-6° lato Nord l'altra a servizio dei piani 1°-6° lato Sud.

Le due centrali sono differenti, quella che asserva il lato nord è la CTA originaria alla prima installazione, l'altra è stata sostituita pochi anni fa.



Figura 54 CTA dell'aria primaria lato Sud



Figura 55 CTA dell'aria primaria lato Nord

La cta tratta tutta aria aspirata dall'esterno.

I trattamenti subiti sono:

Inverno:

- Filtarzione tramite filtro a rullo con controllo pressostatico ed avanzamento automatico
- Preriscaldamento controllato da sonda di saturazione e dal relativo regolatore (pneumatico) per 15°C
- Umidificazione adiabatica, con pompa e banco ugelli, controllata dall'umidostato ambiente posto sul corridoio al secondo piano.
- Post riscaldamento controllato dalla sonda sulla mandata e dal relativo regolatore pneumatico tarato a 20°C.

Estate:

- Filtrazione
- Raffreddamento e deumidificazione controllata dalle sonde di saturazione estiva e dal relativo regolatore (pneumatico) tarato per 12°C

Il termostato antigelo è tarato a +5°C e blocca il ventilatore di mandata e provoca la chiusura della serranda sull'aria esterna.

L'aria così trattata viene distribuita sui vari piani e viene immessa all'interno di ciascun locale dove è ubicata la CTA "doppio condotto" al servizio dei vari laboratori del piano stesso. L'aria così immessa costituisce la quota parte dell'aria esterna per il ricambio ambiente nei vari laboratori.

L'aria viziata dei piani, viene aspirata ed espulsa tramite n°4 ventilatori (due per il lato Sud e due per il lato Nord del fabbricato), appositamente installati al piano copertura in appositi vani tecnici.

Tali ventilatori hanno i rispettivi comandi in due quadri elettrici (uno per il lato sud l'altro per il nord) posti alle estremità del corridoio al piano stabulario (vicino all'uscita sulle terrazze).

Le sonde di temperatura dell'aria esterna sono poste all'interno delle condotte di aspirazione poste a valle delle griglie di un apposito locale tecnico situato al piano terra Sud (esattamente tra le aule B e C).

2.3.11 Impianto a doppio condotto per i laboratori ed uffici dal 1° al 6° piano lato Nord e Sud

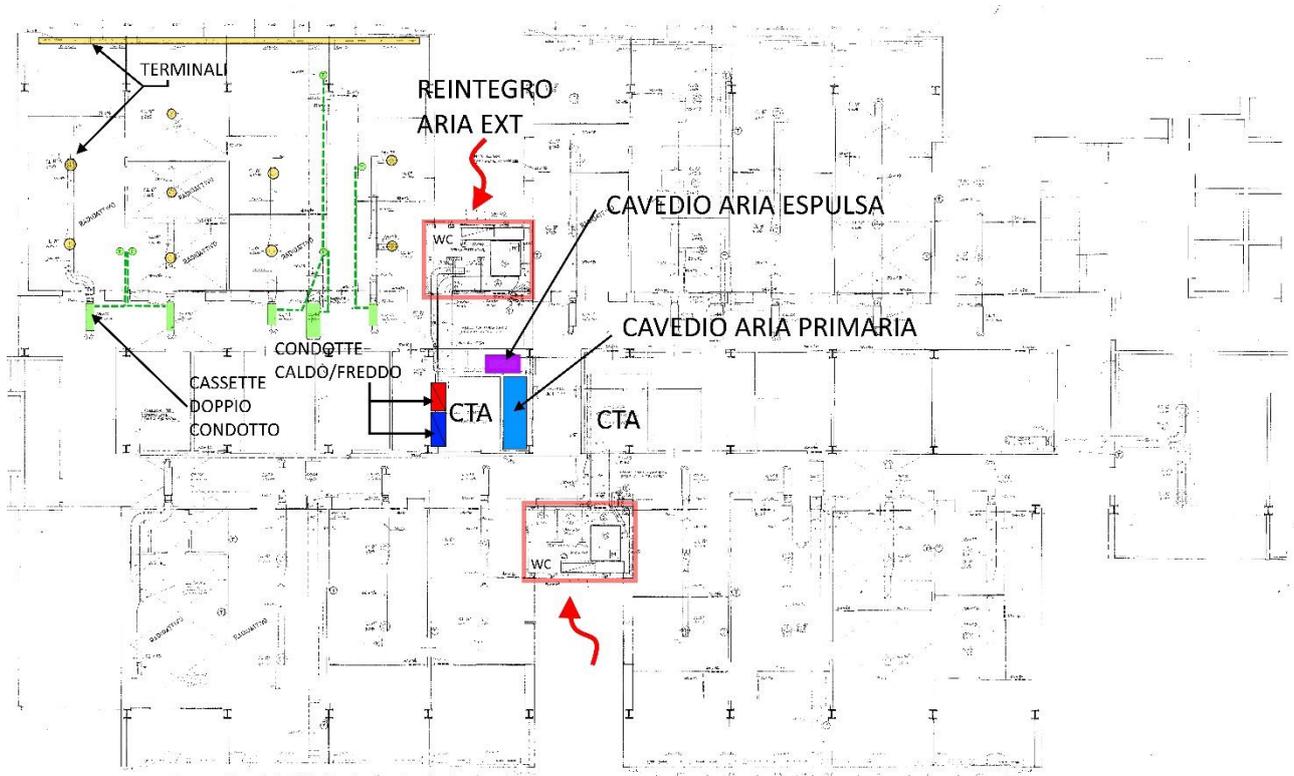


Figura 56 Semipiano Nord Lato Scientifica. In verde sono evidenziate le cassette di miscelazione con i relativi collegamenti ai termostati di zona, in giallo i terminali di impianto: anemostati e bocchette longitudinali sui lati più esterni dell'edificio

Sono state installate complessivamente 24 centraline di trattamento dell'aria del tipo a doppio condotto: n° 4 per piano (due per ciascun semipiano Sud e due per ciascun semipiano Nord).

I singoli impianti sono perfettamente uguali per quanto riguarda il funzionamento; pertanto la descrizione fatta per uno potrà essere valida per tutti.

La centralina, posizionata all'interno di un apposito vano tecnico ricavato sulla "spina centrale", tratta una miscela di aria esterna (immessa dall'impianto primario precedentemente descritto) di aria ricircolata dagli ambienti stessi e di aria reintegrata da un apposito sistema.

Tutta l'aria aspirata viene filtrata con filtro a rullo con controllo pressostatico e avanzamento automatico.

L'aria trattata viene distribuita dalla cta tramite due canali di mandata (uno con aria calda, l'altro con aria fredda) dai quali vengono derivate le diramazioni che fanno a capo alle apposite cassette miscelatrici (regolatrici di portata) poste nel controsoffitto del corridoio, una per ogni laboratorio.

Ciascuna cassetta viene regolata dal corrispondente termostato pneumatico ambiente, il quale modulerà la serranda sulla cassetta stessa in modo da immettere l'aria alla temperatura più confacente al mantenimento delle condizioni ambientali richieste

I terminali sono di due tipologie: anemostati distribuiti tra la zona uffici (locali più esterni) e zona laboratori (adiacente il corridoio), e delle bocchette longitudinali poste sul pavimento lungo tutta la zona adiacente alla pannellatura finestrata. Quest'ultimo terminale è regolato da un'unica cassetta di miscelazione posta nel corridoio dello stesso piano, ma con condotta passante al piano inferiore.

2.3.12 Impianto di estrazione (cappa) e reintegro dei laboratori dei piani dal 1° al 6° corpo scientifico Nord e Sud

Tutti i laboratori, per i quali è stata prevista una cappa, sono dotati di un apposito ventilatore di aspirazione sistemato sul piano di copertura del fabbricato.



Figura 57 Ventilatori di espulsione posto a monte di ogni cappa dell'edificio sul piano copertura

I vari aspiratori sono in PVC come pure le condutture di collegamento. Ciascuna cappa dispone di un comando dell' aspiratore (on/off) in prossimità della cappa stessa.

Allo scopo di reintegrare l'aria aspirata da ogni cappa durante il suo funzionamento (4500 m³/h), sono stati installati 24 "reintegratori" (tanti quanti le CTA a doppio condotto che asservono i laboratori).

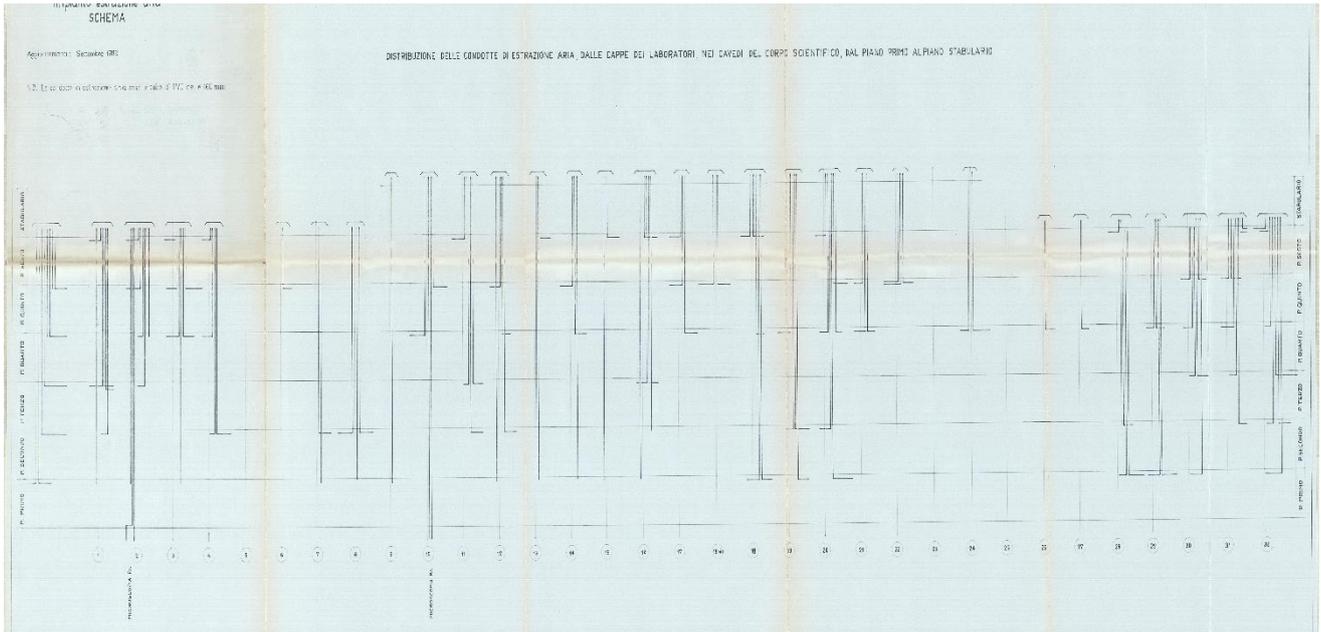


Figura 58 Distributivo delle cappe all'interno dell'edificio

Tali “reintegratori” sono stati posti a soffitto sui vari locali “servizi igienici” di piano e prelevano esclusivamente aria esterna per immetterla filtrata ed eventualmente riscaldata di inverno all’interno dei locali tecnici dove sono installate le CTA a doppio condotto.

La portata dell’aria immessa dai reintegratori è variabile ed è funzione del numero di cappe attive nella sua zona di competenza. In corridoio vi è un quadro elettrico che segna il numero di cappe attive. Tramite un rilevatore elettronico di tensione si varia il numero di giri del ventilatore e dunque la portata.

D’inverno l’aria esterna aspirata viene riscaldata a 20 °C tramite batteria di riscaldamento regolata da una sonda, da una valvola miscelatrice e rispettivo regolatore elettronico posto nel quadro elettrico posto nella centralina stessa.

L’acqua calda a servizio dei reintegratori viene prodotta in centrale termica al piano interrato da apposito scambiatore a piastre da 812 kW termici.

2.3.13 L'impianto a doppio condotto nel suo complessivo

La descrizione proposta si riferisce alla sezione Nord di un piano tipo dei sei che caratterizzano la totalità dell'impianto. La parte Sud è perfettamente speculare.

Analizzando singolarmente ogni piano, si notano senz'altro peculiarità che potrebbero distinguerlo dagli altri, questo poiché sono stati integrati impianti ulteriori realizzati ad hoc per locali di particolare utilizzo (come ad esempio i locali radioattivi, o camere calde dotate di CTA dedicate e canalizzazioni di immissione ed espulsione anch'esse indipendenti). Ci si limiterà quindi a focalizzarsi negli aspetti riguardanti l'impianto aeraulico nel suo complesso:

- il rinnovo dell'aria primaria
- le uti di zona ed il relativo impianto di immissione a doppio condotto,
- l'espulsione,
- il reintegro.

È stato deciso quindi di rimandare gli aspetti più dettagliati e particolarizzanti dei singoli piani, nel caso si voglia effettuare una futura analisi anche se la maggior parte di essi sono stati dismessi.

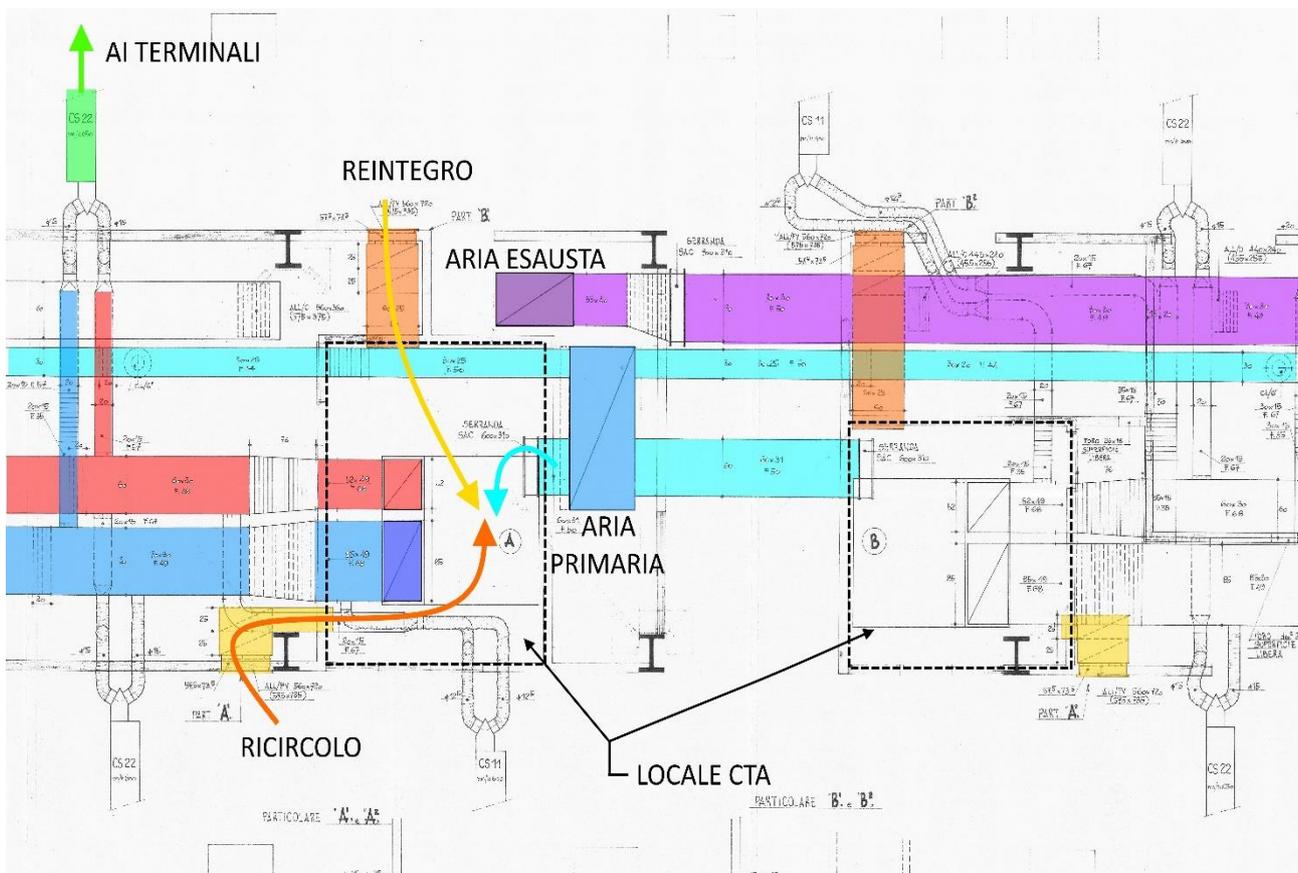


Figura 59 Descrizione dell'impianto Area Scientifica Nord/Sud. In figura si nota la canalizzazione a doppio condotto con la cassetta di miscelazione (verde), il canale di aria esausta con relativo cavedio di espulsione (viola), cavedio e immissione dell'aria primaria (azzurro), canale di reintegro proveniente dai reintegratori di aria esterna posti nei locali WC (arancio scuro), le serrande di prelievo e canalizzazione dell'aria di ricircolo all'interno del locale CTA (giallo). (*) i colori sulla Cta di destra sono invertiti.

Volume Lordo ala Nord (Sud)	3765 m ³
Volume Lordo riscaldato/raffrescato direttamente	2400 m ³
Riscaldamento	✓
Raffrescamento	✓
N° centrali di trattamento aria doppio condotto	2
Portata elaborata da ciascuna Uta	1x 7500 m ³ /h 1x 7000 m ³ /h
N° di Reintegratori dell'aria Esterna	2
Portata elaborata da ciascun Reintegratore	4500 m ³ /h
Espulsione	Cappe Estrattori su Copertura Stabile

Rinnovo dell'aria

Il rinnovo dell'aria viene effettuato dalle due Uta primarie descritte nei paragrafi precedenti, che prelevando aria esterna la trattano a seconda delle richieste stagionali mediante i processi già delineati. La portata totale di queste ultime è di 48000 m³/h ciascuna. Servendo un totale di sei piani esattamente identici, e supponendo una suddivisione equa della portata, l'aria di rinnovo per il lato Nord è di 8000 m³/h in un volume complessivo di 3765 m³. Essa viene distribuita da un unico cavedio, posizionato nella zona centrale del semipiano.

Come si può osservare in figura, l'aria primaria (azzurro) viene immessa nei locali Cta del semipiano tramite serrande di regolazione. Parte di essa è introdotta direttamente in ambiente "spina centrale" tramite anemostati. Questo permette di dare un ricambio d'aria anche alla zona "corridoi" e "spina centrale" le quali non sono servite dal sistema a doppio condotto. Dai numerosi disegni di contabilità analizzati, si nota tuttavia che non sempre questa fila di terminali è completamente attiva. È importante sottolineare quindi, che la maggior parte dell'aria di rinnovo è da attribuirsi entrante nei "locali Cta" di semipiano.

L'impianto a doppio condotto

In ogni semipiano vi sono 2 Uta posizionate in zona centrale, ciascuna delle quali si occupa di rifornire l'aria necessaria a metà semipiano. Le portate di queste ultime sono pari a 7000 e 7500 m³/h.

In inverno la Cta tratta una miscela di aria primaria preriscaldata a 20 °C (azzurro), di aria ricircolata a T_{amb} (freccia arancio scuro) e di una portata variabile di aria reintegrata riscaldata a 20 °C (freccia gialla). Essa subisce un post riscaldamento all'interno dell' Uta (aria dai 30 ai 35 °C).

Le condizioni della stessa miscela durante la stagione di raffrescamento non sono state monitorate.

Quindi a seconda della stagione di esercizio dell'impianto, le condotte calde/fredde vengono utilizzate in maniera univoca e mai contemporaneamente. La cassetta di miscelazione è quindi da considerarsi un effettivo plenum a monte dei terminali, che permette una regolazione della portata di aria calda/fredda tramite termostato che agisce sulla serranda della cassetta stessa.

L'espulsione

Come già descritto in precedenza l'espulsione avviene tramite un sistema combinato di cappe e di aria esausta prelevata per sovrappressione e immessa nei canali di espulsione. Essi sfociano in un cavedio a valle del quale troviamo due estrattori che elaborano una portata rispettivamente di 26500 e 25400 m³/h.

Le cappe hanno le seguenti caratteristiche generali (di recente alcune di esse hanno subito dei potenziamenti)

Descrizione	Cappa n°	V_{min} [m/s]	V_{max} [m/s]	V_{med} [m/s]
	1	0.11	0.19	0.16
	2	0.1	0.18	0.13
<i>Cappe Comuni</i>	3	0.17	0.28	0.23
	4	0.12	0.23	0.18
	5	0	0.12	0.06
<i>NMR (macchine per risonanza magn. nucleare)</i>	1	0.4	0.68	0.53
	2	0.06	0.33	0.23

Nel cavedio di espulsione inoltre sono canalizzati anche i prelievi di aria esausta dei bagni.

Il reintegro

Poiché un notevole prelievo di aria da parte delle cappe avrebbe portato a scompensi notevoli nel sistema soprattutto a livello di pressione in ambiente, è stato ideato un sistema di reintegro della aria, immessa direttamente dall' esterno con "Reintegratori" posti nei "locali WC".

I reintegratori hanno una portata massima di 4500 m³/h. Essi filtrano l'aria e la immettono in ambiente alla temperatura esterna durante il periodo di raffrescamento, alla temperatura di 20 °C, in inverno. La batteria interna alla macchina è alimentata da acqua calda proveniente da uno scambiatore dedicato in sottocentrale e regolata come descritto nel paragrafo precedente.

Il sistema di reintegro è controllato da sensori posti sulle cappe stesse, che attivano i ventilatori ad una velocità variabile dipendente dal n° di cappe accese contemporaneamente.

2.3.14 Tabella riassuntiva delle CTA e corpi ventilanti dell'edificio

Nella tabella proposta nella pagina seguente è riassunta una panoramica totale di tutte le CTA e corpi ventilanti presenti all'interno dell'edificio

Le CTA che non sono state analizzate sono:

- CTA dedicata alla zona deposito libri al piano interrato del corpo didattico Est
- CTA per i locali NMR delle camere calde al piano interrato (dismessa)
- CTA locali microscopia
- CTA deposito libri piano interrato Nord.
- CTA di recupero aria poste sul tetto dello stabulario Nord, fanno parte dell'impianto di ricircolo dell'aria delle camere calde Ala Scientifica Nord-Sud (locali radioattivi)

	1		2		3		4		5		6		7		8	
	portata m ³ /h	descrizione n°	portata m ³ /h	descrizione n°	portata m ³ /h	descrizione n°	portata m ³ /h	descrizione n°	portata m ³ /h	descrizione n°	portata m ³ /h	descrizione n°	portata m ³ /h	descrizione n°	portata m ³ /h	descrizione n°
interrato	2500	microscopia 1	11900	biblioteca nord 1	2000	biblioteca est 1	5000	aula E pt 1	2800	NMR 1	12000	bussole 2	48000	aria primaria 2	7500	aula magna 1
terra	5000	aula A-B-C-D 4	1200	aula studio e copisteria Nord 3	1300	biblioteca nord 1										
rialzato	1000	aula A-B-C-F e C.I.V. Nord 5	1800	aula D-E Nord 2	1800	aula G-N Est 2	1000	aula H-L-M Est 4								
1°	7000	doppio condotto 2	7500	doppio condotto 2	4500	reinTEGRATORI 4	1000	aula est 6	1500	stanza calda 1° sud 1						
2°	7000	doppio condotto 2	7500	doppio condotto 2	4500	reinTEGRATORI 4	1000	aula est 6								
3°	7000	doppio condotto 2	7500	doppio condotto 2	4500	reinTEGRATORI 4	1000	aula est 6	9000	stanze calde nord 4						
4°	7000	doppio condotto 2	7500	doppio condotto 2	4500	reinTEGRATORI 4	1000	aula est 6								
5°	7000	doppio condotto 2	7500	doppio condotto 2	4500	reinTEGRATORI 4	1000	aula est 6	2750	stanza Obb 5° sud 1						
6°	7000	doppio condotto 2	7500	doppio condotto 2	4500	reinTEGRATORI 4										
7°	26500	estrattori nord/sud 2	25400	estrattori nord/sud 2	8900	chbi 1	9500	cta recupero aria 1	8100	cta recupero aria 1						

2.3.15 La sottocentrale termica

Tutta l'acqua calda necessaria al funzionamento invernale degli impianti di riscaldamento viene prodotta tramite tre scambiatori utilizzando come fluido primario l'acqua surriscaldata a 150 °C prodotta dalla centrale termica "Nord Piovego".

La sottocentrale è ubicata in un apposito locale tecnico al piano interrato lato Sud, corpo scientifico.

Ciascuno dei tre scambiatori dispone di apparecchiature di regolazione automatica, di controllo e di sicurezza proprie, per cui è possibile inserire ed attivare ogni scambiatore indipendentemente dagli altri.

La regolazione degli scambiatori consiste in una valvola miscelatrice sull'acqua surriscaldata primaria di alimentazione, controllata da un regolatore in origine pneumatico, ora elettronico, con rispettiva sonda di temperatura.

Un termostato di sicurezza a riarmo manuale, provoca la immediata chiusura della valvola di regolazione escludendo lo scambiatore, nel caso la temperatura dell'acqua in uscita dallo stesso sia maggiore di 95 °C.

Il sistema di espansione è costituito da un serbatoio della capacità di 1500 l posto sul vano scale nel punto più alto del fabbricato.

Un quarto scambiatore (a piastre) è stato aggiunto successivamente per la produzione di acqua calda a servizio delle varie centrali di integrazione dell'aria esterna per le cappe dei laboratori del corpo scientifico.

Tale scambiatore è totalmente indipendente da quelli descritti precedentemente.

Esso è comunque dotato delle stesse apparecchiature di regolazione controllo e sicurezza mentre il sistema di espansione è costituito da una serie di vasi del tipo a membrana chiusa



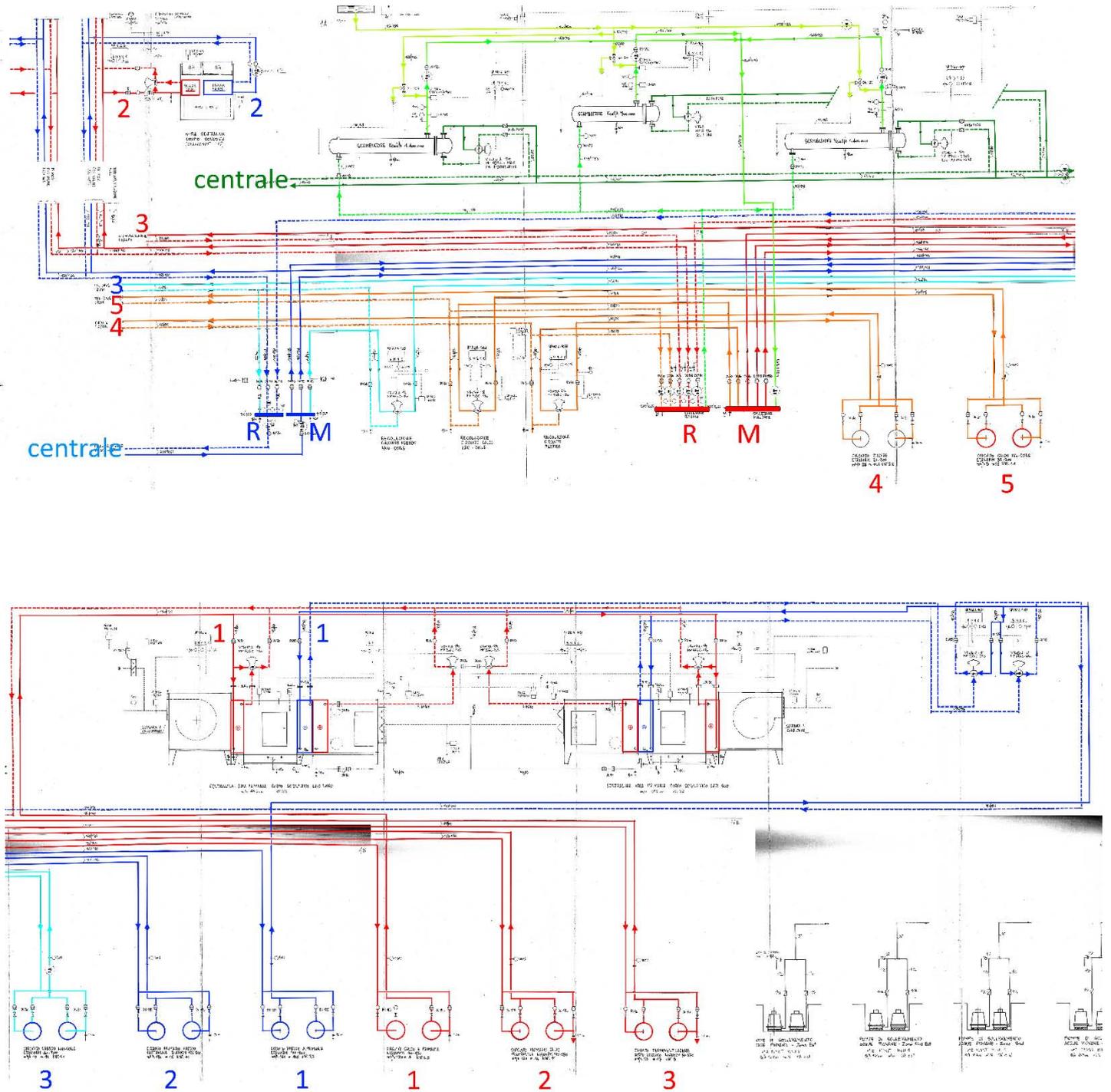


Figura 60 Schema Impiantistico della Sottocentrale Termica al Piano Interrato Sud.

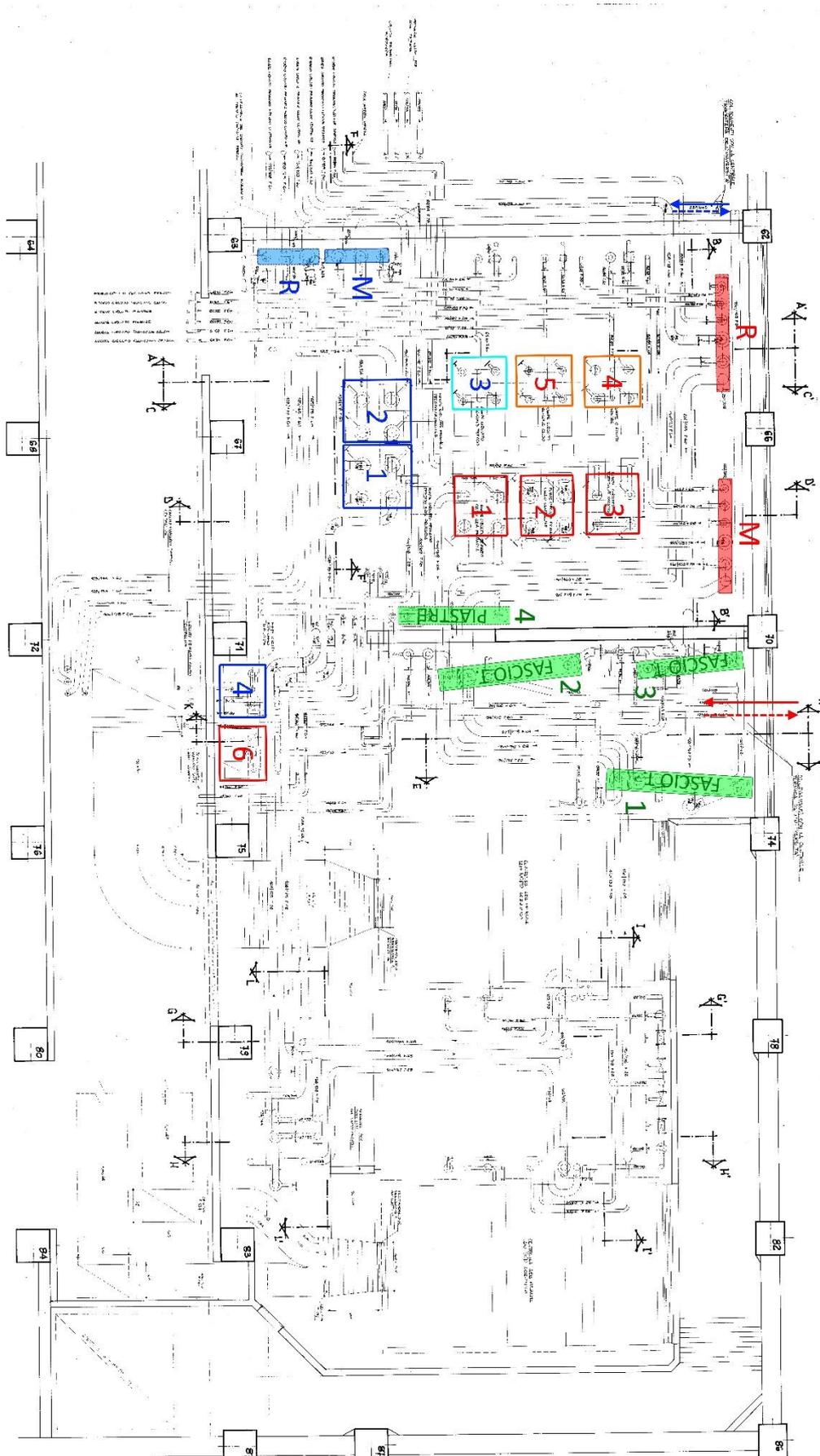


Figura 61 Sottocentrale Termica. Distribuzione logistica all'interno del vano tecnico del Piano Interrato Sud

L'acqua surriscaldata proveniente dalla sottocentrale termica Nord Piovego arriva tramite cunicoli agli scambiatori. La tipologia e la taglia sono descritti in tabella.

	Tipologia	Taglia [kWt]
Scambiatore 1	Fascio Tubiero	1600
Scambiatore 2	Fascio Tubiero	1600
Scambiatore 3	Fascio Tubiero	800
Scambiatore 4	Piastre	800
Totale		4800

Il fluido secondario di esercizio, all'uscita degli scambiatori, alimenta i collettori di mandata di tutto l'impianto.

Le utenze del circuito caldo sono le seguenti (i numeri fanno riferimento alle Figura 60 e Figura 61):

- 1) Circuito caldo dell'aria primaria: alimenta le batterie calde di preriscaldamento e postriscaldamento delle due CTA Nord e Sud
- 2) Circuito primario caldo delle 24 centraline a doppio condotto dei piani dal 1° al 6° zona scientifica Nord e Sud
- 3) Circuito di Termoventilazione delle aule del Corpo Didattico Est, dal 1° al 5° piano
- 4) Circuito caldo Piastre (radiatori)
- 5) Circuito caldo Fan Coils
- 6) Circuito caldo batterie calde dei 24 reintegratori di aria esterna dei piani dal 1° al 6° zona scientifica Nord e Sud (Figura 61)

La linea 6, come già sottolineato in precedenza è indipendente dal sistema degli scambiatori in cascata, ed è dotata di proprio sistema di espansione, questo per rendere l'impiantistica dell'edificio svincolata dalle batterie di reintegro di aria esterna soggette a carichi ad ampio raggio di variabilità.

Invece per quanto concerne la rete di teleraffrescamento abbiamo (i numeri fanno riferimento alle Figura 60 e Figura 61):

- 1) Circuito freddo dell'aria primaria: alimenta le batterie fredde delle due CTA Nord e Sud
- 2) Circuito primario freddo delle 24 centraline a doppio condotto dei piani dal 1° al 6° zona scientifica Nord e Sud
- 3) Circuito Freddo Fan Coils piano terra
- 4) Circuito frigorifero del Locale Microscopia (Figura 61)



Figura 62 Collettore di mandata. Sulla destra si nota il condotto proveniente direttamente dagli scambiatori, le restanti, con senso di flusso opposto, sono le prime 5 utenze descritte nell'elenco.



Figura 63 Collettore di mandata e ritorno delle utenze fredde.

Come si può notare dagli schemi di impianto e dalla Figura 63 la linea di teleraffrescamento arriva direttamente nella sottocentrale dell'edificio servendo le varie utenze. Non vi sono quindi scambiatori lato freddo che regolano il prelievo dell'acqua refrigerata a seconda delle esigenze.

2.4 Modelli e Simulazioni

Il software Trnsys, considera il comportamento dinamico dell'edificio. Per ogni ora dell'anno in cui si è deciso di effettuare la simulazione, calcola e offre come output base la potenza dispersa e la temperatura delle zone che compongono il modello.

Il programma ha una struttura modulare, che consente di analizzare separatamente i diversi aspetti del problema in particolare è composto da due fondamentali sottostrutture: TRNBuild e Simulation Studio.

TRNBuild

In questa parte del programma vengono inserite le caratteristiche dell'edificio in esame:

- *Strutturali*: volumetria della zona, tipologia e orientamento di pareti opache e finestrate.
- *Impiantistiche*: quantificazione della portata di ventilazione e/o d'infiltrazione, tipologia e caratteristiche di settaggio dell'impianto di riscaldamento e condizionamento, quantificazione e qualificazione degli apporti interni gratuiti o carichi di energia (illuminazione, numero di occupanti, numero e tipologia di computer)

È importante scegliere con cura ogni zona dello stabile, facendo in modo che sia il più possibile uniforme:

- Dal punto di vista architettonico (i.e. materiali di cui è costituita)
- Dal punto di vista geometrico (i.e. orientazioni)
- Dal punto di vista funzionale (i.e. attività svolte al suo interno e quindi carichi simili)
- Dal punto di vista impiantistico (i.e. zone a tutta aria, zone con solo radiatori, zone non riscaldate o non raffrescate ecc.)

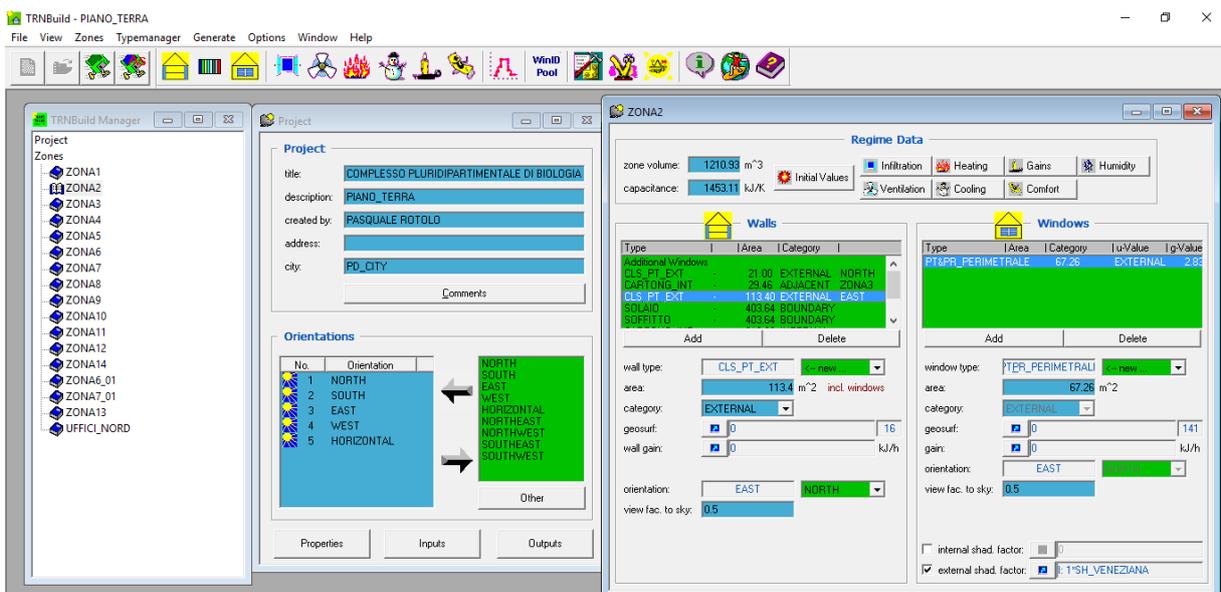


Figura 64 La finestra TRNBuild: si nota la suddivisione in zone e gli input principali da inserire nell'interfaccia della zona stessa

Simulation Studio

Nell' Simulation Studio vengono create varie Types rappresentative di caratteristiche statiche e dinamiche del Sistema Edificio, le quali tramite opportuni collegamenti consentono di creare il modello da simular. Ad esempio:

- Type 15-3: Test Reference Year. Ossia i valori di temperatura, di umidità relativa dell'aria estera, della radiazione solare diretta e diffusa per ogni ora dell'anno considerato
- Type 56a: rappresentativa dell'edificio creato in TRNBuild. Riporta le caratteristiche strutturali e di utilizzazione della struttura. In pratica è l'anello di congiunzione tra il Simulation Studio ed il TRNbuild.
- Type 9a: utilizzata per caricare dall'esterno gli scheduling effettuati per simulare il comportamento dinamico dell'edificio stesso. È stata utilizzata ad esempio per determinare le accensioni e gli spegnimenti dei vari impianti di zona, per impostare i relativi set point di temperatura, per simulare i carichi di ventilazione e i carichi interni.
- Type 25c: è una type che permette di stampare i vari output richiesti al Simulation Studio

Ecco come si presenta una schermata di lavoro per uno dei modelli creati:

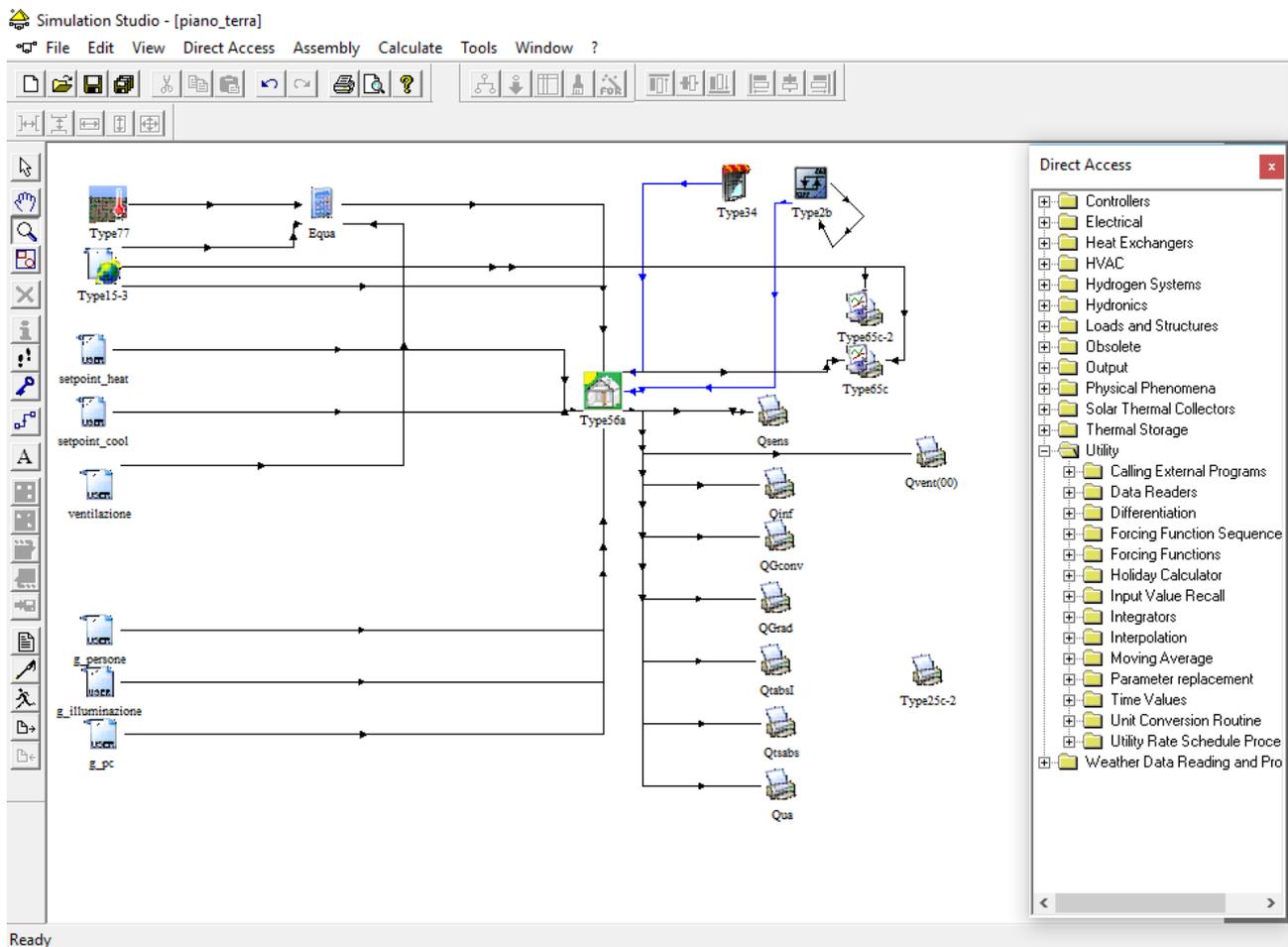


Figura 65: Simulation Studio: Modello del Piano Terra

2.4.1 I modelli

Per analizzare al meglio l'edificio secondo il criterio suggerito nel paragrafo precedente, si è deciso di creare 5 modelli differenti

- 1) Modello 1 = Piano Terra+ Ala Sud Piano Rialzato. È stata fatta questa scelta poiché è stato necessario distinguere le 4 aule con zone appositamente dedicate e poiché esse si distribuiscono su due piani.
- 2) Modello 2 = Piano rialzato Nord/Centro/Est
- 3) Modello 3 = Piano 1°. A differenza degli altri Piani Tipo parte del piano primo è sporgente verso l'esterno. Per tener conto di ciò è stato creato un modello apposito.
- 4) Modello 4 = Piano Tipo.
- 5) Modello 5 = Piano sesto. È stato creato principalmente per due motivi: è il piano copertura dell'edificio, l'ala Est ha un comportamento differente (raffrescata e carichi interni diversi).

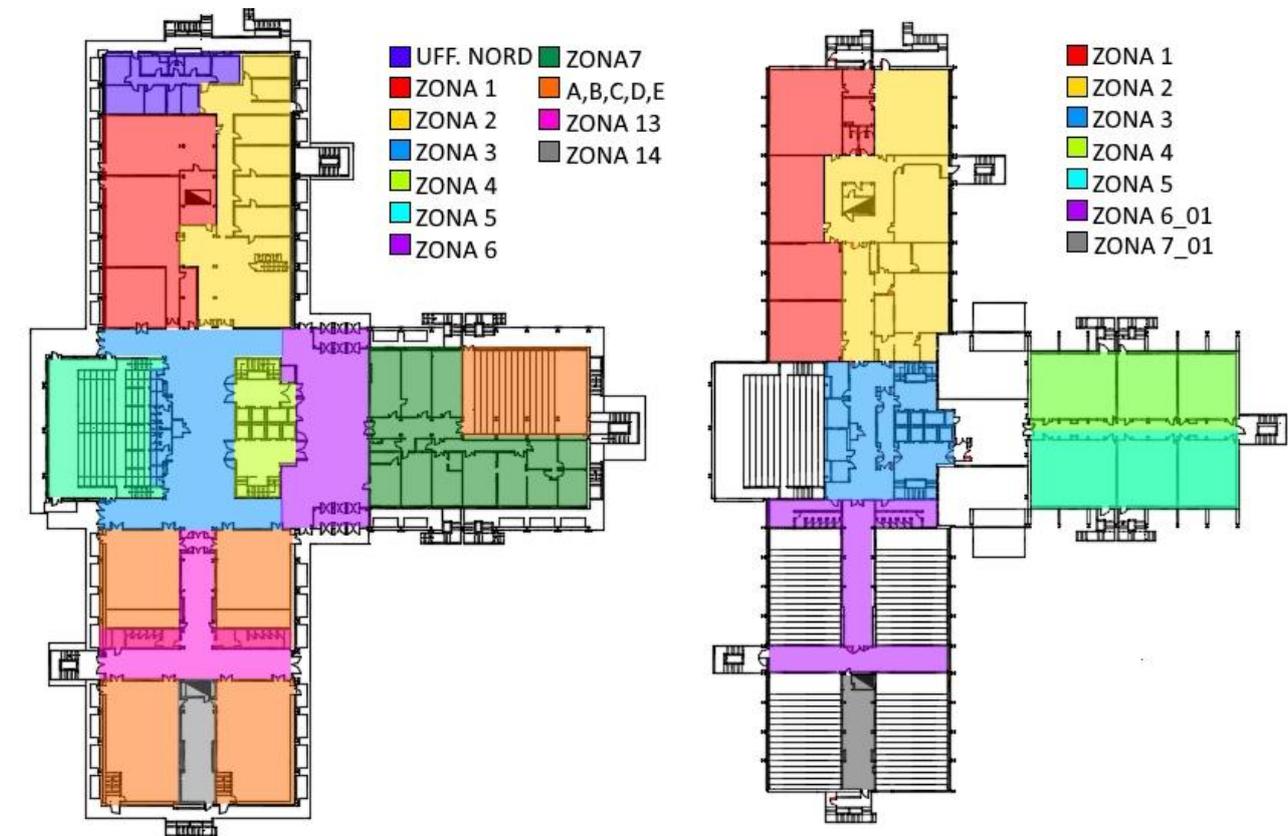


Figura 66: Suddivisione in Zone dei Modelli 1 e 2

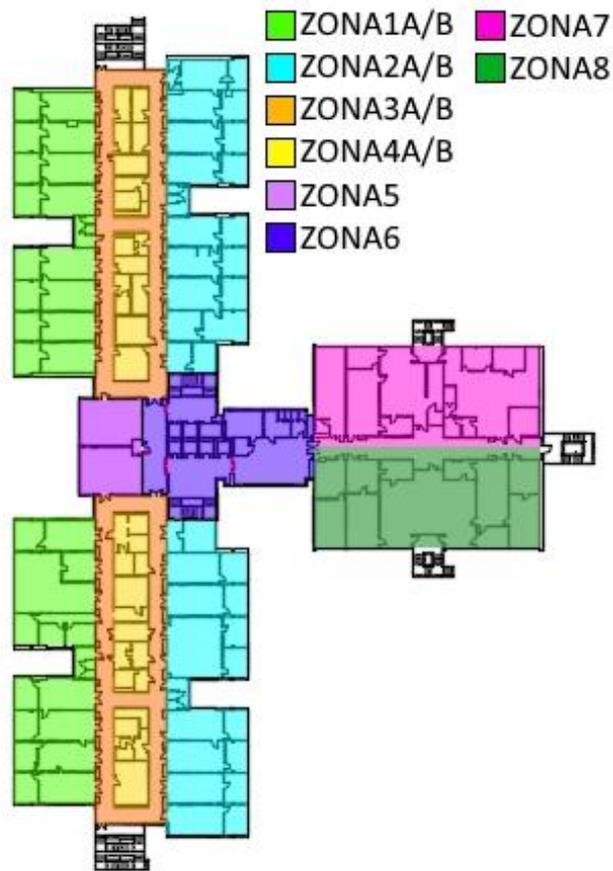


Figura 67 Suddivisione in Zone dei Modelli 3-4-5 (A= Nord B=Sud). Qui è riportato il Modello 5.

Carichi Interni

Nelle tabelle seguenti sono descritti i parametri utilizzati nei modelli per tenere conto dei carichi interni. Essi dipendono dal grado di affollamento delle zone e dalle superfici delle stesse.

<i>Dati</i>		
Illuminazione	10	[W/m ²]
Computer	150	[W]
N° PC in Zona Uffici	1	pc per persona
Persone	65	[W]
Occupazione Biblioteche	70	%
Occupazione Aule	60	%

MODELLO 1 (PT&SUD RIALZATO)																		
	UFF NORD	ZONA1	ZONA2	ZONA3	ZONA4	ZONA5	ZONA6	ZONA7	ZONA8	ZONA9	ZONA10	ZONA11	ZONA12	ZONA13	ZONA14	ZONA6_01	ZONA7_01	
Descrizione	uffici	biblioteca	uffici/aula lettura	atrio	scale magna	aula magna	atrio	uffici	aula	aula	aula	aula	aula	aula	atrio	tecnico	biblioteca	tecnico
superficie [m²]	133	348	404	371	89	305	641	410	220	168	168	168	168	223	68	250	70	
Volume [m³]	398	953	1211	1113	266	916	1922	1231	660	566	566	566	566	669	203	824	231	
n° max Persone	7	134	37	0	0	240	0	27	200	210	190	210	190	0	0	98	0	

MODELLO 2 (PR CENTROINORDIEST)					
	ZONA1	ZONA2	ZONA3	ZONA4	ZONA5
Descrizione	aula	aula	scale	aula	aula
superficie [m²]	447	566	275	272	272
Volume [m³]	1475	1867	907	897	897
n° max Persone	318	219	0	227	227

MODELLO 3-4													
	ZONA1a	ZONA2a	ZONA3a	ZONA4a	ZONA5	ZONA6	ZONA7	ZONA8	ZONA1b	ZONA2b	ZONA3b	ZONA4b	
Descrizione	lab\uff	lab\uff	corridoio	spina centrale	riunioni	scale	aula	aula	lab\uff	lab\uff	corridoio	spina centrale	
superficie [m²]	358	360	231	151	143	230	335	335	358	360	231	151	
Volume [m³]	1074	1080	694	454	429	690	1004	1004	1074	1080	694	454	
n° max Persone	30	30	0	0	20	0	90	90	30	30	0	0	

MODELLO 5 (CRIBIEST)													
	ZONA1a	ZONA2a	ZONA3a	ZONA4a	ZONA5	ZONA6	ZONA7	ZONA8	ZONA1b	ZONA2b	ZONA3b	ZONA4b	
Descrizione	lab\uff	lab\uff	corridoio	spina centrale	riunioni	scale	lab\uff	lab\uff	lab\uff	lab\uff	corridoio	spina centrale	
superficie [m²]	358	360	231	151	143	230	335	335	358	360	231	151	
Volume [m³]	1074	1080	694	454	429	690	1004	1004	1074	1080	694	454	
n° max Persone	30	30	0	0	20	0	35	35	30	30	0	0	

Come sottolineato più volte nei capitoli precedenti, vi sono numerose macchine interne di vario genere. La maggior parte di esse sono congelatori monoblocco a bassissima temperatura destinati a conservare farmaci diagnostici, plasma, materiale biologico, sieri e vaccini.ecc. I congelatori a singolo stadio hanno un campo di utilizzo che va dai -20 °C ai -40 °C, quelli a doppio stadio da -20 a -85 °C e utilizzano un sistema di raffreddamento a cascata composto da due differenti circuiti frigoriferi distinti con due diversi tipi di refrigerante. Esse quindi, non solo assorbono potenza elettrica, ma influenzano il comportamento dell'edificio soprattutto durante la stagione di raffrescamento (essendo il condensatore ventilato con ventola elettrica ed espellendo calore direttamente in aria ambiente).

Sono state individuate quindi due tipologie principali dalle seguenti caratteristiche:

	1	2
Campo Temperatura	-40/-85	-20/-40
Potenza Nominale (kW)	0.66	0.33
Assorbimento Elettrico (A)	3	1.5
Dissipazione Termica (kcal/h)	560	280
Refrigerante	R404a/R23	R404a

È stato eseguito inoltre, un lavoro di mappatura di tutti i tipi di macchine distribuite nelle zone e suddivise per piano. Si sottolinea comunque che non essendo disponibili numerose informazioni riguardo queste ultime, è stato deciso di tralasciare l'inserimento di tali carichi all'interno dei modelli. Di seguito viene comunque proposta la tabella con le rassegne delle varie macchine presenti che potrà essere di certo utile per una futura analisi di tale aspetto.

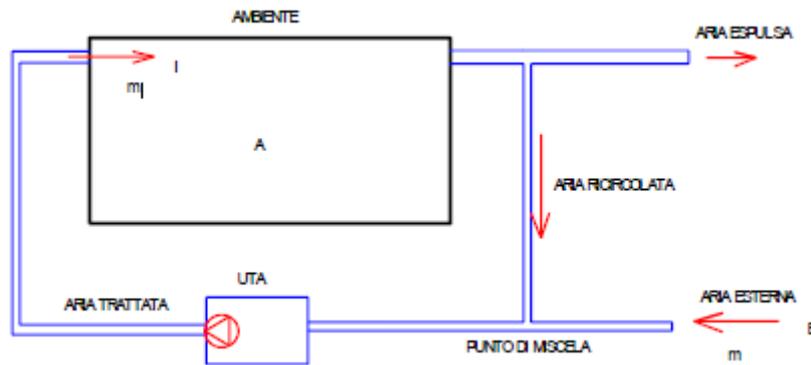
	PIANO 1°					PIANO 2°					PIANO 3°							
	ZONA1a	ZONA2a	ZONA4a	ZONA1b	ZONA2b	ZONA4b	ZONA1a	ZONA2a	ZONA4a	ZONA1b	ZONA2b	ZONA4b	ZONA1a	ZONA2a	ZONA4a	ZONA1b	ZONA2b	ZONA4b
Freezer= 0° C	4	1	0	3	0	1	1	3	2	4	7	0	2	0	0	0	0	0
Freezer= -20° C	4	2	0	3	5	0	3	5	0	2	5	3	2	1	2	1	0	0
Freezer= -40° C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Freezer= -80° C	1	2	5	0	1	0	0	1	2	2	1	0	1	3	0	1	2	1
Frigo Combinato	9	9	1	6	3	0	8	7	3	6	4	1	5	6	3	4	2	1
Cella Frigo	0	0	2	1	1	6	0	1	3	0	1	7	0	0	4	0	0	0
Macchina Radiazioni	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Armadio Termostatico	0	0	0	3	0	0	1	2	2	0	0	3	1	1	0	0	1	0
Incubatore	1	0	3	2	1	0	1	4	3	2	0	1	2	2	1	2	0	1
Macchina per Ghiaccio	0	0	1	0	1	0	0	0	2	0	1	0	0	1	1	0	0	0
Stufa Elettrica	0	0	5	0	3	0	0	0	1	3	2	6	3	5	1	1	4	0

	PIANO 4°					PIANO 5°					PIANO 6° (CRIBI)									
	ZONA1a	ZONA2a	ZONA4a	ZONA1b	ZONA2b	ZONA4b	ZONA1a	ZONA2a	ZONA4a	ZONA1b	ZONA2b	ZONA4b	ZONA1a	ZONA2a	ZONA4a	ZONA1b	ZONA2b	ZONA4b	ZONA7	ZONA8
Freezer= 0° C	2	1	0	2	6	5	0	3	3	0	3	1	2	3	2	2	2	1	2	3
Freezer= -20° C	2	1	2	2	1	3	5	3	0	2	4	1	2	0	2	1	0	3	4	3
Freezer= -40° C	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Freezer= -80° C	0	0	2	0	0	1	1	0	1	1	2	0	0	1	0	0	0	1	2	0
Frigo Combinato	3	3	0	1	5	1	5	5	1	3	6	0	6	3	3	5	4	0	2	3
Cella Frigo	0	0	1	0	1	2	0	0	4	3	0	5	0	0	3	0	0	1	1	0
Macchina Radiazioni	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Armadio Termostatico	2	2	2	2	0	0	2	1	0	1	0	1	0	0	0	3	2	0	1	0
Incubatore	0	0	0	1	2	2	0	1	4	5	1	3	0	0	1	0	2	0	8	1
Macchina per Ghiaccio	0	0	2	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0
Stufa Elettrica	1	1	0	4	3	0	3	2	0	6	2	3	0	0	5	0	1	2	4	0

Portate di ventilazione e volumi ora:

Le portate di ventilazione sono state ricavate dalle tabelle proposte nel capitolo relativo alla descrizione degli impianti, effettuando solo l'accortezza di separare tali portate e distribuirle tra le zone sempre basandosi sui disegni impiantistici esecutivi consultati per analizzare l'impianto.

L'impianto aeraulico simulato è essenzialmente stato creato per comportarsi come un impianto ideale con accorgimenti per fare in modo di rispecchiare il più possibile il caso reale:



$$G_I = G_r + G_{ext}$$

I carichi interni sono stati impostati come descritto in precedenza. Lavorando quindi con percentuali di affollamento essenzialmente elevate, ricordando il funzionamento del sistema di regolazione dell'impianto descritto nel capitolo dedicato e dati inoltre gli elevati volumi ora, si commette un errore trascurabile se si decide di limitare il ricircolo.

L'impianto del modello dovrà quindi "riscaldare / raffreddare" una portata che essenzialmente proverrà per buona percentuale dall'esterno.

Quindi la potenza in ventilazione che si otterrà in output dal Simulation Studio sarà quella che ci permetterà di riscaldare/raffreddare una determinata portata d'aria proveniente dall'esterno, dalla temperatura esterna alle temperature di setpoint (22 °C in inverno, 26 °C in estate).

Il funzionamento particolare dell'impianto a doppio condotto, che attiva i reintegratori al variare del numero di cappe, è stato simulato con una portata di reintegro pari al 45% della massima (4500 m³/h)

Si sottolinea inoltre che il sistema di umidificazione di tutte le CTA del sistema di edifici Nord Piovego non è per il momento attivo. Per il momento inoltre si sono trascurati i carichi latenti dell'edificio durante la stagione di raffreddamento.

2.4.2 Scheduling e Monitoraggi

Per far sì che i modelli abbiano un comportamento dinamico durante l'anno, è stato necessario creare degli scheduling contenenti tutte le variabili di input dipendenti dal tempo. Esse sono:

1. Orari di accensione e spegnimento della Centrale Termica e Frigorifera Nord Piovego
2. Orari di accensione e spegnimento delle Pompe di Circolazione
3. Orari di accensione e spegnimento delle CTA
4. Orari di lavoro ed orari didattici per simulare i carichi interni (persone, luci, PC)

1) *Orari di accensione e spegnimento della Centrale Termica e Frigorifera Nord Piovego*

Per determinare tale parametro, non avendo a disposizione una sonda necessaria a sostenere le elevate temperatura di impianto non è stato possibile raccogliere dei dati e accumularli per essere elaborati. Tuttavia oltre ad aver avuto l'opportunità di assistere alla giornata lavorativa tipo del tecnico della centrale durante i monitoraggi effettuati nel periodo invernale, si sono ricavate tali orari grazie alle informazioni forniteci dall'Ufficio Tecnico dell'Università degli Studi Padova e dall'azienda che gestisce l'erogazione in centrale Dupré Srl.

Complessivamente gli orari durante il periodo di riscaldamento e raffrescamento sono elencati in tabella:

Caldo (DPR412)			Freddo			
15-ott	ON		01-giu	ON		
giornaliero	on	off	giornaliero	on	off	P [MW]
15ott-1nov	7	16	giu	6	20	2.7
	7	10	lug-ago	6	20	3.6
	13	16		20	6	0.9
1nov-15 mar	5	19	8ago-20ago	6	20	1.8
	7	16		20	6	0.9
16mar-15apr	7	10	set	6	20	2.7
	13	16				
15-apr	OFF		16-set	OFF		

Durante i periodi di capo e coda di riscaldamento possiamo notare come ci sia a volte una gestione discontinua delle caldaie. Durante i periodi più freddi invece si seguono le classiche 14 ore previste dal DPR412.

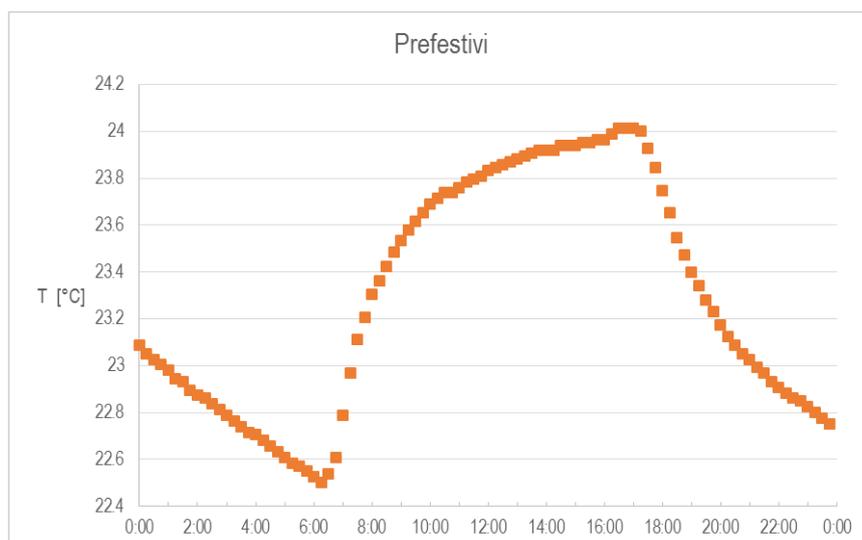
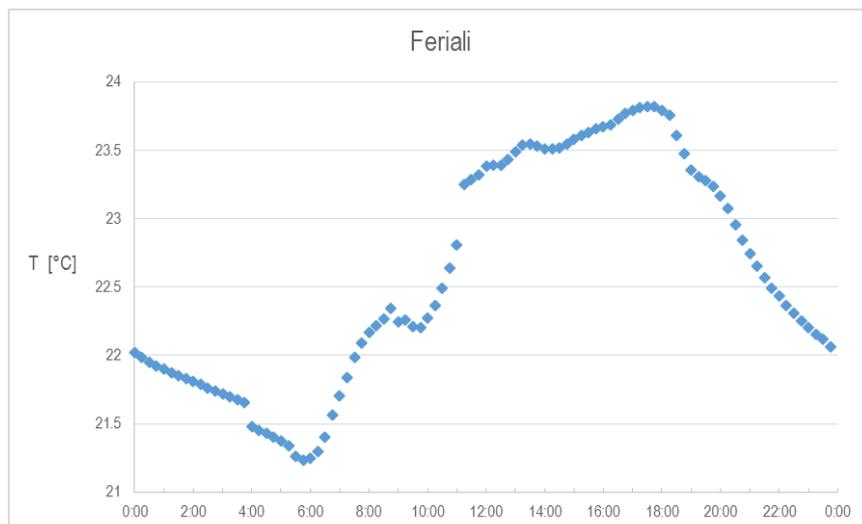
In raffrescamento la gestione è leggermente differente poiché si tende a far lavorare in continuo ed il più possibile i 4 gruppi frigo a disposizione attivandone 1,2,3 o 4 a seconda delle esigenze (colonna P [MW] mostra la potenza utilizzata; si ricorda che la potenza frigo erogata da tali gruppi è 900 kWf ciascuno)

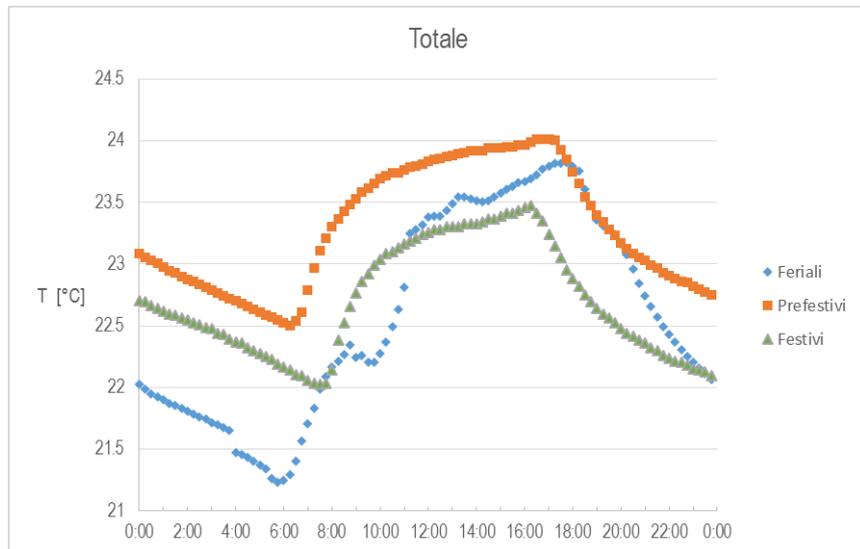
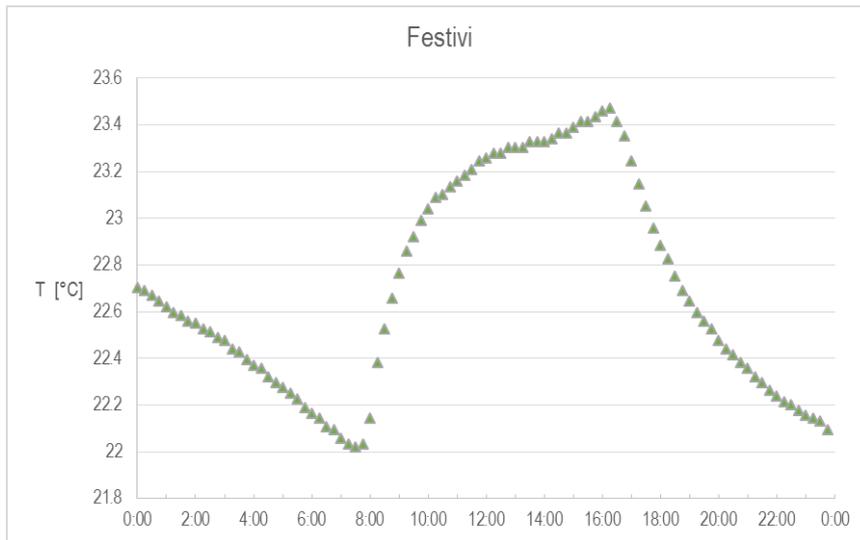
Per determinare i parametri 2) e 3) sono stati installati dei datalogger in ambienti rappresentativi. Questi strumenti sono stati appositamente programmati per accumulare ogni quarto d'ora le temperature e le umidità relative presenti della zona. Così facendo, oltre a ricavare semplicemente le temperature di setpoint dei terminali, si è potuto ottenere l'orario di accensione pompe della sottocentrale relative ai terminali stessi. Analizzando la funzione di output dei datalogger che confronta la temperatura al variare del tempo, è bastato creare una giornata tipo di funzionamento dell'impianto (distinguendo i giorni feriali dai prefestivi e dai festivi): il punto di flesso iniziale rappresenterà un'accensione, quello sull'ultimo massimo valore della temperatura, uno spegnimento.

Il periodo di monitoraggio è stato dall' 1 Marzo al 15 Marzo 2016. Risultati ottenuti sono presentati dai grafici seguenti e dalle tabelle riassuntive.

2) Orari di accensione e spegnimento delle Pompe di Circolazione

Per determinare gli orari di accensione delle pompe radiatori/fancoil che funzionano come unico gruppo è stato deciso di posizionare il datalogger nella zona centrale dell' atrio (Zona 3 PT).





Basandosi sul procedimento descritto in precedenza si ottiene:

RADIATORI	ON	OFF
feriale	05:45:00	17:45:00
prefestivo	06:00:00	17:00:00
festivo	07:00:00	16:15:00

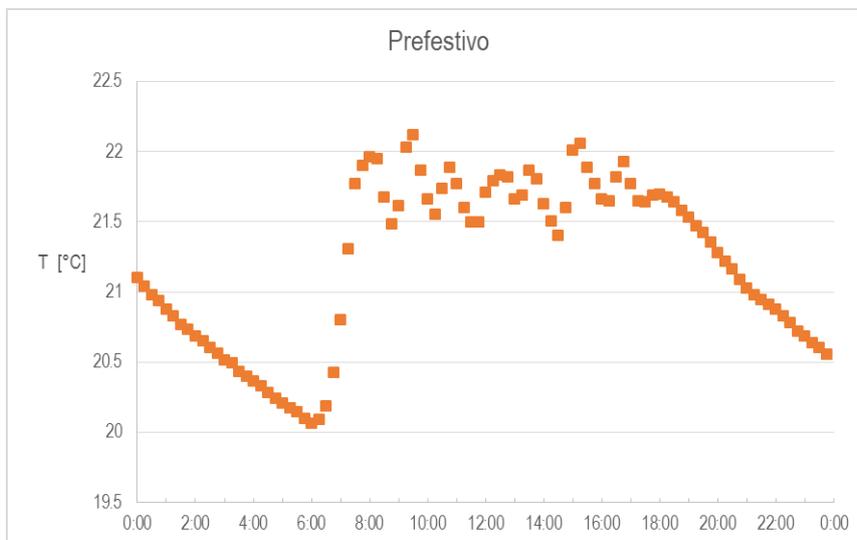
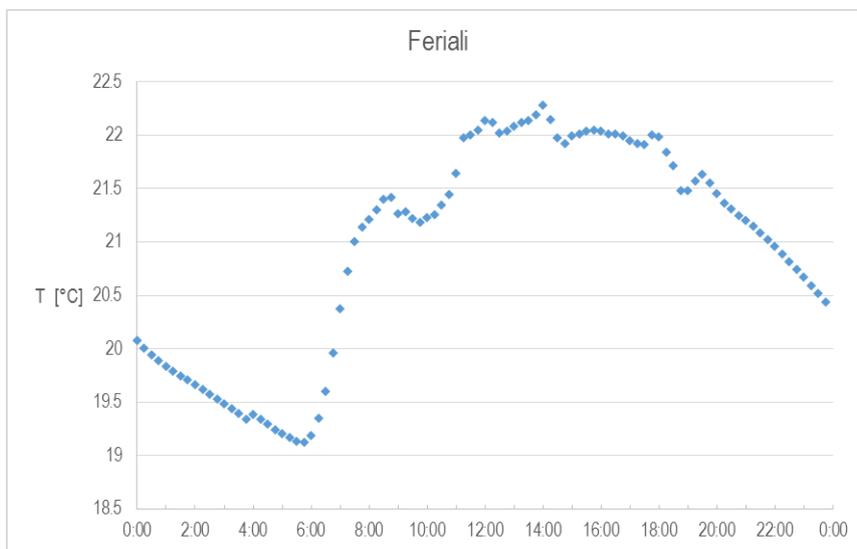
Innanzitutto ricaviamo una informazione molto utile: l'impianto è attivo anche durante i weekend.

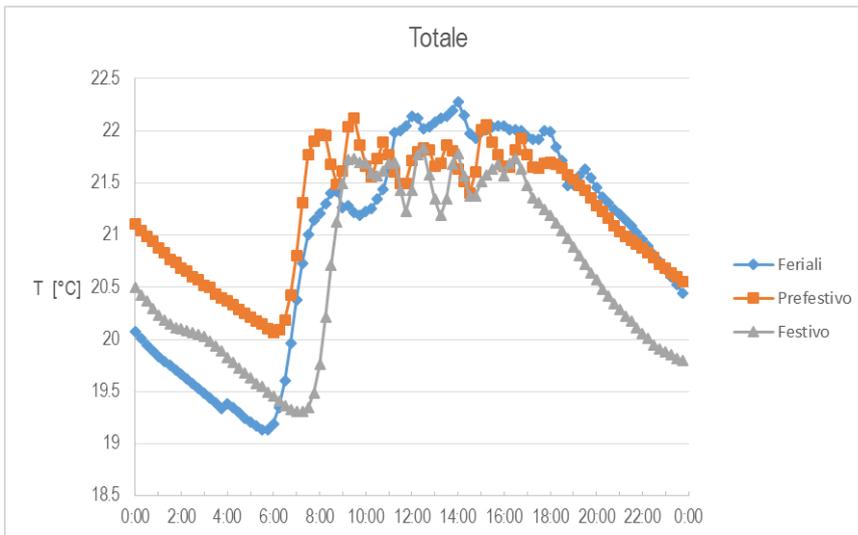
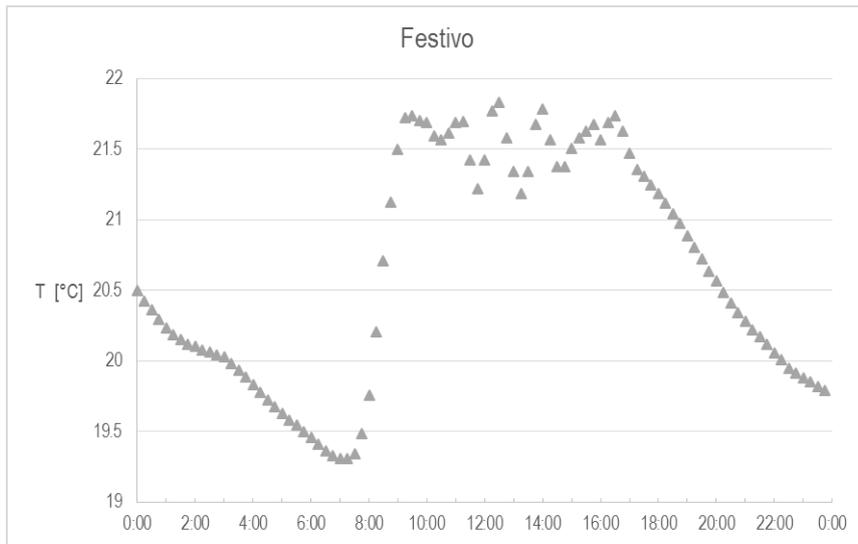
Si può notare inoltre, soprattutto analizzando gli andamenti degli stessi giorni Festivi/Prefestivi, come i radiatori siano regolati tramite Timer. Questo perché non vi sono oscillazioni con pendenza

negativa nell'arco della giornata (durante i giorni feriali l'affluenza elevata di studenti porta a variazioni che dipendono dal termine/inizio di una lezione)

3) Orari di accensione e spegnimento delle CTA

Per determinare l'accensione delle pompe di circolazione degli impianti aeraulici si è deciso di posizionare un datalogger all'interno dell'aula B piano terra Sud. Oltre a comunicare le temperature in una zona particolarmente delicata come un'aula, ci permette di capire come in precedenza, il criterio di regolazione delle CTA dell'edificio.





CTA	ON	OFF
feriale	05:45:00	19:30:00
prefestivo	06:00:00	18:00:00
festivo	07:00:00	16:15:00

Anche in questo caso notiamo che le aule sono riscaldate durante il weekend. I valori si aggirano attorno ai 21.5 °C. Questo ci consente di ipotizzare una regolazione della UTA che fa riferimento ad una sonda di temperatura. L'Ufficio Tecnico ha confermato la presenza di sonde esterne di temperatura per tutto il sistema CTA da quelle centrali dell'aria primaria (che ricordiamo hanno anche una sonda interna capace di regolare a punto fisso e spesso viene usata tale regolazione nei periodi più rigidi) a quelle dedicate.

4) *Orari di lavoro ed orari didattici per simulare i carichi interni*

L'accesso a questi dati non è stato difficoltoso, poiché ci si è basati sul calendario didattico dell'ateneo per le aule e su giorni e orari standard lavorativi per attribuire i carichi agli uffici e laboratori. Vi sono poi ambienti con scheduling creati ad hoc come ad esempio l'aula Magna, che gestisce i carichi interni simulando anche i periodi di massima affluenza corrispondenti ai periodi di laurea, oppure le sale riunioni utilizzate per due ore al giorno.

Andando ad incrociare le informazioni ottenute con le misure effettuate si è riuscito ad ottenere uno scheduling dettagliato per il periodo riferito al riscaldamento (per il periodo di raffrescamento non è stato possibile effettuare le misurazioni).

		Giorno	ora ON	ora OFF
01-gen	15-mar	feriale	6	20
		sabato	6	17
		domenica	7	16
16-mar	15-apr	feriale	8	17
		sabato	8	15
		domenica		OFF
15-ott	31-ott	feriale	8	17
		sabato	8	15
		domenica		OFF
01-nov	31-dic	feriale	6	20
		sabato	6	18
		domenica	7	16

2.4.3 Simulazioni e risultati

Di seguito verranno proposti i risultati ottenuti dalle simulazioni. Vedremo l'edificio analizzato sotto vari aspetti: il primo è quello che rispecchia lo stato di fatto attuale, cioè con l'Ala Est Didattica non riscaldata, poiché come sottolineato nel capitolo descrittivo, è stata per il momento dismessa. È stata inoltre fatta un'analisi sui fabbisogni che bisognerebbe fornire, nel caso in cui questa ala venisse a ripristinata, in modo tale da dare completezza al modello intero ed avere margini di confronto con le potenze originariamente installate in sottocentrale.

Il modello infine è stato simulato con diversi tipi di implementazioni.

Soluzione 1: Cappotto Esterno

Come abbiamo descritto nel capitolo relativo all'edificio analizzato dal punto di vista architettonico, vi sono notevoli perdite sui ponti termici. Volendo considerare il particolare caso preso in esame si è deciso di migliorare la trasmittanza lineica creando un cappotto di spessore 10 cm che ricopra la superficie esterna della trave e parte di pannello in cemento.

Facendo un'analisi con il software ad elementi finiti *Mirage* si è ottenuta una trasmittanza lineica del ponte termico pari a:

$$\psi = 0.9 \text{ W/mK}$$

(ricordiamo che lo stesso ponte termico aveva valori di $\psi = 2.89 \text{ W/mK}$)

Soluzione 2: Cappotto Esterno + Rifacimento totale delle facciate dal 1° al 6° piano

La sostituzione del codice 8, è stata effettuata con un pannello finestrato delle stesse dimensioni dell'intero serramento e dalle seguenti caratteristiche:

$$U_w = 1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_f = 1.5 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$G_f = 40\%$$

Soluzione 3: Recupero Totale dell'aria espulsa dal 1° al 6° piano

Partendo dal fatto che circa l'80% del fabbisogno energetico dell'edificio è da attribuirsi al processo di trattamento dell'aria primaria e di condizionamento, si può facilmente intuire come il parametro sul quale agire, nel caso si voglia effettivamente ottenere un efficientamento energetico dello stabile sia il contributo in ventilazione. *Tutte le CTA dell'edificio sono prive di recuperatori.* Si sottolinea comunque che l'analisi è stata effettuata solo a livello di potenziale impatto sull'edificio, non a livello specifico quale dimensionamenti e progettazione di un sistema di recupero.

Analizzando lo sviluppo dell'impiantistica dello stabile, lasciando per il momento da parte le CTA indipendenti delle varie aule, un possibile recupero sull'aria espulsa può essere effettuato sulla zona Nord-Sud Scientifica (anche sull'Ala Est visto che è previsto un rifacimento totale della stessa).

Il principio è quello di sfruttare l'intera colonna di portata d'aria esausta presente nel cavedio. Si potrebbe quindi installare un recuperatore "aria-acqua" all'uscita delle coppie di estrattori poste sia a Nord sia a Sud dalla portata complessiva di $26500+25500=52000 \text{ m}^3/\text{h}$. Sapendo però che le CTA primarie erogano una portata pari a $G_p = 48000 \text{ m}^3/\text{h}$ ciascuna bisognerà agire su questo dato. Nell'ipotesi quindi che la portata estratta in caso di cappe attive sia reintegrata nella maniera descritta nel capitolo dedicato all'impiantistica, e ipotizzando un *efficienza del recuperatore pari a 40%*, ne conviene che la portata che effettivamente dovrà essere trattata per ogni semipiano sarà

$$G_r = G_p * 0.6 = 28800 \text{ m}^3/\text{h}$$

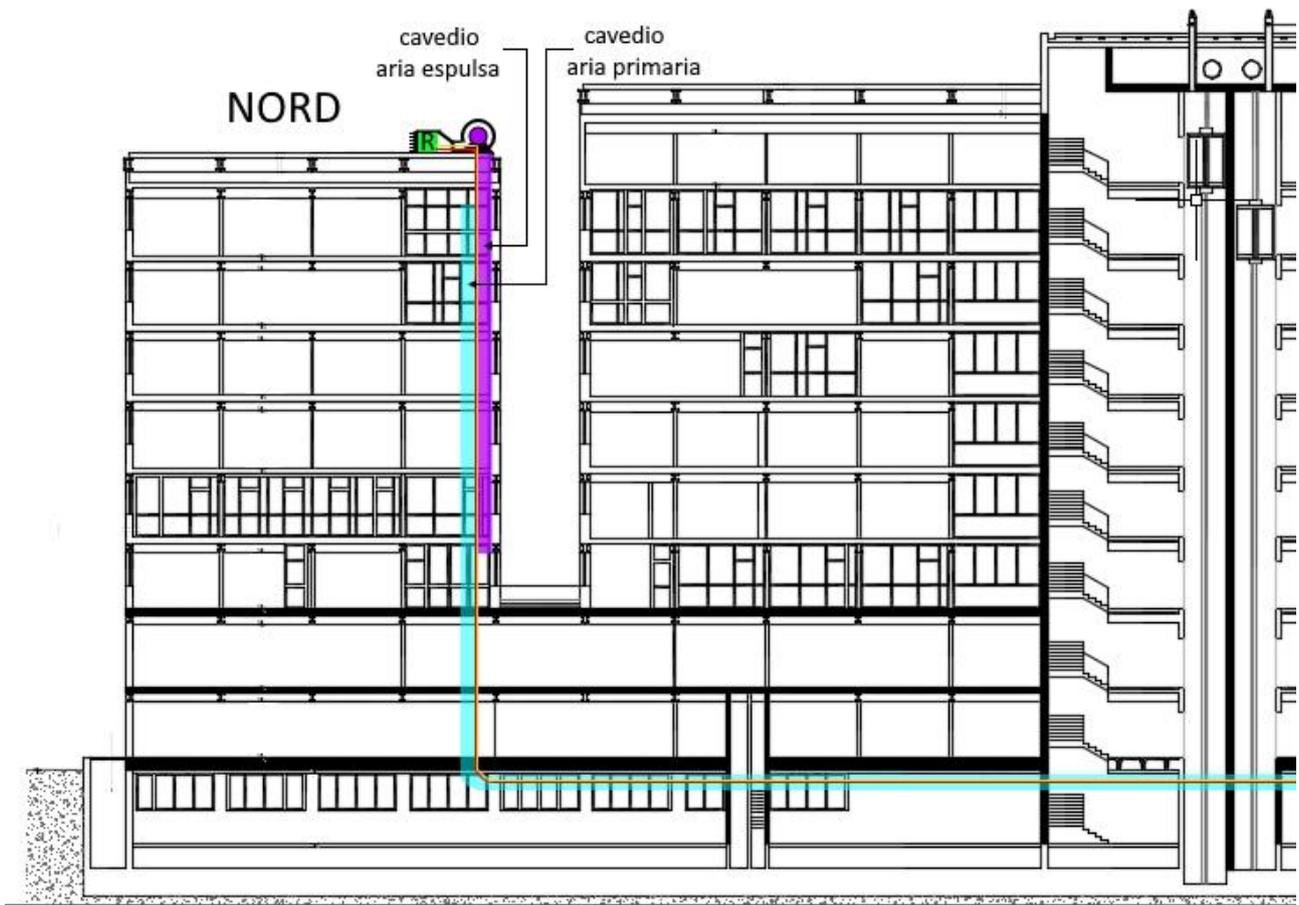


Figura 68: Soluzione 3: inserimento di un recuperatore dell'aria espulsa sul piao copertura dello stabile

In Figura 68 è stato proposta schematicamente la metodologia che si potrebbe attuare per realizzare tale recupero. Il buon senso suggerirebbe quindi di sfruttare il cavedio dell'aria primaria già presente (in azzurro), e che arriva direttamente in Sottocentrale al piano Interrato Sud (il recupero a Sud è

più favorito). Resterebbe quindi da dimensionare i tubi di alimento e ritorno del recuperatore stesso per verificare che siano realizzabili in termini di ingombro.

Per quanto riguarda l'ala Est, in vista dei rifacimenti futuri si propone una versione di CTA con recupero aria-aria dall'efficienza sempre pari al 40%.

Soluzione 4: Riqualificazione totale dell'edificio.

In questo caso sono state unite nella simulazione dinamica la Soluzione 2 con la Soluzione 3.

Si passano ora in rassegna i risultati ottenuti. Sono stati raccolti i valori di ogni ora dell'anno (8760 ore) e riassunti nelle seguenti tabelle e grafici. Le tabelle contengono i fabbisogni energetici suddivisi tra Riscaldamento e Raffrescamento ed il Picco Massimo di Potenza raggiunto durante tutto l'anno nei due casi, i grafici invece visualizzano gli andamenti della potenza richiesta in una giornata tipo rappresentativa

- invernale $T_{min} = -1$ °C giornata particolarmente rigida
- mezza stagione $T_{med} = 9.5$ °C giornata di mezza stagione con centrale in parziale funzionamento
- estiva $T_{med} = 27$ °C. giornata particolarmente calda

Si fa presente che la maggior parte delle considerazioni verranno eseguite per il periodo di riscaldamento, questo poiché si ha avuto la possibilità di raccogliere un numero maggiore di dati e sono stati eseguiti monitoraggi solo in questo frangente dell'anno (la Centrale Frigorifera Nord Piovego è stata azionata la seconda settimana di giugno). Il contributo del calore latente non è stato calcolato.

È stata inoltre calcolata la potenza dell'intero edificio in condizioni di progetto invernali, cioè senza carichi gratuiti e con la temperatura esterna di -5 °C costante. Il calcolo è stato effettuato per avere un ordine di grandezza necessario nel valutare se la potenza installata in sottocentrale fosse coerente con quella del modello. Si fa presente infine che in tale simulazione il contributo del reintegro dell'aria esterna è ancora al 45% della portata totale, non esplicitando totalmente la potenza necessaria dello scambiatore a piastre da 800kW ad esso dedicato. Questo poiché la condizione di "tutte cappe dell'edificio ON" non è stata considerata verosimile.

Come vedremo la Potenza in Stato di Progetto sarà inferiore a quella dinamica. Questo spiega un'influenza negativa dei vari ON/OFF della sottocentrale.

L'edificio quindi risponde abbastanza bene a temperature anche molto basse, ma risente molto in termini di fabbisogni se sottoposto ad un "comportamento intermittente".

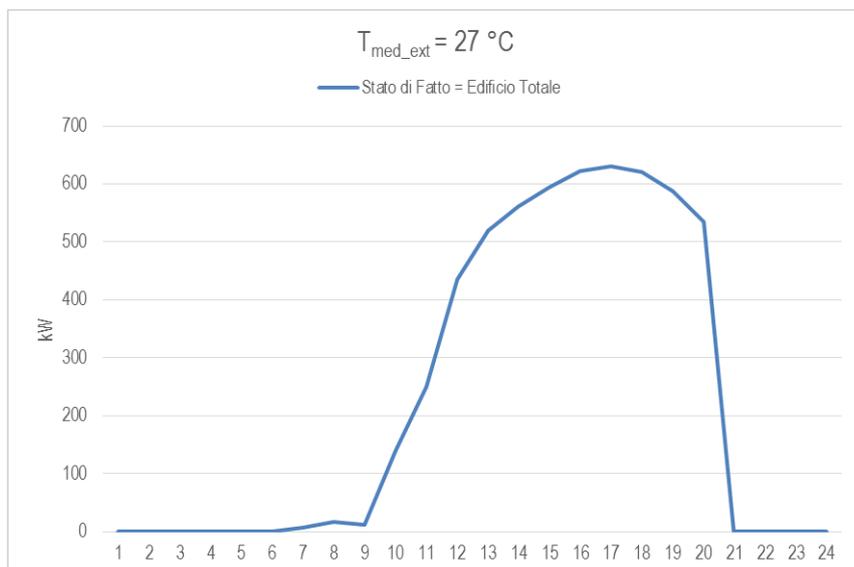
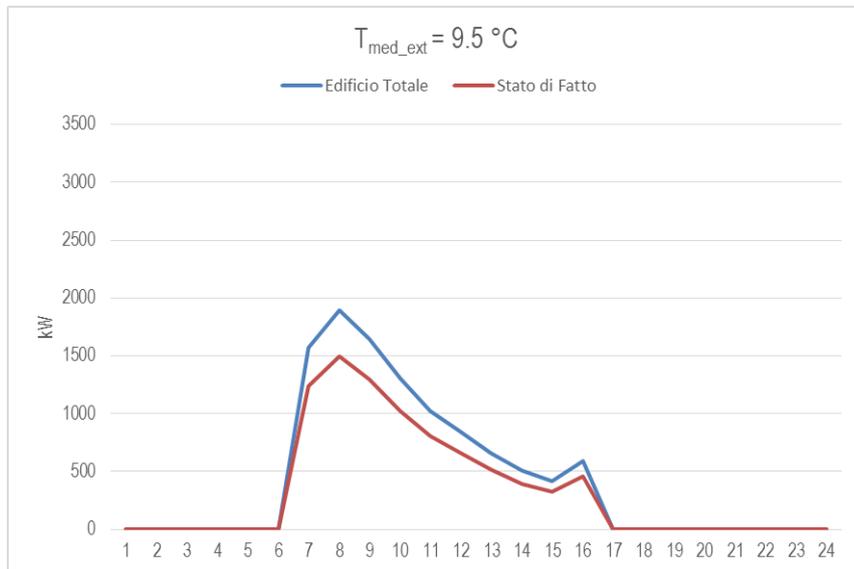
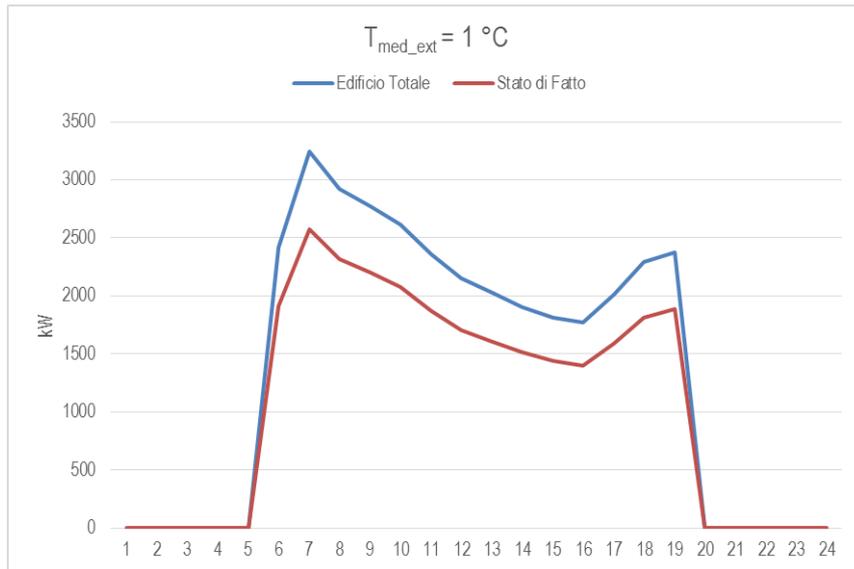
Stato di fatto: Edificio totale ed edificio allo stato dei fatti privo dell'Ala Didattica Est dal 1° al 5° piano.

	Fabbisogni energetici			
	Edificio Complessivo		Stato di Fatto	
	Riscaldamento	Raffrescamento	Riscaldamento	Raffrescamento
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Gennaio	947250	0	751142	0
Febbraio	789722	0	626146	0
Marzo	543367	0	430199	0
Aprile	38558	0	34702	0
Maggio	0	0	0	0
Giugno	0	60270	0	60270
Luglio	0	136963	0	136963
Agosto	0	46724	0	46724
Settembre	0	19878	0	19878
Ottobre	122240	0	95861	0
Novembre	576582	0	456786	0
Dicembre	878163	0	696713	0
Totale	3895882	263834	3091549	263834

Dai risultati ottenuti, si evince che la percentuale di carico dello stato attuale rispetto alle condizioni di lavoro "a tutto edificio" è pari all' 88%

Edificio Totale			Stato di Fatto	
Picco Massimo di Potenza			Picco Massimo di Potenza	
Riscaldamento	Condizioni di Progetto Invernali	Raffrescamento	Riscaldamento	Raffrescamento
[kW] (*)	[kW] (*)	[kW]	[kW]	[kW]
3905	3255	1195	3093	1195
Potenza Installata in Sottocentrale Termica				
4800 kWt				

(*) Recupero Aria Esterna fissato al 45%



Tutte le considerazioni svolte da qui in seguito si baseranno sul paragonare l'edificio nel suo complessivo con le varie soluzioni proposte, in modo da avere una visione di insieme proiettata sulle potenzialità totali dei risparmi energetici (diagrammi "a torta" in rosso).

Il caso estivo è esattamente identico all'edificio senza l'Ala Est poiché non è servita da raffrescamento.

Di seguito sono rappresentati i risultati della simulazione dinamica nelle 8760 ore in riscaldamento e raffrescamento.

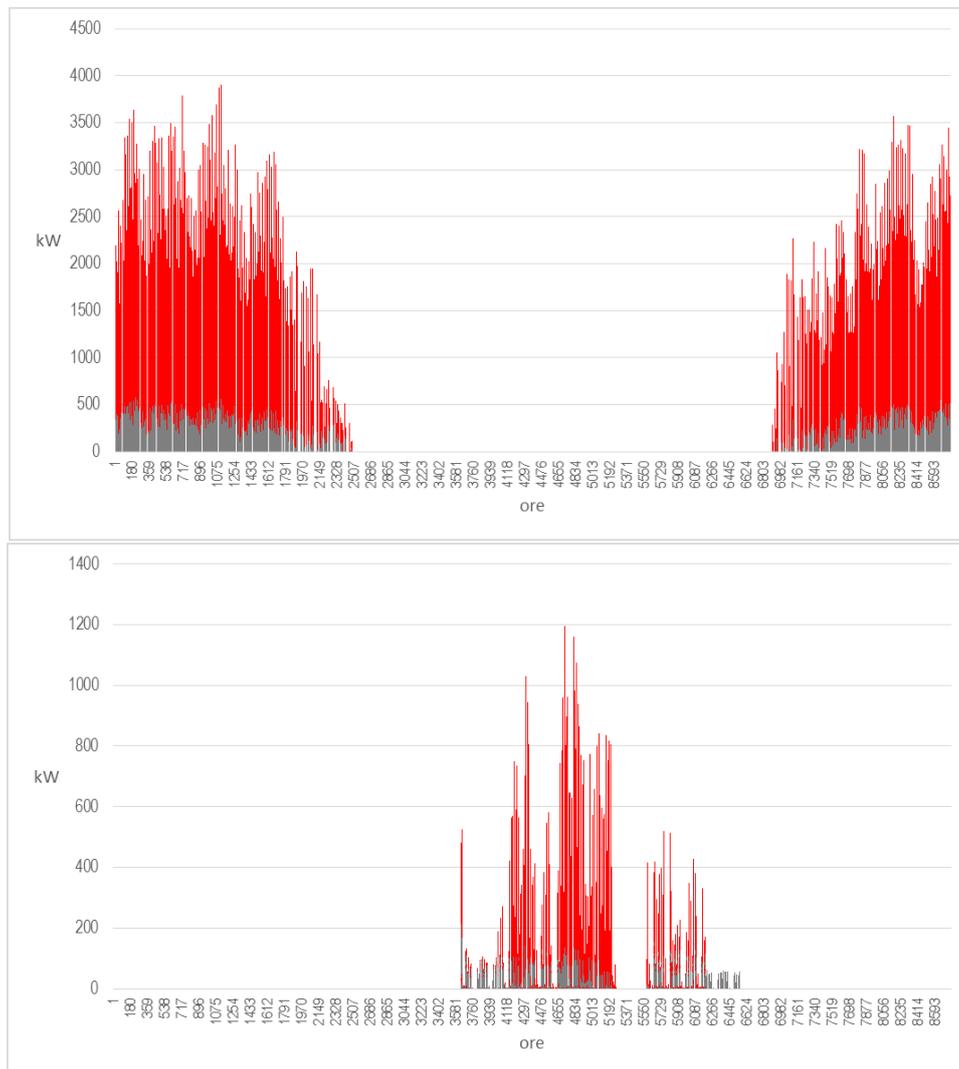
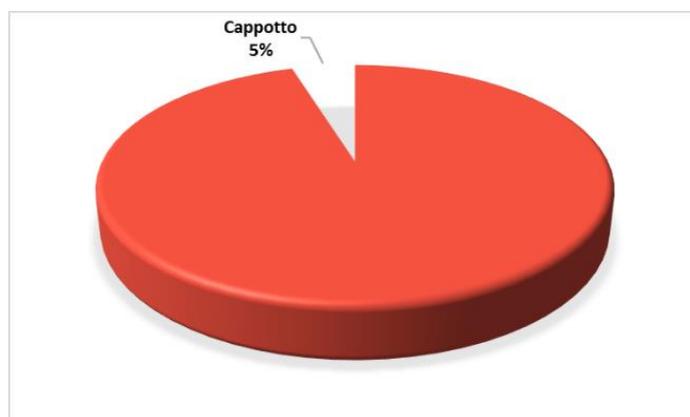


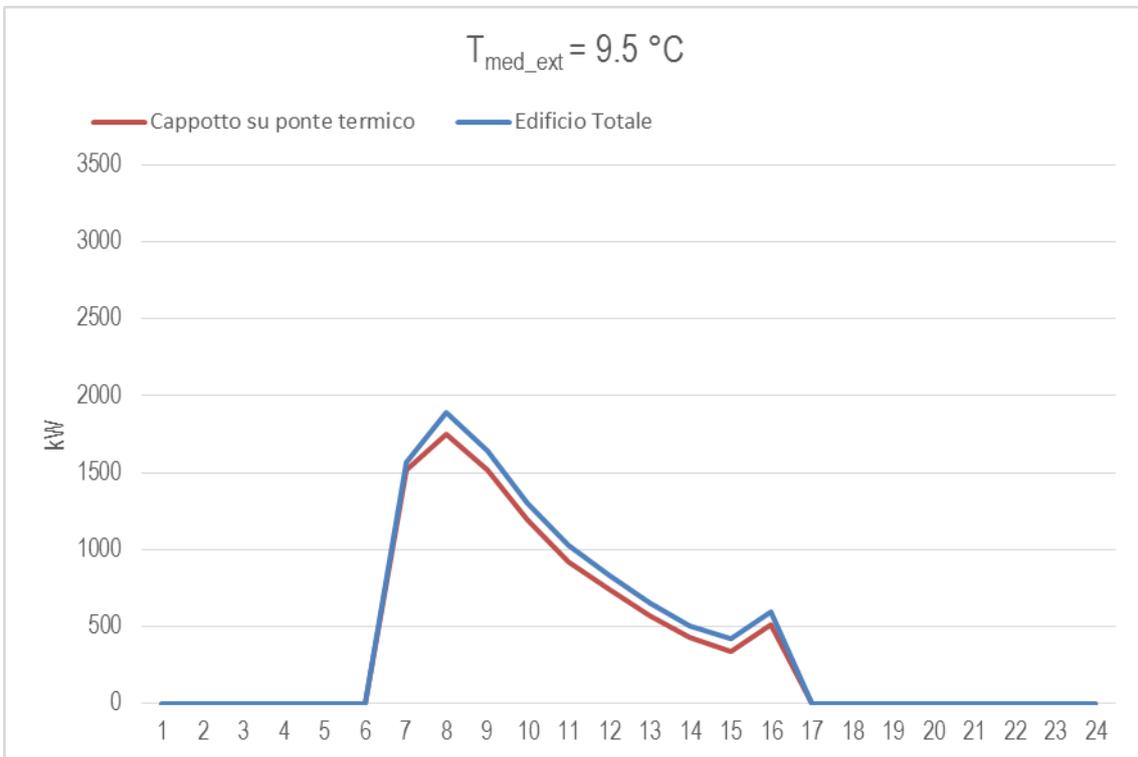
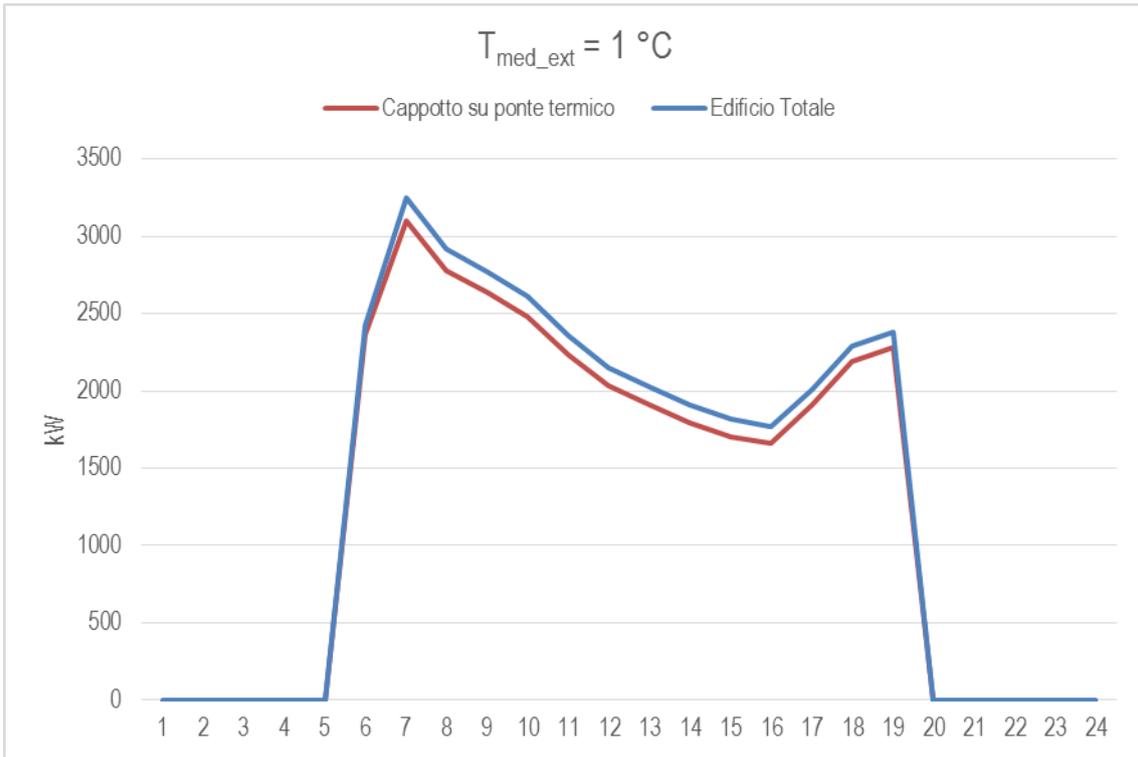
Figura 69: Andamento in riscaldamento e in raffrescamento dei modelli simulati nel corso dell'anno. In Rosso l'edificio dal 1° al 6° piano, in grigio piano terra e rialzato. Il peso dell'area interessata da implementazioni è considerevolmente maggiore.

Soluzione 1: Cappotto Esterno su Ponte Termico

	Edificio Totale	Cappotto su Ponte Termico	
	Riscaldamento [kWh]	Riscaldamento [kWh]	Δ [kWh]
Gennaio	947250	902768	44482
Febbraio	789722	751224	38498
Marzo	543367	512992	30376
Aprile	38558	37293	1265
Maggio	0	0	0
Giugno	0	0	0
Luglio	0	0	0
Agosto	0	0	0
Settembre	0	0	0
Ottobre	122240	110291	11949
Novembre	576582	545921	30661
Dicembre	878163	836102	42061
Totale	3895882	3696590	199292

PICCO MAX	
Riscaldamento [kW]	Raffrescamento [kW]
3717	1188

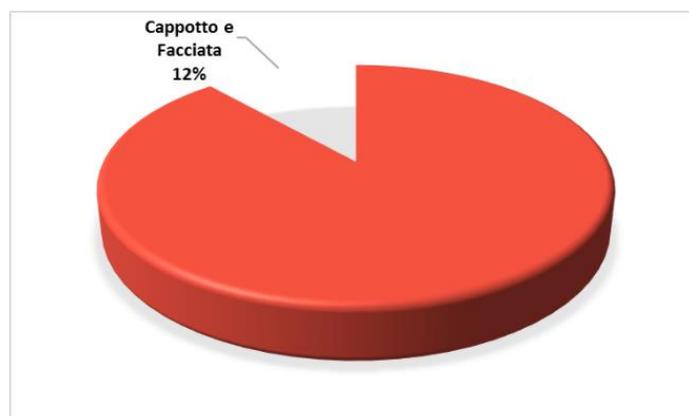


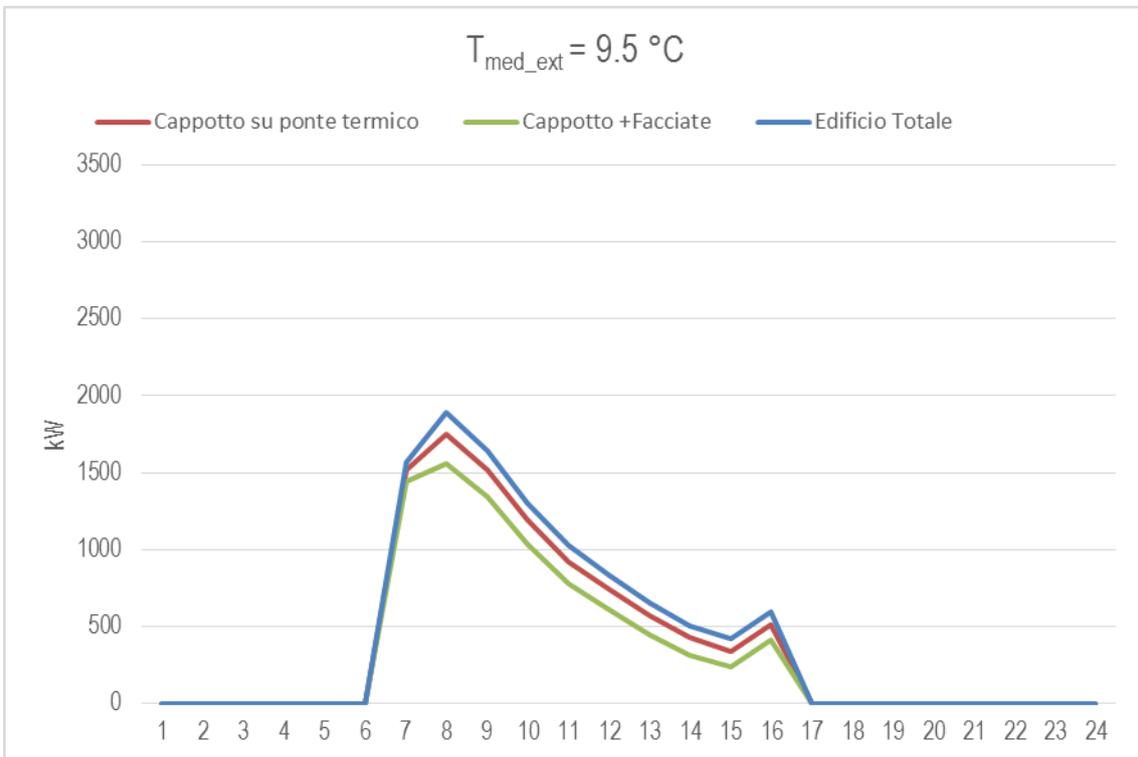
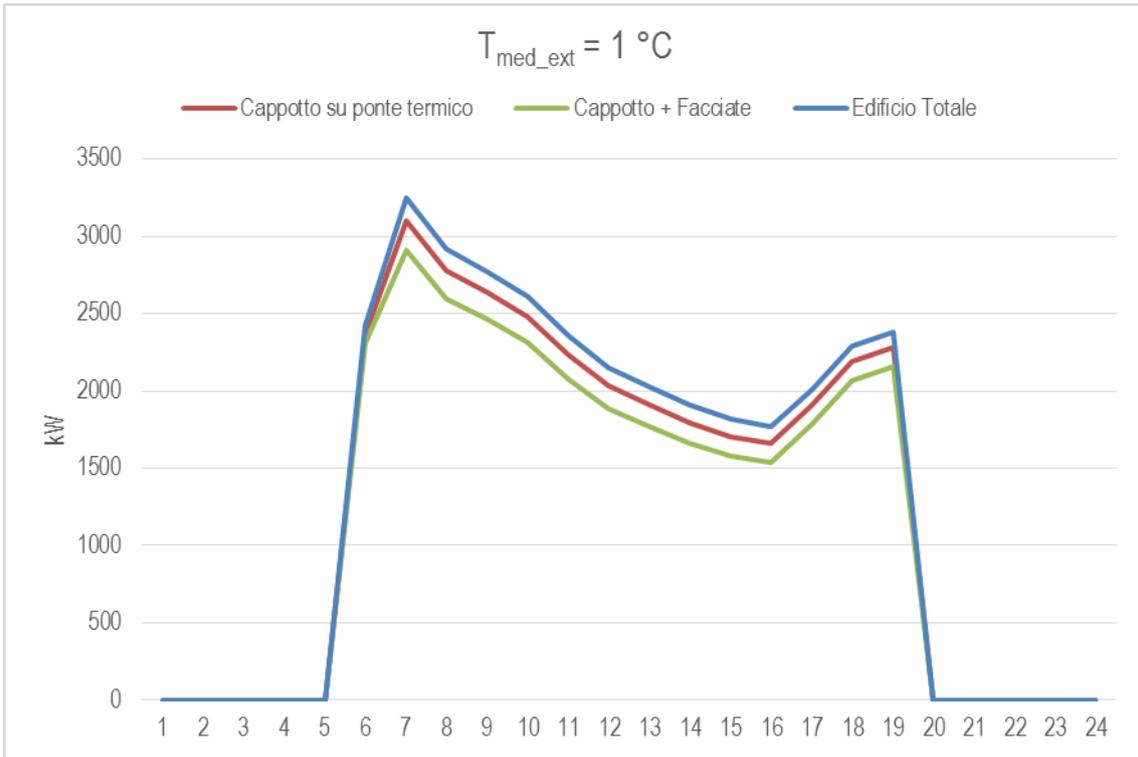


Soluzione 2: Cappotto esterno + Rifacimento delle facciate

	Edificio Totale	Cappotto su Ponte Termico		Cappotto + Facciate	
	Riscaldamento [kWh]	Riscaldamento [kWh]	Δ [kWh]	Riscaldamento [kWh]	Δ [kWh]
Gennaio	947250	902768	44482	846633	100618
Febbraio	789722	751224	38498	701473	88249
Marzo	543367	512992	30376	473065	70302
Aprile	38558	37293	1265	35482	3076
Maggio	0	0	0	0	0
Giugno	0	0	0	0	0
Luglio	0	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0	0
Settembre	0	0	0	0	0
Ottobre	122240	110291	11949	93489	28751
Novembre	576582	545921	30661	504621	71961
Dicembre	878163	836102	42061	781335	96828
Totale	3895882	3696590	199292	3436097	459785

PICCO MAX	
Riscaldamento [kW]	Raffrescamento [kW]
3483	1162

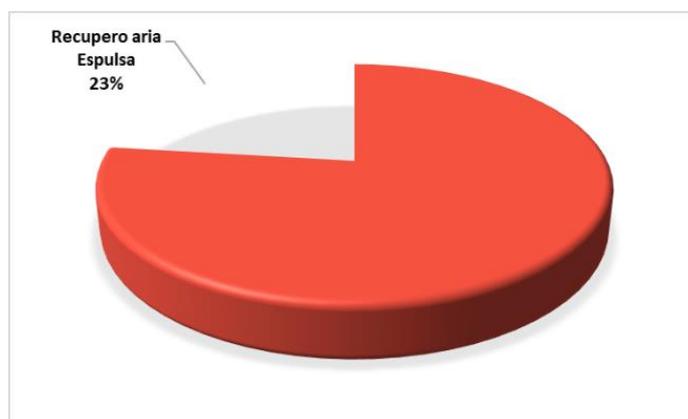


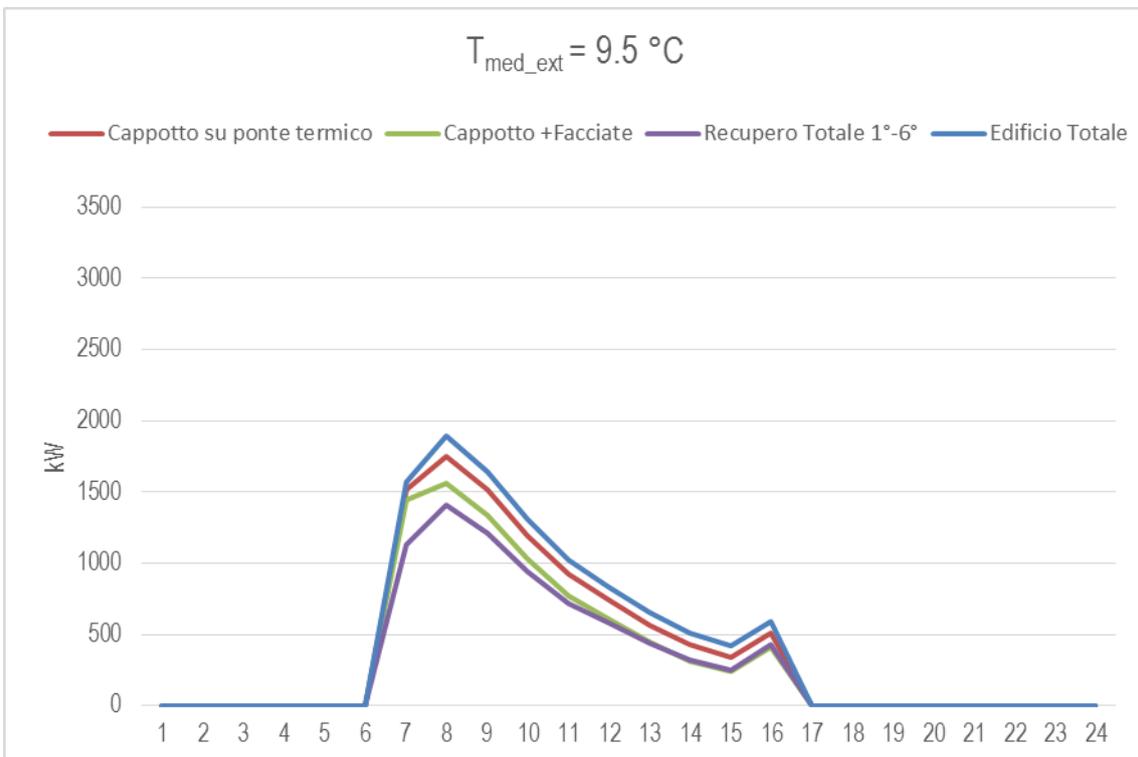
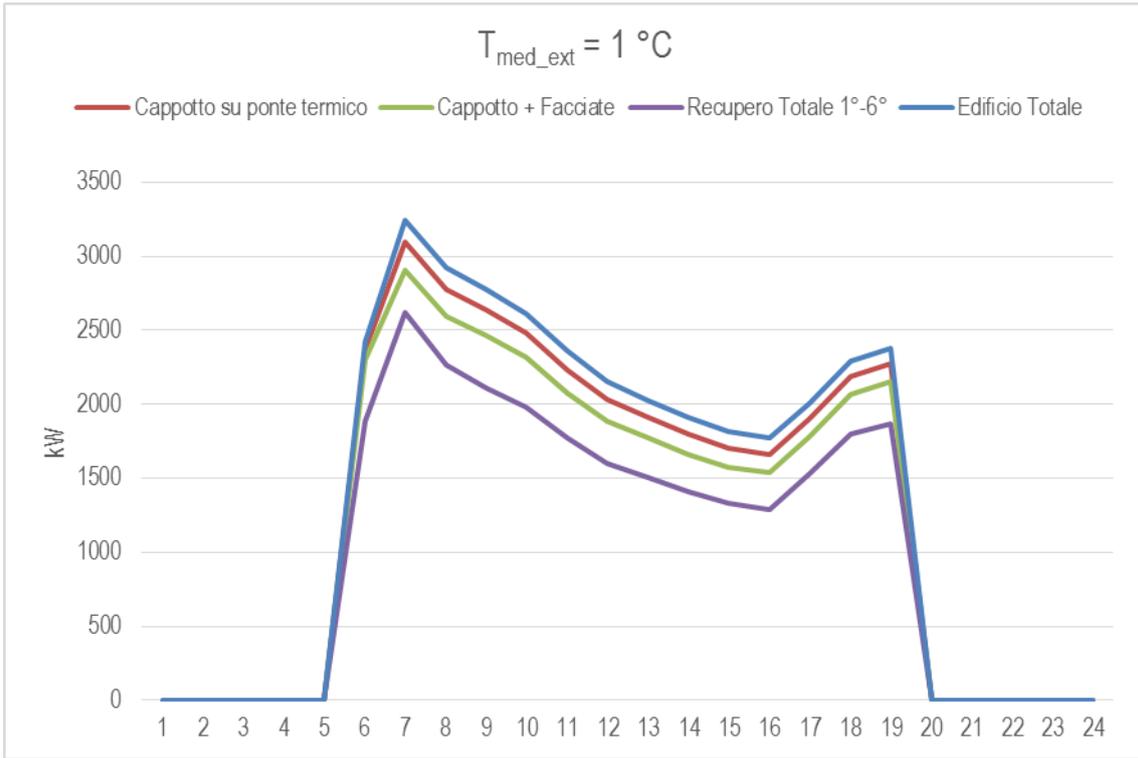


Soluzione 3. Recupero dell'aria Espulsa

	Edificio Totale	Cappotto su Ponte Termico		Cappotto + Facciate		Recupero Totale	
	Riscaldamento [kWh]	Riscaldamento [kWh]	Δ [kWh]	Riscaldamento [kWh]	Δ [kWh]	Riscaldamento [kWh]	Δ [kWh]
Gennaio	947250	902768	44482	846633	100618	737702	209549
Febbraio	789722	751224	38498	701473	88249	611459	178263
Marzo	543367	512992	30376	473065	70302	411858	131509
Aprile	38558	37293	1265	35482	3076	32992	5566
Maggio	0	0	0	0	0	0	0
Giugno	0	0	0	0	0	0	0
Luglio	0	0	0	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0	0	0	0
Settembre	0	0	0	0	0	0	0
Ottobre	122240	110291	11949	93489	28751	88297	33943
Novembre	576582	545921	30661	504621	71961	439613	136969
Dicembre	878163	836102	42061	781335	96828	681282	196881
Totale	3895882	3696590	199292	3436097	459785	3003202	892679

PICCO MAX	
Riscaldamento [kW]	Raffrescamento [kW]
3178	1043

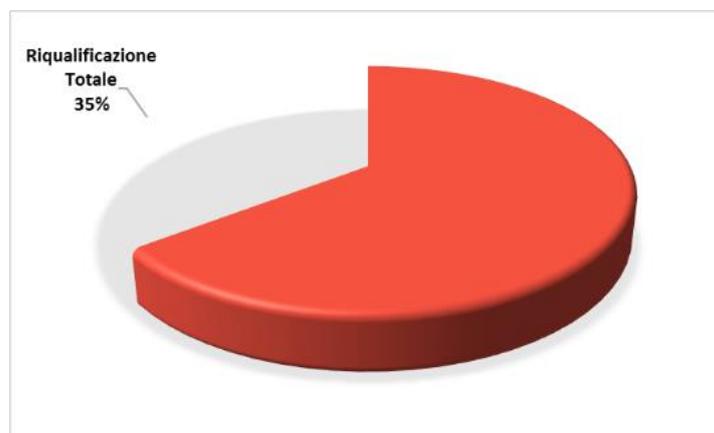


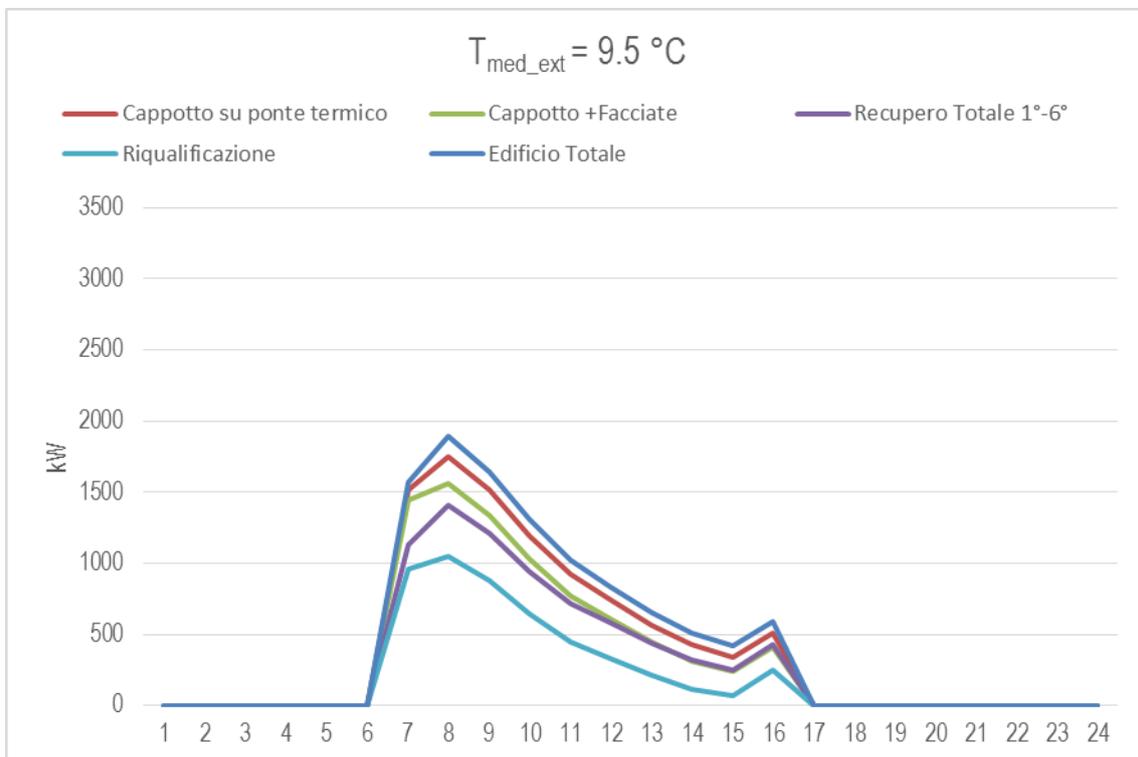
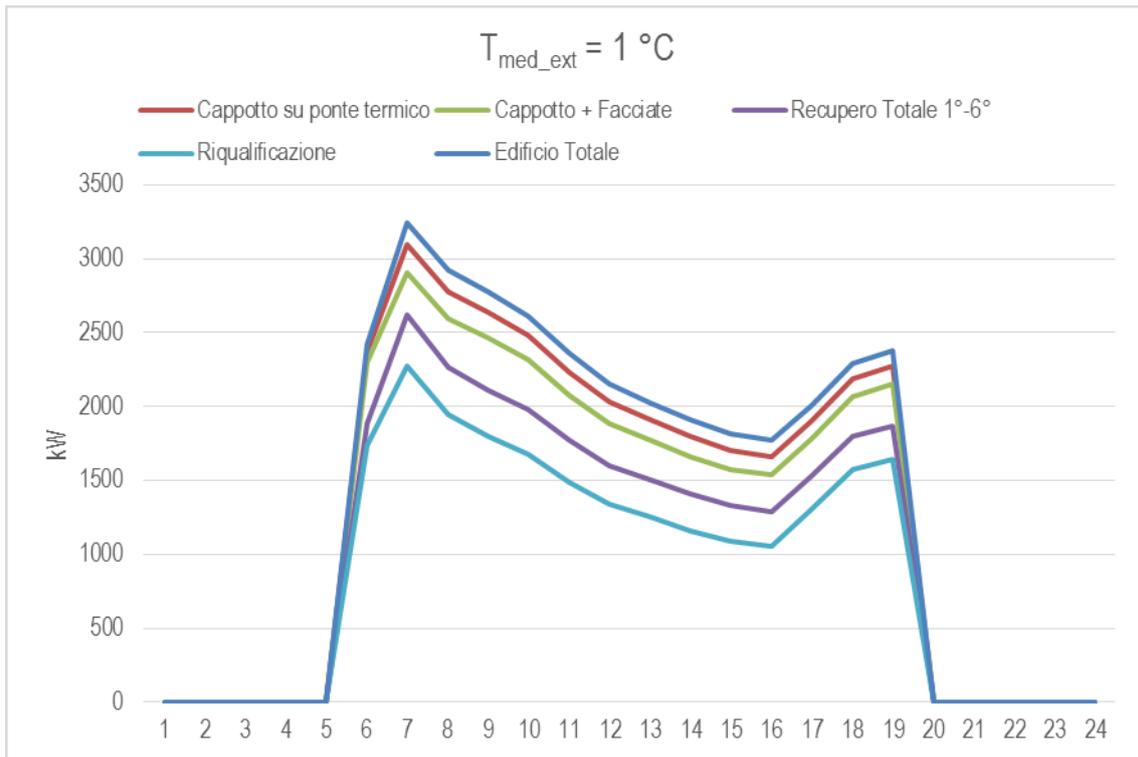


Soluzione 4: Riqualificazione Totale

	Edificio Totale	Cappotto su Ponte Termico		Cappotto + Facciate		Recupero Totale		Riqualificazione	
	Riscaldamento [kWh]	Riscaldamento [kWh]	Δ [kWh]	Riscaldamento [kWh]	Δ [kWh]	Riscaldamento [kWh]	Δ [kWh]	Riscaldamento [kWh]	Δ [kWh]
Gennaio	947250	902768	44482	846633	100618	737702	209549	636105	311146
Febbraio	789722	751224	38498	701473	88249	611459	178263	522343	267379
Marzo	543367	512992	30376	473065	70302	411858	131509	340817	202550
Aprile	38558	37293	1265	35482	3076	32992	5566	29910	8648
Maggio	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Giugno	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Luglio	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Settembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ottobre	122240	110291	11949	93489	28751	88297	33943	60451	61789
Novembre	576582	545921	30661	504621	71961	439613	136969	366942	209640
Dicembre	878163	836102	42061	781335	96828	681282	196881	583520	294643
Totale	3895882	3696590	199292	3436097	459785	3003202	892679	2540088	1355794

PICCO MAX	
Riscaldamento [kW]	Raffrescamento [kW]
2756	1011





Alcune Considerazioni

Esercitando il confronto tra le percentuali di risparmio energetico ottenute con le differenti soluzioni proposte otteniamo:

	Edificio Totale	Cappotto su Ponte Termico		Cappotto + Facciate		Recupero Totale		Riqualificazione	
	Riscaldamento [kWh]	Riscaldamento [kWh]	Δ [kWh]	Riscaldamento [kWh]	Δ [kWh]	Riscaldamento [kWh]	Δ [kWh]	Riscaldamento [kWh]	Δ [kWh]
Gennaio	947250	902768	44482	846633	100618	737702	209549	636105	311146
Febbraio	789722	751224	38498	701473	88249	611459	178263	522343	267379
Marzo	543367	512992	30376	473065	70302	411858	131509	340817	202550
Aprile	38558	37293	1265	35482	3076	32992	5566	29910	8648
Maggio	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Giugno	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Luglio	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Settembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ottobre	122240	110291	11949	93489	28751	88297	33943	60451	61789
Novembre	576582	545921	30661	504621	71961	439613	136969	366942	209640
Dicembre	878163	836102	42061	781335	96828	681282	196881	583520	294643
Totale	3895882	3696590	199292	3436097	459785	3003202	892679	2540088	1355794
% Risparmio		5%		12%		23%		35%	
	€		13'353	€	30'806	€	59'810	€	90'838

Nell'ultima riga della tabella è stato ricavato un risultato indicativo del risparmio energetico annuo relativo al modello. Per il costo al kWh prodotto è stato ipotizzato un valore pari a 0.063 €/kWh.

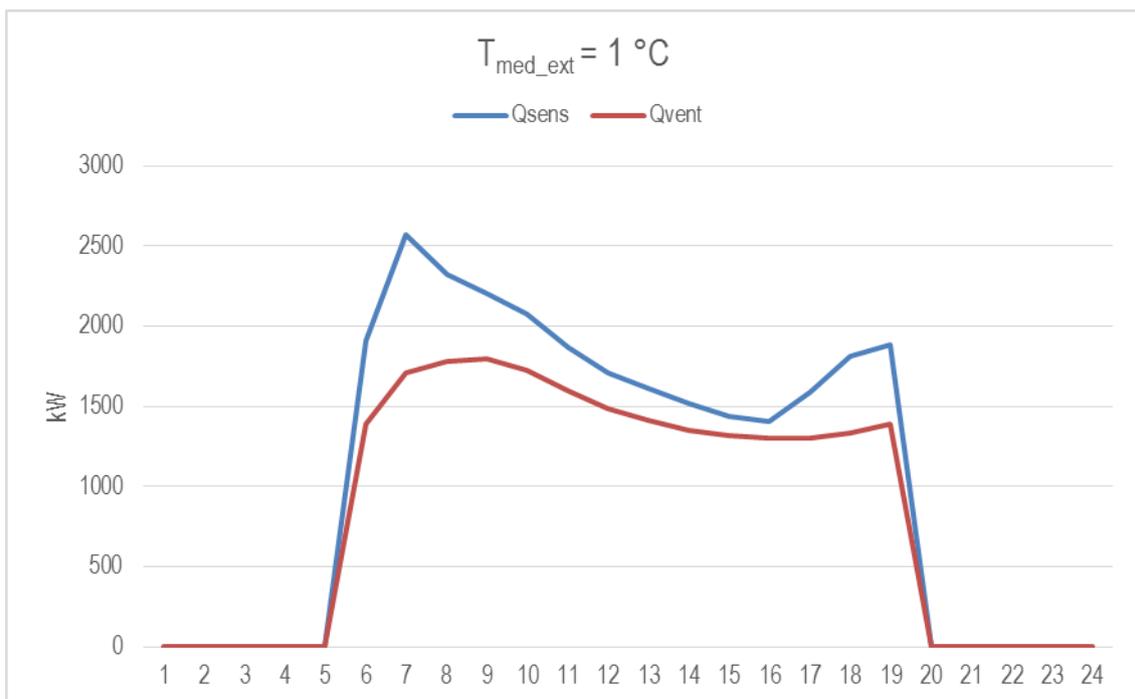
È importante sottolineare come queste cifre rappresentino solo un ordine di grandezza sul quale poter fare riferimento.

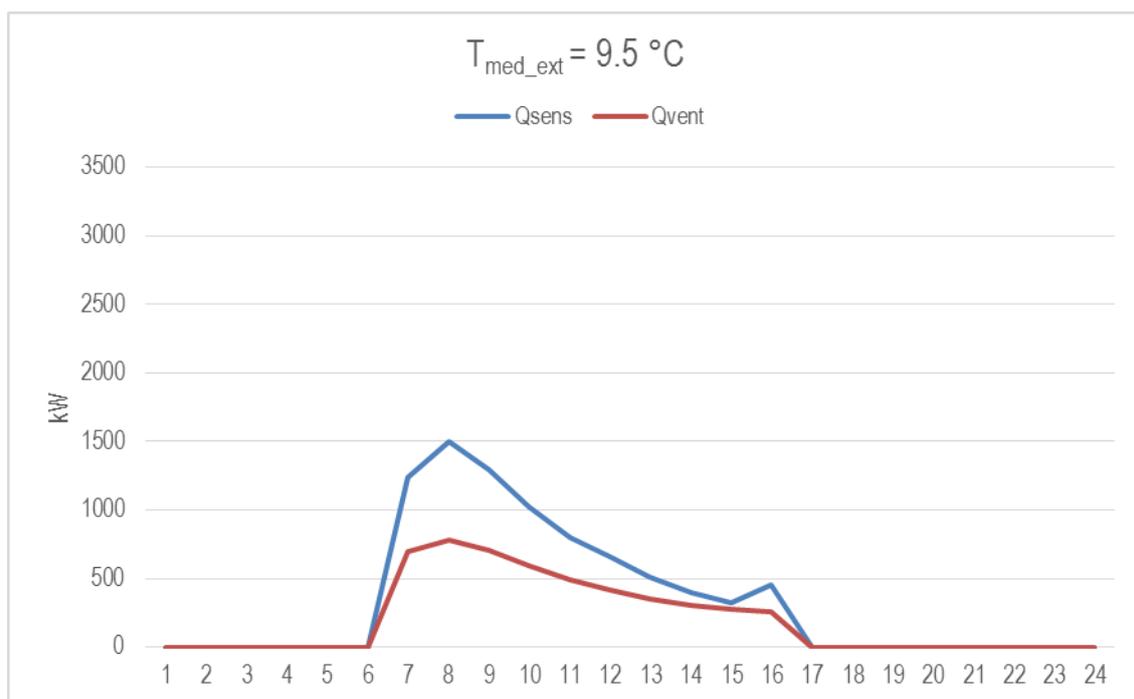
Ragionando in maniera diretta sui dati, non si può fare a meno di notare che degli interventi migliorativi dal punto di vista strutturale non siano affatto convenienti. D'altro canto, lo stesso modello è stato creato riferendosi a valori termofisici consigliati dalla normativa, non sono state effettuate delle misurazioni della trasmittanza dei codici più rappresentativi (quelli descritti nel capitolo relativo all'architettonico). Non si è considerato quindi un degrado dei materiali nell'arco dei trentacinque anni di esistenza di questa struttura.

Salta subito all'occhio invece come una soluzione che definiamo più "veloce" dal punto di vista dell'attuabilità, sia effettivamente conveniente, lasciando un grande margine per un'analisi futura più approfondita.

Il motivo principale di questi margini migliorativi sono da attribuire essenzialmente alla grande influenza in termini di energia spesa per far fronte alla *ventilazione* sul fabbisogno. Quindi un suo decremento anche di pochi punti percentuali, porta ad un abbassamento netto dei consumi. Di seguito si presenta un confronto tra potenza sensibile totale, e la corrispettiva quota parte spesa in ventilazione. La differenza tra le due è paragonabile all'influenza dell'involucro dell'edificio sulla potenza sensibile stessa.

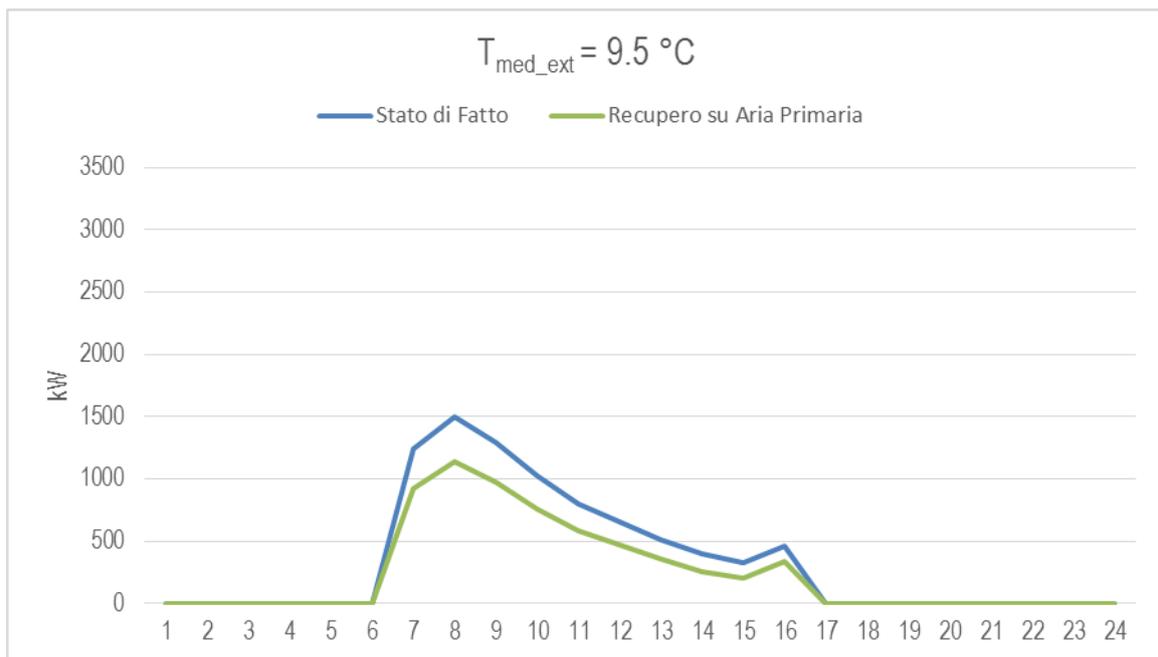
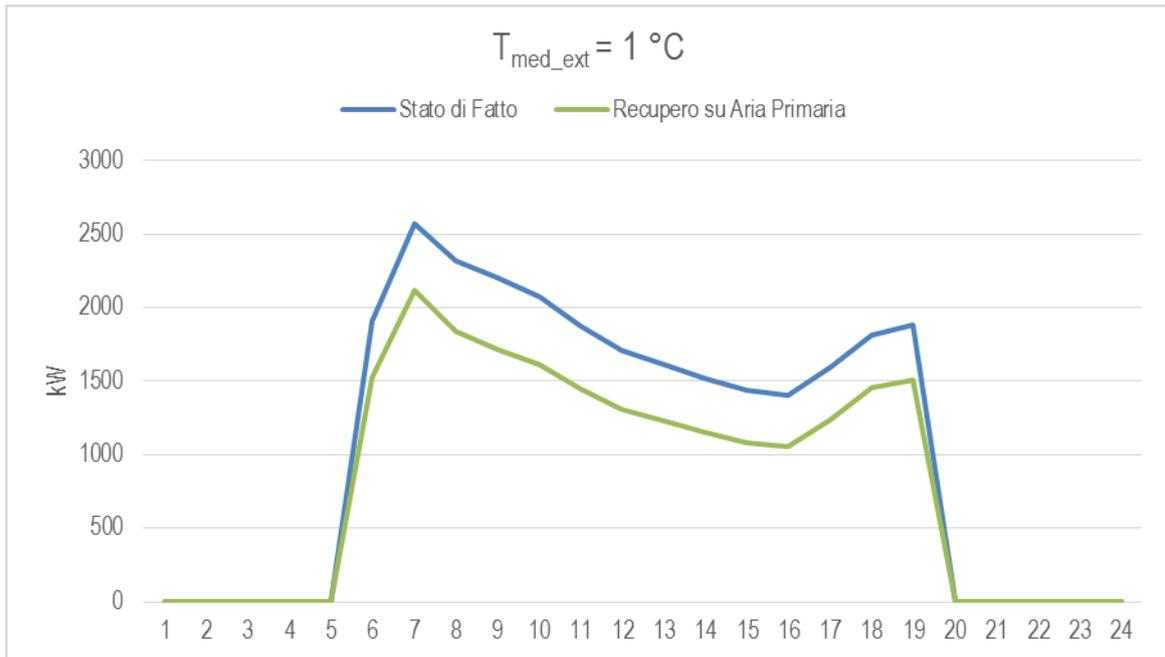
	Qsens [kWh]	Qvent [kWh]
Gennaio	751142	567406
Febbraio	626146	482509
Marzo	430199	355582
Aprile	34702	33814
Maggio	0	0
Giugno	0	0
Luglio	0	0
Agosto	0	0
Settembre	0	0
Ottobre	95861	94202
Novembre	456786	370390
Dicembre	696713	532967
Totale	3091549	2436869
%	79%	





Si è quindi deciso di procedere con un'analisi riguardante lo stato di fatto attuale, e di effettuare tale recupero esclusivamente a valle delle CTA dell'aria primaria (con le modalità già descritte in precedenza).

	Stato di Fatto		Recupero Aria Primaria 1°-6° Nord-Sud	
	Riscaldamento [kWh]	Riscaldamento [kWh]	Riscaldamento [kWh]	Δ [kWh]
Gennaio	751142	598243	598243	152899
Febbraio	626146	495961	495961	130185
Marzo	430199	334185	334185	96014
Aprile	34702	30922	30922	3780
Maggio	0	0	0	0
Giugno	0	0	0	0
Luglio	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0
Settembre	0	0	0	0
Ottobre	95861	71098	71098	24764
Novembre	456786	356813	356813	99974
Dicembre	696713	552985	552985	143727
Totale	3091549	2440206	2440206	651343
% Risparmio			21%	
			€	43'640



Il risultato ottenuto è di un ordine di grandezza molto simile alla versione “Recupero Totale” su tutto l’edificio. Questo tuttavia era prevedibile dato che l’ala Est ha dei volumi ora molto inferiori.

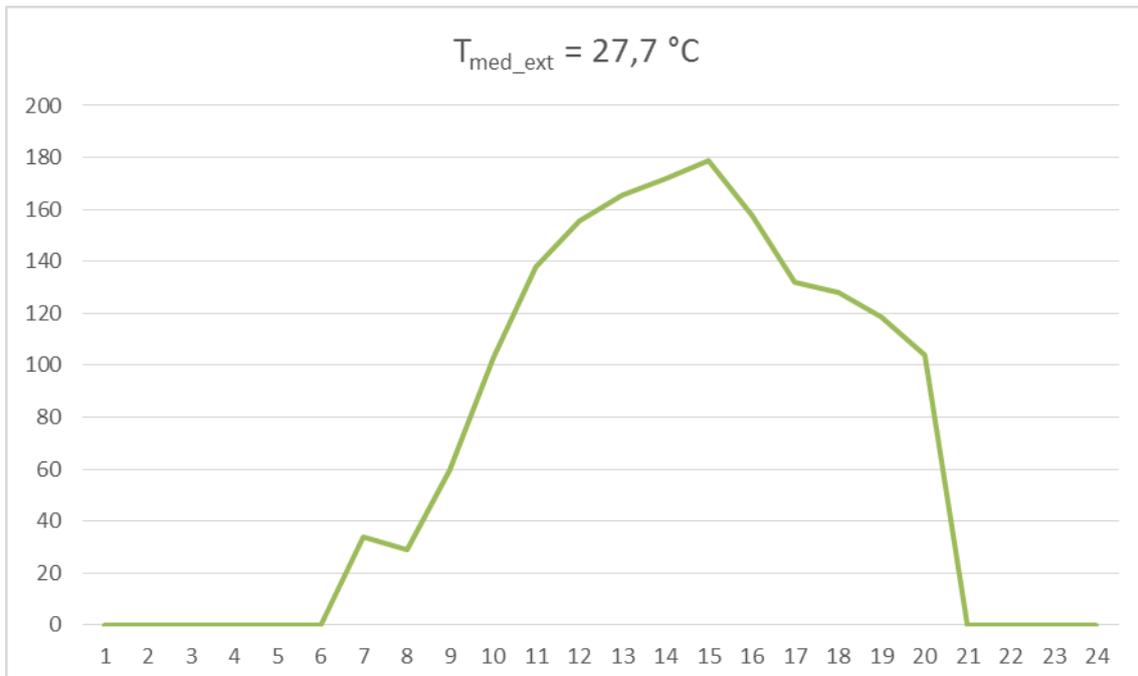
I risultati lasciano ampio margine di analisi visto gli effettivi vantaggi che un siffatto sistema di semplice realizzazione lascia intravedere.

In ultima analisi, in vista dei futuri rifacimenti, è stato richiesto di calcolare il fabbisogno sensibile in raffrescamento ed il picco di potenza relativo dell'intera *ala Est dal 1° al 5°* piano riconvertita in zone di laboratori e uffici.

Questo per avere una linea guida sulle procedure di cambiamenti impiantistici; essenzialmente per verificare se un aggiornamento tale possa essere atualizzabile e che non comporti un sovraccarico eccessivo della Centrale Frigorifera Nord Piovego.

	<i>kWh</i>
Giugno	5249
Luglio	16881
Agosto	5837
Settembre	132
Totale	28099

Picco Massimo [kW]
179



Capitolo 3: Le Aule Ugo Bassi

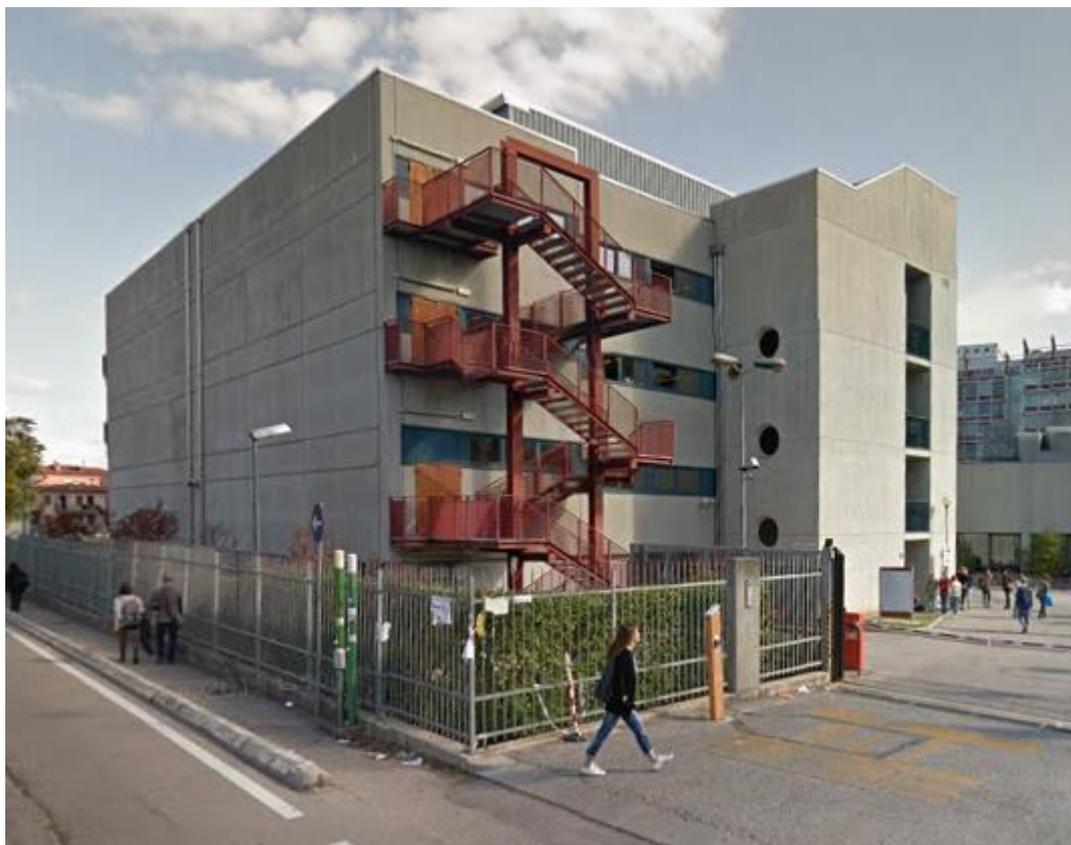


Figura 70: Il Complesso Didattico Piovego

3.1 L'edificio

L'edificio "Complesso Didattico Piovego" o "Aule U.Bassi" costruito a metà degli anni novanta, si sviluppa su quattro piani coprendo un'area di forma rettangolare i cui lati maggiori sono orientati rispettivamente a Sud-Est e a Nord-Ovest. Su ciascuno dei lati più corti è stato ricavato un vano scale ed un ascensore al servizio del fabbricato. La tipologia costruttiva dell'edificio fa completo affidamento all'uso di elementi prefabbricati sia nelle sue parti strutturali in calcestruzzo che di tamponamento e solai interpiano, sempre in calcestruzzo.

Il primo piano oltre a contenere due aule di circa 180 m² di capienza massima 166 posti, è l'unico ad avere una zona servizi igienici. I piani secondo e terzo infatti sono adibiti esclusivamente ad aule: 2x 270 m² con capienza massima di 310 persone ciascuna.

Il piano copertura invece accoglie la sottocentrale dello stabile.

Inizialmente il piano terra era adibito a parcheggio; dal 2006 è stato riqualificato e ivi sono create n° 3 aule: una da 128 m² e capienza massima 118 persone, le altre due da 65 m² e 59 posti a sedere ciascuna. Anche al piano terra, oltre a locali tecnici per accogliere le nuove macchine, sono stati creati dei servizi igienici.

La superficie lorda per piano è di circa 960 m² a cui corrisponde un volume totale lordo di 12800 m³.

3.2 Caratteristiche termofisiche dell'edificio

Nel seguente paragrafo verranno descritte le strutture principali dell'intero stabile. Analizzando la composizione dei vari muri, dei solai e della copertura superiore, si possono mettere in luce diverse composizioni alle quali corrispondono inevitabilmente diverse trasmittanze.

La descrizione delle pareti, metterà in evidenza i diversi materiali costituenti i vari strati, le caratteristiche termo-fisiche e il valore della trasmittanza.

Ciascun muro verrà etichettato, per rendere più agevole l'individuazione a livello grafico. La stratigrafia è descritta partendo dall'interno verso l'esterno.

La tabella riporta i materiali utilizzati nell'analisi. I valori e le caratteristiche inseriti fanno riferimento alle norme UNI 10351 e UNI/TR 11552 (2014)

	λ [W/mK]	cp [kJ/kgK]	ρ [kg/m ³]
bitume	0.23	3.5	1200
cartongesso	0.6	0.84	900
CLS alleggerito	0.19	0.88	2400
CLS armato	1.67	0.88	2400
intercapedine d'aria s=25mm	1.8		1.3
intonaco_int	0.7	1.01	1400
lamiera verde (ferro puro)	80	0.4	7874
lana di roccia	0.04	0.67	80
lana di vetro	0.04	0.8	16
linoleum	0.23	1.25	1800
massetto ordinario	1.67	1	1700
polistirene	0.059	1.47	25
polistirene allegg solai	0.0404	1.47	25
polistirene di alleggerimento PANNELLO	0.139	1.47	25
poliuretano lamiera	0.05	1.453	40
poliuretano solaio	0.04	1.453	40

3.2.1 Serramenti Esterni

1) Finestre di facciata

Infissi metallici dotati di vetrocamera di tipo Stopsol con telaio a taglio termico, in grado di garantire una trasmittanza globale pari a 1.92 W/m²K

2) Finestre delle aule

Infissi metallici dotati di vetrocamera di tipo Stopsol con telaio a taglio termico, in grado di garantire una trasmittanza globale pari a $2.5 \text{ W/m}^2\text{K}$

3) Porte esterne

Le porte di accesso sono in acciaio tamburato con interposto uno strato di materiale isolante dello spessore di 4 cm, la trasmittanza garantita non è superiore ai $0.86 \text{ W/m}^2\text{K}$

3.2.2 Pareti esterne

4) Parete esterna in pannello prefabbricato

È la parete principale dell'edificio e risulta costituita da elementi prefabbricati in calcestruzzo.

Ogni elemento è formato da uno strato esterno in calcestruzzo dello spessore di 5 cm, da uno strato centrale in polistirolo espanso di alleggerimento dello spessore di 10 cm e da uno strato interno di calcestruzzo sempre di 5 cm. I pannelli in cls sono tra loro collegati da nervature di irrigidimento.

La conduttività media ponderata dichiarata dal costruttore è di $1.28 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Sul lato interno è stata poi realizzata una rifodera con lastre di polistirolo espanso dello spessore di 3 cm applicate su pannelli di cartongesso.

Complessivamente quindi:

4) Pannello Prefabbricato cls (EXT to INT)				
Materiali	Spessore m	λ [W/mK]	R [m²K/W]	Trasmittanza Termica [W/m²K]
cls	0.050	1.67	0.03	0.77
polistirene alleggerimento	0.1	0.14	0.72	
cls	0.05	1.67	0.03	
polistirene	0.03	0.06	0.51	
cartongesso	0.01	0.60	0.02	
totale	0.24		1.30	

5) Parete opaca continua di facciata

Questo elemento fa parte integrante del tamponamento di chiusura continua della facciata principale rivolta ad Est dell'edificio. È costituito da una serie di pannelli sandwich isolati all'interno con materiale isolante espando (poliuretano) montati nella parte inferiore della struttura metallica che sostiene le finestre.

5) Pannello in Lamiera				
Materiali	Spessore <i>m</i>	λ [W/mK]	R [m²K/W]	Trasmittanza Termica [W/m²K]
lamiera	0.002	80.00	2.50E-05	1.25
poliuretano	0.04	0.05	0.80	
lamiera	0.002	80.00	2.50E-05	
totale	0.04		0.80	

6) Parete Vano Scale esterno

6) Parete Vano Scale EXT				
Materiali	Spessore <i>m</i>	λ [W/mK]	R [m²K/W]	Trasmittanza Termica [W/m²K]
cartongesso	0.030	0.60	0.05	0.70
lana di vetro	0.045	0.04	1.13	
aria	0.25	1.80	0.14	
cls	0.2	1.67	0.12	
totale	0.53		1.43	

3.2.3 Solai e soffitti

7) Soffitto esterno

La copertura è realizzata, dall'interno verso l'esterno, con copponi chiusi in calcestruzzo dello spessore di 7 cm nello strato inferiore e 8 cm nello strato superiore, con un alleggerimento di polistirolo dello spessore di 40 cm.

I copponi saranno ricoperti da uno strato di calcestruzzo cellulare alleggerito dello spessore medio di 18 cm, isolato superiormente da un ulteriore strato di poliuretano dello spessore di cm 4. Il tutto sarà protetto e impermeabilizzato da una guaina ardesiata.

7) Tetto				
Materiali	Spessore <i>m</i>	λ [W/mK]	R [m²K/W]	Trasmittanza Termica [W/m²K]
cls	0.080	1.67	0.05	0.08
polistirene SOLAI	0.4	0.04	9.90	
cls	0.07	1.67	0.04	
cls allegg	0.18	0.19	0.95	
poliuretano solaio	0.04	0.04	1.00	
bitume	0.004	0.23	0.02	
totale	0.77		11.96	

8) Pavimenti

È costituito, dall'interno verso l'esterno, da un massetto di sottofondo dello spessore di cm 4, da uno strato di poliuretano espanso dello spessore di cm 4, da una guaina di polistirene di impermeabilizzazione del coppone in calcestruzzo precedentemente descritto.

8) Pavimento				
Materiali	Spessore m	λ [W/mK]	R [m²K/W]	Trasmittanza Termica [W/m²K]
massetto	0.040	1.67	0.02	0.09
poliuretano	0.04	0.04	1.00	
cls	0.07	1.67	0.04	
polistirene SOLAI	0.4	0.04	9.90	
cls	0.08	1.67	0.05	
linoleum	0.002	0.23	0.01	
totale	0.63		11.02	

3.2.4 Pareti Interne

9) Parete interna Tipo

9) Cartongesso Interno				
Materiali	Spessore m	λ [W/mK]	R [m²K/W]	Trasmittanza Termica [W/m²K]
intonaco_int	0.015	0.70	0.02	0.92
cartongesso	0.015	0.60	0.03	
lana di vetro	0.04	0.04	1.00	
cartongesso	0.015	0.60	0.03	
intonaco_int	0.015	0.70	0.02	
totale	0.10		1.09	

3.3 Gli impianti di climatizzazione riscaldamento e ventilazione

L'edificio è dotato di impianti differenziati in relazione alle destinazioni d'uso dei vari locali, e precisamente:

- per le aule dal primo al terzo piano è previsto un impianto a tutta aria in grado di effettuare la climatizzazione a ciclo annuale;
- per le zone atri e corridoi è previsto un impianto di riscaldamento invernale a radiatori; un transito di aria proveniente per sovrappressione dalle aule apporta, in estate, un certo grado di raffrescamento;
- per la zona comune del piano primo vi è un impianto di ventilazione meccanica al fine di bilanciare la quantità di aria estratta dai servizi igienici.
- Per il nuovo piano terra invece è stato realizzato un impianto ad aria primaria, coadiuvato da ventilconvettori (nelle aule) radiatori (nelle zone comuni) per effettuare riscaldamento/raffrescamento.

Tutti gli impianti dal primo al terzo fanno capo ad una sottocentrale termica collocata sulla copertura dell'edificio, ed a cui sono collegate le reti principali di alimentazione dei fluidi termovettori provenienti dalla centrale termica e frigorifera Nord Piovego.

3.3.1 La sottocentrale termica del 1°, 2°, 3° piano

In un apposito vano tecnico sulla copertura dell'edificio delle aule, sono collocate le principali apparecchiature costituenti gli impianti cioè:

- Lo scambiatore di calore a piastre per l'alimentazione dei circuiti di riscaldamento che lavora ad acqua surriscaldata proveniente dalla rete di potenza 600 kWt
- Le sei centrali di trattamento dell'aria ciascuna dedicata alla climatizzazione di un'aula (CTA 1-6)
- La centrale di trattamento dell'aria di ventilazione della zona comune e servizi del piano primo (CTA 7)
- la centrale idrica con gruppo di pressurizzazione della rete interna all'edificio, pompa di ricircolo dell'acqua calda di consumo e controllo della T di erogazione della stessa
- il gruppo addolcitore dell'acqua destinata all'umidificazione nelle centrali di trattamento dell'aria ed alla produzione di acqua calda di consumo.
- Il dosatore di prodotti anticorrosivi per la rete idronica
- Il quadro elettrico di alimentazione impianti e relative apparecchiature digitali di comando, controllo e regolazione

La regolazione dello scambiatore è del tipo a punto fisso, realizzata mediante una sonda di temperatura posta sul circuito secondario e una valvola a due vie servocomandata V1, installato sul primario. Il termostato di blocco a riarmo manuale invece è tarato per un valore previsto di acqua calda in mandata alle batterie di 80 °C

Per quanto riguarda la rete fredda, come si può notare dallo schema iniziale al Capitolo 1 l'aula è priva di scambiatore e viene servita direttamente dalla rete di teleraffrescamento della Centrale Frigorifera Nord Piovego. È l'ultima utenza a farne uso in termini di spillamenti dalla rete principale.

3.3.2 Gli impianti di climatizzazione delle aule

Ciascuna delle sei aule dal piano primo al terzo sono dunque dotate di una propria CTA, in modo tale da rendere indipendente il controllo della temperatura, di umidità relativa e di ventilazione.

Ogni centrale è dotata di un sistema di serrande servocomandate poste sulla presa dell'aria esterna, sull'espulsione e sul ricircolo. Esse possono essere posizionate nella maniera opportuna in relazione alla quantità di aria esterna richiesta nelle fasi di messa a regime dell'ambiente oppure in relazione al numero di occupanti.

Ogni CTA è dotata di un sistema di filtrazione tipo a tasche, di batterie di preriscaldamento, raffreddamento e postriscaldamento, di un sistema di umidificazione del tipo con acqua a perdere, di ventilatori di mandata e di ripresa dell'aria.

Le centrali sono infine dotate di un recuperatore di calore statico dall'aria espulsa. Tramite apposite canalizzazioni le CTA fanno a capo a due prese d'aria esterna generali (poste sul lato Nord-Ovest del vano tecnico), dotate di un sistema di prefiltraggio e a due espulsioni generali poste a Sud-Est del suddetto vano.

La mandata e la ripresa dell'aria avvengono tramite canalizzazioni silenziate in partenza e in arrivo alle rispettive centrali da attenuatori acustici, i canali si diramano quindi verso le aule passando all'interno di un cavedio tecnico realizzato al centro da Ovest a Est dell'edificio dividendolo effettivamente in due.

Le canalizzazioni di mandata, nelle singole aule sono collocate all'interno della struttura chiusa dai tegoli di copertura e la distribuzione dell'aria in ambiente realizzata mediante diffusori del tipo a coni concentrici regolabili.

Una parte dell'aria inviata nelle aule fluisce, per sovrappressione, attraverso apposite griglie di transito installate sopra le porte verso il corridoio di accesso in modo tale da garantire sia la pressurizzazione delle aule che quella del corridoio verso l'esterno (anche se in maniera molto ridotta).

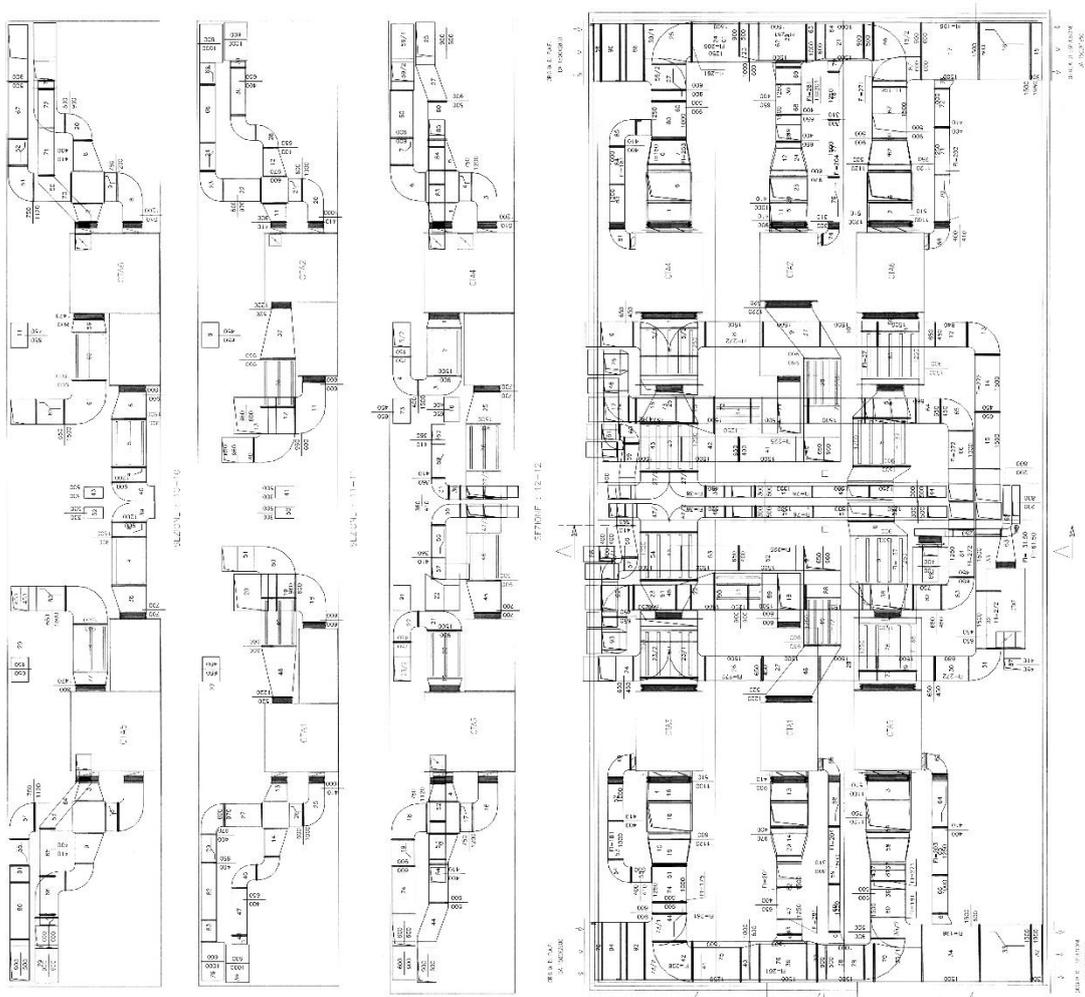
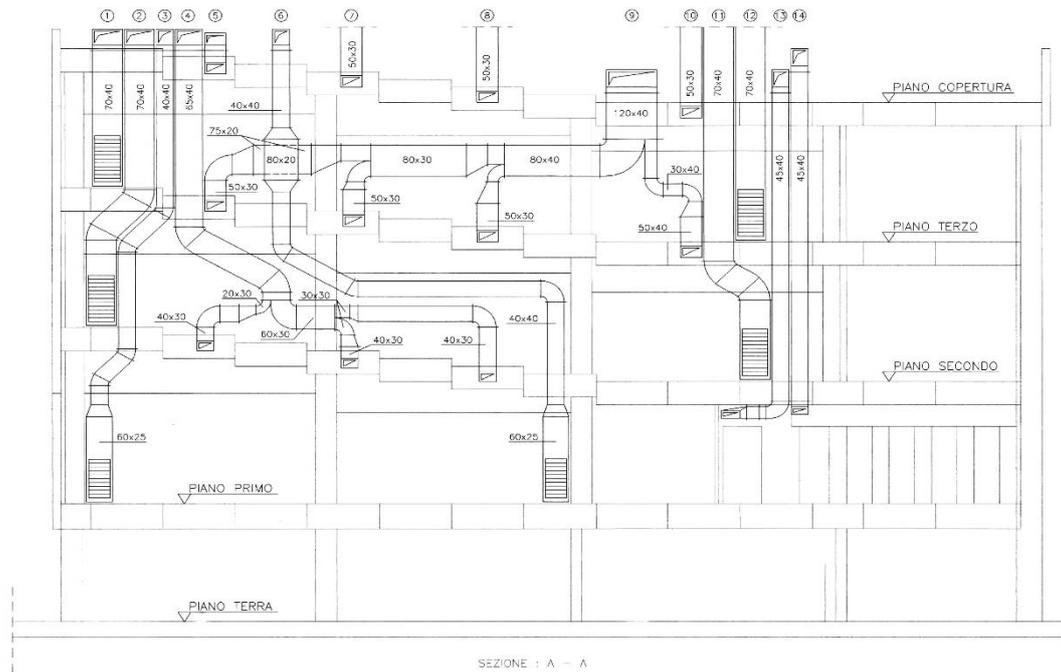


Figura 71: Impianto aerulico in diverse sezioni, in alto la distribuzione, in basso la distribuzione delle CTA e dei canali sul piano copertura.

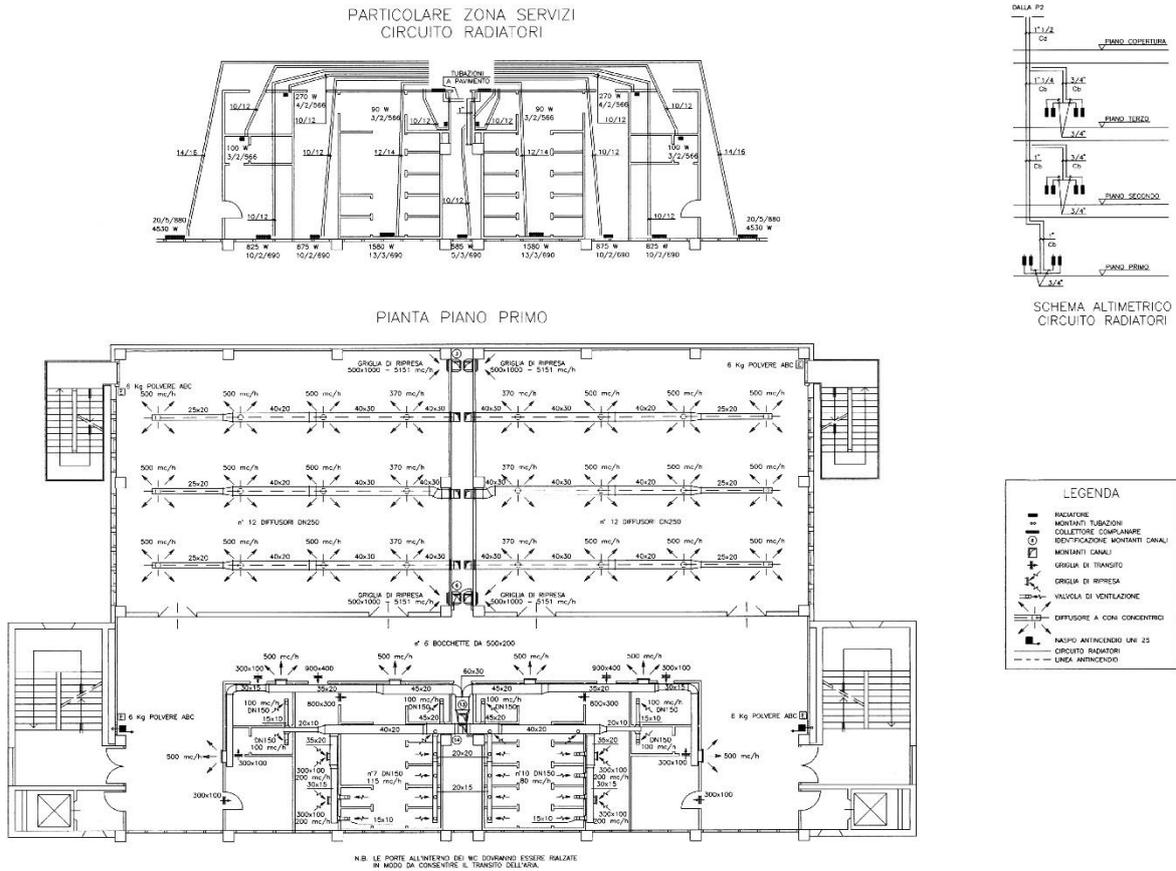


Figura 72: Bocchette di adduzione dell'aria al piano 1 e circuito radiatori zona servizi°

3.3.3 Gli impianti di riscaldamento dei corridoi e della zona servizi

Nei corridoi prospicienti tutte le aule e nella zona servizi del primo piano è installata una serie di radiatori in ghisa del tipo piastra alimentati con circuito idrico dotato di propria pompa di circolazione e di termoregolazione climatica, avente una potenza nominale di circa 25 kWt.

Nella zona servizi è installato un impianto di ventilazione meccanica in grado di immettere, un quantitativo di aria tale da bilanciare quella estratta dai servizi stessi. Nella stagione invernale l'aria viene immessa in ambiente termicamente neutra, mentre nella stagione estiva l'impianto opera in pura ventilazione.

Questo impianto fa capo sia per la mandata che per la sua espulsione ad una apposita centrale di trattamento CTA7 ed al relativo ventilatore SVE collocati anch'essi nel vano tecnico in copertura.

	Tipo Zona	Volume Zona [m ³]	Mandata [m ³ /h]	Ricircolo [m ³ /h]	Recuperatore
CTA 1 e 2	Aula tipo 1° piano	543	5810	5500	✓
CTA3,4,5,6	Aula tipo 2°, 3° piano	813	10850	10300	✓
CTA 7	WC e Depositi 1° piano	474	3000	×	×
SVE			3600	×	×

3.3.4 Regolazione automatica e controllo degli impianti

La regolazione dell'impianto è effettuata con un sistema di controllo digitale diretto (DDC) e di logica programmabile (PLC).

Le unità svolgono essenzialmente queste funzioni:

- Controllo dello stato di funzionamento e blocco delle pompe di circolazione P1, P2, P3 (e le loro riserve)
- Regolazione della temperatura dell'acqua di mandata al circuito secondario caldo a valle dello scambiatore a piastre SC
- Regolazione della temperatura dell'acqua dei radiatori in maniera climatica
- Alimentazione e comando delle serrande sulle prese d'aria esterna e sul ricircolo, sull'espulsione della centrale di trattamento aria e sul bypass del recuperatore statico di calore
- Regolazione estiva della temperatura ambiente tramite batteria di raffreddamento
- Regolazione invernale del punto di saturazione a valle del sistema di riscaldamento ed umidificazione
- Regolazione della UR mediante intervento della batteria di raffreddamento e deumidificazione (estate) e della valvola di umidificazione (inverno)
- Regolazione della temperatura ambiente invernale ed estiva tramite eventuale intervento della batteria di postriscaldamento
- Controllo antigelo nelle centrali di trattamento aria

3.3.5 Regolazione della centrale di trattamento aria (CTA 1,2,3,4,5,6)

All'interno del sistema DDC è programmato una fase di messa a regime delle aule, le centrali operano a tutto ricircolo mediante la chiusura, tramite dei servocomandi, delle serrande sulla presa dell'aria esterna e sull'espulsione e sull'apertura delle serrande di ricircolo.

STAGIONE INVERNALE

Nella fase di utilizzo delle aule le quantità di aria esterna immessa può essere variata fino al massimo (100%) in relazione al carico interno determinato dall'affluenza degli studenti. Di fatto, dato l'elevato affollamento funzionano sempre a pieno regime. La programmazione era stata ideata per adeguare al meglio tale sistema di ventilazione al variare del tipo di insegnamento svolto nelle singole aule e del periodo dell'anno interfacciando con esso tramite un terminale digitale portatile (o comunque tramite un terminale centralizzato).

Non sono quindi installate sonde rilevanti qualità dell'aria o sensori di presenza di anidride carbonica regolanti i ricambi d'aria in ambiente.

Per quanto riguarda il recuperatore dell'aria espulsa invece, rimane attivo nel periodo invernale (serranda di by-pass chiusa), fino al raggiungimento delle temperature esterne di 20 °C, dopo di che il by-pass viene aperto ed il recupero risulta escluso.

Il controllo della temperatura di saturazione è effettuato mediante le sonde T1 poste a valle del sistema di umidificazione, agendo sulle valvole delle batterie del sistema di preriscaldamento.

L'umidità relativa è controllata utilizzando il valore rilevato dalle sonde U1 poste sulla ripresa dell'aria ed agendo sull'apertura e chiusura delle elettrovalvole poste sull'alimentazione idrica del sistema di umidificazione.

La temperatura ambiente è controllata dalle sonde da canale T2 poste sulla ripresa dell'aria in sottocentrale ed agenti sulle batterie di postriscaldamento.

STAGIONE ESTIVA

La centrale opera con portata di aria esterna variabile con le stesse modalità previste per la stagione invernale.

Come già sottolineato, la temperatura ambiente è controllata mediante le sonde T2 poste sul canale di ripresa con azione regolante svolta agendo sulla valvola della batteria di raffreddamento e deumidificazione ed eventualmente , in sequenza su quelle di postriscaldamento.

L'umidità relativa è controllata utilizzando il valore rilevato dalle sonde U1 poste sulla ripresa dell'aria ed agendo sulle batterie di raffreddamento e deumidificazione.

Vi sono installati anche dei termostati antigelo TA che mandano in blocco i ventilatori di mandata e di espulsione delle centrali e simultaneamente chiudono le serrande di presa di aria esterna a apertura di quelle di ricircolo tramite appositi servocomandi.

Dei pressostati differenziali DP segnalano il raggiungimento del massimo grado di intasamento delle sezioni filtranti presenti nelle centrali.

Il funzionamento dei ventilatori di mandata VM e di ripresa VR è interbloccato.

Le tarature di questi sistemi è quindi settata nel seguente modo:

	T1 [°C]	T2 [°C]	U1 [%]	TA [°C]	DP [Pa]
Inverno	14	20	50	5	70
Estate	14	26	50	5	70

3.3.6 Regolazione della CTA7 e sezione ventilazione SVE della zona servizi comuni al piano primo

STAGIONE INVERNALE

La centrale opera con l'intera portata di aria esterna. Il controllo di temperatura di mandata è effettuato a punto fisso mediante la sonda T1 che funge anche da limite inferiore della temperatura di mandata.

STAGIONE ESTIVA

La centrale opera solo in ventilazione per provvedere all'immissione di aria di compensazione di quella estratta dalla sezione ventilante di espulsione.

Vi sono anche qui un termostato antigelo TA che ferma i ventilatori di mandata e di espulsione (SVE) e determina la chiusura della serranda di presa aria esterna tramite l'apposito servocomando, ed un pressostato differenziale che segnala l'intasamento della sezione filtrante.

Il funzionamento del ventilatore della CTA7 e di quello della sezione ventilante SVE è interbloccato.

Valori di taratura:

	T1 [°C]	TA [°C]	DP [Pa]
Inverno	14	5	70
Estate	/	/	70

3.3.7 Il Nuovo piano terra

All'interno del piano terra, inizialmente concepito come parcheggio aperto, troviamo un sistema di impianti più moderno e rinnovato. Si tratta di un impianto ad Aria Primaria: le due CTA immettono aria nelle zone attraverso delle bocchette trattata a seconda della stagione, mentre i terminali di impianto veri e propri sono dei fancoil che lavorano sia in caldo che in freddo.

L'aria esterna arriva alle 2 CTA tramite un plenum di aspirazione installato a filo soffitto della pareti esterne lato Nord e lato Sud. Le Cta sono esattamente identiche e sono disposte simmetricamente nell'edificio in appositi vani tecnici

All'interno delle zone climatizzate vi sono delle griglie di aspirazione dell'aria esausta collegate a particolari cassoncini di aspirazione per esterno. Ve ne sono 2 ogni zona e sono poste una all'esterno sul "lato corto" l'altra sul "lato lungo".

I servizi sono dotati anch'essi di aspiratori centrifughi il cui canale di espulsione comunica con quello degli estrattori descritto in precedenza.

Come si può notare da Figura 73 tutte le CTA del piano terra sono prive di sezione di ricircolo, di batteria di postriscaldamento e di recuperatori.

- La portata elaborata da ciascuna è di 2975 m³/h
- Il Volume della zona interessata è di 360 m³

A seconda della modalità di utilizzo, le condizioni di esercizio della macchina per le quali è stata dimensionata sono:

Estate:

Temperatura Aria Aspirazione	34 °C
Umidità Relativa Aspirazione	50 %
Temperatura Aria in Uscita	15 °C (saturazione a 10.5 °C)
Umidità Aria in Uscita	90 %
Temperatura ingresso Acqua	7 °C
Salto termico in Batteria	5 °C
Potenza Frigo Erogata	37 kW
Portata Acqua	6500 l/h
Perdita di carico lato Acqua	25 kPa

Inverno:

Temperatura Aria Aspirazione	-5 °C
Umidità Relativa Aspirazione	90 %
Temperatura Aria in Uscita	25 °C
Umidità Aria in Uscita	12 %
Temperatura ingresso Acqua	65 °C
Salto termico in Batteria	15 °C
Potenza Termica Erogata	30 kW
Portata Acqua	2000 l/h
Perdita di carico lato Acqua	20 kPa

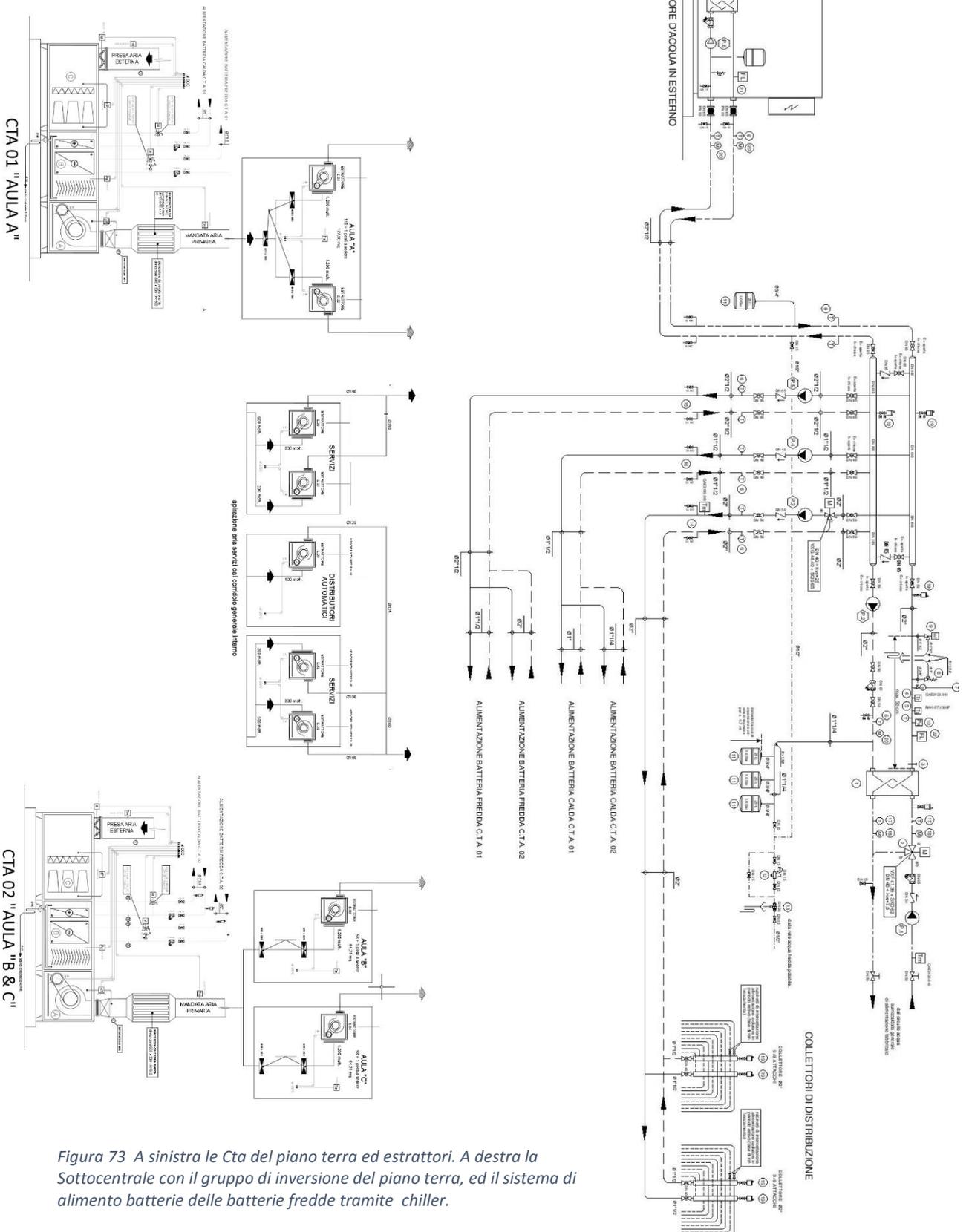


Figura 73 A sinistra le Cta del piano terra ed estrattori. A destra la Sottocentrale con il gruppo di inversione del piano terra, ed il sistema di alimento batterie delle batterie fredde tramite chiller.

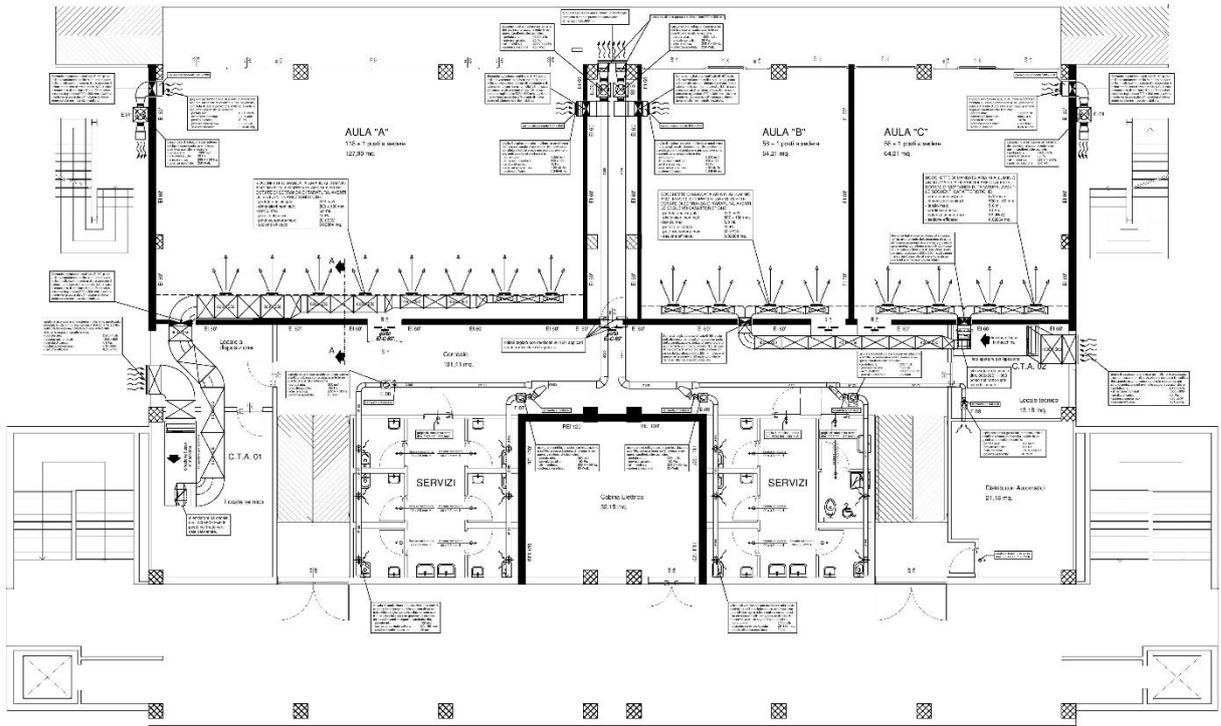


Figura 74: Distribuzione dei canali d'aria al piano terra

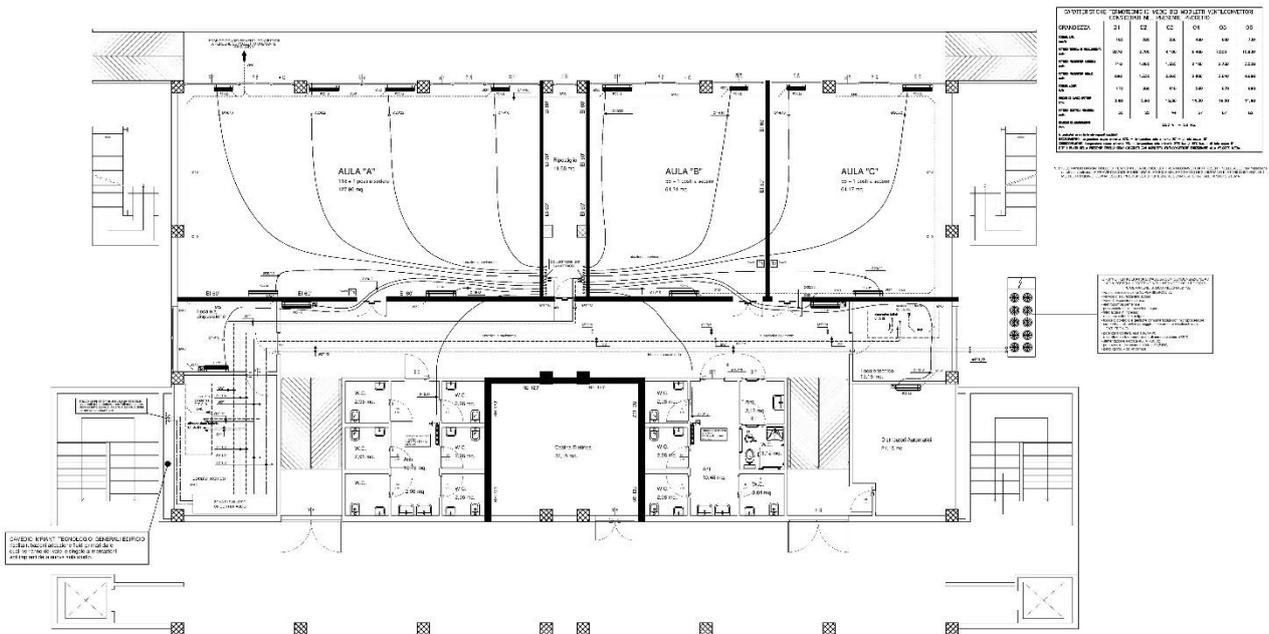


Figura 75: Distribuzione della rete Fancoil al Piano Terra

Le batterie calde, delle CTA e dei mobiletti Fancoil, ricevono acqua calda scambiata dalla rete di teleriscaldamento Nord Piovego. È presente infatti uno scambiatore a piastre dalla potenza pari a 150 kWt.

Lo stabile, come abbiamo già sottolineato in precedenza, è il più sfavorito in termini di rete di teleraffrescamento poiché è l'ultimo ad essere servito. Basandosi su ciò, si è deciso di installare un chiller a r407c/acqua con condensazione ad aria che permetta di fornire autonomamente l'acqua alle batterie fredde. Come si può vedere da Figura 73 vi è un gruppo di inversione manuale che periodicamente viene azionato a seconda che si voglia escludere la rete calda o fredda.

La potenza frigorifera resa dal chiller è di 106 kWf alla temperatura di condensazione di 35 °C. la potenza elettrica assorbita dallo stesso è di 52.2 kW.

3.4 Modelli e Simulazioni

Per analizzare al meglio l'edificio secondo il criterio suggerito nel capitolo di descrizione dei modelli dell'edificio Aule Ugo Bassi, si è deciso di creare 3 modelli differenti:

1. Modello 1 = Piano Terra. Poiché è raffrescato autonomamente
2. Modello 2 = Piano 1° ha dei carichi interni leggermente inferiori al modello 3 ed è caratterizzato da una zona non raffrescata maggiore
3. Modello 3 = Piano 2°,3°. È stato identificato come "piano tipo".



Figura 76: Modello 1

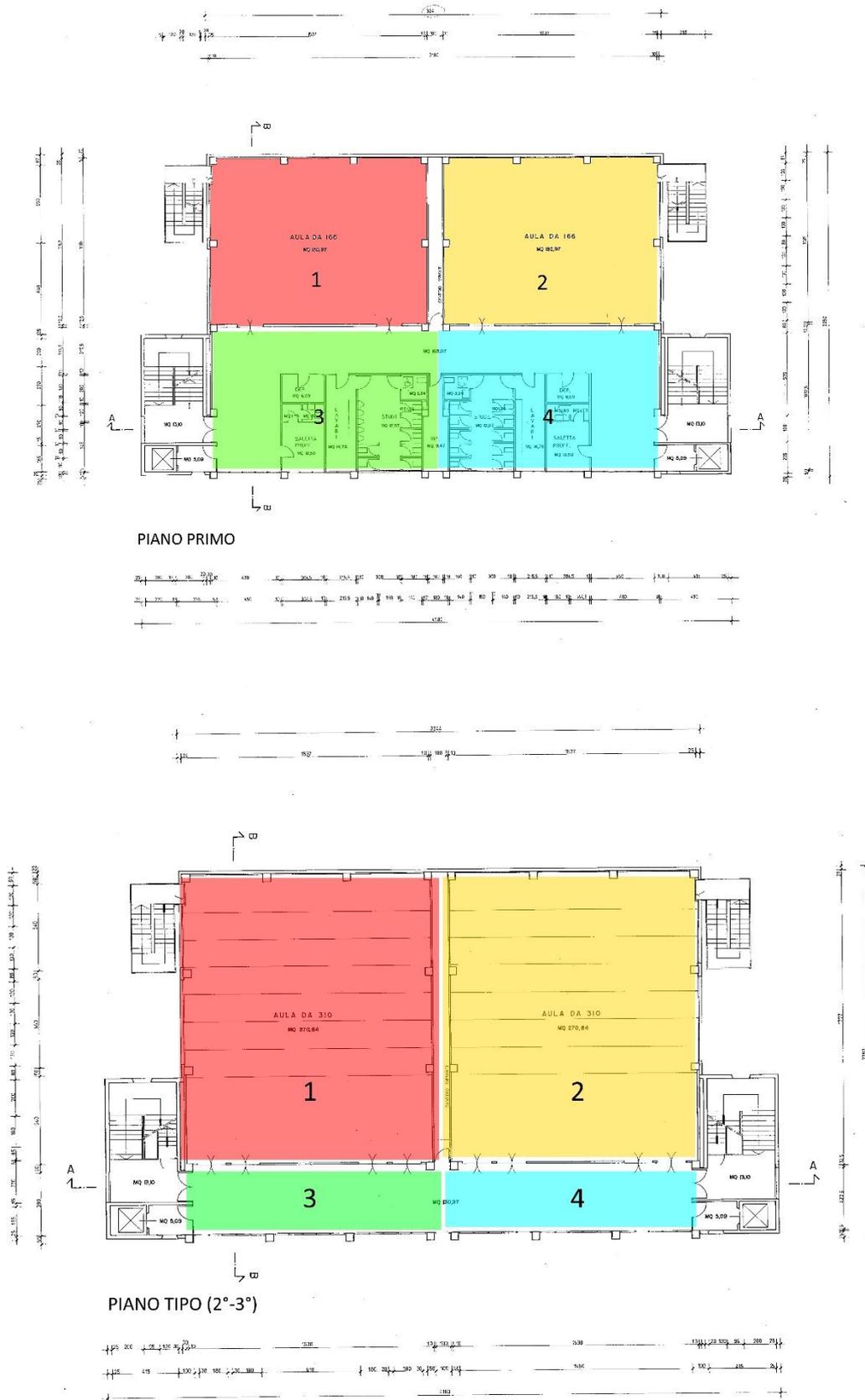


Figura 77: Modello 2 e Modello 3

Nelle tabelle seguenti sono descritti i parametri utilizzati nei modelli per tenere conto dei carichi interni. Essi dipendono dal grado di affollamento delle zone e dalle superfici delle stesse; sono presenti inoltre dati riassuntivi dei parametri più importanti inseriti nel software di simulazione (in questo caso non sono considerati Pc in uffici o aule studio, trovandoci ad analizzare un edificio dalle funzioni esclusivamente didattiche).

MODELLO1 (PIANO TERRA)				
	ZONA1	ZONA2	ZONA3	ZONA4
descrizione	aula	corrido/bagni	aula	corrido/bagni
superficie [m²]	128.0	112.5	128.0	112.5
volume [m³]	345.6	303.8	345.6	303.8
n°persone \	119.0		118.0	
illuminazione [kJ/h]	4608.0	4050.0	4608.0	4050.0
persone [kJ/h]	27846.0		27612.0	
CTA [m³/h]	2976.0		2976.0	
vol/h [vol/h]	8.6		8.6	

MODELLO2 (PIANO 1°)				
	ZONA1	ZONA2	ZONA3	ZONA4
descrizione	aula	corrido/bagni	aula	corrido/bagni
superficie [m²]	192.0	138.0	192.0	138.0
volume [m³]	644.3	372.6	644.3	372.6
n°persone \	166.0		166.0	
illuminazione [kJ/h]	6912.0	4968.0	6912.0	4968.0
persone [kJ/h]	38844.0		38844.0	
CTA [m³/h]	5610.0	1500.0	5610.0	1500.0
vol/h [vol/h]	8.7	4.0	8.7	4.0

MODELLO3 (PIANO TIPO)				
	ZONA1a	ZONA2a	ZONA3a	ZONA4a
descrizione	aula	corridoio	aula	corridoio
superficie [m²]	271.0	66.0	271.0	66.0
volume [m³]	813.5	200.0	813.5	200.0
n°persone \	310.0		310.0	
illuminazione [kJ/h]	9756.0	2376.0	9756.0	2376.0
persone [kJ/h]	72540.0		72540.0	
CTA [m³/h]	10850.0		10850.0	
vol/h [vol/h]	13.3		13.3	

Con:

<i>Dati</i>		
Illuminazione	10	[W/m ²]
Computer	150	[W]
N° PC in Zona Uffici	1	pc per persona
Persone	65	[W]
Occupazione Biblioteche	70	%
Occupazione Aule	60	%

Considerazioni:

- 1) Si sottolinea che per quanto riguarda la ventilazione si è considerata la *presenza dei recuperatori*. L'espedito utilizzato all'interno del software di simulazione è sempre lo stesso, cioè addurre una portata ventilazione decurtando quella effettiva di immissione di un valore pari al rendimento del recuperatore:

$$G_v = G_i \times (1 - \varepsilon_{rec})$$

$$\varepsilon_{rec} = 0.4 \quad \text{per recuperatori aria-aria}$$

- 2) Per lo scheduling si sono utilizzati gli stessi valori del modello Vallisneri, con accorgimenti eseguiti per i periodi relativi all' inattività didattica.

Si passano ora in rassegna i risultati ottenuti con le simulazioni. Sono stati raccolti i valori di ogni ora dell'anno (8760 ore) e riassunti nelle seguenti tabelle e grafici. Le tabelle contengono i fabbisogni energetici suddivisi tra Riscaldamento e Raffrescamento ed il Picco Massimo di Potenza raggiunto durante tutto l'anno nei due casi, i grafici invece visualizzano gli andamenti della potenza richiesta in una giornata tipo rappresentativa

- invernale T_{min}= -1 °C giornata particolarmente rigida
- mezza stagione T_{med}= 9.5 °C giornata in mezza stagione con centrale in parziale funzionamento
- estiva T_{med} = 27 °C. giornata particolarmente calda

A differenza del Complesso Pluridipartimentale Vallisneri, date le dimensioni dell'edificio ed i dati disponibili con maggior grado di dettaglio, è stato possibile recare anche i risultati in stagione di raffrescamento comprendendo la quota parte di calore latente (*90 g_v/h per persona*).

Noteremo come, in zone molto affollate come le aule (più di 300 persone di capienza) l'andamento del calore latente segua l'afflusso delle persone stesse (ed è tutt'altro che trascurabile).

La potenza in ventilazione coincide quasi completamente con quella complessiva, essendo l'involucro, ben coibentato e l'impianto a tutta aria.

Complesso Didattico Piovego			
	Riscaldamento	Raffrescamento sensibile	Raffrescamento sensibile+ latente
	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Gennaio	120935	0	0
Febbraio	98577	0	0
Marzo	55742	0	0
Aprile	10831	0	0
Maggio	0	0	0
Giugno	0	7117	82650
Luglio	0	18285	81328
Agosto	0	0	0
Settembre	0	2561	45518
Ottobre	10230	0	0
Novembre	69953	0	0
Dicembre	110149	0	0
Totale	476417	27963	209496

Piani 1°,2°,3°			
Picco Massimo di Potenza			
Riscaldamento	Condizioni di Progetto Invernali	Raffrescamento Sensibile	Raffrescamento Sensibile + Latente
[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
392	520	166	452
Potenza Installata in Sottocentrale Termica			
600 kWt			

Piano Terra			
Picco Massimo di Potenza			
Riscaldamento	Condizioni di Progetto Invernali	Raffrescamento Sensibile	Raffrescamento Sensibile + Latente
[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
109	70	50	90.78
Potenza Installata in Sottocentrale Termica		Potenza Chiller	
150 kWt		106 kWf	

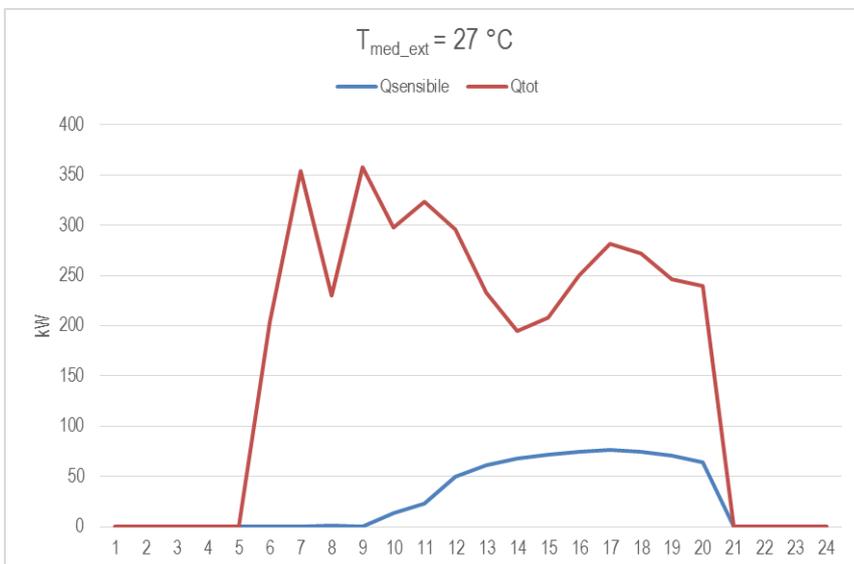
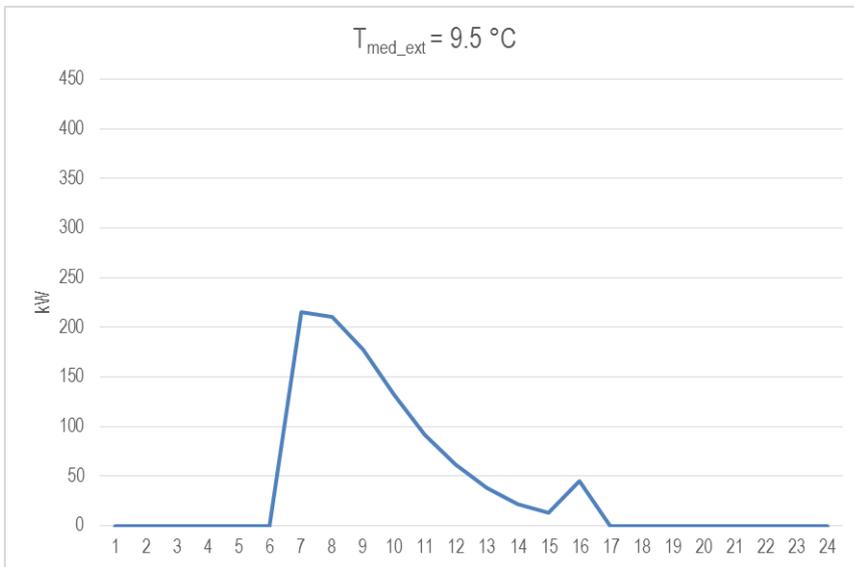
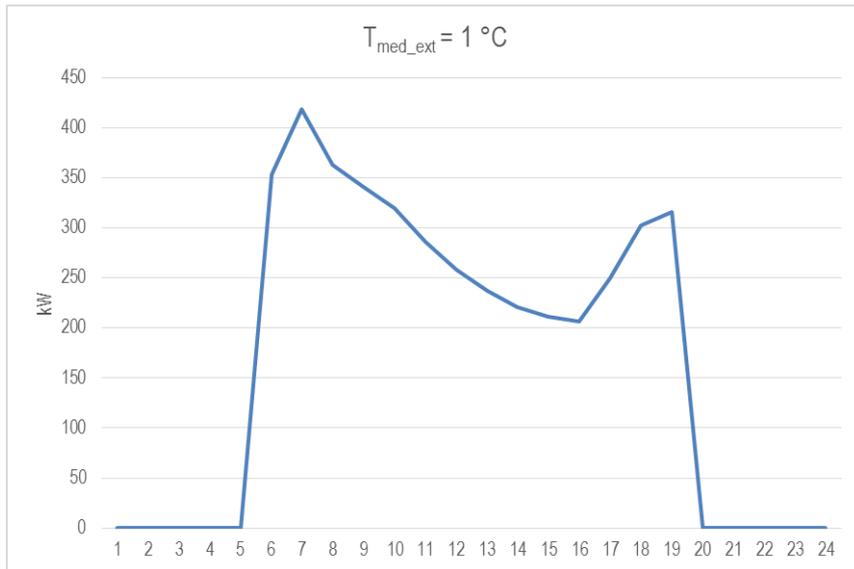
Edificio Totale			
Picco Massimo di Potenza			
Riscaldamento	Condizioni di Progetto Invernali	Raffrescamento Sensibile	Raffrescamento Sensibile + Latente
[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
500	590	166	543
Potenza Installata in Sottocentrale Termica			
750 kWt			

(*) tramite uno studio energetico risalente al 1991 (e quindi contestualizzato ai valori dei piani 1°,2°,3°) si erano ricavati tali valori:

Qsens = 450 kWt in riscaldamento

Qtot= Qsens+Qlat = 470 kWf in raffrescamento

I valori trovati per il piano terra invece, sono perfettamente in linea con le potenze installate, sia allo scambiatore che al chiller.



Capitolo 4: L'area Nord Piovego Modellizzata

4.1 Risultati ottenuti

L'intera area è stata trattata seguendo gli stessi criteri di modellazione, simulazione e analisi dei risultati già esposti nei capitoli dedicati.

Sommando i fabbisogni mensili in riscaldamento di tutti gli edifici, è stato possibile effettuare un confronto dei vari stabili al fine di valutare la loro influenza sul panorama totale della rete.

I risultati in tabella sono stati convertiti ai gradi giorno di Padova dell'anno preso in esame.

	DIM-A	DIM-B	DIM-C-D	DIM-E	PSICO 1	PSICO 2	CLA	VALLISNERI	AULE BASSI	TOTALE
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Gennaio	83731	105310	90472	28918	68315	53674	35311	676028	108841	1250599
Febbraio	69255	85553	74533	23916	56371	42956	30641	563532	88719	1035475
Marzo	44064	51720	45170	14166	33223	19066	15837	338076	50168	611491
Aprile	8392	9552	7863	2159	5571	2594	1298	26670	9748	73847
Maggio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Giugno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Luglio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Settembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ottobre	8690	10014	8554	1972	5282	1850	22	76022	9207	121614
Novembre	48879	52537	50480	15437	35703	22800	9758	411108	62957	709659
Dicembre	80487	97949	86304	27416	64390	49275	34609	627041	99134	1166605
Totale	343498	412636	363377	113984	268855	192215	127475	2718476	428775	4969291
%	7%	8%	7%	2%	5%	4%	3%	55%	9%	100%

Si può notare come il Vallisneri sia l'edificio dal fabbisogno energetico maggiore. Era facile immaginare questo dato, considerati i volumi elevati dello stabile. Le percentuali ottenute, sono coerenti con i rapporti tra le potenze installate nelle sottocentrali di zona rispetto a quella totale.

Volendo eseguire una valutazione ponderale contestualizzando tali consumi alla superficie lorda e alla volumetria di ogni stabile, si ottengono i seguenti risultati:

CODICE	EDIFICIO	CONSUMI SPECIFICI	
		[kWh/m ²]	[kWh/m ³]
300	AULE UGO BASSI	111,7	33,5
480	VALLISNERI	82,4	26,8
140	DIM-A	79,5	23,5
	DIM-B	105,1	13,2
	DIM-C-D	78,4	24,7
	DIM-E	42,6	12,2
1200	PSICOLOGIA 1	37,7	16,2
1210	PSICOLOGIA 2	25,0	7,9
1212	CENTRO LINGUISTICO	19,0	4,7

Servendosi della suddivisione “*per linee*” della rete di teleriscaldamento introdotta nel “*Capitolo 1*” si osserva facilmente che la LINEA 1 è quella effettivamente più gravosa in termini di richiesta energetica.

LINEA 1	66 %
LINEA 2	26 %
LINEA 3	8 %

4.2 Confronto delle simulazioni con i consumi reali

Arrivati a tale punto dell'analisi possiamo effettuare il confronto tra i risultati ottenuti tramite le simulazioni con i consumi effettivi dell' "Area Nord Piovego".

L'arco di tempo sul quale è basato lo studio fa riferimento al periodo che va da Marzo 2015 fino a Febbraio 2016.

Per questo motivo si è deciso di escludere i fabbisogni relativi al Centro Linguistico nei mesi di Marzo e Aprile 2015 non essendo, all'epoca, ancora attivo.

		CONSUMI SIMULATI NORD PIOVEGO	CONSUMI REALI NORD PIOVEGO		% Mensile
		<i>[kWh]</i>	<i>[kWh]</i>	<i>[kWh]</i>	
Gennaio	2016	1250599	1464458	1419963	88%
Febbraio	2016	1035475	1128707	1084212	96%
Marzo	2015	611491	706247	661752	92%
Aprile	2015	73847	256555	212060	35%
Maggio	2015	0	50966	0	/
Giugno	2015	0	39289	0	/
Luglio	2015	0	46591	0	/
Agosto	2015	0	31700	0	/
Settembre	2015	0	53930	0	/
Ottobre	2015	121614	283525	239030	51%
Novembre	2015	709659	999156	954661	74%
Dicembre	2015	1166605	1348557	1304062	89%
TOTALE		4969291	6409682	5875740	85%

Per quanto riguarda i consumi reali notiamo la presenza di due colonne: la prima fa riferimento ai dati estrapolati dalla bolletta. Come possiamo notare anche nel periodo estivo sono stati contabilizzati dei consumi. Questa spesa specifica è da attribuirsi alla produzione di acqua calda sanitaria per il 7° piano Stabulario del Vallisneri. Dato che le simulazioni non hanno tenuto conto di questo contributo, si è operato escludendo questa quota da tutti i fabbisogni mensili; è stata così ricavata la seconda colonna della sezione “consumi reali”.

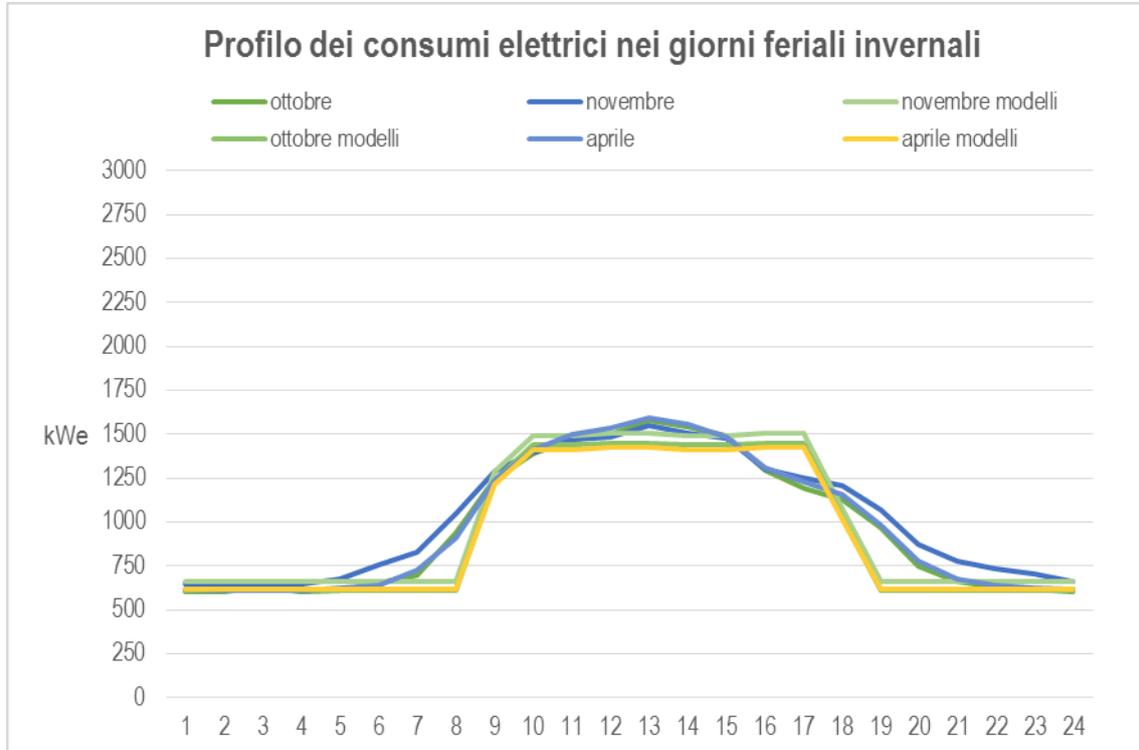
Rapportando i consumi totali simulati con i consumi totali reali è stato raggiunto un *valore di corrispondenza pari all' 85%*.

Tenendo conto dei rendimenti di generazione, distribuzione, regolazione ed emissione, e avendo trascurato i ponti termici, il valore ottenuto risulta effettivamente elevato.

A tal riguardo ci si è focalizzati sul confronto mese per mese (ultima colonna della tabella). Risalta immediatamente che i mesi più freddi dell'anno presentino risultati poco attendibili.

È stata quindi svolta una verifica sui carichi interni (illuminazione e Pc) per accertarsi che non vi fosse un sottodimensionamento degli stessi, che avrebbe incrementato i fabbisogni energetici.

Sono stati ricavati i carichi elettrici complessivi introdotti nei modelli e confrontati con gli andamenti dei profili elettrici reali dei mesi di Ottobre, Novembre e Aprile. Questi mesi sono stati individuati come rappresentativi di un periodo in cui il numero di macchine esterne attive possa essere ritenuto trascurabile (i modelli non contemplano i consumi relativi a questi dispositivi).



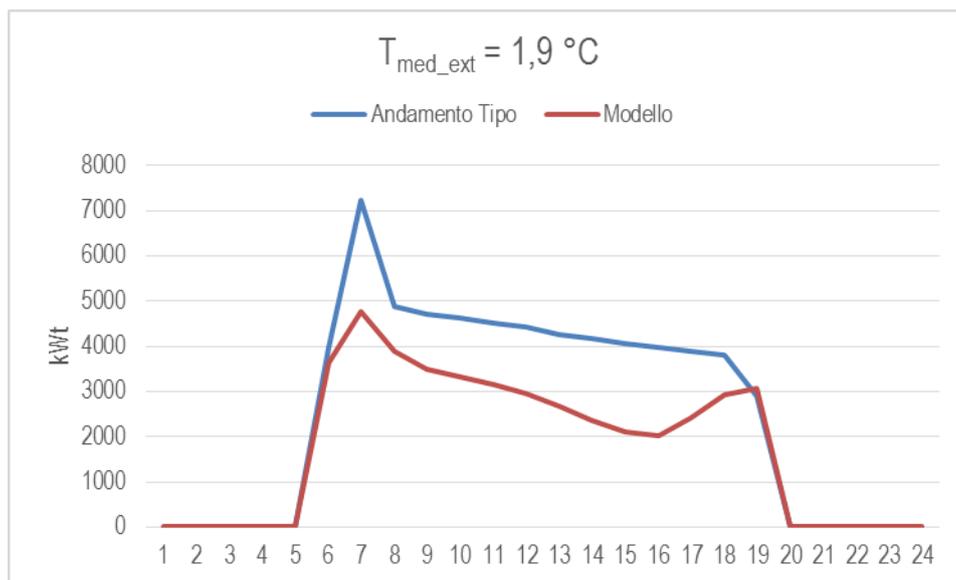
Possiamo notare che l'andamento simulato è paragonabile a quello reale. Si fa presente che il valore massimo raggiunto dalle simulazioni è inferiore a quello reale raggiunto nella fascia oraria 11-15 poiché subentrano i carichi elettrici dovuti alla mensa Piovego.

Si è arrivati infine a tale conclusione: il fattore principale che ha inciso negativamente sull'analisi dei fabbisogni è stato l'utilizzo di uno scheduling standardizzato (in mancanza di informazioni, gli scheduling di molti edifici contemplano un funzionamento anche nei giorni festivi e prefestivi), dovuto alla impossibilità di monitorare l'intera stagione di riscaldamento o di recuperare uno storico delle accensioni e degli spegnimenti specifico delle sottocentrali di ogni edificio.

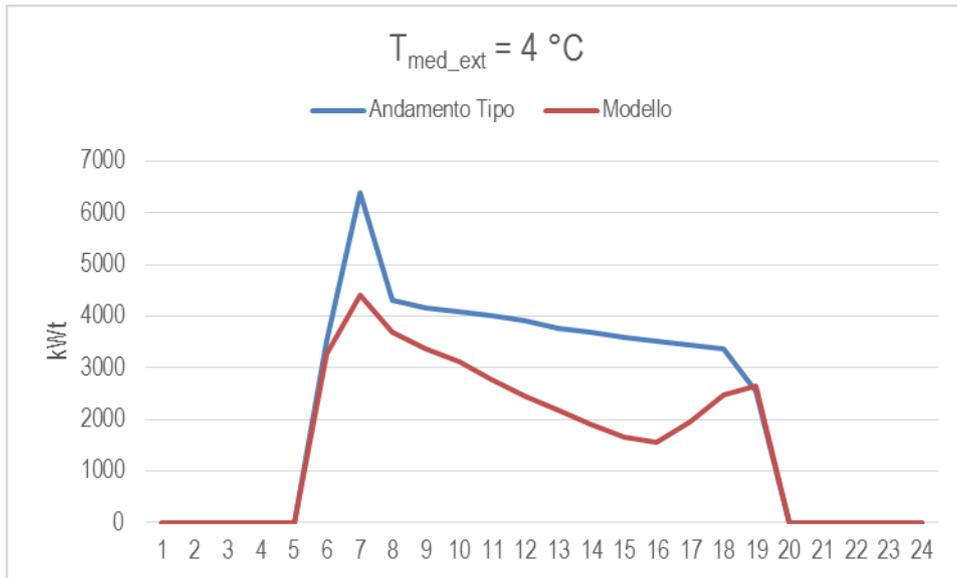
Visto che la valutazione generale complessiva non teneva conto di tali aspetti, è stato deciso di focalizzarsi sulle singole giornate.

Per queste analisi sono state recuperate le curve caratteristiche ricavate dai monitoraggi, già presentate nel capitolo introduttivo, e messe a confronto con gli andamenti simulati in giornate dello stesso periodo dell'anno con temperature uguali. Per completezza allo stesso modo è stato fatto un raffronto con i monitoraggi stessi.

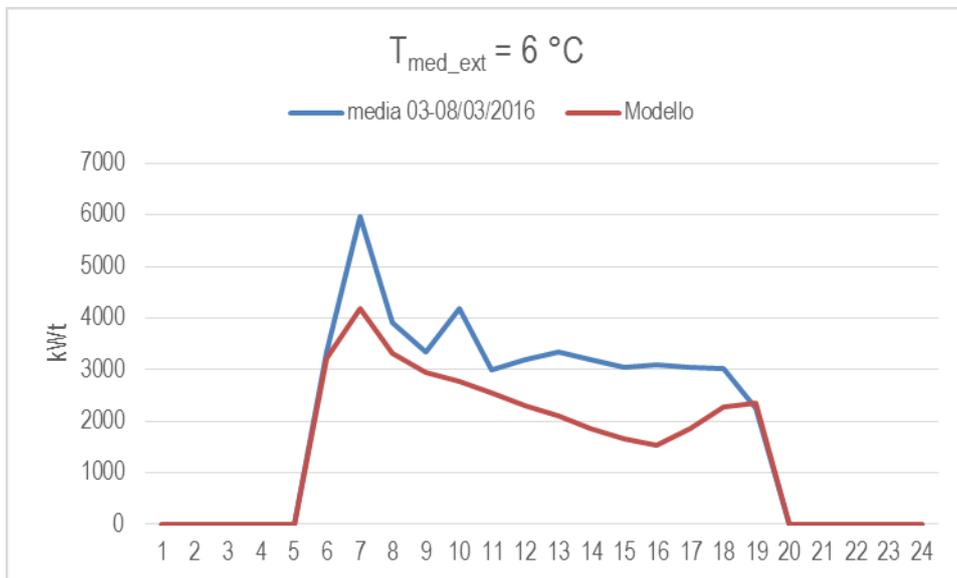
Assieme ai grafici sono riportati i fabbisogni giornalieri simulati con quelli di confronto.



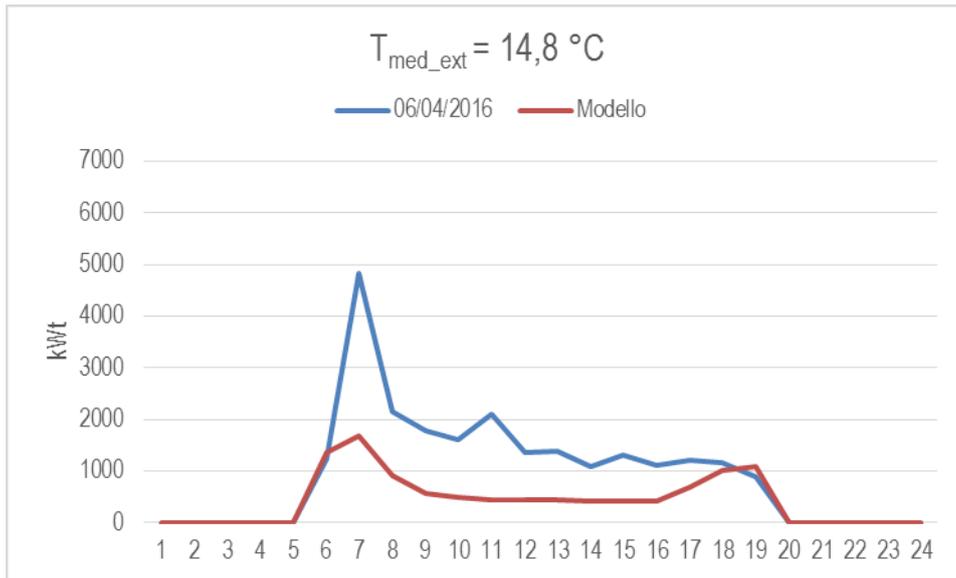
Modello [kWh]	Andamento Tipo [kWh]
42800	61450
70%	



Modello [kWh]	Andamento Tipo [kWh]
37501	51181
73%	



Modello	Monitoraggio 03-08/03 [kWh]
34925	47955
73%	



Modello	Monitoraggio 06/04 [kWh]
10379	23226
45%	

Possiamo concludere osservando come il modello dell'Area Nord Piovego risponda molto meglio all'andamento giornaliero rispetto a quello annuale mantenendosi sempre inferiore di un fattore decisamente più apprezzabile.

Allegato: Sinottico Refrigeratori

Si presenta una tabella riassuntiva delle macchine frigorifere principali dell'area, con l'intento di renderne più facile l'individuazione nel caso venga effettuata un'analisi futura più dettagliata della stagione di raffrescamento.

Edificio	Collocazione	Potenza [kWf]
00140	biblioteca piano terra	17.2
00140	aula informatica + aule lato via Colombo	90
00140	capannone meteo	31
00140	capannone laboratori	15
00140	cabina elettrica	8
00140	aula M9	12
00140	aula M9	12
00140	aula M10	12
00140	aula M	\
00140	aula M	\
00140	aula D1	14
00480	aula D1	15
00480	laboratorio interrato	20
00480	stabulario Nord	90
00480	stabulario Sud	45
00480	stabulario Sud	45
00480	microscopia interrato Nord	33
00480	laboratorio radioattivo 5° piano	15
00480	laboratori interrato	60
00480	sala ced primo piano	14
00480	sala ced primo piano	14
00480	sala pc 5° piano	\
00480	aula magna	14
00480	aula magna	14
00300	piano terra	100
01210	psico 1	13
01210	psico 1	\
01210	psico 1	\
01200	psico 2	\

Conclusioni

Al termine di questo elaborato possiamo sicuramente asserire di aver tracciato delle linee guida ben definite sul percorso da intraprendere per realizzare uno studio completo di determinazione dell'audit energetico dell'area *Nord Piovego*.

Di certo l'impatto iniziale del dover analizzare un panorama di edifici così vasto (uno dei quali davvero esteso e variegato), partendo dalla generazione energetica, sino ad arrivare al singolo terminale di impianto di ogni stabile, cercando di essere esaurienti nella spiegazione sotto ogni punto di vista, è stata un'esperienza tanto intimidatoria quanto formativa.

I risultati ottenuti a livello di modellazione dell'intera area, come abbiamo avuto occasione di sottolineare nel capitolo ad essi dedicati, sono effettivamente coerenti e positivi, soprattutto se si osservano gli andamenti dei fabbisogni giornalieri

Il prossimo passo da effettuare quindi, vorrebbe essere quello di aggiornare un monitoraggio con un sistema di *"smart metering"* di energia termica, frigorifera ed elettrica per la centrale e *soprattutto per ogni edificio*. Solo in questo modo, cioè avendo uno scheduling di funzionamento fedele alla realtà, si potranno *applicare i modelli in modo coerente* e si potrà ragionare in termini di implementazione degli stessi (i margini di miglioramento sono ancora abbastanza ampi se si desidera scendere ancor di più nel dettaglio *i.e. analisi di tutti i ponti termici e dei carichi interni latenti, collegare diversi "air nodes" delle zone*), ma soprattutto in termini di possibili risparmi energetici, e di conseguenza di *risparmi economici tangibili*.

Dopo aver effettuato una taratura dei modelli termici degli edifici infatti, si potrà ad esempio, creare un modello anche per la rete stessa. A questo punto si aprirebbe un ventaglio di possibilità di ottimizzazione dell'area estremamente ampio. Ad esempio si potrebbe valutare l'opzione possibile di abbassare la temperatura di alimentazione della rete di teleriscaldamento portandola a lavorare a 90 °C e con una differenza di temperatura di 30 °C per la maggior parte delle utenze.

Sembrerebbe inoltre interessante l'installazione di un trigeneratore a gas accoppiato ad un chiller ad assorbimento a bromuro di litio. L'abbassamento delle temperature della rete di teleriscaldamento avrebbe sicuramente un beneficio in termini di rendimento globale di riscaldamento che in questo momento è difficile quantificare.

Per quanto riguarda invece l'analisi degli edifici presi singolarmente, è stata un'occasione forse unica, quella di poter imparare a distinguere i parametri fondamentali e a riconoscere i componenti principali che definiscono e gestiscono un intero impianto, partendo dalla centrale termica, passando per le sottocentrali di zona fino ad arrivare agli impianti aerulici e idronici, "allenando il colpo d'occhio" a percepire le diverse tipologie che caratterizzano lo stato dell'arte soprattutto nel settore terziario (l'area *Nord Piovego* è costituita da complessi progettati dal 1975 fino al 2012).

Anche grazie a questa sensibilità acquisita durante il periodo di lavoro, si è arrivati a proporre per l'edificio *Vallisneri*, un concetto di miglioramento impiantistico semplice, ma facilmente aggiornabile, che potrebbe essere studiato dal punto di vista progettuale, ed assieme alla futura

ristrutturazione dell'ala Est, potrebbe portare ad intraprendere il giusto percorso verso una riqualificazione e miglioramento dell'edificio dal punto di vista energetico.

Inoltre, si potrebbe pensare di inserire una sezione *di recupero dell'aria espulsa, anche per le singole CTA* indipendenti del piano terra e del piano interrato tutt'ora prive di tale tecnologia.

All'interno dell'opera è stata dedicata una sezione abbastanza esauriente di *classificazione degli impianti dell'edificio*: in essa sono state raccolte ed inserite numerose immagini, foto, tabelle e disegni esplicativi che mettono in risalto le caratteristiche principali di ogni zona dell'edificio analizzata.

Per uno studio più dettagliato dell'involucro invece, si propone di eseguire una *misura della trasmittanza termica delle strutture edilizie* individuate nel capitolo dedicato alle caratteristiche termofisiche dell'edificio.

Infine così come per il *Vallisneri*, è stata eseguita la descrizione impiantistica e lo studio dei fabbisogni energetici anche per il complesso di *Aule Ugo Bassi*. A differenza del primo, dove la raccolta del materiale necessario è stata particolarmente lunga e laboriosa (presente esclusivamente in forma cartacea e non catalogata), in questo caso è stato possibile procurare addirittura uno studio energetico preliminare dell'edificio risalente al 1991. L'aver ottenuto tramite modelli e simulazioni, dei *risultati* del tutto paragonabili a quelli presentati dalla azienda detentrica dell'appalto è stato un ulteriore motivo di soddisfazione personale.

Bibliografia

Bonacina C., Cavallini A., Mattarolo L., Trasmissione del calore, Cleup Padova, 1985

Cavallini A., Mattarolo L., Termodinamica Applicata, Cleup Padova, 1992

Bettanini E., Brunello P., Lezioni di impianti tecnici, Cleup editore, 1993.

Cammarata G., Impianti termotecnici, 2006.

TRaNsient System Simulation program, Manuale di calcolo

Manuali Impiantistici forniti dall'Ufficio Tecnico dell'Università degli Studi di Padova

Disegni tecnici Impiantistici ed architettonici forniti dall'Ufficio Tecnico dell'Università degli Studi di Padova

Appunti del corso di Impianti termici e frigoriferi; Prof De Carli, anno 2015

Normativa:

UNI 8477-1: Energia solare. Calcolo degli apporti per applicazioni in edilizia.

Valutazione dell'energia raggiante ricevuta, 31/05/1983.

UNI 10351: Materiali da costruzione. Conduttività termica e permeabilità al vapore, 31/03/1994.

UNI 10355: Murature e solai. Valori della resistenza termica e metodo di calcolo, 31/05/1994.

Norma UNI 10348 – Riscaldamento degli edifici -Rendimenti dei sistemi di riscaldamento, 1993.

ISO/FDIS 13790 - Energy performance of buildings — Calculation of energy use for space heating and cooling, 2006.

UNI/TS 11300 -Prestazioni energetiche degli edifici-parte 2, 2008.

RINGRAZIAMENTI:

Ringrazio i miei genitori, dedico a voi questo grande traguardo, lo abbiamo raggiunto *insieme*.

Ringrazio mio fratello, gli auguro il meglio dalla vita e un in bocca al lupo per la tua nuova esperienza all'estero (ancora un'altra volta!)

Ringrazio i miei nonni, Graziella e Francesco perché per dieci anni ho vissuto con voi e se sono l'uomo che sono è soprattutto merito vostro, nonna Rita perché mi hai insegnato a sorridere sempre alla vita, nonno Pasquale perché se penso da dove sei partito, sono sicuro che saresti orgoglioso nel sapere di avere un nipote laureato in ingegneria.

Ringrazio tutti i miei zii e zie, cugini e cugine, spero che la nostra famiglia rimanga unita come siamo sempre stati nonostante le grandi distanze che ci separano.

Ringrazio Margherita, mi dai energia e vitalità giorno per giorno, sei il mio punto di riferimento.

Ringrazio i miei amici di sempre: Gioas, Enrico, Mattia, Eugenio, Nicolò, Martino, Matteo, Giulia e Valentina. Lo so, sono un infame a non tornare quasi mai a Vicenza, ma sappiate che siete persone che stimo infinitamente, siamo amici da più di dieci anni, e desidero che facciate parte del mio percorso di vita.

Ringrazio i miei coinquilini: Tommaso, Francesco, Elia, Nicola con i quali ho vissuto due anni davvero spensierati, leggeri e divertenti, sono felice di aver condiviso la prima esperienza "fuori di casa" con voi. Ringrazio anche Luigi Riccardo e Matteo, ci siamo conosciuti solo per pochi mesi, vi faccio un grande in bocca al lupo per i vostri ultimi esami.

Ringrazio i miei compagni dell'università: Gioas, Tommaso, Sebastiano, Alberto e Alessandro. Tra viaggi in treno, giornate di studio infinite, lezioni, esami, feste universitarie, tormentoni ecc avete contribuito a rendere una cosa seria come l'ingegneria quasi divertente. Senza di voi non sarebbe stato lo stesso.

Ringrazio i miei amici di Padova, ormai siamo diventati una piccola famiglia. Tutte le settimane, da due anni, l'imperativo è: "stile libero". La passione per la musica che ci lega è solo una scusa, in realtà ci stiamo simpatici anche nella "vita vera"! Quindi ringrazio: Martin, Luigi, Andrea, Marco, Gregory, Giacomo, Nicola, Riccardo, Stefano e Marco.

Ringrazio infine il Prof. Michele De Carli, è stato un piacere svolgere la tesi con Lei, ringrazio la Dr Ing Samantha Graci per avermi aiutato ed insegnato davvero tanto e soprattutto per aver dedicato intere mattinate per le verifiche sui vari modelli, l'Ing Jacopo Vivian per avermi dato numerosi consigli, ringrazio il mio "collega" Davide, dobbiamo essere orgogliosi del lavoro che abbiamo svolto, per la maggior parte del tempo insieme, ringrazio l'Ufficio Tecnico del Vallisneri, dalle segretarie ai dipendenti e soprattutto ringrazio Lucio Abbiadi per la simpatia e la disponibilità di accogliermi in ufficio anche quando mi presentavo senza avvisare, ringrazio il Tecnico della Centrale Bleder, è stato davvero bello poter parlare con te, farti compagnia e soprattutto condividere l'esperienza di una tua giornata lavorativa, la cosa mi ha ulteriormente fatto riflettere a quanto io sia stato davvero fortunato ad avere avuto la possibilità di frequentare l'università. Ringrazio Filippo Longo per le chiacchierate formative, ammiro molto il grande lavoro che fa e l'impegno che impiega in esso, ed in generale ringrazio tutto l'Ufficio Tecnico di Padova tra ingegneri, architetti e tecnici con cui ho avuto l'opportunità di confrontarmi e che si sono resi disponibili nel fornirmi il materiale necessario per svolgere la mia tesi.