

POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Energetica

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare

Tesi di Laurea Magistrale

Musandam College of Technology

Analisi termotecnica e progettazione dell'impianto di raffrescamento della struttura universitaria situata nella Penisola del Musandam, Oman



Relatore

Prof. Masoero Marco Carlo

Relatore esterno

Ing. Putetto Pietro

Candidato

Lo Faro Mario

Anno Accademico 2019/20

Si ringrazia per la preziosa collaborazione il professore Marco Carlo Masoero, l'ingegnere Pietro Putetto e tutta la società Politecna Europa S.r.l.

Indice

PREMESSA	1
INTRODUZIONE	3
Musandam College of Technology	3
Analisi climatica	5
CAPITOLO I: <i>Valutazione dei carichi termici di raffreddamento</i>	8
1.1 Stratigrafie	9
1.2 Modello 3D	14
1.3 Simulazione con EnergyPlus	15
1.3.1 Giornata estiva di progetto	16
1.4 Apporti interni	17
1.4.1 Occupazione	17
1.4.2 Illuminazione	19
1.4.3 Apparecchiature elettriche	20
1.5 Ventilazione	21
1.6 Risultati simulazione	23
1.6.1 Intera struttura	23
1.6.2 Zone singole	28
CAPITOLO II: <i>Impianto di climatizzazione</i>	33
2.1 Unità trattamento aria	35
2.1.1 Impianto misto	35
2.1.2 Impianto a tutt'aria	44
2.1.3 Soluzione con recuperatore di calore rotativo	48
2.2 Recuperatori di calore	54
2.3 Terminali di immissione	56
2.3.1 Pavimenti radianti	56
2.3.2 Ventilconvettori	63

CAPITOLO III: <i>Apparecchiature per la produzione di fluido termovettore</i>	66
3.1 Tecnologia a ciclo inverso a compressione di vapore	67
3.1.1 Compressore	70
3.1.2 Condensatore	73
3.1.3 Evaporatore	74
3.2 Scelta delle apparecchiature	75
3.2.1 Refrigeratori	76
3.2.2 Pompe di calore ad alta temperatura	77
CAPITOLO IV: <i>Reti di distribuzione</i>	80
4.1 Rete aeraulica	80
4.1.1 Edificio 1	82
4.1.2 Edificio 5	88
4.1.3 Auditorium	92
4.1.4 Edifici 2, 3 e 4	94
4.2 Rete idronica	95
4.2.1 Edificio 1	100
4.2.2 Edificio 2	102
4.2.3 Edifici 3, 4 e 5	104
CAPITOLO V: <i>Considerazioni finali</i>	106
RIFERIMENTI	112
ALLEGATI	115
ALLEGATO 1: <i>Tabelle di dimensionamento rete aeraulica</i>	115
ALLEGATO 2: <i>Tabelle di dimensionamento rete idronica</i>	127
ALLEGATO 3: <i>Schede tecniche di refrigeratori e pompe di calore</i>	133
ALLEGATO 4: <i>Planimetrie dell'intera struttura</i>	138
ALLEGATO 5: <i>Schema rete di distribuzione aeraulica</i>	138
ALLEGATO 6: <i>Schema rete di distribuzione idronica</i>	138
ALLEGATO 7: <i>Raccolta schede tecniche</i>	138

PREMESSA

La climatizzazione degli edifici, allo scopo di mantenere all'interno le condizioni di confort termo-igrometrico, è uno degli aspetti più rilevanti per quanto riguarda il consumo di energia degli stessi. L'IEA (International Energy Agency) stima che il consumo di energia elettrica nel 2018 dovuto al raffrescamento sia pari a circa 2000 TWh. Di fatto, la domanda di energia elettrica per raffrescamento tra il 1990 e il 2018 è più che triplicata, rendendo il raffrescamento l'uso finale di energia più in crescita negli edifici [1]. Di conseguenza, l'analisi termotecnica degli edifici e la progettazione di impianti di climatizzazione assumono un ruolo rilevante nell'ottica dell'ottimizzazione e riduzione dei consumi.

Nella seguente trattazione si studieranno le soluzioni più adatte per la progettazione di un impianto di raffrescamento di una struttura universitaria. La zona climatica tropicale di tale struttura, caratterizzata da alte temperature e alti valori di umidità relativa, implica la necessità di un appropriato sistema di climatizzazione, per potere garantire le condizioni di confort a studenti, professori e personale che si trovano a passare molte ore all'interno della struttura. Si procederà quindi ad una stima del carico estivo di raffrescamento, sia dell'intera struttura che delle singole zone. Una volta stimati i carichi verranno valutate e progettate le varie soluzioni per mantenere le condizioni di confort e di qualità dell'aria all'interno della struttura.

In Oman, le normative che regolano gli impianti di climatizzazione fanno essenzialmente riferimento agli standard britannici. In questa trattazione, per semplicità, dove necessario e con i dovuti accorgimenti, si farà riferimento alla normativa italiana.

INTRODUZIONE

Musandam College of Technology

Il Musandam College of Technology è un complesso universitario situato nella penisola del Musandam, nel Nord dell'Oman. Questo complesso si trova a meno di dieci chilometri dalla città di Al-Khasab, capitale del governatorato del Musandam. La struttura si estende su una superficie di circa 21 000 m² ed è composta da cinque edifici, di cui tre a due piani. Uno degli edifici a due piani presenta una zona seminterrato. I cinque edifici sono collegati tra loro da una struttura circolare. La geometria di questo complesso di edifici rappresenta la forma di un nautilus, fossile tipico della zona.

Nel complesso sono presenti diverse zone con diverse destinazioni d'uso e diverso indice di affollamento. Queste zone sono state identificate come segue: 133 uffici, 29 aule, 32 laboratori, 17 computer lab, 11 sale riunioni, 12 zone comuni, 24 zone servizi, 26 transiti, 7 depositi, 9 negozi, 3 zone infermeria, 3 zone mensa, una libreria, una palestra e un auditorium. L'auditorium è caratterizzato da un volume di circa 4 090 m³ e 285 posti a sedere. Sono poi presenti i dormitori maschili e femminili, un distretto tecnologico e delle zone commerciali che non saranno oggetto di questa trattazione. Seguono le figure indicanti la posizione e la struttura del complesso in esame.

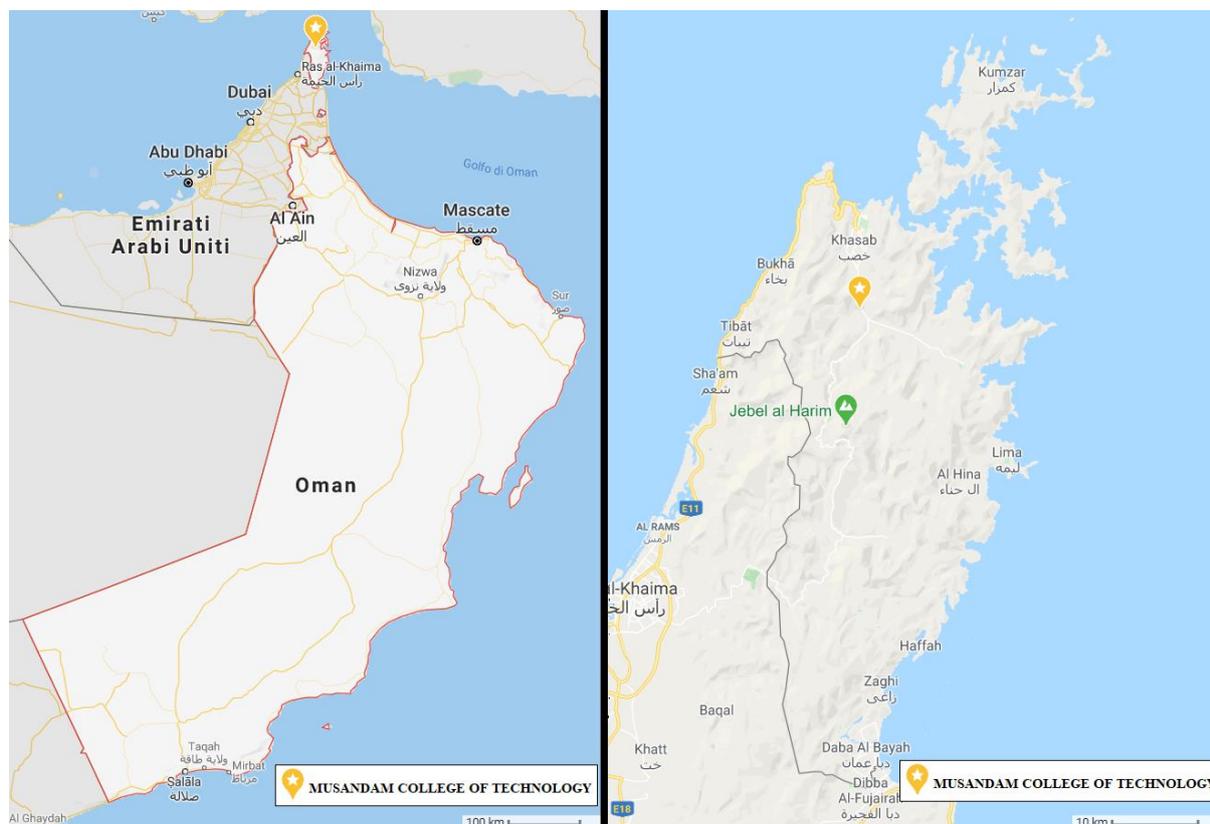


Figura I.1. Posizione del Musandam College of Technology [2].

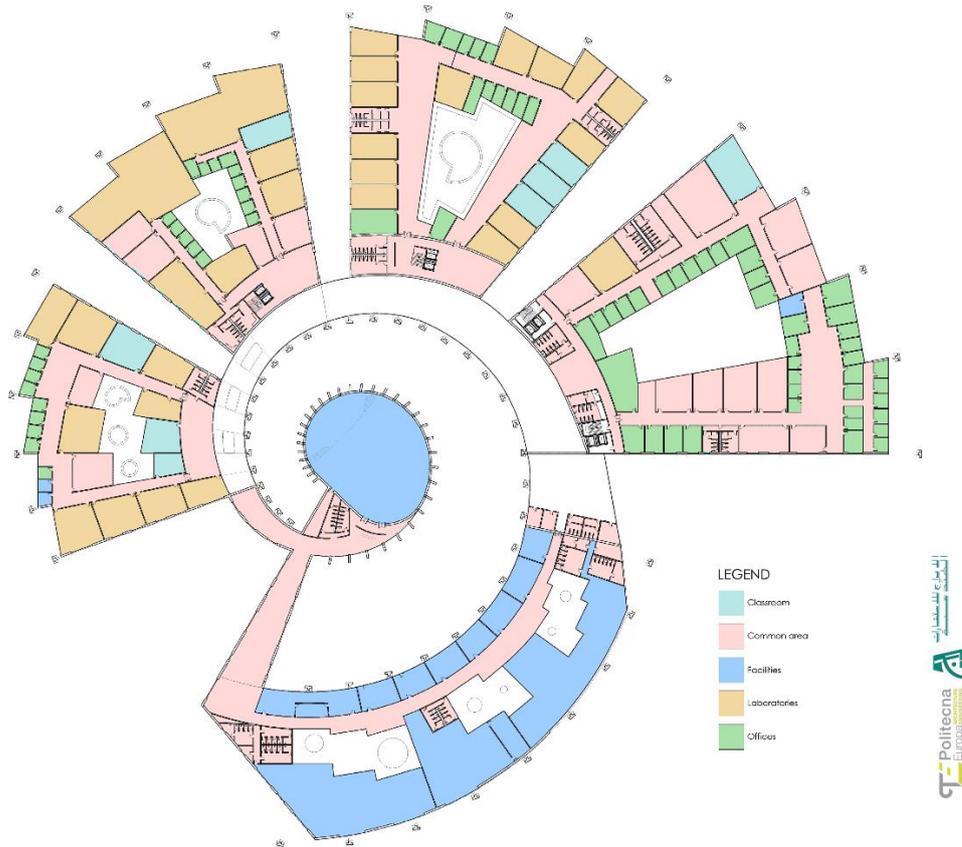


Figura I.2. Vista in pianta piano terra [3].

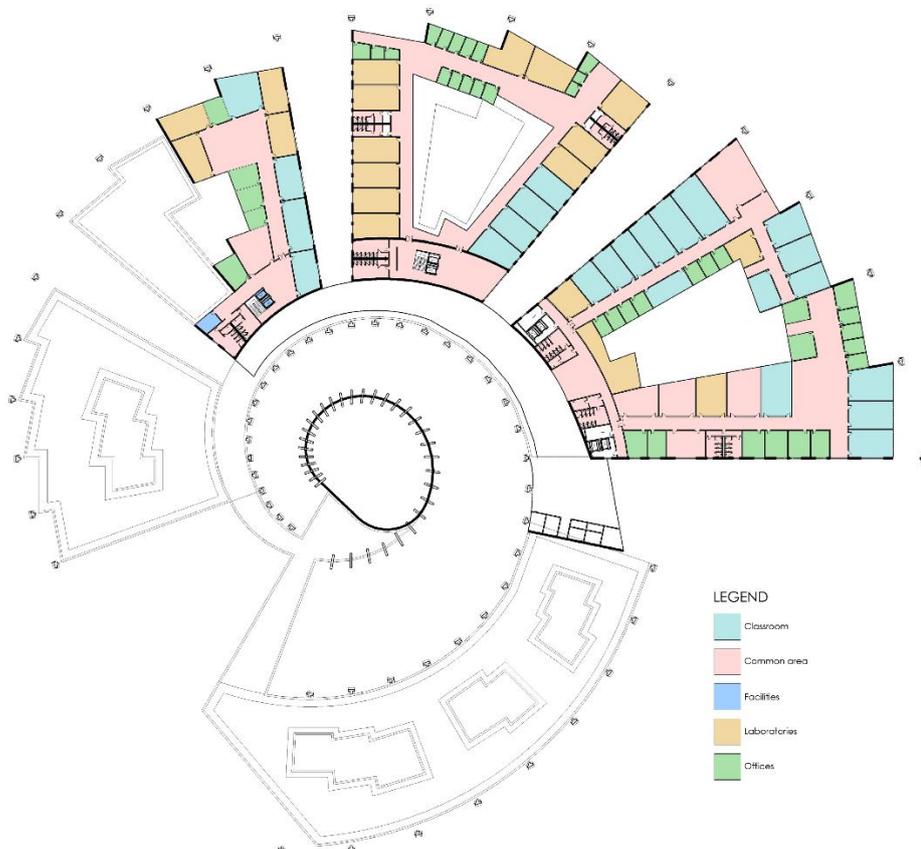


Figura I.3. Vista in pianta primo piano [3].



Figura I.4. Vista esterna, Musandam College of Technology [3].

Analisi climatica

La penisola del Musandam rappresenta l'estensione nordorientale della penisola arabica, separando il Golfo dell'Oman a Est dal Golfo Persico a Ovest. Il clima nella zona di Khasab è soleggiato tutto l'anno, sono poche le piogge invernali. Il periodo più caldo è l'estate dove si toccano valori di 40 °C tra i mesi di giugno e luglio. L'elemento che però rende fortemente opprimente e disagiata l'estate è l'umidità, la quale, a causa della vicinanza del mare, tocca e supera valori del 70 %. Il periodo più confortevole è quello che va da dicembre a marzo, dove le temperature rimangono comprese tra i 20 °C e i 24 °C e l'umidità non supera il 60 %.

I valori di picco di temperatura e umidità relativa registrati in estate verranno utilizzati per la progettazione e il dimensionamento di un appropriato sistema di raffrescamento, che riesca a compensare i carichi sia sensibili che latenti per potere mantenere all'interno della struttura delle condizioni di confort sia termico che igrometrico per gli occupanti.

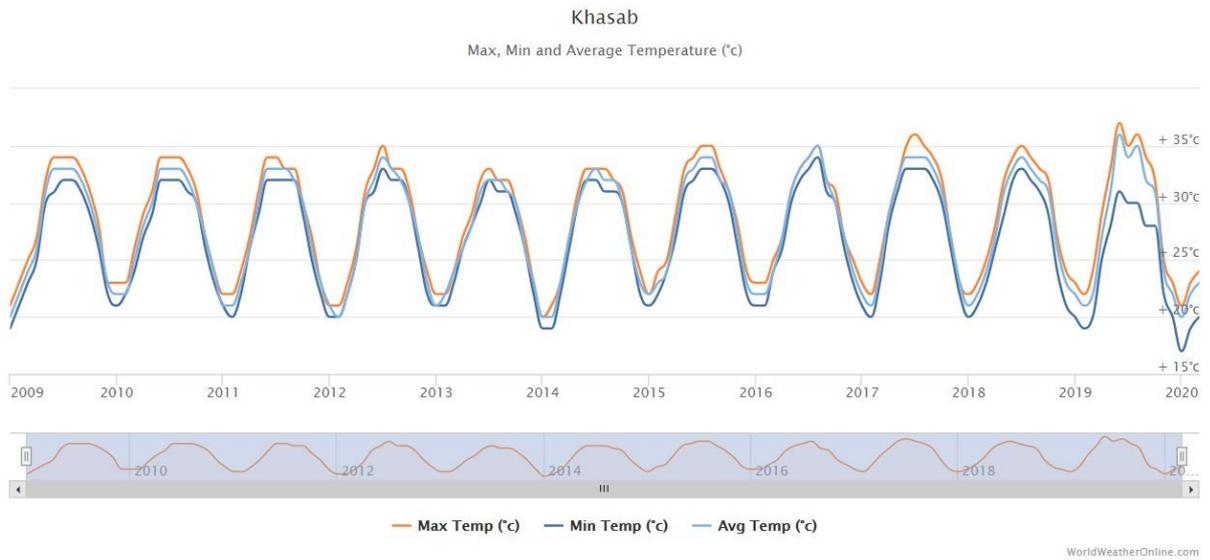


Figura I.5. Temperatura minima, media e massima Khasab negli ultimi dieci anni [4].

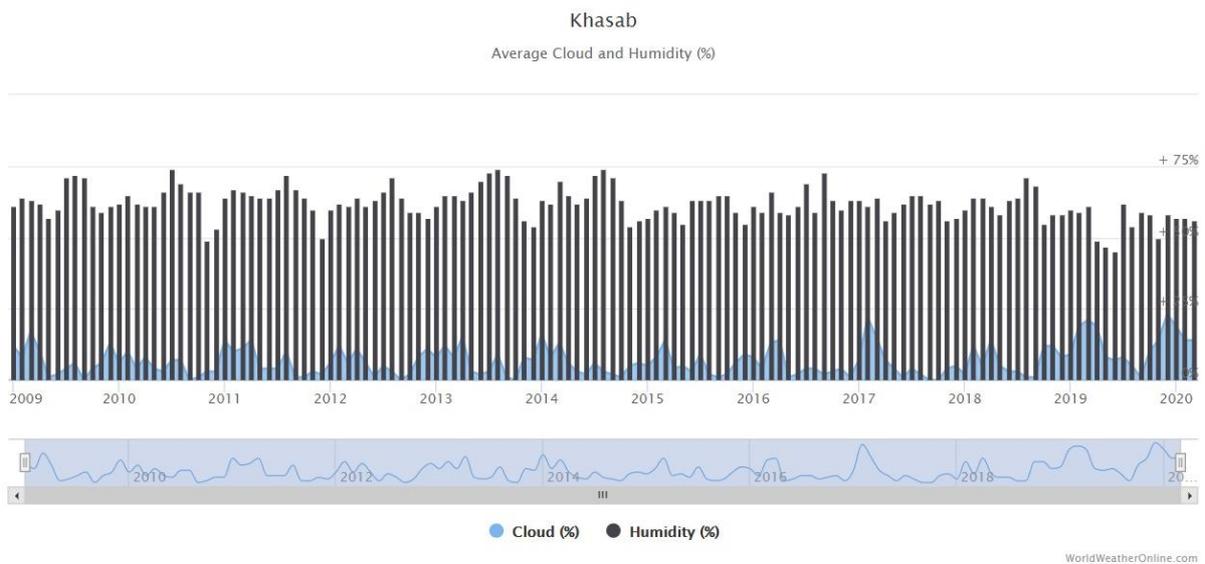


Figura I.6. Umidità relativa e nuvolosità Khasab negli ultimi dieci anni [4].

CAPITOLO I

Valutazione dei carichi termici di raffreddamento

Il calcolo dei carichi di raffreddamento, così come quello dei carichi di riscaldamento, si basa sul fissare delle condizioni interne di set-point, considerate circa costanti nel tempo, che permettano di garantire il confort termo-igrometrico degli occupanti. Queste condizioni di set-point riguardano la temperatura e l'umidità relativa dell'aria interna. Nel caso invernale, per calcolare i carichi di riscaldamento, si trascurano gli apporti solari e quelli endogeni (persone, illuminazione interna, apparecchiature elettriche) in quanto aiutano a ridurre la necessità di riscaldamento. Nel caso estivo, gli apporti solari e gli apporti endogeni non possono essere trascurati in quanto aumentano la necessità di raffreddamento dell'edificio. Un'altra differenza che rende il calcolo dei carichi di raffreddamento decisamente più complesso è la necessità di dover considerare, nel caso estivo, gli effetti di accumulo termico e di inerzia dell'edificio. Infatti, se nel caso invernale si può assumere che la temperatura esterna sia sempre minore di quella interna e che la differenza di temperatura sia pressappoco costante, nel caso estivo la differenza di temperatura tra interno ed esterno è fortemente variabile nel tempo, in particolare nell'arco delle 24 ore. Può avvenire, infatti, che tale differenza cambi anche di segno, poiché la temperatura esterna può essere alternativamente superiore e inferiore al set-point interno nell'arco delle 24 ore. La necessità di considerare gli effetti di accumulo termico e l'inerzia dell'edificio, rende il calcolo dei carichi di raffreddamento particolarmente complesso. Se il calcolo dei carichi di riscaldamento può essere svolto in maniera analitica o tramite fogli di calcolo, il calcolo dei carichi di raffreddamento necessita di programmi di simulazione che svolgano il bilancio energetico dell'edificio e delle singole zone.

Il procedimento seguito per stimare i carichi di raffreddamento consiste nel creare il modello tridimensionale della struttura e inserirlo nel software di simulazione insieme a tutte le informazioni necessarie per svolgere i calcoli. In particolare, sono state definite le stratigrafie della struttura. Con le informazioni relative alle stratigrafie possono essere determinati i parametri necessari a calcolare la trasmissione di calore e gli effetti di accumulo e inerzia dell'edificio. Si è divisa l'intera struttura in diverse zone (vedi introduzione, pg.3) e sono stati inseriti gli indici di affollamento e le informazioni riguardanti illuminazione ed equipaggiamenti elettrici per le diverse zone, in modo da poter determinare gli apporti interni. Sono state inserite le informazioni riguardanti le portate minime di aria esterna da garantire per mantenere gli standard di IAQ (Indoor Air Quality), in modo che il software sia anche in grado di determinare i carichi di ventilazione.

In input al software è stato inserito il file meteo contenente i dati relativi a Khasab, fornendo così al programma tutte le informazioni necessarie riguardo l'ambiente esterno. L'output della simulazione fornirà i carichi di raffrescamento, sia sensibili che latenti, per l'intera struttura e per ogni singola zona.

1.1 Stratigrafie

Al fine di definire delle stratigrafie appropriate alla zona climatica, per le partizioni verticali e orizzontali della struttura, il parametro che deve essere valutato è la trasmittanza termica. La trasmittanza termica di una parete indica la potenza termica che questa scambia per unità di superficie e per unità di differenza di temperatura. L'allegato B del Decreto del Ministro dello Sviluppo economico dell'11 marzo 2008 indica le trasmittanze limite per il tipo di partizione e il tipo di zona climatica italiana. La zona climatica più calda considerata è la zona A, a cui corrispondono le località con meno di 600 gradi giorno. Adottare per la località in esame in Oman i limiti di trasmittanza validi per le località italiane in zona A è una scelta accettabile, in quanto l'Oman è sicuramente una zona più calda di qualsiasi località italiana in zona A.

Nell'area del Musandam esiste un rischio sismico medio. Questo implica che vi è una probabilità del 10 % che si verifichino scosse potenzialmente dannose nell'area considerata, nei prossimi 50 anni [5]. Per questo motivo si è deciso di utilizzare nelle varie partizioni della struttura dei blocchi sismici, che utilizzano come unico materiale il calcestruzzo aerato autoclavato. I blocchi di calcestruzzo cellulare garantiscono una resistenza caratteristica a compressione verticale e orizzontale superiore a 5 MPa, permettendo la costruzione di un edificio a basso rischio di danno. Inoltre, altri vantaggi portati da questo tipo di materiale sono l'alto isolamento termico e protezione acustica, la riduzione del tempo di posa e l'ecosostenibilità e la biocompatibilità del materiale.

Si è scelto di utilizzare un vespaio areato che permette l'isolamento termico dell'edificio e aiuta lo smaltimento del gas Radon, il quale può essere nocivo se accumulato in grosse quantità. Questa installazione permette una facile ventilazione in ogni direzione. Il tetto è strutturato come un tetto verde estensivo, che garantisce un maggiore assorbimento della radiazione solare, un migliore isolamento acustico e la creazione di uno strato ignifugo naturale.

Seguono quindi le tabelle riepilogative delle trasmittanze limite per tipo di zona climatica, tratte dalla mini-guida ANIT (Associazione nazionale per l'Isolamento termico e acustico) – gennaio 2018, e le tabelle riepilogative delle stratigrafie associate ai diversi tipi di partizione, con le principali caratteristiche fisiche¹ dei materiali.

¹ Le caratteristiche fisiche dei materiali sono tratte dalle loro schede tecniche, allegate a questa trattazione.

TABELLA 1 (Appendice A) Trasmittanza termica U di riferimento delle **strutture opache verticali**, verso l'esterno, gli ambienti non riscaldati o contro terra

Zona climatica	U _{rit} [W/m ² K]	
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2019/2021
A-B	0,45	0,43
C	0,38	0,34
D	0,34	0,29
E	0,30	0,26
F	0,28	0,24

TABELLA 2 (Appendice A) Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali o inclinate di **copertura**, verso l'esterno e ambienti non riscaldati

Zona climatica	U _{rit} [W/m ² K]	
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2019/2021
A-B	0,38	0,35
C	0,36	0,33
D	0,30	0,26
E	0,25	0,22
F	0,23	0,20

TABELLA 3 (Appendice A) Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali di **pavimento**, verso l'esterno, ambienti non riscaldati o controterra

Zona climatica	U _{rit} [W/m ² K]	
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2019/2021
A-B	0,46	0,44
C	0,40	0,38
D	0,32	0,29
E	0,30	0,26
F	0,28	0,24

TABELLA 4 (Appendice A) Trasmittanza termica U **chiusure tecniche trasparenti** e opache e cassonetti, con gli infissi, verso l'esterno e ambienti non risc.

Zona climatica	U _{rit} [W/m ² K]	
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2019/2021
A-B	3,20	3,00
C	2,40	2,20
D	2,00	1,80
E	1,80	1,40
F	1,50	1,10

TABELLA 5 (Appendice A) Trasmittanza termica U delle strutture opache verticali e orizzontali di **separazione tra edifici o unità immobiliari confinanti**

Zona climatica	U _{rit} [W/m ² K]	
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2019/2021
Tutte	0,8	0,8

TABELLA 6 (Appendice A) **Fattore di trasmissione solare** totale g_{gl+sh} per componenti finestrati con orientamento da Est a Ovest passando per Sud

Zona climatica	g _{gl+sh} [-]	
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2019/2021
Tutte	0,35	0,35

Figura 1.1. Tabelle riepilogative trasmittanze limite [6].

- Stratigrafia pareti verticali esterne:

Stratigrafia		s	ρ	μ	c	λ	R
(int-est)		[cm]	[kg/m ³]	[-]	[J/kg°C]	[W/m°C]	[m ² C/W]
Strato liminare interno							0,13
I	Intonaco	1,5	1200	20	1000	0,330	
II	Blocco sismico	24,0	575	5	1000	0,143	
III	Isolante	6,0	100	3	1300	0,042	
IV	Intonaco	1,5	1200	20	1000	0,330	
V	Finitura	1,0	1200	25	1000	0,330	
VI							
VII							
VIII							
IX							
X							
Strato liminare esterno							0,04

Figura 1.2. Stratigrafia pareti verticali esterne.

Il valore di trasmittanza termica ottenuto per questa partizione è $U = 0,294 \frac{W}{m^2 \cdot K}$, lo spessore totale è di 34 cm.

- **Stratigrafia pareti verticali interne:**

Stratigrafia		s	ρ	μ	c	λ	R
(int-est)		[cm]	[kg/m ³]	[-]	[J/kg°C]	[W/m°C]	[m ² °C/W]
Strato liminare interno							0,13
I	Intonaco	1,5	1200	20	1000	0,330	
II	Blocco sismico	24,0	575	5	1000	0,143	
III	Intonaco	1,5	1200	20	1000	0,330	
IV							
V							
VI							
VII							
VIII							
IX							
X							
Strato liminare esterno							0,13

Figura 1.3. Stratigrafia pareti verticali interne.

Il valore di trasmittanza termica ottenuto per questa partizione è $U = 0,493 \frac{W}{m^2 \cdot K}$, lo spessore totale è di 27 cm.

- **Stratigrafia solaio:**

Stratigrafia		s	ρ	μ	c	λ	R
(int-est)		[cm]	[kg/m ³]	[-]	[J/kg°C]	[W/m°C]	[m ² °C/W]
Strato liminare interno							0,13
I	Intonaco	1,5	1200	20	1000	0,330	
II	Lastra armata	17,5	670	10	1000	0,130	
III	Calcestruzzo	5,0	2000	3	880	1,160	
IV	Isolante	6,0	100	3	1300	0,042	
V	Malta	2,0	1400	10	840	0,450	
VI	Pavimentazione	1,5	1800	10	1000	0,550	
VII							
VIII							
IX							
X							
Strato liminare esterno							0,13

Figura 1.4. Stratigrafia solaio interno.

Il valore di trasmittanza termica ottenuto per questa partizione è $U = 0,313 \frac{W}{m^2 \cdot K}$, lo spessore totale è di 33,5 cm.

- **Stratigrafia tetto verde estensivo:**

Stratigrafia		s	ρ	μ	c	λ	R
(int-est)		[cm]	[kg/m ³]	[-]	[J/kg°C]	[W/m°C]	[m ² °C/W]
Strato liminare interno							0,17
I	Intonaco	1,5	1200	20	1000	0,330	
II	Lastra armata	17,5	670	10	1000	0,130	
III	Calcestruzzo	5,0	2000	3	880	1,160	
IV	Isolante	30,0	100	3	1300	0,042	
V	Membrana antiradice	0,4	920	-	2219	0,530	
VI	TNT protettivo	0,1	930	-	2010	0,160	
VII	Lapillo	5,0	850	-	840	0,130	
VIII	Filtro in tessuto	0,1	930	-	2010	0,160	
IX	Substrato	12,0	1070	-	800	0,320	
X							
Strato liminare esterno							0,04

Figura 1.5. Stratigrafia tetto verde estensivo.

Il valore di trasmittanza termica ottenuto per questa partizione è $U = 0,105 \frac{W}{m^2 \cdot K}$, lo spessore totale è di 71,6 cm.

- **Stratigrafia vespaio areato:**

Stratigrafia		s	ρ	μ	c	λ	R
(int-est)		[cm]	[kg/m ³]	[-]	[J/kg°C]	[W/m°C]	[m ² °C/W]
Strato liminare interno							0,13
I	Pavimento linoleum	1,0	1400	-	1700	0,220	
II	Calcestruzzo mv.500	4,0	500	-	1000	0,220	
III	Isolante EPS	4,0	30	-	1200	0,037	
IV	Calcestruzzo mv.900	14,0	900	-	1000	0,340	
V	Aria orizzontale	30,0	1	-	1008	0,620	
VI	Calcestruzzo mv.900	30,0	900	-	1000	0,340	
VII							
VIII							
IX							
X							
Strato liminare esterno							0,04

Figura 1.6. Stratigrafia vespaio areato.

Il valore di trasmittanza termica ottenuto per questa partizione è $U = 0,307 \frac{W}{m^2 \cdot K}$, lo spessore totale è di 83 cm.

- **Involucro trasparente:**

Per quanto riguarda l'involucro trasparente, le varie superfici vetrate sono state disposte secondo le planimetrie allegate a questa trattazione.

Per le superfici vetrate si è scelta una tipologia di doppio vetro basso-emissivo riflettente di spessore 30 mm. La trasmittanza di tale vetro è di $U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$, mentre la trasmittanza totale comprensiva di telaio è di $U_w = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. La particolarità di questo vetro basso-emissivo riflettente è la presenza di una pellicola riflettente che respinge verso l'esterno la maggior parte dell'energia che colpisce il vetro. Grazie a queste caratteristiche si raggiunge un valore di fattore solare $g = 29 \%$. Per ridurre maggiormente gli apporti solari, si è deciso di aggiungere, ad ogni superficie vetrata del perimetro esterno della struttura, un aggetto orizzontale esterno della stessa larghezza delle superfici e di lunghezza 1,5 m.

Queste scelte sono giustificate dall'elevato window-to-wall ratio (WWR) della struttura. Il WWR è una variabile importante che influisce sul rendimento energetico di un edificio. L'area vetrata avrà un impatto sul riscaldamento, sul raffreddamento e sull'illuminazione dell'edificio. Il WWR di un edificio si calcola come il rapporto tra la superficie totale vetrata e la superficie totale delle partizioni verticali che affacciano all'esterno. Il WWR per la struttura considerata è pari a 61 %.

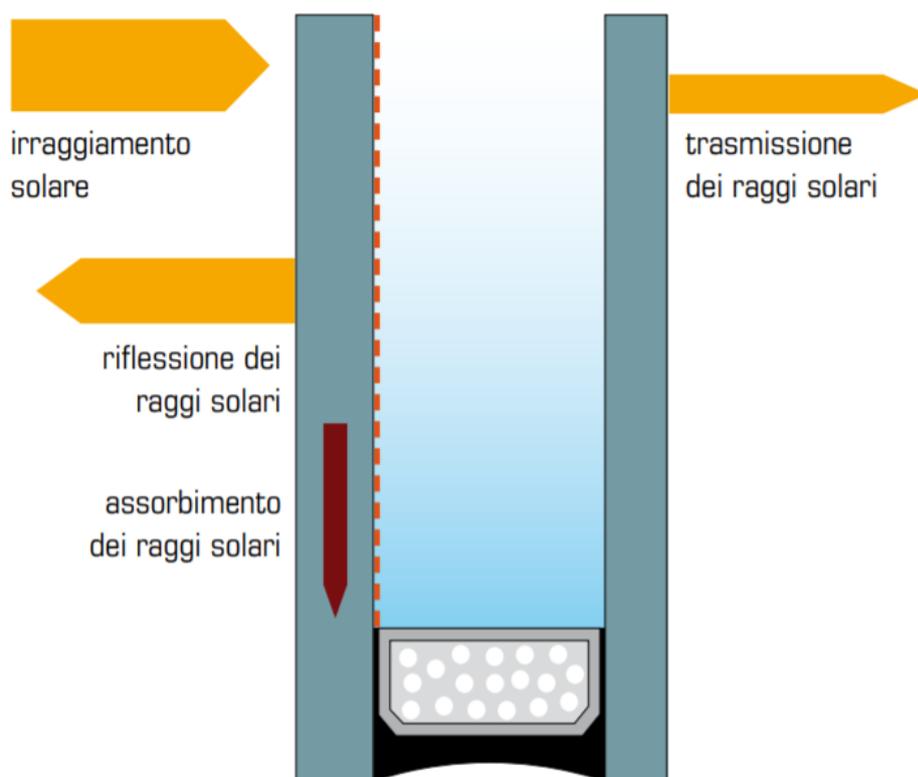


Figura 1.7. Schema funzionamento vetro riflettente [7].

1.2 Modello 3D

Il modello tridimensionale della struttura in esame è stato costruito tramite il software Sketchup, un programma di modellazione tridimensionale molto versatile e caratterizzato da strumenti per la modellazione particolarmente flessibili. Questo software viene utilizzato da ingegneri, architetti e da progettisti in genere, per progettazioni architettoniche, urbanistiche o civili. Per associare al modello architettonico le caratteristiche energetiche si utilizza il plug-in OpenStudio, il quale permette di utilizzare gli strumenti standard di Sketchup per creare e modificare zone termiche e condizioni al contorno delle superfici. Tramite questo plug-in sarà possibile generare il file EnergyPlus del modello. EnergyPlus è, infatti, il programma con cui verrà effettuata la simulazione energetica.

Il modello è stato creato a partire dalle planimetrie allegate. La struttura è stata divisa in diverse zone termiche, in base alle diverse destinazioni d'uso e diverso indice di affollamento. In totale vi sono 309 zone divise in 133 uffici, 29 aule, 32 laboratori, 17 computer lab, 11 sale riunioni, 12 zone comuni, 24 zone servizi, 26 transiti, 7 depositi, 9 negozi, 3 zone infermeria, 3 zone mensa e, infine, una libreria, una palestra e un auditorium. Questa scelta è necessaria per ottenere, come risultato della simulazione energetica, i carichi di raffreddamento di ogni zona. In questo modo sarà possibile dimensionare i terminali dell'impianto di raffrescamento.

Tramite il plug-in OpenStudio è possibile creare e differenziare le varie zone termiche e assegnare ad ogni superficie la sua condizione al contorno. Ogni superficie del modello potrà quindi essere classificata come superficie rivolta verso l'esterno, verso il terreno o superficie interna. Le superfici rivolte verso l'esterno sono considerate esposte alla radiazione solare e al vento mentre le superfici rivolte verso il terreno e quelle interne saranno considerate come non esposte a sole e vento.

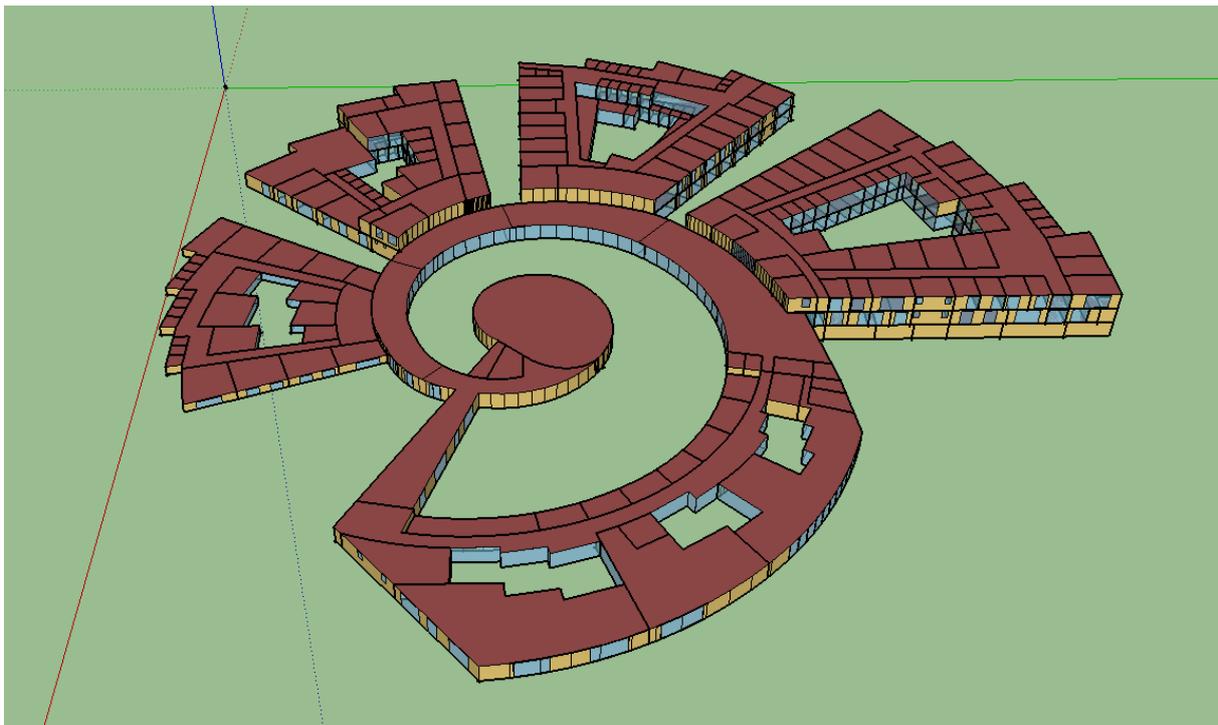


Figura 1.8. Modello tridimensionale Sketchup della struttura, visualizzato per tipo di superficie.

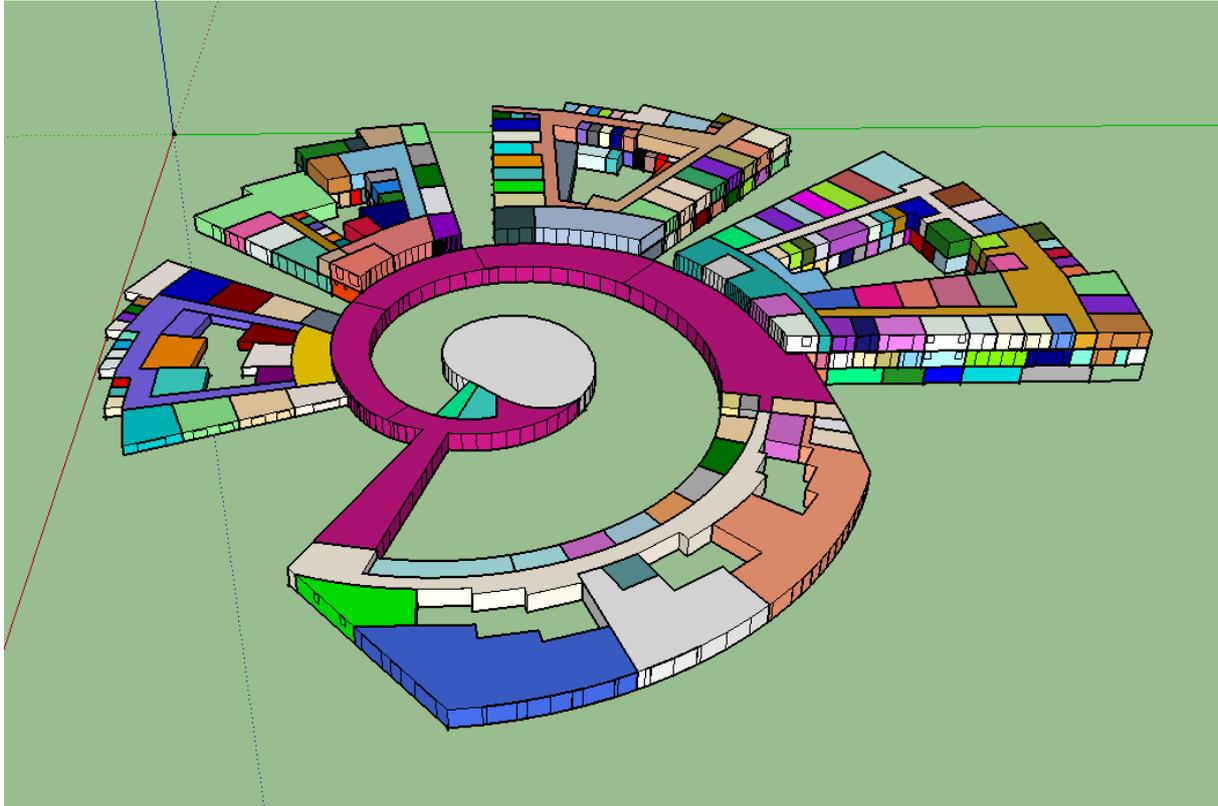


Figura 1.9. Modello tridimensionale Sketchup della struttura, visualizzato per zona termica.

La prima figura mostra la visualizzazione del modello per tipo di superficie. Si possono notare le superfici marroni che indicano la copertura, le superfici gialle che indicano le pareti e le superfici azzurre che rappresentano le superfici vetrate.

La seconda figura mostra la visualizzazione del modello per zona termica. Come si può notare sono state considerate 309 diverse zone termiche, in modo da ottenere i carichi per ciascuna zona durante la simulazione.

Si possono notare i tre assi di riferimento. L'asse blu indica l'estensione verticale della struttura mentre l'asse verde indica il Nord. L'orientazione della struttura nel piano di riferimento corrisponde con la sua orientazione reale.

1.3 Simulazione con EnergyPlus

EnergyPlus è un programma di simulazione energetica degli edifici. Viene utilizzato per modellare i consumi di energia di un edificio. Tramite questo programma si possono quindi valutare i consumi energetici per riscaldamento o raffreddamento di un edificio, tenendo conto delle varie componenti di illuminazione, apparecchiature elettriche, persone, ventilazione etc. EnergyPlus permette di determinare soluzioni simultanee e integrate tra le varie zone termiche.

Il software utilizza un modello combinato di trasferimento di calore e trasferimento di massa, che tiene conto del movimento dell'aria tra le zone. Inoltre, vengono forniti in output i report dettagliati sulla simulazione, personalizzabili dall'utente e con una risoluzione temporale variabile, da annuale a sub-oraria.

Nel nostro caso, al modello tridimensionale generato tramite il plug-in OpenStudio di Sketchup, si andrà ad associare il file meteo relativo alla città di Khasab (distante circa 7 km dal nostro sito). Una volta associato il file meteo, si inseriranno tutte le informazioni necessarie relative ad affollamento, illuminazione, apparecchiature elettriche e ventilazione, nonché tutti i dati relativi ai componenti opachi e trasparenti che sono stati elencati sopra (vedi paragrafo 1.1, pg 9).

Una volta inserite tutte le informazioni necessarie e i set-point di temperatura e umidità relativa, deve essere definito il giorno in cui valutare il carico di progetto. La simulazione verrà effettuata per questo particolare giorno. Il “summer design day” è il giorno più caldo nell'arco annuale, per il quale si verifica il picco di temperatura.

Seguono nei prossimi sotto paragrafi le varie informazioni che sono state inserite in input su EnergyPlus, per potere svolgere la simulazione e ottenere i risultati.

1.3.1 Giornata estiva di progetto

Il giorno di progetto estivo rappresenta la giornata più calda del periodo di raffreddamento. Durante questa giornata si verifica il picco di temperatura, per il quale sarà dimensionato l'impianto di raffreddamento. È importante che l'impianto di raffreddamento sia capace di coprire il carico anche nella condizione peggiore possibile, ovvero quella che si verifica durante la giornata di progetto.

Come già detto, il software EnergyPlus ha bisogno in input del file meteo con i dati della località in esame. Generalmente, i file meteo delle principali località sono forniti dalla stessa piattaforma di EnergyPlus. Nel nostro caso, la località più vicina a quella in esame, presente nel database di EnergyPlus, è Abu Dhabi, negli Emirati Arabi Uniti, che però dista circa 260 km da quella in esame. Per questo motivo si è scelto di utilizzare un file meteo proveniente da un'altra fonte [8], consigliata dalla stessa piattaforma di Energy Plus. Il file meteo utilizzato si riferisce alla città di Khasab, a pochi chilometri dal sito in esame.

Il file meteo è importante perché, oltre a fornire i vari dati climatici della zona, indica quale giornata considerare come “summer design day”. Nel nostro caso il giorno indicato è il 21 Luglio e la temperatura di picco è di 40 °C, registrata alle ore 15:00.

Per quanto riguarda le condizioni di set-point scelte, facendo riferimento alla norma UNI-EN 15251, si è fissata la temperatura interna di set-point di tutte le zone climatizzate a 26 °C. Questo valore consente di stare nella categoria II di confort. Alla categoria II corrisponde un PMV (Predicted Mean Vote) compreso tra -0,5 e +0,5. Per il set-point di umidità relativa si è scelto il valore standard del 50 %.

1.4 Apporti interni

Come già accennato, gli apporti interni non sono trascurabili e devono essere valutati nel caso estivo in quanto gravano sul sistema di raffreddamento. I seguenti paragrafi descrivono tutte le informazioni riguardanti occupazione, illuminazione e apparecchiature elettriche, che sono state inserite nel programma di simulazione. In particolare, gli occupanti produrranno un carico termico sia sensibile che latente mentre illuminazione e apparecchiature elettriche saranno responsabili solamente di un carico sensibile.

1.4.1 Occupazione

Nel calcolo dei carichi di raffreddamento, come detto, devono essere considerati anche gli apporti endogeni, in quanto gravano sul carico termico. Per valutare gli apporti di calore sensibile e latente dovuti alla presenza di occupanti nella struttura, devono essere inserite informazioni a riguardo nel programma di simulazione. A tale scopo si è utilizzata la normativa italiana UNI 10339 per definire gli indici di affollamento di ciascuna tipologia di zona. L'indice di affollamento è un parametro che indica quante persone sono presenti per ogni metro quadro di superficie calpestabile. Il software, essendo in possesso delle varie aree dei pavimenti, potrà calcolare l'effettivo numero di occupanti di ogni zona.

Per quanto riguarda la potenza che ogni persona rilascia in ambiente, la norma ISO 8996 indica per attività sedentaria d'ufficio, classe, laboratori etc. una potenza metabolica di 70 W/m². Questo è il valore considerato nella nostra analisi.

Il software permette di inserire delle schedule sulla occupazione, in modo da far variare durante le ore giornaliere il numero di occupanti rispetto al valore massimo. In questo modo la simulazione risulterà più aderente alla realtà. Le schedule considerate sono quelle standard presenti nel database di EnergyPlus, all'occorrenza modificate per aderire meglio alla realtà.

Seguono quindi i dati relativi agli indici di occupazione e alle schedule per ogni tipologia di zona.

Zona	Uffici	Aule	Laboratori	Computer Lab
Indice di affollamento [p/m²]	0,06	0,6	0,3	0,3
Zona	Spazi comuni	Sale riunioni	Negozi	Mensa
Indice di affollamento [p/m²]	0,1	0,6	0,1	0,6

<i>Zona</i>	Libreria	Palestra	Infermeria	Auditorium
<i>Indice di affollamento [p/m²]</i>	0,3	0,2	0,06	-

Tabella 1.1. Indici di affollamento per le diverse zone.

Per l'auditorium non si è inserito alcun indice di affollamento in quanto è stato direttamente inserito il numero di occupanti, pari ai posti a sedere. Il numero di posti a sedere è 285.

Occupazione Spazi comuni	Occupazione Negozi	Occupazione Mensa	Occupazione Libreria
Fraction	Fraction	Fraction	Fraction
Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31
For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays
Until: 06:00	Until: 06:00	Until: 06:00	Until: 06:00
0	0	0	0
Until: 07:00	Until: 07:00	Until: 07:00	Until: 07:00
0	0	0	0
Until: 08:00	Until: 08:00	Until: 08:00	Until: 08:00
.5	.3	.3	.3
Until: 12:00	Until: 12:00	Until: 12:00	Until: 12:00
.5	.5	.3	.3
Until: 15:00	Until: 15:00	Until: 15:00	Until: 15:00
1	1	1	.5
Until: 17:00	Until: 17:00	Until: 17:00	Until: 17:00
.7	.5	.3	.5
Until: 18:00	Until: 18:00	Until: 18:00	Until: 18:00
.7	.5	.3	.5
Until: 20:00	Until: 20:00	Until: 21:00	Until: 20:00
.4	.7	.8	.3
Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00
0	0	0	0

Figura 1.10. Schedule di occupazione per le diverse zone.

Occupazione Auditorium	Occupazione Uffici	Occupazione Riunione	Occupazione Aule
Fraction	Fraction	Fraction	Fraction
Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31
For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays
Until: 06:00	Until: 06:00	Until: 06:00	Until: 06:00
0	0	0	0
Until: 07:00	Until: 07:00	Until: 07:00	Until: 07:00
0	0	0	0
Until: 10:00	Until: 08:00	Until: 08:00	Until: 08:00
.3	.1	.1	.1
Until: 12:00	Until: 12:00	Until: 12:00	Until: 12:00
.8	1	.75	1
Until: 15:00	Until: 13:00	Until: 13:00	Until: 13:00
.1	.3	.2	.2
Until: 17:00	Until: 17:00	Until: 17:00	Until: 17:00
.5	.8	.75	.8
Until: 18:00	Until: 18:00	Until: 18:00	Until: 18:00
.5	.2	0,3	.8
Until: 20:00	Until: 22:00	Until: 22:00	Until: 22:00
.2	0	0	0
Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00
0	0	0	0

Figura 1.11. Schedule di occupazione per le diverse zone.

Le schedule sono espresse come frazione del numero massimo di occupanti e variano al variare della giornata. Si fa notare che le schedule utilizzate sono meno del numero di tipologie di zona scelte. Questo perché le zone classificate come “laboratori” e come “computer lab” utilizzano le stesse schedule della zona “aule”. Le zone “infermeria” seguono le schedule delle zone “uffici”.

1.4.2 Illuminazione

Anche l’illuminazione contribuisce al riscaldamento interno e quindi al carico di raffreddamento. Per questo motivo deve essere considerata all’interno della simulazione. Per quanto riguarda l’illuminazione, il dato inserito all’interno del software riguarda la potenza rilasciata per unità di superficie di pavimento. Il valore scelto è un valore standard presente del database di EnergyPlus e vale 10 W/m^2 . Si utilizza lo stesso valore per tutte le zone. Il programma, essendo in possesso delle varie aree dei pavimenti, potrà calcolare l’effettivo apporto su ogni zona.

Anche per quanto riguarda l’illuminazione, il programma permette di inserire delle schedule, in modo tale che non si consideri, nell’arco delle 24 ore, sempre il massimo dell’illuminazione. Anche in questo caso le schedule sono indicate come frazioni del valore massimo. È stata considerata la stessa schedule, presente nel database di EnergyPlus, per tutte le zone.

Illuminazione
Fraction
Through: 12/31
For: AllDays
Until: 06:00
0
Until: 07:00
.1
Until: 08:00
.3
Until: 17:00
.9
Until: 18:00
.7
Until: 20:00
.5
Until: 22:00
.1
Until: 23:00
0
Until: 24:00
0

Figura 1.12. Schedule di illuminazione.

1.4.3 Apparecchiature elettriche

Questa componente tiene conto della presenza di vari dispositivi quali computer, stampanti, proiettori e altre apparecchiature che nel loro funzionamento rilasciano potenza termica verso l'ambiente. Di conseguenza, anche queste apparecchiature devono essere considerate nella simulazione per la valutazione dei carichi di raffreddamento.

Anche in questo caso il parametro utilizzato è la potenza rilasciata per unità di superficie di pavimento. In questo caso i valori considerati sono sempre presi dal database di EnergyPlus, ma sono differenti per le varie zone poiché, in base alla destinazione d'uso, varia anche la presenza di equipaggiamenti elettrici.

Zona	Uffici	Aule	Laboratori	Computer Lab
<i>Watt per area di pavimento [W/m²]</i>	7	5	5	12
Zona	Spazi comuni	Sale riunioni	Negozi	Mensa
<i>Watt per area di pavimento [W/m²]</i>	3	7	3	3

<i>Zona</i>	Libreria	Palestra	Infermeria	Auditorium
<i>Watt per area di pavimento [W/m²]</i>	3	5	3	3

Tabella 1.2. Equipaggiamenti elettrici: Watt per area di pavimento per diverse zone.

Per quanto riguarda le schedule, si è utilizzata quella presente nel database di EnergyPlus, uguale per ogni zona.

Office Bldg Equip
Fraction
No
08:00
0,4
12:00
0,9
13:00
0,8
17:00
0,9
18:00
0,8
20:00
0,6
22:00
0,5
24:00
0,4

Figura 1.13. Schedule delle apparecchiature elettriche.

1.5 Ventilazione

In qualunque ambiente, in cui vi sia presenza di occupanti, è necessario garantire un certo ricambio d'aria, al fine di mantenere l'IAQ (Indoor Air Quality). Per mantenere una qualità dell'aria accettabile, quindi, deve essere introdotta all'interno di ogni zona una portata minima di aria esterna. Essendo l'aria esterna alle condizioni di temperatura e umidità relativa esterne, l'introduzione di questa portata d'aria costituisce un carico termico da bilanciare. Questo carico termico aggiuntivo, sensibile e latente, grava sul bilancio termico di ogni zona. Quando è presente un sistema di trattamento aria, che porta l'aria esterna alle condizioni di set-point interno prima di inserirla in ambiente, il carico di ventilazione non grava più sul bilancio della zona ma grava sul sistema di trattamento aria.

Inserendo gli opportuni dati in input al programma di simulazione, sarà possibile ottenere i carichi sensibili e latenti di ventilazione per ogni zona. Una volta noti questi carichi si potrà decidere la tipologia di impianto più adatta a bilanciarli.

I dati che bisogna fornire in input riguardano la portata minima di aria esterna necessaria per ogni persona. Questo valore di portata a persona varia in base al tipo di zona. Una volta inseriti questi valori, essendo già in possesso dei dati riguardanti l'occupazione, il programma potrà determinare i carichi dovuti alla ventilazione. Le portate di aria esterna minima per persona, in base al tipo di zona, sono state tratte dalla norma UNI 10339.

Zona	Uffici	Aule	Laboratori	Computer Lab
<i>Portata aria esterna per persona [m³/s]</i>	0,011	0,007	0,007	0,007
Zona	Spazi comuni	Sale riunioni	Negozi	Mensa
<i>Portata aria esterna per persona [m³/s]</i>	0,011	0,01	0,01	0,01
Zona	Libreria	Palestra	Infermeria	Auditorium
<i>Portata aria esterna per persona [m³/s]</i>	0,0055	0,0165	0,011	0,0055

Tabella 1.3. Portata minima di aria esterna per persona.

Per quanto riguarda i bagni, la norma non indica una portata minima per persona, ma indica la portata da ricambiare in volumi/ora, dove il volume si riferisce alla sola zona bagni, escludendo gli antibagni. Il dato inserito per le zone bagni è il seguente.

Zona	Servizi
<i>Volumi/ora [1/h]</i>	8

Tabella 1.4. Ricambi-ora servizi.

1.6 Risultati simulazione

Una volta inserite tutte le informazioni necessarie nel file EnergyPlus, sarà possibile far partire la simulazione. La simulazione si riferisce alle 24 ore della giornata di progetto estivo, ovvero il 21 Luglio. I risultati, quindi, mostreranno un andamento temporale dei carichi che agiscono sull'edificio, tenendo conto della variazione sia dei parametri esterni che di quelli interni nell'arco della giornata.

Come già accennato, nel periodo estivo la differenza tra temperatura interna di progetto ed esterna non può considerarsi costante. Questo implica che qualunque valutazione deve essere fatta in regime transitorio, tenendo conto degli effetti di accumulo termico e di inerzia dell'edificio. Questo è il principale motivo per cui si utilizza un programma di simulazione. Per questa simulazione si è scelto un time-step orario. Il programma valuterà quindi per ogni ora della giornata sia i carichi istantanei che quelli ritardati, dovuti all'accumulo e all'inerzia delle partizioni. In questo modo verrà valutato l'orario del picco, momento in cui la necessità di raffreddamento è massima.

Verranno quindi forniti in seguito una serie di grafici relativi agli andamenti dei vari carichi sull'intera struttura, con andamento orario nell'arco delle 24 ore di simulazione. In fine, verranno fornite le tabelle con i valori di picco delle varie zone. Si fa notare che i valori di picco delle varie zone non si verificano tutti allo stesso momento e, di conseguenza, il valore di picco dell'intera struttura non corrisponde alla somma dei valori di picco delle singole zone.

1.6.1 Intera struttura

I dati relativi all'intera struttura tengono conto dei quattro edifici principali, del quinto edificio in cui sono presenti libreria, palestra, mensa e negozi e dell'auditorium centrale.

Il primo grafico rappresenta il carico totale di raffreddamento, espresso in kW, dell'intera struttura. Si può quindi notare come varia la necessità di raffreddamento durante le 24 ore della giornata di simulazione. Nel grafico sono mostrate la componente sensibile e la componente latente, quest'ultima dovuta agli apporti delle persone e alla ventilazione. Il picco si verifica alle 17:00, con una richiesta di potenza sensibile di 2430 kW e una richiesta di potenza latente di 1900 kW.

Il secondo grafico mostra come varia il carico di ventilazione per l'intera struttura nell'arco delle 24 ore. Si può subito notare come la componente latente sia predominante rispetto a quella sensibile. Questo dato è comprensibile tenendo conto dell'alta umidità relativa dell'aria nelle condizioni esterne. Infatti, l'umidità relativa esterna può assumere valori di picco superiori al 70 %. Si può notare inoltre dall'andamento orario come la necessità di ventilazione sia legata all'occupazione e si annulli nelle ore notturne.

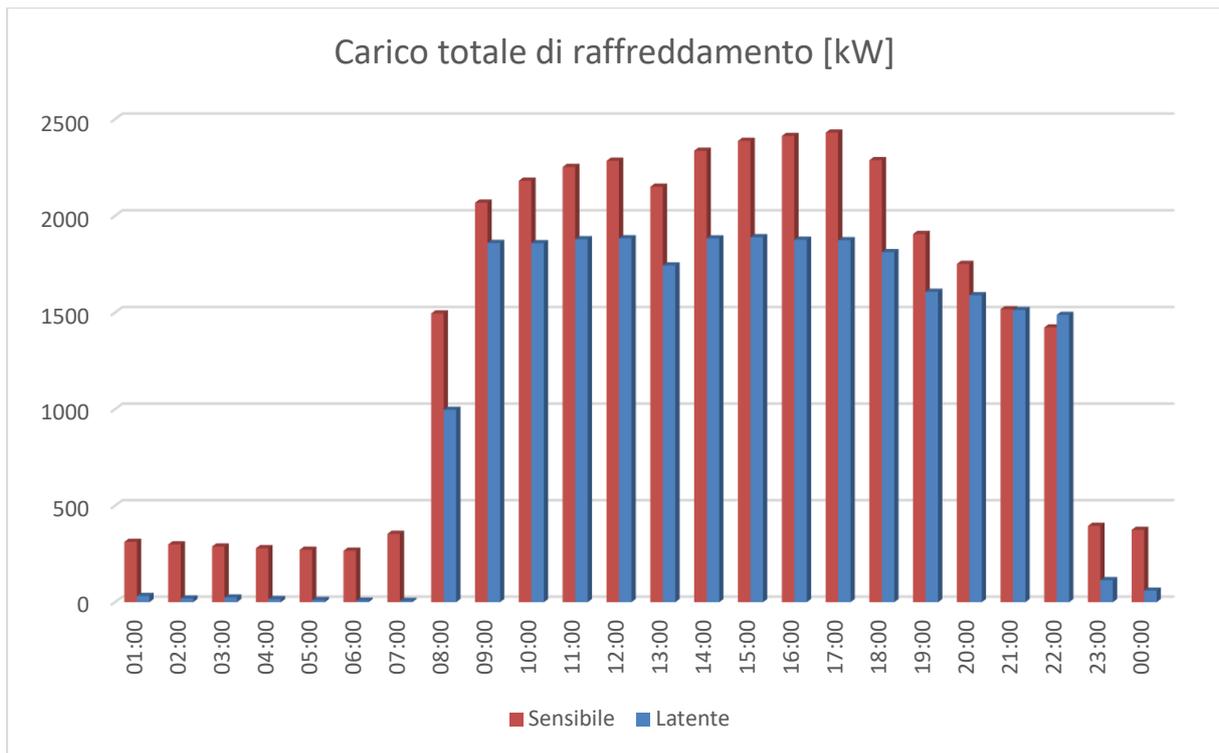


Grafico 1.1. Andamento del carico totale di raffreddamento dell'intera struttura.

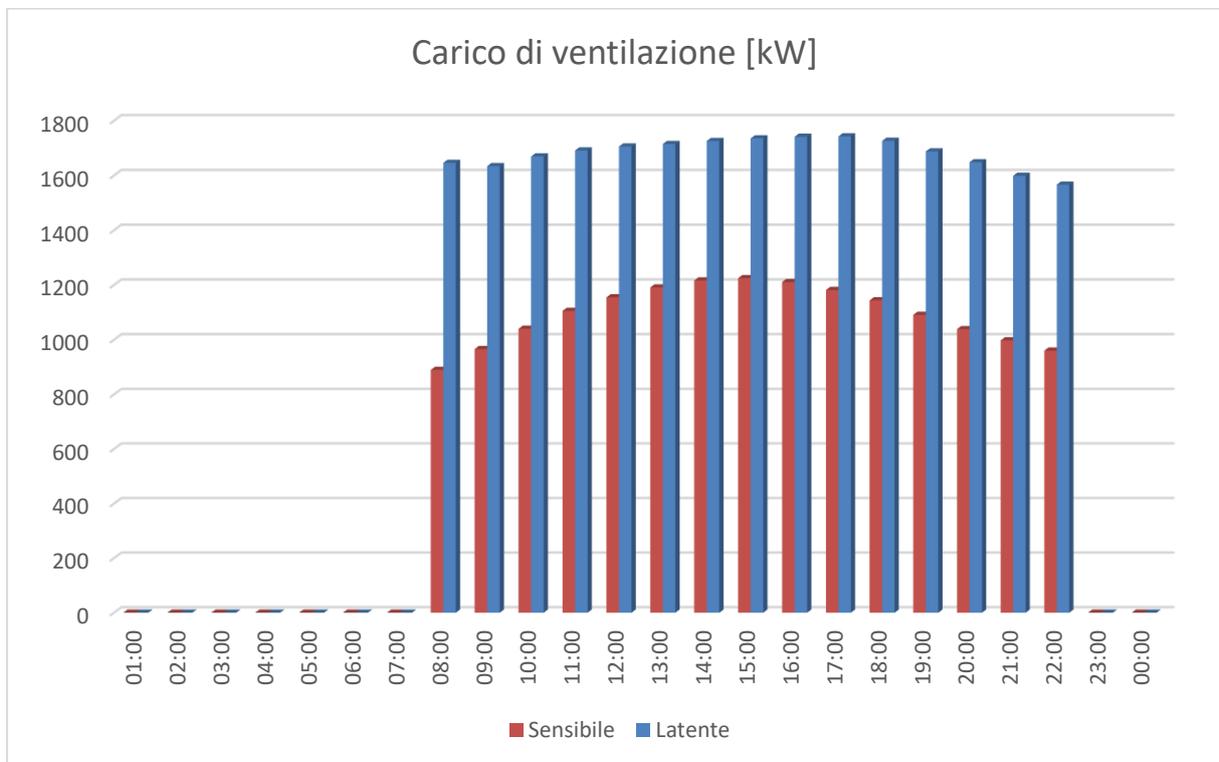


Grafico 1.2. Andamento del carico di ventilazione dell'intera struttura.

Gli apporti interni sono una componente importante, che non può essere trascurata nel calcolo del carico di raffreddamento, in quanto aumenta la necessità di sottrarre calore all'ambiente. Il grafico 1.3 mostra l'andamento degli apporti interni durante le 24 ore della simulazione. Le tre componenti considerate sono la presenza di occupanti, l'illuminazione e la presenza di apparecchiature elettriche. Si può notare come i maggiori apporti interni siano dovuti a persone e illuminazione.

Le componenti di illuminazione e apparecchiature elettriche contribuiscono solo alla quota sensibile. Gli apporti degli occupanti sono composti da quota sensibile e quota latente. La presenza degli occupanti rappresenta un carico importante per l'edificio in quanto non solo immettono potenza in ambiente, ma necessitano anche di una portata di ventilazione per mantenere la qualità dell'aria. Nel grafico 1.4 si può notare come è suddivisa la potenza sensibile e latente rilasciata in ambiente dagli occupanti. Se si confrontano questi valori, con quelli del grafico 1.2 sul carico di ventilazione, si può facilmente notare come la ventilazione sia molto più rilevante.

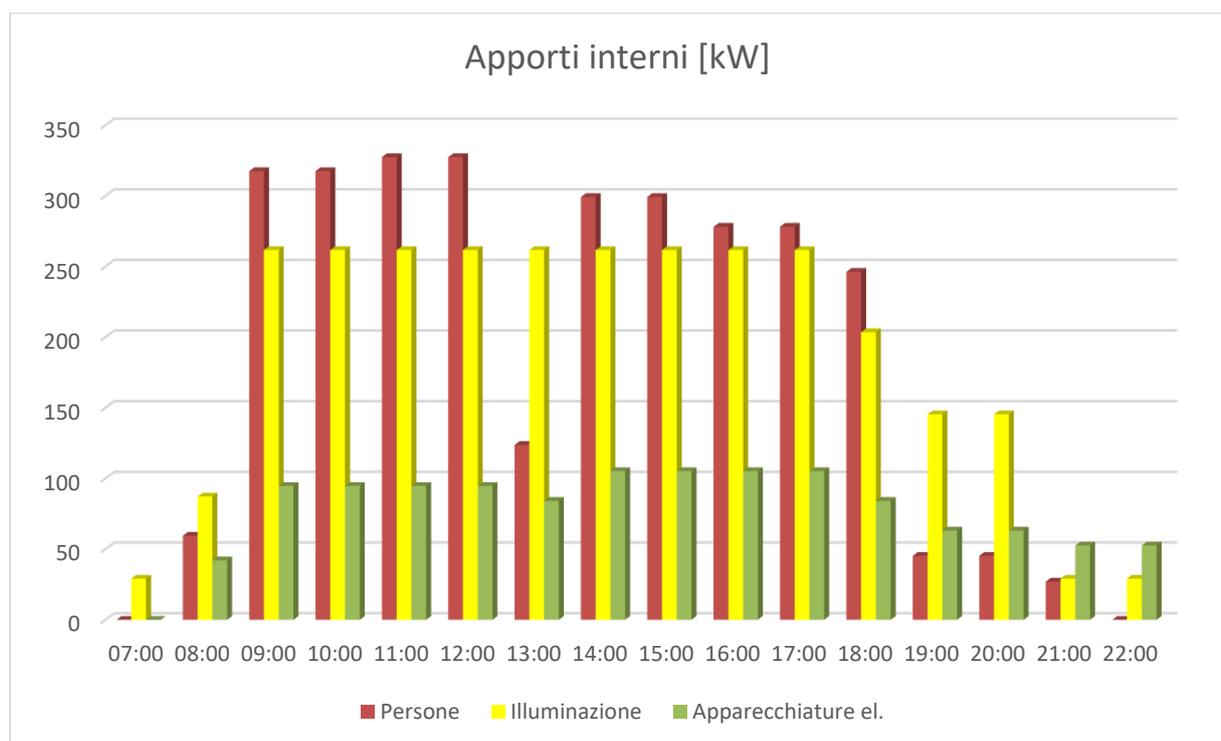


Grafico 1.3. Andamento degli apporti interni per l'intera struttura².

² Nel grafico sono stati omessi gli orari dalle 23:00 alle 06:00 poiché rappresentano valori nulli di carico.

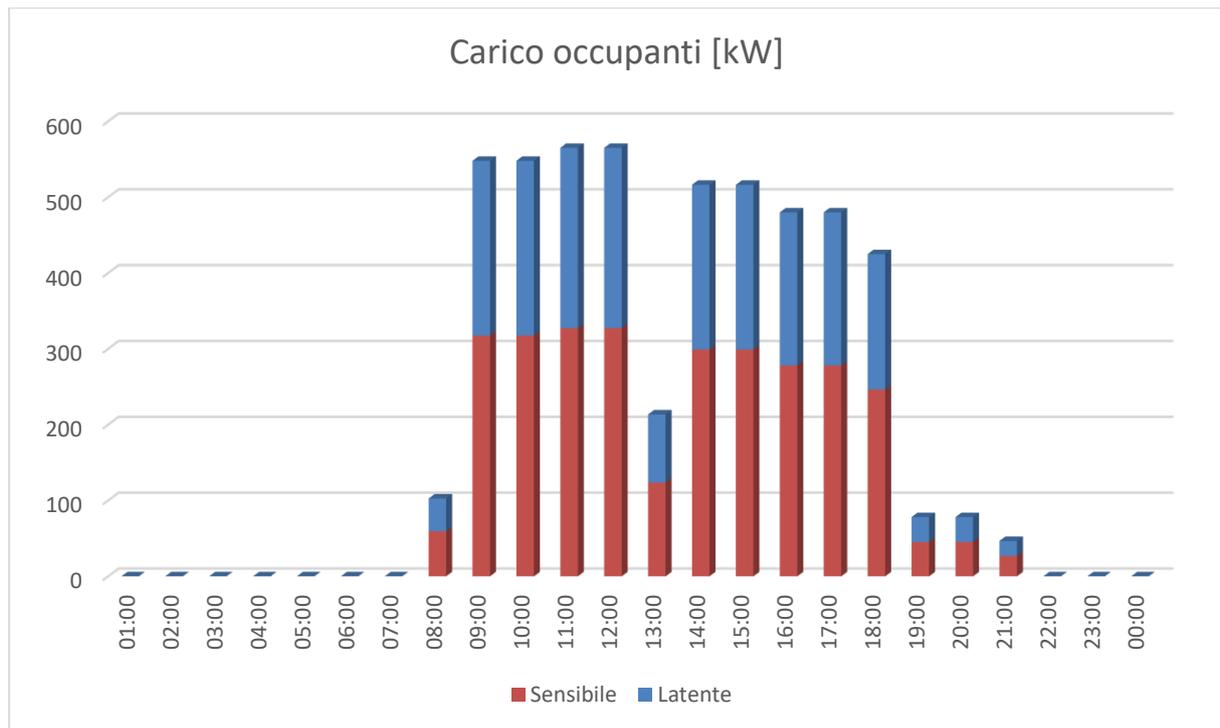


Grafico 1.4. Andamento degli apporti interni degli occupanti.

Infine, si mostrano due grafici relativi alla composizione del carico totale di raffreddamento, in modo da comprendere meglio le varie componenti.

Il grafico 1.5 mostra la composizione della quota sensibile. Si può notare che la componente più importante è quella di ventilazione. Questo è comprensibile, in quanto la temperatura dell'aria esterna è di circa 15 °C superiore alla temperatura interna di progetto, comportando un notevole carico sensibile. Si fa notare che anche gli apporti interni sono rilevanti, corrispondendo a circa un quarto dell'intera quota sensibile. Si nota infine la componente "Altro". Questa componente racchiude i restanti apporti di calore, essenzialmente dovuti alla trasmissione di calore attraverso l'involucro opaco e trasparente, tenendo anche conto degli effetti di accumulo termico e di inerzia.

Il grafico 1.6, invece, mostra la quota latente del carico totale. Questa quota è composta dalla componente dovuta agli occupanti e da quella dovuta alla ventilazione. La componente latente di ventilazione è dovuta all'immissione di aria esterna con livello di umidità relativa molto maggiore di quello interno. Come si può notare, la quota di ventilazione è predominante rispetto a quella dovuta agli occupanti.

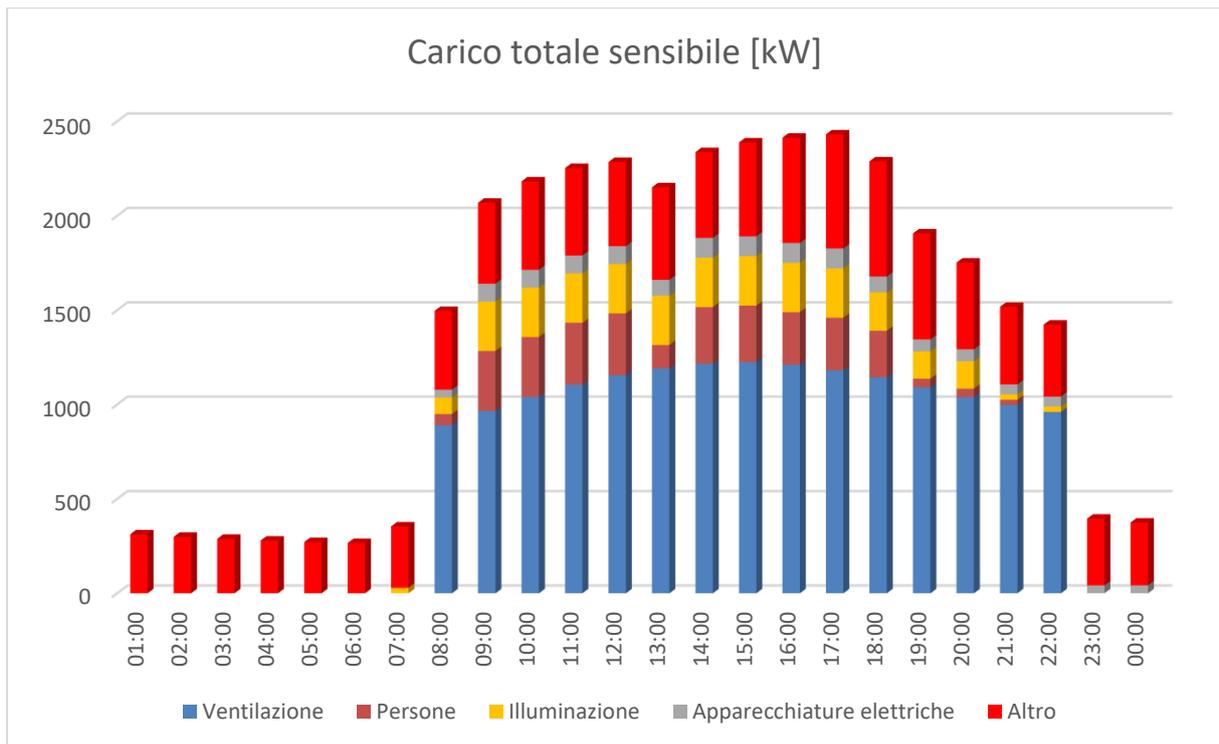


Grafico 1.5. Andamento del carico sensibile nelle sue componenti.

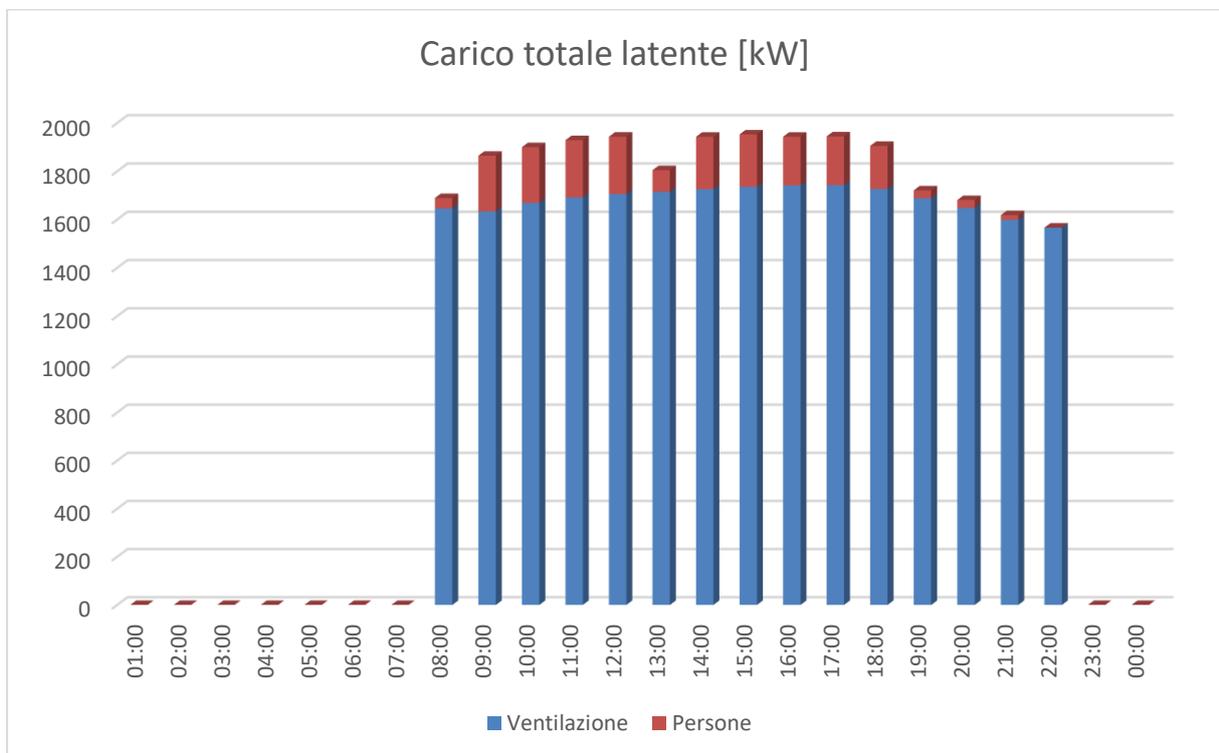


Grafico 1.6. Andamento del carico latente nelle sue componenti.

1.6.2 Zone singole

L'intera struttura è stata suddivisa in diverse tipologie di zone, in base alla destinazione d'uso. Le zone in questione sono uffici, aule, laboratori, computer lab, sale riunioni, spazi comuni, servizi, transiti, depositi, negozi, infermeria, mensa, libreria, palestra e auditorium. Ognuna di queste zone è caratterizzata di diversi indici di affollamento e diverse portate di ricambio d'aria minima per persona. La simulazione è in grado di calcolare i carichi di raffreddamento per ogni singolo locale dell'edificio.

Questi valori possono essere utili sia alla decisione del tipo di impianto da utilizzare, sia all'effettivo dimensionamento dei vari terminali dell'impianto su ogni locale. Il valore massimo raggiunto, nell'arco della giornata, dalla somma dei carichi termici simultanei di ogni singola zona termica, rappresenta la potenza termica frigorifera di picco che l'impianto di climatizzazione deve fornire. Allo stesso tempo, i terminali di zona dell'impianto di climatizzazione devono essere in grado di coprire il massimo carico di picco che si verifica nell'arco temporale in quella zona. Questo valore di picco per ogni zona, verificatosi all'istante più critico del profilo temporale, è il valore fornito nelle seguenti tabelle.

Anche in questo caso la simulazione è eseguita nell'arco delle 24 ore della giornata di progetto, 21 Luglio, con time-step orario. I valori riportati nelle tabelle seguenti si riferiscono al carico di picco di ogni locale per quanto riguarda la quota sensibile e la quota latente. Il carico di picco non si verifica necessariamente nello stesso momento per tutte le zone.

L'intera struttura è stata divisa in cinque edifici. I primi quattro rappresentano i quattro dipartimenti universitari, di cui il primo ha solo un piano, il secondo e il terzo hanno due piani e il quarto ha due piani e un seminterrato. Il quinto edificio comprende la palestra, la libreria, i negozi e l'auditorium. I vari locali sono identificabili tramite la numerazione presente nelle planimetrie allegate alla trattazione. I valori di carico di ogni singolo locale sono il risultato del bilancio tra il calore scambiato con l'esterno e/o con gli altri locali, gli apporti interni e la ventilazione. Tutte le zone che presentano un carico latente nullo rappresentano zone in cui non si è considerata presenza di occupanti.

Edificio 1		
Piano 0		
Uffici	Sensibile [W]	Latente [W]
94	719,46	373,98
95	715,16	373,76
96	728,48	379,1
97	915,62	441,12
98	739,91	389,92
99	754,16	392,75
100	754,64	391,26
101	907,49	437,51
102	690,59	356,11
Aule		
82	18347,02	18666,49
92	13907,93	13799,3
Servizi		
110	3355,56	3897,58
Laboratori		
88	10706,37	10026,93
83	11348,62	9849,74
81	12975,84	11862,67
65	9164,74	7960,3
89	12582,47	11042,52
86	7460,97	6545,95
Computer Lab		
84	7800,32	6642,43
87	9795,7	8586,45
90	13907,86	11448,18
Transiti		
106	10656,5	0
106	2283,99	0
Depositi		
103	255,72	0
104	357,11	0
Spazi comuni		
91	6408,49	4438,05
85	4401,78	2997,71
Infermeria		
93	1676,71	1206,33

Edificio 2					
Piano 0			Piano 1		
Uffici	Sensibile [W]	Latente [W]	Uffici	Sensibile [W]	Latente [W]
241	2117,54	463,49	281	1849,71	792,73
242	1916,2	427,04	279	2496,27	1119,82
243	1881,67	427,19	278	2482,18	1179,84
244	1707,35	423,46	280	2493,47	1068,63
245	991,9	366,85	Aule		
246	853,19	362,77	284	19809,05	18005,3
247	983,44	406,84	273	11959,59	12139,87
248	973,92	407,93	272	13724,94	14337,79
249	1000,99	412,63	271	11656,78	11866,52
251	1867,65	359,23	Servizi		
252	1800,16	362,62	288	16339,81	18289,95
253	1138,03	487,73	Laboratori		
254	849,02	350,09	277	10056,66	7899,59
Aule			276	11129,03	7431,54
269	13730,69	14553,05	275	9123,92	6571,97
Servizi			274	7133	6414,98
264	14915,16	17707,9	Transiti		
Laboratori			286	4886,02	0
263	16504,77	14739,83	285	5962,73	0
255	48901,76	41215,27	Depositi		
270	10170,92	8750,32	289	2318,22	0
256	50021,46	39961,92	Spazi comuni		
Computer Lab			282	7398,16	4638,08
257	9556,64	8902,96	Sale riunione		
258	10295,42	9307,67	283	11134,26	10047,46
Transiti					
261	1159,7	0			
260	3764,33	0			
262	2424,75	0			
Spazi comuni					
268	6137,1	4338,87			
259	4803,73	3712,76			
Sale riunione					
267	17112,87	17883,11			
Negozi					
266	5263,96	3254,27			

Tabella 1.5. Carichi per zona, edificio 1 e edificio 2.

Edificio 4								
Piano 0			Piano 1			Piano -1		
Uffici	Sensibile [W]	Latente [W]	Uffici	Sensibile [W]	Latente [W]	Uffici	Sensibile [W]	Latente [W]
391	1457,96	624,84	409	2188,6	688,01	475	12101,39	5186,31
292	1910,9	818,96	410	2529,8	721,47	478	7551,32	3209,78
393	2381,96	725,55	411	2684,3	709,15	487	1182,4	545,38
394	2789,08	791,45	412	2976,95	777,78	488	1389,64	635,29
401	2764,55	765,81	413	2855,57	738,79	490	1175,12	534,86
390	2739,47	746,17	414	2838,16	735,74	489	1555,56	684,01
389	2743,13	744,41	415	2813,33	735,2	486	1282,31	549,56
388	2748,08	739,89	467	2705,33	1276,35	485	1269,32	569,83
387	2735,66	738,24	465	2309,17	1111,54	484	1268,4	573,06
396	2406,33	1219,4	462	2729,08	1169,61	483	1255,04	568,61
379	2102,38	980,28	461	1446,25	643,39	482	1251,63	569,1
378	1738,39	796,93	460	1412,25	637,97	481	1185,68	550,89
380	4782,25	1268,66	459	1411,37	637,33	491	4266,89	2263,34
404	2777,14	1373,78	458	1579,57	676,96	492	4048,33	2294,15
373	8647,88	3706,24	446	2735,07	1172,17	493	5191,62	2790,03
215	472,67	341,53	445	3013,11	1291,33	Servizi		
216	469,67	344,96	444	2995,79	1283,91	535	9970,91	11741,44
217	469,87	344,29	443	2920,01	1251,43	Transiti		
218	455,23	314,74	450	2723,79	1167,34	539	1012,06	0
220	1381,86	592,23	449	2916,43	1249,9	539	693,19	0
374	2055,16	1005,89	Aule			538	8141,83	0
375	1918,2	967,94	418	12357,37	11655,41	Depositi		
376	3145,04	1516,98	419	11212,21	11300,95	476	442,7	0
377	2189,49	1123,15	420	11764,13	11930,14	497	292,47	0
176	1308,17	612,07	421	14071,91	14437,49	Sale riunione		
177	1191,67	559,64	423	16442,79	16997,73	495	17992,52	19326,02
178	1169,22	558,4	424	20890,13	21018,71	494	33259,74	32798,99
242	940,4	683,07	405	14308,9	14251,39	Infmeria		
213	768,04	570,85	406	12628,27	12715,38	477	1730,75	1618,21
250	1219,88	873,25	407	10774	10843,54	496	8022,09	3611,39
245	3051,99	1077,1	425	14861,15	11296,53			
206	1494,96	633,05	408	10648,89	10054,82			
207	1142,19	489,51	440	20290,41	18187,53			
211	1133,38	485,73	439	17131,08	17108,53			
212	1136,83	487,21	438	14020,24	14252,64			
247	1005,53	430,94	437	15945,73	14661,45			
246	1264,37	540,06	Servizi					
348	2891,73	1239,31	471	9671,45	11439,45			
349	2580,24	1105,82	473	9901,78	11712,51			
350	2895,34	1240,86	468	10662,22	12300,67			
351	2751,09	1179,04	Laboratori					
Aule			416	6085,2	5331,03			
403	25234,59	23437,58	Computer Lab					
Servizi			417	7192,69	6033,89			
522	9418,38	11329,62	436	11485,62	4922,41			
523	9655,92	11605,76	448	12403,68	7841,91			
524	24627,13	29204,97	Transiti					
359	10527,31	12245,18	540	6356,03	0			
Computer Lab			540	1627,32	0			
399	13519,47	11337,89	464	3420,71	0			
Transiti			463	10225,75	0			
521	4749,01	0	Spazi comuni					
521	1624,21	0	422	14810,94	9193,45			
519	8045,96	0	435	6191,17	3747,58			
520	10390,43	0	441	10022,54	5205,18			
Spazi comuni			451	5589,94	3277,7			
397	6664,49	4573,47	Sale riunione					
402	11495,73	9115,18	447	22447,76	19983,65			
382	6370,38	4580,03						
Sale riunione								
382	25784,76	26447,29						
370	22024,68	19891,9						
367	20476,67	18991,32						
366	25082,89	23786,94						
365	23814,02	23590,25						
Negozi								
362	5501,74	2858,52						
Mensa								
259	19766,67	20345,76						

Tabella 1.6. Carichi per zona, edificio 4.

Edificio 3					
Piano 0			Piano 1		
Uffici	Sensibile [W]	Latente [W]	Uffici	Sensibile [W]	Latente [W]
401	814,35	544,14	449	1481,05	634,73
382	1656,17	709,79	448	544,9	347,49
381	1876,38	683,78	447	492,14	308,35
384	1890,07	577,54	453	2069,54	477,96
385	1858,3	512,08	454	2089,9	481,03
402	3695,05	1073,6	455	2094,27	482,04
309	1822,41	697,17	456	2098,2	480,96
310	1797,93	647,98	457	3025,86	607,76
311	1806,39	640,45	434	2305,1	610,82
312	2822,63	974,49	433	1787,88	608,91
314	3284,68	948,2	432	1713,8	593,1
Aule			431	1765,8	608,6
305	12950,16	13353,99	430	1765,4	611,27
338	13041,93	13652,57	452	486,03	305,46
Servizi			451	412,7	258,27
491	15018,39	17738,21	450	2200,04	641,68
488	10334,54	12228,49	Aule		
489	9857,39	11561,49	438	13072,86	13309,12
Laboratori			437	13137,64	13350,87
307	10564,09	7967,47	436	12887,19	13251,77
308	11242,98	8156	435	13215,87	13645,04
388	8922,7	6838,02	Servizi		
389	11613,75	8317,61	495	15469,45	17924,92
378	7701,3	7172,85	496	10499,53	12297,96
298	7640,03	7116,53	499	10030,74	11633,49
295	7647,57	7132,84	Laboratori		
294	7649,91	7148,64	442	7624,25	7177,47
Computer Lab			443	7206,32	6895,16
371	7802,88	7100,13	444	7347,09	6933,77
303	7837,51	7123,35	445	7460,17	7079,79
302	7992,6	7278,24	446	7508,8	7067,09
301	7986,44	7257,06	426	7282,66	6924,77
300	7922,54	7138,14	428	11924,74	8437,79
373	10871,45	7064,57	427	11960,82	8225,47
Transiti			441	11617,09	8293,56
486	5625,95	0	Computer Lab		
485	15044,91	0	440	8359,7	7305,26
484	18092,06	0	439	8164,64	7216,05
Depositi			Transiti		
368	696,69	0	493	7387,21	0
Sale riunione			465	20863,42	0
299	20791,38	18221,19	465	25818,18	0

Edificio 5		
Piano 0		
Uffici	Sensibile [W]	Latente [W]
516	1655,03	688,71
513	872,21	547,07
514	1867,8	809,93
Servizi		
518	7041,28	8363,35
541	10467,43	12327,43
542	8512,77	9418,57
511	4599,63	5012,95
339	9282,33	9812,16
502	24613,36	28716,18
532	9342,94	11121,55
Transiti		
533	38726,93	0
533	72313,49	0
Depositi		
534	441,29	0
Negozi		
226	4319,1	2770,02
226	3909,52	2634,82
219	3928,09	2746,67
227	3453,41	2434,3
228	3985,68	2811,47
229	4248,34	3029,04
230	3475,86	2493,06
Mensa		
339	100817,22	102661,1
222	36597,11	38118,62
Libreria		
509	59902,58	41016,23
Palestra		
501	87016,28	71177,61
Auditorium		
531	59230,77	57294,77

Tabella 1.7. Carichi per zona, edificio 3 e edificio 5.

CAPITOLO II

Impianto di climatizzazione

Gli impianti di climatizzazione consentono di controllare le condizioni degli ambienti interni in modo da garantire il confort termo-igrometrico degli occupanti. La definizione delle condizioni di set-point interno è quindi determinante per la stima dei carichi da bilanciare e per la progettazione dell'impianto. Queste condizioni sono solitamente espresse in termini di temperatura e umidità relativa, tali da garantire il confort generale degli occupanti. A queste condizioni vanno aggiunte poi considerazioni legate a possibili cause di discomfort locale, come correnti d'aria, elevati gradienti di temperatura verticale o temperature troppo elevate o troppo basse del pavimento.

Per valutare le condizioni interne, tali da garantire il confort degli occupanti, sono spesso utilizzati degli "indici di confort". Uno dei più noti è il Predicted Mean Vote (Voto Medio Previsto) o PMV, parametro introdotto da Fanger³ e adottato negli standard ISO⁴. Il PMV è un parametro che valuta il benessere di un individuo in relazione a un dato ambiente, tenendo conto sia delle condizioni oggettive ambientali che di quelle soggettive di percezione dell'individuo. È considerato un indice razionale in quanto si basa sulla soluzione dell'equazione di bilancio energetico del corpo umano. Questo sistema è basato su una scala di sette valori che vanno da -3, percezione di molto freddo, a +3, percezione di molto caldo. I tre valori intermedi -1, 0 e 1 rappresentano le condizioni di accettabilità e, in particolare, il valore 0 di PMV corrisponde al confort massimo. Per il valore 0 si considera il corpo umano nello stato di neutralità termica, per il quale non vi è accumulo di energia nel corpo e si raggiunge la condizione di omeotermia. In questa condizione i sistemi corporei di termoregolazione (comportamentali e vasomotori) rimangono quasi inattivi. Essendo il PMV un valore medio, per tenere conto della dispersione dei voti attorno a tale valore, Fanger ha introdotto un secondo parametro, il Predicted Percent of Dissatisfied (Percentuale Prevista di Insoddisfatti) o PPD. Questo parametro tiene conto del fatto che, anche quando il voto medio degli occupanti fosse 0, vi sarà sempre una certa percentuale di insoddisfazione tra gli stessi. Fatte queste premesse, sono definite dalla norma UNI-EN 15251, tra categorie di confort, le quali verranno utilizzate per la scelta delle condizioni interne di set point della nostra struttura.

Categoria	PPD %	PMV
I	< 6	-0.2 < PMV < 0.2
II	< 10	-0.5 < PMV < 0.5
III	< 15	-0.7 < PMV < 0.7

Tabella 2.1. Categorie di confort per la progettazione di edifici riscaldati e raffreddati meccanicamente.

³ Povl Ole Fanger, professore presso il centro internazionale per l'ambiente interno e l'energia dell'Università tecnica della Danimarca ed esperto nel campo del confort termico e della percezione degli ambienti interni.

⁴ International Organization for Standardization.

Definite queste categorie, la stessa norma UNI-EN 15251 indica, per ciascun tipo di ambiente, le temperature massime da mantenere durante il periodo di raffrescamento e la categoria di confort che si ottiene mantenendo una data temperatura. Nel nostro caso si è scelto come set-point interno la temperatura di 26 °C per tutte le zone climatizzate. Questa temperatura garantisce a tutte le zone una categoria II di confort. Per quanto riguarda il set-point di umidità relativa, si è scelto il valore standard del 50 %.

La struttura di un impianto di climatizzazione può presentare un elevatissimo numero di combinazioni. Gli obiettivi che ci si propone di controllare sono la temperatura, l'umidità relativa, la velocità e la qualità dell'aria interna. Da queste variabili dipende la condizione di confort termo-igrometrico interno. Le parti costitutive di un impianto di climatizzazione sono le seguenti:

- Apparecchiature per la produzione di fluido caldo e freddo: sono posizionate in un locale chiamato centrale termica e possono includere pompe di calore, impianti frigoriferi, caldaie, etc.
- Apparecchiature per il trattamento dell'aria umida: tutte queste apparecchiature sono normalmente contenute in un'unica struttura detta Unità di Trattamento Aria o UTA, e includono batterie per il riscaldamento e raffreddamento dell'aria, umidificatori, filtri, etc.
- Apparecchiature per la distribuzione dell'aria e terminali aeraulici: canali e ventilatori per la distribuzione, bocchette e diffusori per l'immissione e griglie per l'estrazione.
- Apparecchiature per la distribuzione dell'acqua e terminali idronici: tubazioni e pompe per la distribuzione, pannelli radianti, ventilconvettori etc. come terminali.
- Sistemi di accumulo: serbatoi di accumulo di fluido caldo e/o freddo, posizionati in centrale termica.
- Sistemi di regolazione e sicurezza: termostati di zona, valvole di miscelazione, vasi d'espansione, valvole di sicurezza, etc.

In base al tipo di fluido termovettore utilizzato si possono distinguere impianti a tutt'aria, impianti misti, impianti a tutt'acqua o impianti ad espansione diretta. La scelta dell'impianto dipende da vari fattori legati alle caratteristiche del sito in esame. Solo gli impianti a tutt'aria e quelli misti consentono il controllo di temperatura, umidità relativa, velocità e qualità dell'aria. Nella nostra applicazione il controllo della qualità dell'aria è molto importante e viene garantito fornendo delle specifiche portate di aria esterna nei vari locali (vedi paragrafo 1.5, pg. 21).

Per quanto riguarda la nostra struttura si è deciso di utilizzare un impianto misto. La parte aeraulica dell'impianto sarà dedicata a fornire le portate d'aria esterna necessarie per garantire l'Indoor Air Quality. Allo stesso tempo, utilizzando le stesse portate d'aria si compenseranno i carichi latenti e parte di quelli sensibili. La parte idronica dell'impianto servirà a completare il bilanciamento dei carichi sensibili. Si è scelto un impianto misto poiché questa tipologia di impianto permette di bilanciare separatamente il carico sensibile e quello latente, garantendo un controllo più accurato sull'umidità relativa, parametro molto sensibile nella nostra applicazione visti gli alti valori esterni.

Inoltre, gli impianti misti permettono di ridurre molto le portate d'aria e quindi gli ingombri, che nella nostra applicazione sarebbero molto elevati se si dovesse considerare un impianto a tutt'aria. Le uniche portate trattate saranno quelle di ventilazione. Il carico di ventilazione peserà quindi sulle unità di trattamento aria.

Solamente per l'auditorium, invece, è previsto un sistema a tutt'aria con una UTA dedicata. Questa metodologia è quella più usata per i grandi ambienti con condizioni termo-igrometriche uniformi come auditorium, cinema o teatri. Un impianto a tutt'aria garantisce una gestione e una regolazione più semplici. L'alta portata richiesta per garantire la qualità dell'aria riesce a bilanciare ben il 70 % dell'intero carico. È quindi sensato scegliere un sistema a tutt'aria, più semplice, aumentando la portata di quanto necessario per bilanciare l'intero carico, ma senza incrementare di troppo gli ingombri.

Le varie zone servizi di tutta la struttura, invece, saranno gestite dall'impianto ad acqua più singoli recuperatori di calore. I recuperatori di calore si occuperanno della ventilazione dei servizi, fornendo la portata d'aria esterna necessaria a mantenere la qualità dell'aria interna. La parte ad acqua si occuperà di bilanciare i carichi sensibili delle zone, compresi quelli di ventilazione.

2.1 Unità trattamento aria

L'unità di trattamento aria è una apparecchiatura che si occupa del trattamento dell'aria umida da immettere in ambienti chiusi. All'interno dell'UTA avvengono le varie trasformazioni elementari dell'aria umida, finalizzate a portare l'aria nelle condizioni di immissione in ambiente. Per svolgere le sue funzioni l'UTA può essere equipaggiata di vari strumenti quali ventilatori, batterie di riscaldamento e raffreddamento, umidificatori, serrande, filtri etc. L'equipaggiamento di ogni UTA dipende quindi dalle funzioni che essa deve svolgere.

Nel nostro caso ogni edificio avrà una o più unità di trattamento d'aria, in base alla necessità di portata. L'auditorium ha una UTA dedicata che gestisce tutto il carico della zona. In tutto il resto della struttura le UTA gestiranno la sola portata di ricambio necessaria a mantenere la qualità dell'aria interna. Di conseguenza, l'UTA dell'auditorium avrà una percentuale di portata ricircolata mentre tutte le altre lavoreranno con il 100 % di aria esterna.

Il posizionamento delle UTA nel tetto dei vari edifici garantisce un maggiore spazio per la manutenzione rispetto al posizionamento in locali interni. Inoltre, in questo modo, eventuali mezzi di trasporto di componenti e attrezzature potranno posizionarsi nel lato più favorevole dell'edificio, evitando di ostruire i cortili o altre zone normalmente popolate.

2.1.1 Impianto misto

L'intera struttura, escluso l'auditorium, presenta un impianto misto. Le unità di trattamento aria di questo impianto tratteranno solamente la portata di aria esterna necessaria per l'IAQ. Ogni edificio presenta una propria UTA, collocata sul tetto. Solamente l'edificio 4, il più grande, presenta due UTA, in quanto l'intera portata non risulta gestibile da una sola unità. Le trasformazioni dell'aria umida che le UTA devono svolgere sono quelle classiche del caso estivo.

Di seguito viene riportato il diagramma psicrometrico con le trasformazioni relative all'UTA dell'edificio 1.

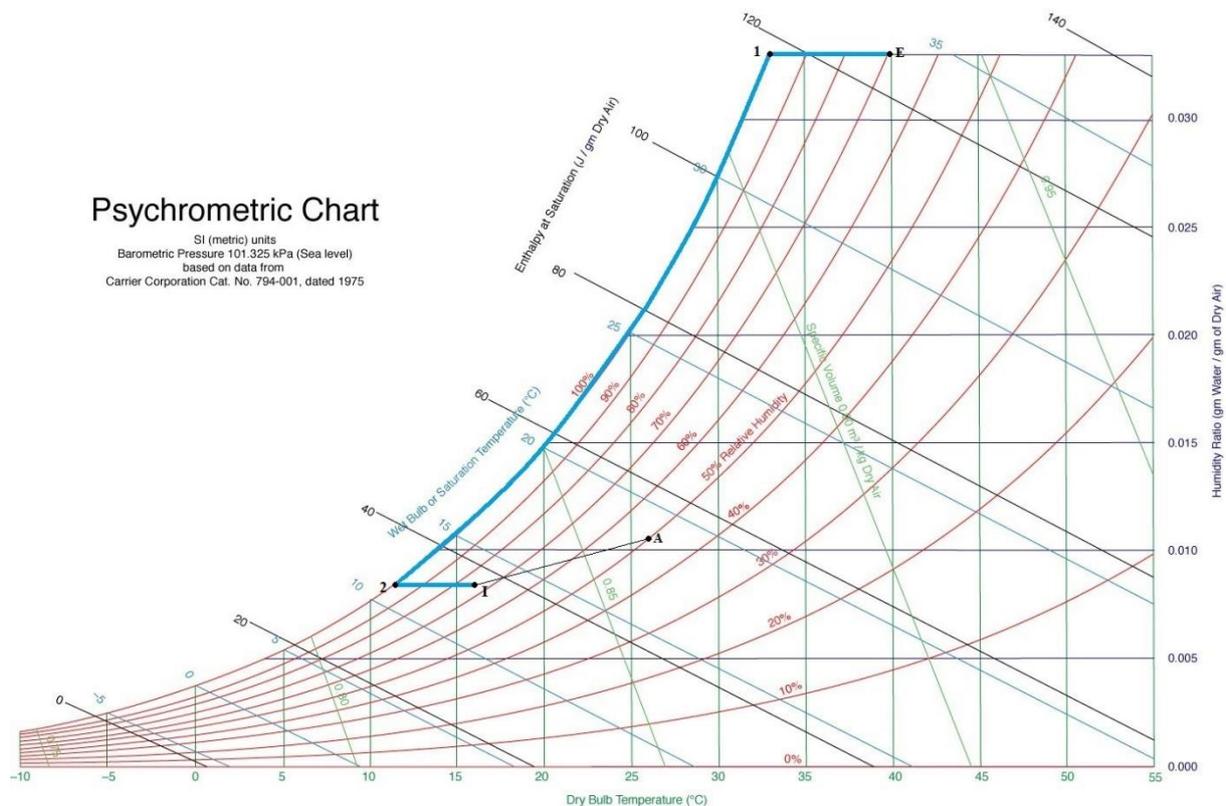


Figura 2.1. Trasformazioni elementari aria umida UTA edificio 1.

Come si può notare dalla figura 2.1, le trasformazioni necessarie per portare l'aria esterna alle condizioni di immissione I sono le seguenti:

- E → 1: raffreddamento
- 1 → 2 : deumidificazione
- 2 → I : post-riscaldamento

Dove il punto E rappresenta le condizioni esterne, il punto A (26 °C, 50 % UR) le condizioni di set-point interne e il punto I le condizioni di immissione dell'aria in ambiente. L'aria deve essere portata alle condizioni di immissione I, le quali sono diverse dalle condizioni ambiente A. Questo perché, come detto, non sarà solamente bilanciato il carico di ventilazione ma anche parte del carico totale. Per determinare le condizioni di immissione dell'aria è stata tracciata la retta ambiente passante per A ed è stata fissata la temperatura dell'aria in ingresso. Per fissare tale temperatura è importante fare delle considerazioni di confort. Al fine di non creare fastidiosi effetti di disconfort locale dovuto a correnti troppo fredde è importante che la temperatura di immissione non sia mai inferiore di 10-12 °C rispetto alla temperatura ambiente e comunque non è consigliabile immettere aria a temperature inferiori a 15-16 °C. Per questo motivo si è fissata la temperatura di immissione a 16 °C e si sono determinate tutte le informazioni necessarie al dimensionamento delle batterie. Di seguito si riportano i valori dei vari capisaldi delle trasformazioni di cui sopra.

ED1	E	1	2	I	A
T [°C]	40	33,5	11,5	16	26
UR [%]	70	100	100	75	50
x [g _w /g _a]	0,03328	0,03328	0,0085	0,0085	0,0105
h [kJ/kg]	125,73	118,82	32,94	38	52,77

Tabella 2.2. Capisaldi trasformazioni UTA edificio 1.

Carico sensibile [W]	40720,91		Retta ambiente
Carico latente [W]	19359,01		0,678

Tabella 2.3. Parametri retta ambiente UTA edificio 1.

Δh E-2	Δh 2-I	Q [m³/s]		Batteria Freddo [kW]	375,9695
92,79	5,06	3,307618		Batteria Caldo [kW]	20,50227

Tabella 2.4. Dimensionamento batterie UTA edificio 1.

La tabella 2.2 mostra i vari parametri per ogni punto delle trasformazioni dell'aria umida svolte nell'UTA. Come già accennato, nell'impianto misto l'UTA lavora con tutta aria esterna, per cui non vi è ricircolo né miscelazione. La tabella 2.3 mostra il carico sensibile e quello latente da bilanciare e la pendenza della retta ambiente. Sfruttando tutta la portata necessaria per garantire l'IAQ si riesce a bilanciare un carico sensibile che corrisponde al 55 % di quello totale sensibile dell'edificio. La tabella 2.4, invece, mostra i parametri per il dimensionamento delle batterie dell'UTA.

Per identificare un modello di UTA adatto al nostro caso si è utilizzato il software "SystemAirCAD", dell'azienda Systemair. Questo software offre una selezione di modelli di unità di trattamento aria, con la possibilità di modificare e inserire componenti. Tramite l'inserimento di informazioni quali la portata d'aria, i rapporti di miscelazione e i parametri delle trasformazioni, si può identificare il modello più adatto e la sua taglia.

Segue lo schema della unità di trattamento aria scelta. Nella figura 2.2 si possono identificare in blu le componenti della ripresa mentre in rosso le componenti della mandata. In verde si notano la serranda di ingresso, la serranda di espulsione e quella di miscelazione. In questo caso la serranda di miscelazione è chiusa mentre quella di espulsione è completamente aperta, in quanto non vi è ricircolo e tutta l'aria di ripresa viene espulsa. Nel tratto di ripresa vi sono due serrande di ispezione, un filtro e il ventilatore di estrazione. Nel tratto di mandata vi sono tre serrande di ispezione, un filtro, il ventilatore di mandata, la batteria di raffreddamento e quella di post riscaldamento.

Unit no.: 10
 Danvent DV120
 Peso: 3690 kg
 Larghezza unità: 3034 mm

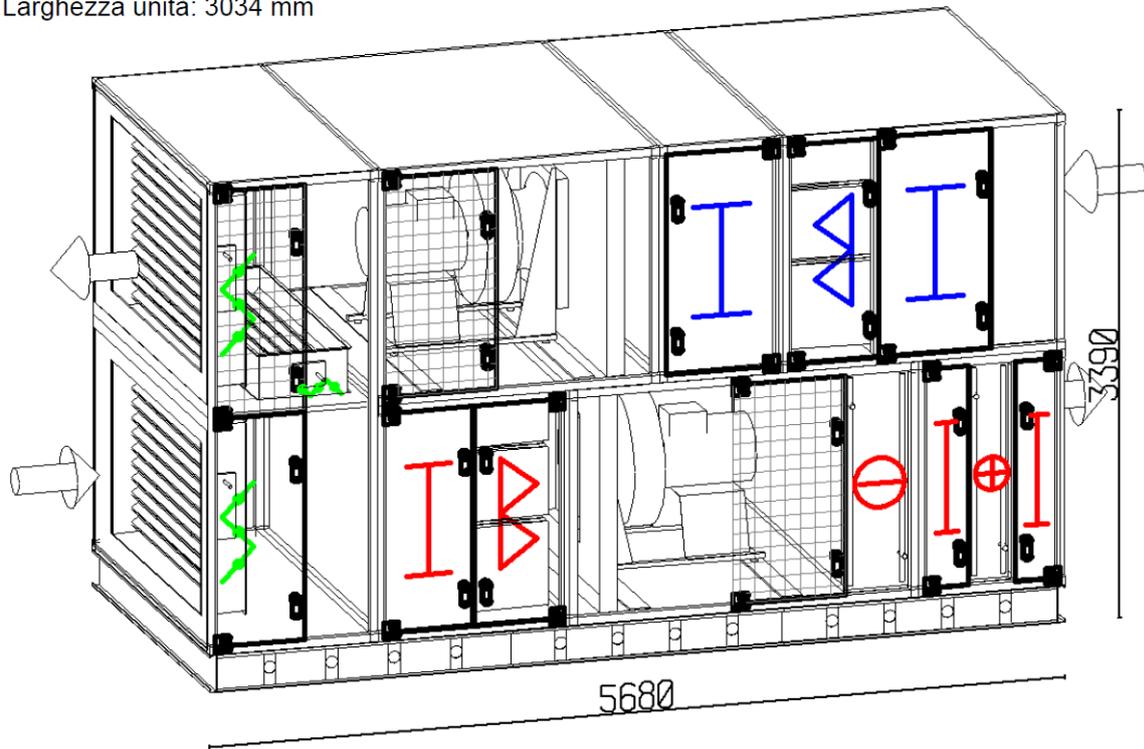


Figura 2.2. Schema con componenti UTA edificio 1.

Dati aria/ventilatore	Mandata aria	Aria estratta	Unità
Portata aria (1,205 kg/m ³)	3.50	3.30	m ³ /s
Rapporto di miscelazione	0		%
Velocità frontale (unità)	0.96	0.91	m/s
Pressione statica utile	400	400	Pa
Velocità ventilatore	695	650	Giri/min.
Motore; Alimentazione; Corrente, A, nominale	4.00; 3x400; 9.33	4.00; 3x400; 9.33	kW/V/A
Rumore irradiato	63 dB(A)		
Filtro Mandata / Estrazione	F7 - ePM1 60% / F7 - ePM1 60%		
Riscaldamento, acqua	19.0 kW ; 11.5/16.0°C Fluido 60/50°C ; 8.8 kPa ; 0.47 l/s ; 1" / 1" Connessioni tubazione		
Cooling coil, water	393.5 kW ; 40.0/11.5°C Fluido 6/12°C ; 28.5 kPa ; 15.41 l/s ; 4" / 4" Connessioni tubazione		

Figura 2.3. Parametri dimensionamento UTA edificio 1.

La figura 2.3 mostra i risultati del dimensionamento dell'unità. In particolare, si fa notare che si è maggiorata di circa il 5 % la portata d'aria in mandata rispetto a quella di ripresa, in modo da mantenere leggermente in pressione gli ambienti. In questo modo si evitano le infiltrazioni d'aria in ambiente con relativi carichi aggiuntivi. Tra i parametri di dimensionamento delle batterie sono fornite le condizioni di alimentazione delle stesse, utili per il dimensionamento delle apparecchiature che forniranno il fluido termovettore di alimentazione. Tra gli altri dati si nota il rapporto di miscelazione pari a 0, indicante l'assenza di ricircolo.

Per quanto riguarda i restanti edifici, si omette il diagramma psicometrico in quanto le trasformazioni sono le medesime di quelle relative all'edificio 1 e si forniscono direttamente le tabelle con i valori dei capisaldi. Per evitare ridondanza anche lo schema delle componenti UTA sarà omissso per i restanti edifici in quanto la struttura è la medesima e cambieranno solo le taglie. Segue quindi il riepilogo dei restanti edifici, con le tabelle dei capisaldi delle varie trasformazioni elementari dell'aria umida e le specifiche di dimensionamento delle UTA.

I dati seguenti si riferiscono all'edificio 2:

ED2	E	1	2	I	A
T [°C]	40	33,5	12,5	16	26
UR [%]	70	100	100	80	50
x [g_w/g_a]	0,03328	0,03328	0,009	0,009	0,0105
h [kJ/kg]	125,73	118,82	35,21	38,5	52,77

Tabella 2.5. Capisaldi trasformazioni UTA edificio 2.

Carico sensibile [W]	87889,14		Retta ambiente
Carico latente [W]	33255,6		0,726

Tabella 2.6. Parametri retta ambiente UTA edificio 2.

Δh E-2	Δh 2-I	Q [m³/s]		Batteria Freddo [kW]	791,614
90,52	3,29	7,13893		Batteria Caldo [kW]	28,7717

Tabella 2.7. Dimensionamento batterie UTA edificio 2.

Utilizzando la sola portata necessaria a garantire l'IAQ si riesce a coprire un carico sensibile corrispondente al 51 % del carico sensibile totale dell'intero edificio.

Unit no.: 10
 Danvent DV240
 Peso: 6568 kg
 Larghezza unità: 4684 mm
 Lunghezza unità: 6880 mm
 Altezza unità: 4940 mm

Dati aria/ventilatore	Mandata aria	Aria estratta	Unità
Portata aria (1,205 kg/m ³)	7.60	7.20	m ³ /s
Rapporto di miscelazione	0		%
Velocità frontale (unità)	1.01	0.96	m/s
Pressione statica utile	400	400	Pa
Velocità ventilatore	707	661	Giri/min.
Motore; Alimentazione; Corrente, A, nominale	(2 x 4.00 kW) 8.00; 3x400; (2 x 9.33) 18.66	(2 x 4.00 kW) 8.00; 3x400; (2 x 9.33) 18.66	kW/V/A
Rumore irradiato	65 dB(A)		
Filtro Mandata / Estrazione	F7 - ePM1 60% / F7 - ePM1 60%		
Riscaldamento, acqua	32.1 kW ; 12.5/16.0°C Fluido 60/50°C ; 11.4 kPa ; 0.79 l/s ; 1" / 1" Connessioni tubazione		
Cooling coil, water	831.5 kW ; 40.0/12.5°C Fluido 6/13°C ; 30.0 kPa ; 27.95 l/s ; 2x4" / 2x4" Connessioni tubazione		

Figura 2.4. Parametri dimensionamento UTA edificio 2.

I dati seguenti si riferiscono all'edificio 3:

ED3	E	1	2	I	A
T [°C]	40	33,5	11,8	16	26
UR [%]	70	100	100	76	50
x [g _w /g _a]	0,03328	0,03328	0,0086	0,0086	0,0105
h [kJ/kg]	125,73	118,82	33,49	38	52,77

Tabella 2.8. Casisaldi trasformazioni UTA edificio 3.

Carico sensibile [W]	93400,29		Retta ambiente
Carico latente [W]	40707,98		0,697

Tabella 2.9. Parametri retta ambiente UTA edificio 3.

Δh E-2	Δh 2-I	Q [m³/s]		Batteria Freddo [kW]	857,238
92,24	4,51	7,58658		Batteria Caldo [kW]	41,914

Tabella 2.10. Dimensionamento batterie UTA edificio 3.

Utilizzando la sola portata necessaria a garantire l'IAQ si riesce a coprire un carico sensibile corrispondente al 47 % del carico sensibile totale dell'intero edificio.

Unit no.: 10

Danvent DV240

Peso: 6568 kg

Larghezza unità: 4684 mm

Lunghezza unità: 6880 mm

Altezza unità: 4940 mm

Dati aria/ventiatore	Mandata aria	Aria estratta	Unità
Portata aria (1,205 kg/m³)	7.80	7.60	m³/s
Rapporto di miscelazione	0		%
Velocità frontale (unità)	1.04	1.01	m/s
Pressione statica utile	400	400	Pa
Velocità ventilatore	713	670	Giri/min.
Motore; Alimentazione; Corrente, A, nominale	(2 x 4.00 kW) 8.00; 3x400; (2 x 9.33) 18.66	(2 x 4.00 kW) 8.00; 3x400; (2 x 9.33) 18.66	kW/V/A
Rumore irradiato	66 dB(A)		
Filtro Mandata / Estrazione	F7 - ePM1 60% / F7 - ePM1 60%		
Riscaldamento, acqua	37.6 kW ; 12.0/16.0°C Fluido 60/50°C ; 13.1 kPa ; 0.93 l/s ; 1 1/4" / 1 1/4" Connessioni tubazione		
Cooling coil, water	865.3 kW ; 40.0/12.0°C Fluido 6/13°C ; 29.5 kPa ; 29.07 l/s ; 2x4" / 2x4" Connessioni tubazione		

Figura 2.5. Parametri dimensionamento UTA edificio 3.

I dati seguenti si riferiscono all'edificio 4:

ED4	E	1	2	I	A
T [°C]	40	33,5	13	16	26
UR [%]	70	100	100	82	50
x [g_w/g_a]	0,03328	0,03328	0,0093	0,0093	0,0105
h [kJ/kg]	125,73	118,82	36,48	39,5	52,77

Tabella 2.11. Capisaldi trasformazioni UTA edificio 4.

Carico sensibile [W]	197349,1		Retta ambiente
Carico latente [W]	60820,96		0,764

Tabella 2.12. Parametri retta ambiente UTA edificio 4.

Δh E-2	Δh 2-I	Q [m³/s]		Batteria Freddo [kW]	1752,58
89,25	3,02	16,03		Batteria Caldo [kW]	59,3029

Tabella 2.13. Dimensionamento batterie UTA edificio 4.

Utilizzando la sola portata necessaria a garantire l'IAQ si riesce a coprire un carico sensibile corrispondente al 49 % del carico sensibile totale dell'intero edificio.

Unit no.: 10
 Danvent DV240
 Peso: 6568 kg
 Larghezza unità: 4684 mm
 Lunghezza unità: 6880 mm
 Altezza unità: 4940 mm

Dati aria/ventilatore	Mandata aria	Aria estratta	Unità
Portata aria (1,205 kg/m ³)	8.80	8.40	m ³ /s
Rapporto di miscelazione	0		%
Velocità frontale (unità)	1.17	1.12	m/s
Pressione statica utile	400	400	Pa
Velocità ventilatore	741	690	Giri/min.
Motore; Alimentazione; Corrente, A, nominale	(2 x 5.50 kW) 11.00; 3x400; (2 x 12.45) 24.90	(2 x 4.00 kW) 8.00; 3x400; (2 x 9.33) 18.66	kW/V/A
Rumore irradiato	67 dB(A)		
Filtro Mandata / Estrazione	F7 - ePM1 60% / F7 - ePM1 60%		
Riscaldamento, acqua	31.8 kW ; 13.0/16.0°C Fluido 60/50°C ; 11.3 kPa ; 0.79 l/s ; 1" / 1" Connessioni tubazione		
Cooling coil, water	949.3 kW ; 40.0/13.0°C Fluido 6/13°C ; 29.7 kPa ; 31.92 l/s ; 2x4" / 2x4" Connessioni tubazione		

Figura 2.6. Parametri dimensionamento UTA piano terra e piano seminterrato, edificio 4.

Unit no.: 10
 Danvent DV240
 Peso: 6568 kg
 Larghezza unità: 4684 mm
 Lunghezza unità: 6880 mm
 Altezza unità: 4940 mm

Dati aria/ventilatore	Mandata aria	Aria estratta	Unità
Portata aria (1,205 kg/m ³)	8.20	7.80	m ³ /s
Rapporto di miscelazione	0		%
Velocità frontale (unità)	1.09	1.04	m/s
Pressione statica utile	400	400	Pa
Velocità ventilatore	724	675	Giri/min.
Motore; Alimentazione; Corrente, A, nominale	(2 x 4.00 kW) 8.00; 3x400; (2 x 9.33) 18.66	(2 x 4.00 kW) 8.00; 3x400; (2 x 9.33) 18.66	kW/V/A
Rumore irradiato	66 dB(A)		
Filtro Mandata / Estrazione	F7 - ePM1 60% / F7 - ePM1 60%		
Riscaldamento, acqua	29.6 kW ; 13.0/16.0°C Fluido 60/50°C ; 14.0 kPa ; 0.73 l/s ; 1" / 1" Connessioni tubazione		
Cooling coil, water	884.5 kW ; 40.0/13.0°C Fluido 6/13°C ; 29.9 kPa ; 32.03 l/s ; 2x4" / 2x4" Connessioni tubazione		

Figura 2.7. Parametri dimensionamento UTA primo piano, edificio 4.

I dati seguenti si riferiscono all'edificio 5:

ED5	E	1	2	I	A
T [°C]	40	33,5	13,4	16	26
UR [%]	70	100	100	85	50
x [g _w /g _a]	0,03328	0,03328	0,0096	0,0096	0,0105
h [kJ/kg]	125,73	118,82	37,64	40,5	52,77

Tabella 2.14. Capisaldi trasformazioni UTA edificio 5.

Carico sensibile [W]	95705,75		Retta ambiente
Carico latente [W]	19491,03		0,831

Tabella 2.15. Parametri retta ambiente UTA edificio 5.

Δh E-2	Δh 2-I	Q [m³/s]		Batteria Freddo [kW]	838,878
88,09	2,86	7,77385		Batteria Caldo [kW]	27,2357

Tabella 2.16. Dimensionamento batterie UTA edificio 5.

Utilizzando la sola portata necessaria a garantire l'IAQ si riesce a coprire un carico sensibile corrispondente al 67 % del carico sensibile totale dell'intero edificio.

Unit no.: 10

Danvent DV240

Peso: 6568 kg

Larghezza unità: 4684 mm

Lunghezza unità: 6880 mm

Altezza unità: 4940 mm

Dati aria/ventilatore	Mandata aria	Aria estratta	Unità
Portata aria (1,205 kg/m ³)	8.20	7.80	m ³ /s
Rapporto di miscelazione	0		%
Velocità frontale (unità)	1.09	1.04	m/s
Pressione statica utile	400	400	Pa
Velocità ventilatore	724	675	Giri/min.
Motore; Alimentazione; Corrente, A, nominale	(2 x 4.00 kW) 8.00; 3x400; (2 x 9.33) 18.66	(2 x 4.00 kW) 8.00; 3x400; (2 x 9.33) 18.66	kW/V/A
Rumore irradiato	66 dB(A)		
Filtro Mandata / Estrazione	F7 - ePM1 60% / F7 - ePM1 60%		
Riscaldamento, acqua	25.7 kW ; 13.4/16.0°C		
	Fluido 60/50°C ; 10.8 kPa ; 0.63 l/s ; 1" / 1" Connessioni tubazione		
Cooling coil, water	874.3 kW ; 40.0/13.4°C		
	Fluido 6/13°C ; 29.3 kPa ; 29.41 l/s ; 2x4" / 2x4" Connessioni tubazione		

Figura 2.8. Parametri dimensionamento UTA edificio 5.

2.1.2 Impianto a tutt'aria

L'auditorium viene climatizzato tramite un impianto a tutt'aria, con una UTA dedicata. Come già detto, questa scelta è giustificata dall'alta portata di ricambio necessaria, dovuta all'alto numero di persone che questo locale può ospitare. Per potere coprire tutto il carico sensibile la portata trattata nell'unità di trattamento aria sarà maggiore rispetto a quella di ricambio. Utilizzando solamente la portata di ricambio per mantenere l'IAQ si riesce a coprire il 72 % dell'intero carico sensibile del locale. In questo caso, quindi, si avrà ricircolo d'aria. La portata di aria esterna di ricambio sarà miscelata con quella di ricircolo in modo da ottenere un risparmio energetico, dovuto all'ingresso dell'aria nella batteria di raffreddamento in condizioni più favorevoli rispetto alle condizioni esterne.

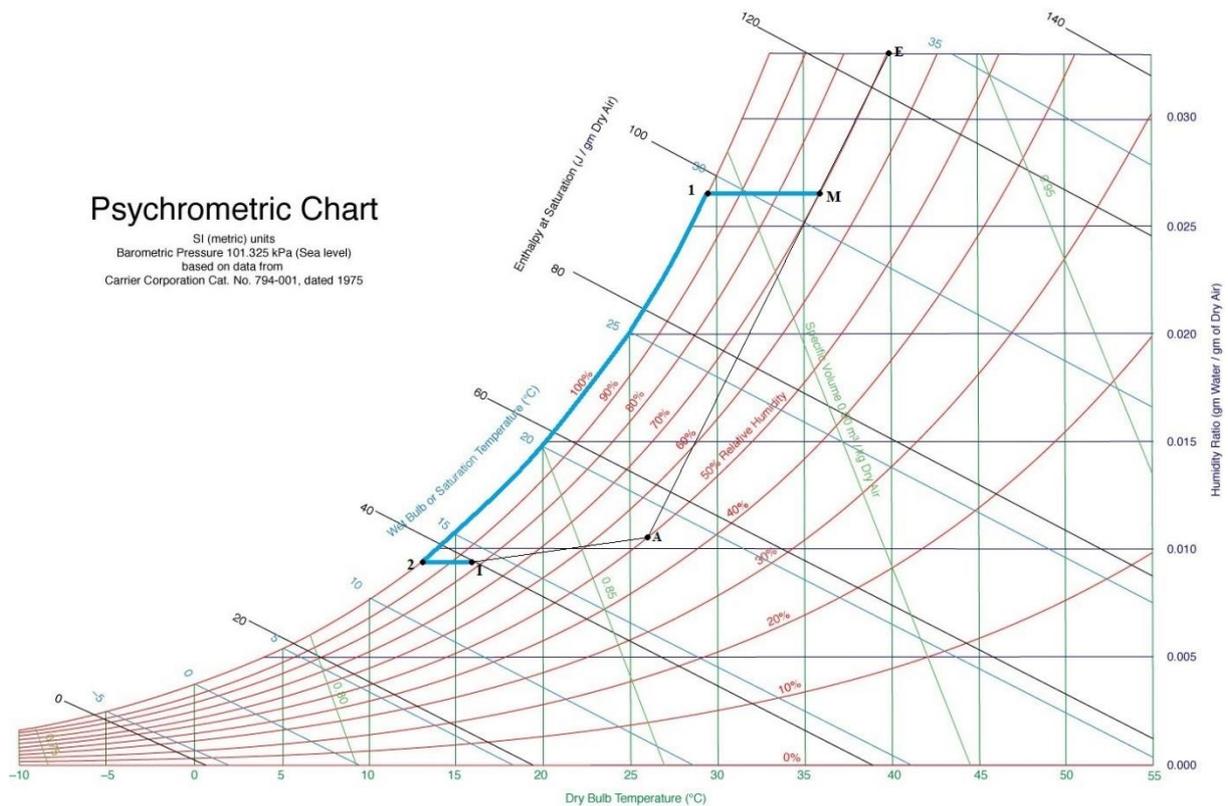


Figura 2.9. Trasformazioni elementari aria umida UTA auditorium.

In questo caso le trasformazioni elementari dell'aria umida sono le seguenti:

- A, E → M: miscelazione adiabatica
- M → 1: raffreddamento
- 1 → 2: deumidificazione
- 2 → I: post-riscaldamento

La principale differenza con il caso precedente sta nella miscelazione dell'aria esterna con una portata di ricircolo. L'aria in ingresso alla batteria di raffreddamento sarà in condizioni M più favorevoli rispetto alle condizioni E. In questo caso l'impianto deve bilanciare il carico totale del locale, per cui si è calcolata la portata necessaria a coprire l'intero carico, fissando la temperatura di immissione a 16 °C per le ragioni già citate. La portata totale sarà quindi composta dalla quota parte di ricambio, di aria esterna, e la quota parte di ricircolo. Anche in questo caso per definire il punto di immissione I si è valutata la retta ambiente e fissata la temperatura di immissione. Nelle seguenti tabelle si riportano tutti i dati necessari a caratterizzare le trasformazioni viste in figura 2.9.

Auditorium	E	1	2	I	M	A
T [°C]	40	30	13,25	16	36,1829	26
UR [%]	70	100	100	84	70	50
x [g_w/g_a]	0,03328	0,026878	0,0095	0,0095	0,026878	0,0105
h [kJ/kg]	125,73	98,73	37,24	40,5	105,226	52,77

Tabella 2.17. Casisaldi trasformazioni UTA auditorium.

Portata totale [m³/s]	Portata IAQ [m³/s]	Portata ricircolo [m³/s]
2,090488	1,502998	0,58749
100%	72%	28%

Tabella 2.18. Portate UTA auditorium.

Carico sensibile [W]	25736,51		Retta ambiente
Carico latente [W]	5853,1		0,815

Tabella 2.19. Parametri retta ambiente UTA auditorium.

Δh E-2	Δh 2-I	Q [m³/s]		Batteria Freddo [kW]	174,102
67,986	3,26	2,09049		Batteria Caldo [kW]	8,34836

Tabella 2.20. Dimensionamento batterie UTA auditorium.

Nelle figure seguenti viene riportato lo schema dell'UTA scelta e le caratteristiche di dimensionamento. Le componenti dell'UTA dell'auditorium sono le stesse di quelle degli altri edifici in quanto le trasformazioni richieste sono le stesse. In questo caso però la serranda di miscelazione sarà aperta permettendo così alla portata di ricircolo di miscelarsi con quella esterna, secondo il rapporto di miscelazione previsto del 28%. Come negli altri casi sono presenti i parametri di alimentazione delle batterie di raffreddamento e post-riscaldamento, che permettono di potere valutare la potenza necessaria di alimentazione.

Unit no.: 10
 Danvent DV60
 Peso: 2187 kg
 Larghezza unità: 2170 mm

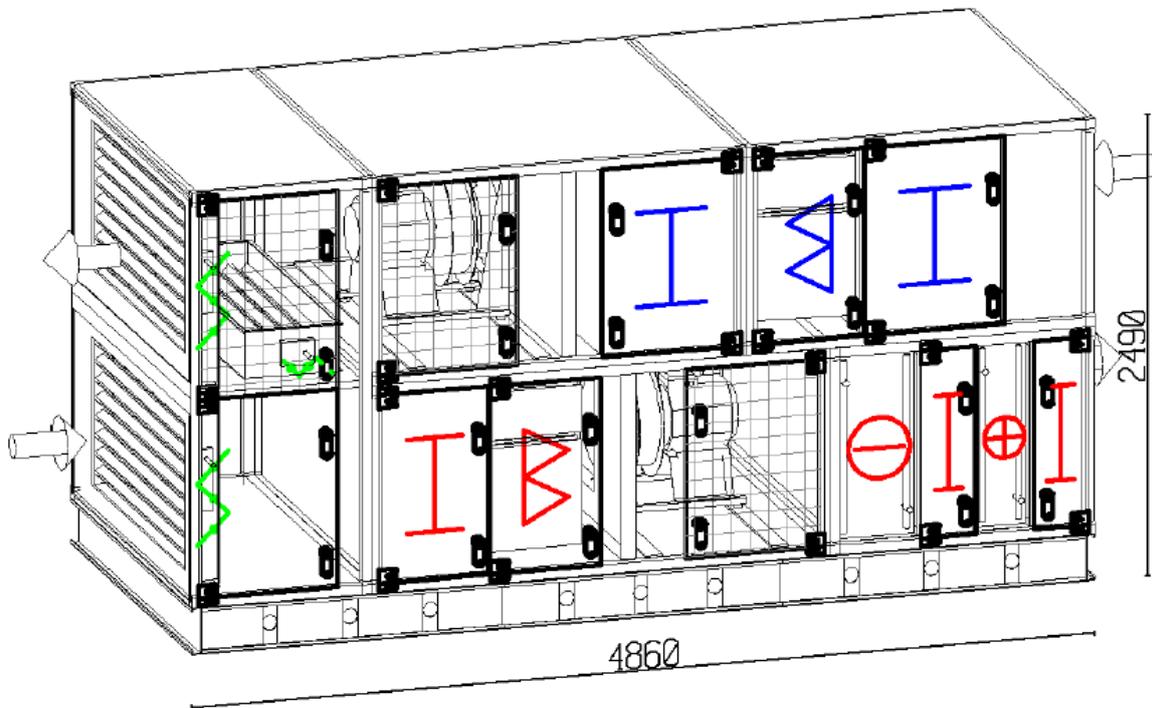


Figura 2.10. Schema con componenti UTA auditorium.

Dati aria/ventilatore	Mandata aria	Aria estratta	Unità
Portata aria (1,205 kg/m ³)	2.20	2.10	m ³ /s
Rapporto di miscelazione	28		%
Velocità frontale (unità)	1.05	1.00	m/s
Pressione statica utile	400	400	Pa
Velocità ventilatore	1033	973	Giri/min.
Motore; Alimentazione; Corrente, A, nominale	2.20; 3x400; 5.09	2.20; 3x400; 5.09	kW/V/A
Rumore irradiato	57 dB(A)		
Filtro Mandata / Estrazione	F7 - ePM1 60% / F7 - ePM1 60%		
Riscaldamento, acqua	7.2 kW ; 13.3/16.0°C Fluido 60/50°C ; 6.1 kPa ; 0.18 l/s ; 3/4" / 3/4" Connessioni tubazione		
Cooling coil, water	180.9 kW ; 36.1/13.3°C Fluido 6/13°C ; 28.8 kPa ; 6.14 l/s ; 2 1/2" / 2 1/2" Connessioni tubazione		

Figura 2.11. Parametri dimensionamento UTA auditorium.

2.1.3 Soluzione con recuperatore di calore rotativo

Rispetto alla soluzione precedente si è deciso valutare l'equipaggiamento di uno scambiatore rotativo alle UTA, in modo tale da ottenere un effetto di recupero dall'aria espulsa. Dato che, eccetto per l'auditorium, tutte le UTA non presentano ricircolo d'aria e tutta la portata di estrazione viene espulsa, è sensato pensare di cedere parte di calore dell'aria esterna alla portata espulsa in modo da ottenere in ingresso alla batteria di raffreddamento aria in condizioni più favorevoli.

Gli scambiatori rotativi sono dei recuperatori di calore caratterizzati da un elemento rotante, il cui materiale presenta generalmente una struttura alveolare ed è in grado di assorbire e rilasciare calore. Solitamente per la matrice alveolare dell'elemento rotante sono utilizzati materiali plastici, in fibra sintetica o alluminio. Questo elemento rotante ruota lentamente tra il canale di alimentazione e quello di scarico dell'unità di trattamento aria. Durante la rotazione una parte di calore viene rimossa da una delle due portate e rilasciata nell'altra, producendo un recupero sensibile di calore. Nel nostro caso, una parte di calore verrebbe rimossa dalla portata di aria esterna di alimentazione e ceduta alla portata di scarico. Questi scambiatori sono generalmente montati in modo tale che i flussi scorrano nelle direzioni opposte, in questo modo si ottengono efficienze maggiori. La quantità di calore recuperato sarà proporzionale alla differenza di gradiente termico tra le due portate. La velocità di rotazione è variabile per controllare meglio la temperatura d'uscita dell'aria dallo scambiatore, il quale può essere anche fermato nel caso in cui il recupero non sia necessario. Inoltre, poiché il calore viene scambiato tra i due flussi senza passare direttamente attraverso un mezzo di scambio, le efficienze sono generalmente superiori rispetto alle altre tipologie di recuperatore. Per contro, avendo una parte in movimento, la meccanica dello scambiatore è più complessa e richiede maggiore manutenzione e costi rispetto ad uno scambiatore statico.

Un aspetto importante da considerare è la possibilità di recupero di calore latente, dato che il valore dell'umidità relativa esterna è molto elevato. Normalmente l'effetto ottenuto dallo scambiatore rotativo è sensibile, con una variazione di temperatura nelle portate d'aria. Se però, nel flusso che cede calore, il livello di umidità relativa è elevato (come nel nostro caso in cui l'umidità relativa dell'aria esterna arriva al 70 %), sul mezzo può verificarsi la condensazione, con conseguente rilascio di calore latente e formazione di un film d'acqua sul materiale. Questo film d'acqua può in parte evaporare nella parte del flusso opposto. La presenza di un film d'acqua sul materiale dello scambiatore ne aumenterà il coefficiente di scambio termico, con effetto positivo sull'efficienza. È anche vero che la presenza del film d'acqua aumenterà la resistenza al passaggio dell'aria, causando un maggiore lavoro dei ventilatori. In questo caso lo scambiatore permetterà uno scambio di calore sia sensibile che latente.

Un'altra soluzione è quella di applicare alla matrice dello scambiatore un rivestimento di materiale igroscopico oppure di utilizzare matrici in fibra sintetica porosa. Generalmente sono le matrici di alluminio ad essere rivestite di materiale igroscopico. Questi rivestimenti permettono l'adsorbimento e il rilascio di vapore acqueo a livelli di umidità relativa molto inferiori rispetto a quelli per i quali si verifica la condensazione. Questa soluzione favorisce lo scambio di calore latente e determina il vantaggio di aumentare il trasferimento di calore rispetto al caso precedente. Inoltre, utilizzare queste tipologie di rivestimenti o materiali provoca la deumidificazione di uno dei due flussi e l'umidificazione dell'altro. Non sempre questo può essere considerato un vantaggio, ma nella nostra applicazione sicuramente può risultare molto favorevole.

In questo paragrafo verrà quindi confrontata la soluzione senza recuperatore di calore vista in precedenza con quella con recuperatore, in modo da verificare e quantificare quale sia la soluzione più conveniente. Lo scambiatore rotativo utilizzato rientra nei componenti della tipologia di UTA scelta nei casi precedenti, ovvero la tipologia "Danvent DV", presente nel database di SystemAirCad. Lo scambiatore è quindi completamente compatibile e può essere aggiunto alle unità già viste. Il modello di scambiatore è "Danvent DVC" [9]. Questo scambiatore rotativo è disponibile in tre configurazioni: la prima permette solamente recupero di calore sensibile, la seconda consente recupero di calore latente ma senza modificare la matrice del materiale, la terza permette l'adsorbimento del vapore acqueo tramite il rivestimento della matrice dello scambiatore con materiale igroscopico. Il materiale del rotore è l'alluminio. Nel caso della terza variante descritta, al rotore è applicato un rivestimento in zeolite, materiale con ottime proprietà in termini di adsorbimento e rilascio del vapore acqueo.

Verranno quindi confrontate le tre configurazioni per valutare quale applicazione permetta l'ingresso dell'aria alla batteria di raffreddamento nelle condizioni migliori. Questo scambiatore permette di lavorare a tre diversi livelli di efficienza. Al massimo valore di efficienza corrisponde anche la massima caduta di pressione. Per la nostra analisi si utilizzerà il valore di efficienza massimo, per potere valutare quale sia il massimo vantaggio ottenibile in termini di recupero.



Figura 2.12. Scambiatore rotativo Danvent DVC [9].

La struttura dell'unità di trattamento aria, in questo caso, si modifica come mostrato nella figura seguente. Si può notare in verde, al centro dell'unità, l'inserimento dello scambiatore rotativo.

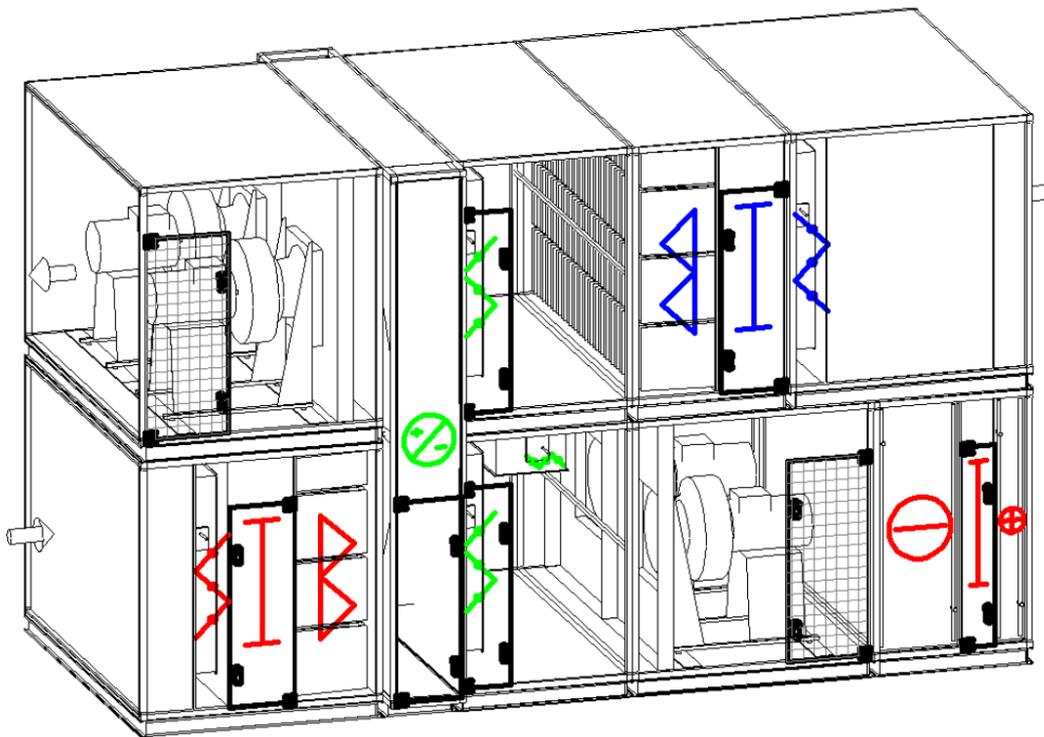


Figura 2.13. Schema UTA con scambiatore rotativo.

Il confronto delle tre varianti di scambiatore rotativo rispetto alla configurazione senza scambiatore viene effettuato sulla unità di taglia più grande, ossia l'UTA che serve piano terra e piano seminterrato dell'edificio 4. Il parametro che si andrà ad attenzionare è il dimensionamento della batteria di raffreddamento, ottenuto dalle simulazioni delle unità nei quattro casi. Infatti, più le condizioni di ingresso dell'aria saranno favorevoli e minore sarà la potenza richiesta alla batteria. La figura seguente mostra questo confronto:

-Unità senza scambiatore rotativo

Cooling coil, water	949.3 kW ; 40.0/13.0°C
Fluido	6/13°C ; 29.7 kPa ; 31.92 l/s ; 2x4" / 2x4" Connessioni tubazione

-Unità con scambiatore rotativo, recupero solo sensibile

Cooling coil, water	576.0 kW ; 28.4/13.0°C
Fluido	6/12°C ; 30.0 kPa ; 22.71 l/s ; 2x4" / 2x4" Connessioni tubazione

-Unità con scambiatore rotativo, recupero sensibile e in parte latente

Cooling coil, water	409.3 kW ; 28.4/13.0°C
Fluido	6/12°C ; 28.9 kPa ; 16.29 l/s ; 4" / 4" Connessioni tubazione

-Unità con scambiatore rotativo e rivestimento in Zeolite, recupero sensibile e latente

Cooling coil, water	314.5 kW ; 28.4/13.0°C
Fluido	6/12°C ; 29.9 kPa ; 12.34 l/s ; 4" / 4" Connessioni tubazione

Figura 2.14. Confronto dimensionamento batterie di raffreddamento per i vari casi considerati.

Come si può notare dalla figura precedente, l'inserimento del recuperatore porta sicuramente ad una soluzione più vantaggiosa rispetto al caso senza scambiatore, per il quale la potenza richiesta alla batteria di raffreddamento è di circa 950 kW. Inoltre, come si poteva prevedere, nel caso del nostro ambiente esterno con un'umidità relativa che può anche superare il 70 %, la terza soluzione è la più efficace. Infatti, l'utilizzo del rivestimento in zeolite sulla matrice di alluminio favorisce il trasporto del vapore acqueo e la deumidificazione della portata di alimentazione. In questo modo l'aria può arrivare alla batteria di raffreddamento in condizioni molto più favorevoli, permettendo alla batteria di avere una capacità corrispondente a circa un terzo del caso iniziale senza recuperatore. Chiaramente, le unità con lo scambiatore rotativo presentano una lunghezza e un peso maggiori rispetto alla soluzione senza scambiatore, nonché maggiori costi di montaggio e manutenzione.

Effettuando lo stesso confronto con tutte le altre UTA si ottiene sempre il medesimo risultato. Per questo motivo ha senso riconsiderare questa soluzione per tutte le unità. Le seguenti figure riportano quindi il dimensionamento delle varie unità con questa nuova configurazione.

Edificio 1

Dati aria/ventilatore	Mandata aria	Aria estratta	Unità
Portata aria (1,205 kg/m ³)	3.50	3.30	m ³ /s
Rapporto di miscelazione	0		%
Velocità frontale (unità)	0.96	0.91	m/s
Pressione statica utile	400	400	Pa
Velocità ventilatore	749	717	Giri/min.
Motore; Alimentazione; Corrente, A, nominale	5.50; 3x400; 12.45	4.00; 3x400; 9.33	kW/V/A
Rumore irradiato	66 dB(A)		
Filtro Mandata / Estrazione	F7 - ePM1 60% / F7 - ePM1 60%		
Riscaldamento, acqua	19.0 kW ; 11.5/16.0°C Fluido 60/50°C ; 8.8 kPa ; 0.47 l/s ; 1" / 1" Connessioni tubazione		
Cooling coil, water	135.0 kW ; 28.5/11.5°C Fluido 6/12°C ; 26.8 kPa ; 5.36 l/s ; 2 1/2" / 2 1/2" Connessioni tubazione		

Figura 2.15. Parametri dimensionamento UTA edificio 1.

Edificio 2

Dati aria/ventilatore	Mandata aria	Aria estratta	Unità
Portata aria (1,205 kg/m ³)	7.60	7.20	m ³ /s
Rapporto di miscelazione	0		%
Velocità frontale (unità)	1.01	0.96	m/s
Pressione statica utile	400	400	Pa
Velocità ventilatore	763	734	Giri/min.
Motore; Alimentazione; Corrente, A, nominale	(2 x 5.50 kW) 11.00; 3x400; (2 x 12.45) 24.90	(2 x 4.00 kW) 8.00; 3x400; (2 x 9.33) 18.66	kW/V/A
Rumore irradiato	67 dB(A)		
Filtro Mandata / Estrazione	F7 - ePM1 60% / F7 - ePM1 60%		
Riscaldamento, acqua	32.1 kW ; 12.5/16.0°C Fluido 60/50°C ; 11.4 kPa ; 0.79 l/s ; 1" / 1" Connessioni tubazione		
Cooling coil, water	272.7 kW ; 28.4/12.5°C		
	Fluido 6/12°C ; 28.7 kPa ; 10.88 l/s ; 3" / 3" Connessioni tubazione		

Edificio 3

Dati aria/ventilatore	Mandata aria	Aria estratta	Unità
Portata aria (1,205 kg/m ³)	7.80	7.60	m ³ /s
Rapporto di miscelazione	0		%
Velocità frontale (unità)	1.04	1.01	m/s
Pressione statica utile	400	400	Pa
Velocità ventilatore	775	745	Giri/min.
Motore; Alimentazione; Corrente, A, nominale	(2 x 5.50 kW) 11.00; 3x400; (2 x 12.45) 24.90	(2 x 5.50 kW) 11.00; 3x400; (2 x 12.45) 24.90	kW/V/A
Rumore irradiato	68 dB(A)		
Filtro Mandata / Estrazione	F7 - ePM1 60% / F7 - ePM1 60%		
Riscaldamento, acqua	37.6 kW ; 12.0/16.0°C Fluido 60/50°C ; 13.1 kPa ; 0.93 l/s ; 1 1/4" / 1 1/4" Connessioni tubazione		
Cooling coil, water	286.8 kW ; 28.3/12.0°C		
	Fluido 6/12°C ; 28.4 kPa ; 11.27 l/s ; 4" / 4" Connessioni tubazione		

Edificio 5

Dati aria/ventilatore	Mandata aria	Aria estratta	Unità
Portata aria (1,205 kg/m ³)	8.20	7.80	m ³ /s
Rapporto di miscelazione	0		%
Velocità frontale (unità)	1.09	1.04	m/s
Pressione statica utile	400	400	Pa
Velocità ventilatore	783	751	Giri/min.
Motore; Alimentazione; Corrente, A, nominale	(2 x 5.50 kW) 11.00; 3x400; (2 x 12.45) 24.90	(2 x 5.50 kW) 11.00; 3x400; (2 x 12.45) 24.90	kW/V/A
Rumore irradiato	68 dB(A)		
Filtro Mandata / Estrazione	F7 - ePM1 60% / F7 - ePM1 60%		
Riscaldamento, acqua	25.7 kW ; 13.4/16.0°C Fluido 60/50°C ; 10.8 kPa ; 0.63 l/s ; 1" / 1" Connessioni tubazione		
Cooling coil, water	277.5 kW ; 28.4/13.4°C		
	Fluido 6/12°C ; 28.6 kPa ; 11.10 l/s ; 4" / 4" Connessioni tubazione		

Figura 2.16. Parametri dimensionamento UTA edificio 2, 3 e 5.

Edificio 4, Piano terra e seminterrato

Dati aria/ventilatore	Mandata aria	Aria estratta	Unità
Portata aria (1,205 kg/m ³)	8.80	8.40	m ³ /s
Rapporto di miscelazione	0		%
Velocità frontale (unità)	1.17	1.12	m/s
Pressione statica utile	400	400	Pa
Velocità ventilatore	807	769	Giri/min.
Motore; Alimentazione; Corrente, A, nominale	(2 x 5.50 kW) 11.00; 3x400; (2 x 12.45) 24.90	(2 x 5.50 kW) 11.00; 3x400; (2 x 12.45) 24.90	kW/V/A
Rumore irradiato	68 dB(A)		
Filtro Mandata / Estrazione	F7 - ePM1 60% / F7 - ePM1 60%		
Riscaldamento, acqua	31.8 kW ; 13.0/16.0°C Fluido 60/50°C ; 11.3 kPa ; 0.79 l/s ; 1" / 1" Connessioni tubazione		
Cooling coil, water	314.5 kW ; 28.4/13.0°C Fluido 6/12°C ; 29.9 kPa ; 12.34 l/s ; 4" / 4" Connessioni tubazione		

Edificio 4, Primo piano

Dati aria/ventilatore	Mandata aria	Aria estratta	Unità
Portata aria (1,205 kg/m ³)	8.20	7.80	m ³ /s
Rapporto di miscelazione	0		%
Velocità frontale (unità)	1.09	1.04	m/s
Pressione statica utile	400	400	Pa
Velocità ventilatore	783	751	Giri/min.
Motore; Alimentazione; Corrente, A, nominale	(2 x 5.50 kW) 11.00; 3x400; (2 x 12.45) 24.90	(2 x 5.50 kW) 11.00; 3x400; (2 x 12.45) 24.90	kW/V/A
Rumore irradiato	68 dB(A)		
Filtro Mandata / Estrazione	F7 - ePM1 60% / F7 - ePM1 60%		
Riscaldamento, acqua	29.6 kW ; 13.0/16.0°C Fluido 60/50°C ; 14.0 kPa ; 0.73 l/s ; 1" / 1" Connessioni tubazione		
Cooling coil, water	287.4 kW ; 28.4/13.0°C Fluido 6/12°C ; 28.6 kPa ; 11.50 l/s ; 4" / 4" Connessioni tubazione		

Figura 2.17. Parametri dimensionamento UTA edificio 4.

2.2 Recuperatori di calore

Come già accennato, le zone servizi saranno gestite da recuperatori di calore e dall'impianto ad acqua. I recuperatori di calore si occuperanno di fornire la portata di ventilazione necessaria e l'impianto ad acqua bilancerà il carico sensibile totale, compreso quello dovuto alla ventilazione. Il carico sensibile dovuto alla ventilazione sarà comunque limitato data la presenza dei recuperatori di calore.

I recuperatori scelti sono recuperatori di calore a flussi incrociati e ad alta efficienza della casa produttrice "Ecoclima S.R.L.", modello "EVHRPE" e sono dotati di filtri per trattare l'aria di rinnovo. Segue lo schema della configurazione di questo modello di recuperatori di calore.

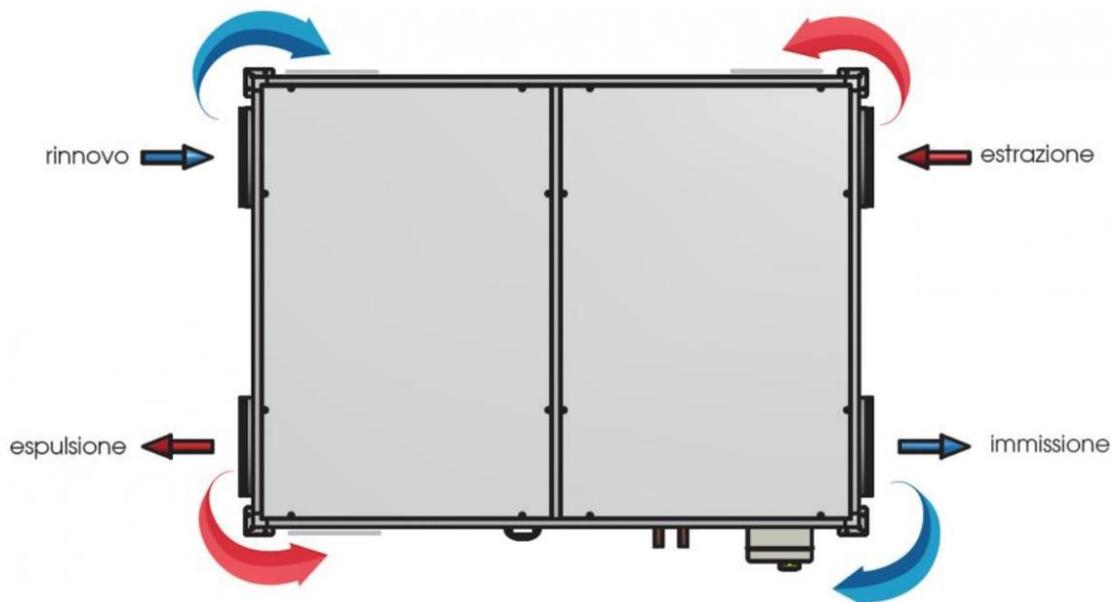


Figura 2.18. Configurazione recuperatore di calore modello "EVHRPE" [10].

Questo modello presenta più taglie in base alla necessità di portata da immettere. Per le zone bagni attigue verrà scelto un solo recuperatore di calore comune. L'efficienza dei recuperatori varia da una taglia all'altra con valori compresi tra un minimo dell'80% e un massimo dell'86%. La scelta del recuperatore dipenderà quindi dalla portata necessaria da immettere in ambiente. La seguente tabella mostra le taglie di recuperatore scelto e le varie zone servizi a cui ogni singolo recuperatore è riferito. Viene poi valutato il carico sensibile di ventilazione immesso in ambiente, valore utile per il dimensionamento dei terminali dell'impianto ad acqua.

Piano	Zona	Portata IAQ [m ³ /h]	Modello	Portata [m ³ /h]	Efficienza	T _{imm} [°C]	Carico ventilazione [W]
	E1						
OF	110	480	70 H	540	0,8	28,8	459,62
	E2						
OF	264	1080	300 H	2916	0,818	28,548	941,07195
1F	288	1080					941,07195
	tot	2160					
	E3						
OF	491	1188	300 H	2916	0,818	28,548	1035,179145
1F	495	1188					1035,179145
	tot	2376					
OF	488	720	200 H	1980	0,818	28,548	627,3813
1F	496	720					627,3813
	tot	1440					
OF	489	684	200 H	1980	0,818	28,548	596,012235
1F	499	684					596,012235
	tot	1368					
	E4						
OF	522	1368	300 H	2916	0,818	28,548	1192,02447
1F	471	1368					1192,02447
	tot	2736					
OF	523	936	200 H	1980	0,818	28,548	815,59569
1F	473	936					815,59569
	tot	1872					
OF	359	900	300 H	2916	0,818	28,548	784,226625
1F	468	900					784,226625
-1F	535	936					815,59569
	tot	2736					
OF	524	1908	200 H	1980	0,818	28,548	1662,560445
	E5						
OF	518	360	200 H	1980	0,818	28,548	313,69065
OF	541	936					815,59569
OF	542	450					392,1133125
	tot	1746					
OF	339	900	200 H	1980	0,818	28,548	784,226625
	502	1908	200 H	1980	0,818	28,548	1662,560445
	532	972	200 H	1980	0,818	28,548	846,964755

Tabella 2.21. Recuperatori di calore per zone servizi.

2.3 Terminali di immissione

L'impianto misto è costituito da una parte ad aria, precedentemente descritta, e una ad acqua. La parte di impianto ad acqua ha il compito di bilanciare i carichi sensibili dei vari locali in modo da mantenere la temperatura desiderata in ambiente interno. Tutti i locali dei cinque edifici presentano l'impianto ad acqua. Solamente l'auditorium è climatizzato con impianto a tutt'aria e non presenta terminali dell'impianto ad acqua. La tipologia di terminale di immissione dell'impianto ad acqua è molto importante e da questa derivano le condizioni di confort dell'occupante, sia da un punto di vista globale che locale.

La scelta fatta per la climatizzazione dei vari locali è quella dei pannelli radianti a pavimento. I pavimenti radianti comportano vari benefici sul confort abitativo e presentano anche vantaggi sulle condizioni di alimentazione. Inoltre, dato che i pavimenti radianti scambiano calore soprattutto per irraggiamento, si evita la formazione di fastidiose correnti convettive fredde a pavimento e calde a soffitto. Si evita così anche l'elevata circolazione di polvere con vantaggi sulla qualità dell'aria. In più, la loro alimentazione è possibile a temperature generalmente più basse in riscaldamento e più alte in raffreddamento rispetto ai normali terminali di immissione. Questo favorisce l'uso di pompe di calore, caldaie a condensazione e altre apparecchiature simili. Generalmente, l'utilizzo di pavimenti radianti porta ad un risparmio energetico fino al 15 % rispetto ai convenzionali terminali. Infine, un'altra considerazione riguarda l'assenza di vincoli di natura estetica e di limiti sulla possibilità di arredo dei locali con la presenza di pannelli radianti a pavimento. Questo aspetto permette un più razionale utilizzo delle superfici calpestabili, che nei locali universitari è importante per ottenere una buona capienza di occupanti nei vari locali.

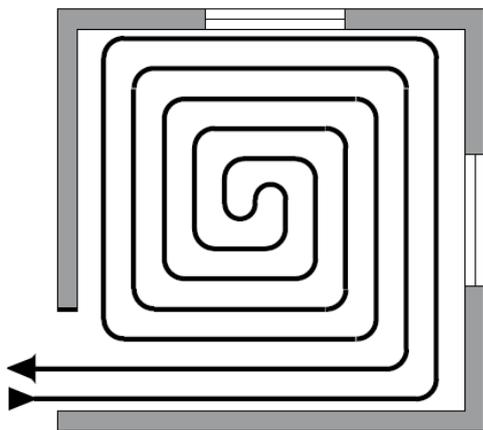
In un numero limitato di uffici non si riesce a installare un impianto a pavimento con una resa tale da soddisfarne il fabbisogno termico. Questi uffici presentano una superficie calpestabile troppo piccola per potere installare una lunghezza di tubazione sufficiente a pavimento. Per questo motivo, per questo piccolo numero di locali, si è deciso di installare dei ventilconvettori che riescano a coprire il carico di raffreddamento.

2.3.1 Pavimenti radianti

Per il dimensionamento dei pannelli radianti a pavimento è necessario prima di tutto conoscere i carichi sensibili di raffreddamento di ciascun locale. Dalla simulazione energetica dell'edificio otteniamo i valori necessari. Bisogna ricordare che la parte ad aria dell'impianto misto, in parte bilancia anche i carichi sensibili di ogni zona, pur immettendo solamente la portata di ricambio d'aria. Conoscendo le portate di ricambio di ogni zona e le condizioni di immissione dell'aria, si è calcolata la quota parte di carico sensibile bilanciata dall'impianto ad aria per ogni zona. Sottraendo dai carichi sensibili totali la parte bilanciata dal sistema ad aria, si ottiene l'effettivo carico sensibile che i terminali dell'impianto ad acqua dovranno bilanciare in ogni zona. Tramite questo valore si può calcolare la resa desiderata dei pannelli a pavimento, riferita alla superficie calpestabile dei singoli locali. Questa resa viene poi confrontata con quelle disponibili dai modelli a catalogo.

Come tipologia di sviluppo delle tubazioni si è scelto lo sviluppo a spirale. La temperatura superficiale del pavimento risulta uniforme, dal momento che i tubi di mandata e di ritorno sono posizionati in modo alterno, garantendo così un'adeguata compensazione termica.

La casa produttrice scelta è “Eurotherm Spa”, il modello di sistema radiante in esame è “EUROGRID”. Dalle schede tecniche del prodotto si può verificare che con una temperatura di ingresso dell'acqua di 15 °C e con un salto termico tra ingresso e uscita di 2 °C si può ottenere una resa in raffreddamento di 78 W/m². Questo valore si riferisce ad un passo delle tubazioni di 20 cm. I valori delle varie rese sono determinati dalla casa produttrice tramite simulazione numerica e si riferiscono al caso di raffreddamento con una temperatura interna di 26 °C, esattamente il valore di set-point scelto per la nostra struttura.



Sviluppo a spirale (o a chiocciola)

Figura 2.19. Schema sviluppo a spirale [11].

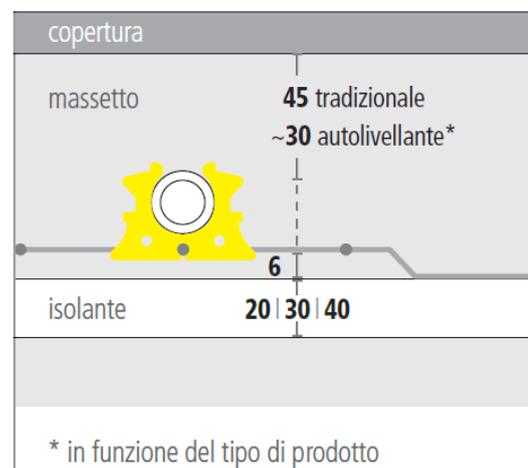


Figura 2.20. Struttura EUROGRID [12].

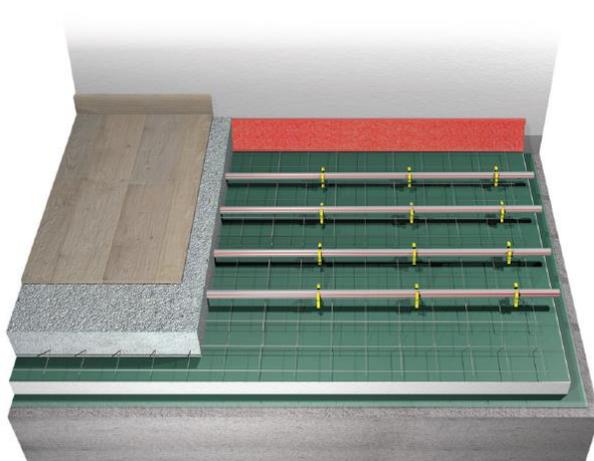
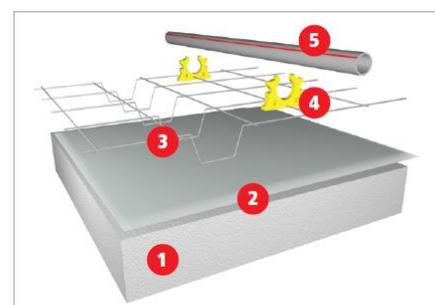


Figura 2.21. Configurazione pavimento EUROGRID [12].



1. Isolante in EPS o XPS.
2. Foglio in PE.
3. Rete elettrosaldata in filo d'acciaio.
4. Clip con aggancio alla rete.
5. Tubazione MidiX Soft a 5 strati.

Dalla scheda tecnica del prodotto si ricava la lunghezza di circuito per metro quadro di pavimento, relativa al passo di 20 cm. Al passo di 20 cm corrisponde una lunghezza di tubazione di 5 metri ogni metro quadro di superficie. Noto questo valore e nota la superficie calpestabile di ogni singolo locale si può determinare la lunghezza di tubazione richiesta da ogni singolo locale. La lunghezza della tubazione e la portata necessaria sono due parametri molto importanti per il dimensionamento del sistema in quanto determinano le cadute di pressione sul circuito. Per le cadute di pressione distribuite sul circuito, la casa produttrice fornisce un apposito grafico che indica le cadute di pressione unitarie al variare della portata. In queste applicazioni le cadute di pressione localizzate si considerano tra il 20% e il 30 % delle cadute distribuite. Nel dimensionamento dei circuiti sarà quindi importante valutare la caduta di pressione totale. Di norma è consigliabile che la caduta di pressione totale non superi i 0,25 Bar. Quando la caduta supera questo valore, soprattutto nel caso di superfici calpestabili estese, è meglio ricorrere a più circuiti, suddividendo l'area in porzioni possibilmente uguali per evitare sbilanciamenti idraulici con conseguente differenza di resa termica dei circuiti. Il tubo della nostra applicazione è il MidiX Plus 18 x 2 mm.

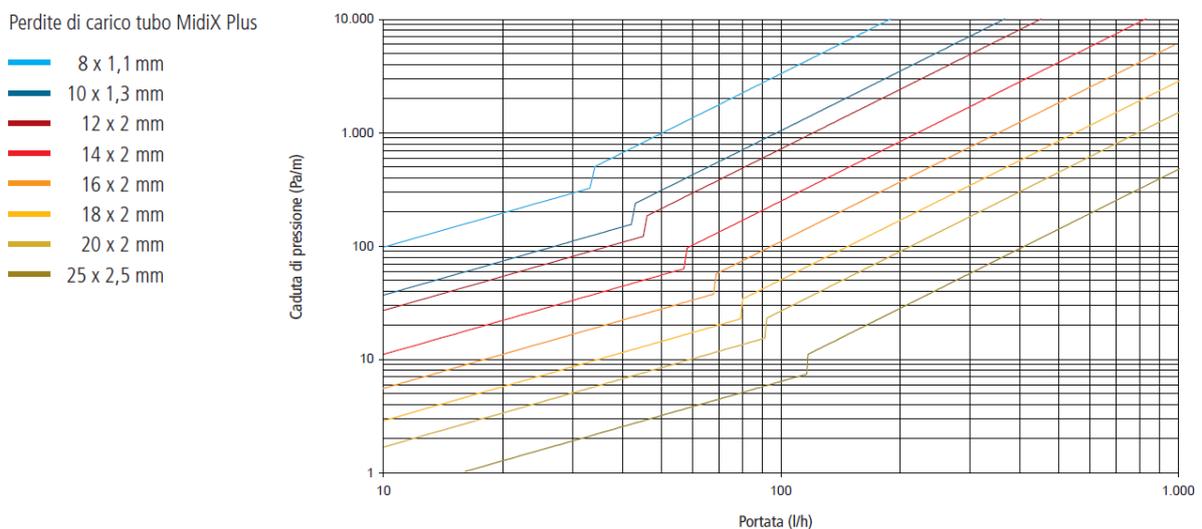


Figura 2.22. Perdite di carico localizzate in funzione della portata [13].

Partendo dal flusso di calore richiesto dai locali e dalle caratteristiche della configurazione del pavimento, si è determinata la portata necessaria. Tramite questa portata, fissato il salto di temperatura di 2 °C tra ingresso e uscita come da indicazione delle schede tecniche, si è determinata la potenza necessaria per ogni locale al fine di dimensionare le apparecchiature di produzione del fluido termovettore.

Oltre al controllo sulla perdita di carico totale è necessario valutare la velocità del fluido nelle tubazioni. Non possono essere accettate velocità del fluido troppo basse per evitare il ristagno di bolle d'aria e che il flusso avvenga in regime laminare. Tutte le stime sulle rese sono infatti ottenute in regime turbolento. Per questo motivo si considerano accettabili velocità superiori a 0,1 m/s.

Al fine di evitare la formazione di condensa è necessario che la temperatura di immissione del fluido non sia troppo bassa, in relazione con le condizioni ambiente. La norma UNI EN 1264 indica che la temperatura di mandata in raffrescamento non deve essere inferiore di più di 1 K al valore della temperatura di rugiada calcolato per le condizioni ambiente. Nel caso del nostro ambiente interno le condizioni sono di 26 °C e 50 % di umidità relativa. In queste condizioni la temperatura di rugiada è di 14,8 °C e, seguendo la normativa, non deve essere immessa acqua a temperatura inferiore a 13,8 °C. Nel nostro caso la temperatura di immissione è di 15 °C per cui il problema non si pone.

L'ultimo controllo da fare quando si considerano i pavimenti radianti riguarda il confort degli occupanti. Una delle più frequenti cause di disconfort locale è la troppo bassa o troppo elevata temperatura superficiale del pavimento. Per questo motivo la temperatura superficiale del pavimento deve rientrare in un certo range di temperatura. Queste condizioni sono dettate dalla norma UNI EN ISO 7730 che indica, per contenere la percentuale di persone in disconfort, una temperatura compresa tra i 19 e i 29 °C.

Le tabelle seguenti riepilogano tutti i parametri di dimensionamento e verifica citati sopra.

Edificio 1												
Piano 0	Carico sens. [W]	Sup. [m ²]	Resa [W/m ²]	Portata [l/h]	N° Circ.	L Circ. [m]	Portata Circ. [l/h]	ΔP _{unit.} [Pa/m]	ΔP _{dist.} [Pa]	ΔP _{tot} [Pa]	v [m/s]	T _{sup} [°C]
Uffici												
94	414,0369955	13	31,84899965	221,4414705	1	65	221,4414705	220	14300	17160	0,4	22,81959319
95	409,9479206	13	31,53445543	219,2544902	1	65	219,2544902	220	14300	17160	0,396	22,84816065
96	419,0146155	13	32,2318935	224,1036758	1	65	224,1036758	220	14300	17160	0,405	22,78485268
97	556,7763018	15	37,11842012	297,7834453	2	37,5	148,8917227	120	4500	5400	0,269	22,34462884
98	421,2384257	14	30,08845898	225,2930473	1	70	225,2930473	230	16100	19320	0,407	22,97982644
99	433,6120716	14	30,97229083	231,910906	1	70	231,910906	240	16800	20160	0,419	22,89928215
100	435,4273298	14	31,10195213	232,8817696	1	70	232,8817696	240	16800	20160	0,42	22,88748372
101	551,6232116	15	36,77488078	295,0273924	2	37,5	147,5136962	120	4500	5400	0,266	22,37539754
102	400,1496718	13	30,78074399	214,0140439	1	65	214,0140439	220	14300	17160	0,386	22,91672003
Aule												
82	761,9723165	120	6,349769304	407,5294528	4	150	101,8823632	120	18000	21600	0,184	25,26580419
92	1153,621589	89	12,96204033	616,9971859	4	111,25	154,2492965	120	13350	16020	0,278	24,59539828
Servizi												
110	701,9743081	29	24,20601062	375,4404189	2	72,5	187,7202095	140	10150	12180	0,339	23,52175654
Laboratori												
88	1913,585029	120	15,94654191	1023,452221	6	100	170,5753702	140	14000	16800	0,308	24,30423702
83	2623,68208	120	21,86401733	1403,236967	7	85,71428571	200,4624239	150	12857,14286	15428,57143	0,362	23,74072925
81	2284,262056	147	15,53919766	1221,703264	6	122,5	203,6172106	150	18375	22050	0,368	24,34366244
65	2013,306786	97	20,75574006	1076,786906	6	80,83333333	179,4644843	140	11316,66667	13580	0,324	23,84508405
89	2763,251333	138	20,02356039	1477,883487	7	98,57142857	211,1262124	200	19714,28571	23657,14286	0,381	23,91430252
86	1790,331439	79	22,66242328	957,5318893	5	79	191,5063779	140	11060	13272	0,346	23,66585071
Computer Lab												
84	2184,182396	75	29,12243194	1168,17716	5	75	233,635432	240	18000	21600	0,422	23,06810788
87	2478,336536	99	25,03370238	1325,501085	6	82,5	220,9168476	220	18150	21780	0,399	23,44483829
90	4243,793552	133	31,90822219	2269,729263	10	66,5	226,9729263	240	15960	19152	0,41	22,81421738
Spazi comuni												
91	2418,751515	107	22,60515434	1293,632931	6	89,16666667	215,6054886	220	19616,66667	23540	0,389	23,6712136
85	1715,936658	71	24,16812195	917,7429579	5	71	183,5485916	140	9940	11928	0,331	23,52528324
Infermeria												
93	580,9479175	48	12,10308162	310,7112711	2	120	155,3556355	130	15600	18720	0,28	24,68027688
Edificio 2												
Piano 0	Carico sens. [W]	Sup. [m ²]	Resa [W/m ²]	Portata [l/h]	N° Circ.	L Circ. [m]	Portata Circ. [l/h]	ΔP _{unit.} [Pa/m]	ΔP _{dist.} [Pa]	ΔP _{tot} [Pa]	v [m/s]	T _{sup} [°C]
Servizi												
264	1535,406528	53	28,96993449	821,1891281	4	66,25	205,297282	200	13250	15900	0,37064229	23,08206815
Laboratori												
263	3848,434822	172	22,37462106	2058,277582	10	86	205,8277582	200	17200	20640	0,371600008	23,69281417
255	13514,40277	501	26,97485583	7227,975411	31	80,80645161	233,1604971	240	19393,54839	23272,25806	0,420946346	23,26533653
270	2386,463022	108	22,09687983	1276,363916	6	90	212,7273193	200	18000	21600	0,384056428	23,71886494
256	14802,85955	494	29,96530273	7917,087172	33	74,84848485	239,9117325	260	19460,60606	23352,72727	0,433134979	22,99106671
Computer Lab												
257	1809,331846	105	17,23173186	967,6939714	5	105	193,5387943	140	14700	17640	0,349413598	24,18043598
258	2234,690821	110	20,3153711	1195,190833	6	91,66666667	199,1984721	150	13750	16500	0,359631541	23,88668833
Spazi comuni												
268	2201,476097	103	21,37355434	1177,426436	6	85,83333333	196,2377394	150	12875	15450	0,354286255	23,78685018
259	1393,340947	87	16,01541319	745,2074854	4	108,75	186,3018713	140	15225	18270	0,336348107	24,29758032
Negozi												
266	2538,235906	78	32,54148597	1357,537364	7	74,65714286	193,9339091	150	11198,57143	13438,28571	0,350126936	22,75679035

Tabella 2.22. Parametri dimensionamento e verifica pavimenti radianti, edifici 1 e 2.

Edificio 2												
Piano 1	Carico sens. [W]	Sup. [m ²]	Resa [W/m ²]	Portata [l/h]	N° Circ.	L Circ. [m]	Portata Circ. [l/h]	ΔP _{unit.} [Pa/m]	ΔP _{dist.} [Pa]	ΔP _{tot.} [Pa]	v [m/s]	T _{sup} [°C]
Uffici												
281	1218,050183	27	45,11296976	651,4558522	3	45	217,1519507	220	9900	11880	0,392044627	21,63542129
279	1579,293842	39	40,49471389	844,6615989	3	65	281,5538663	300	19500	23400	0,508315399	22,04357294
278	1506,050975	42	35,85835655	805,4887515	4	52,5	201,3721879	150	7875	9450	0,363555953	22,45761359
280	1674,479738	37	45,25620912	895,5703462	3	61,66666667	298,5234487	310	19116,66667	22940	0,538952166	21,62282484
Aule												
284	3176,67389	113	28,11215832	1698,996334	8	70,625	212,3745418	200	14125	16950	0,383419526	23,16071828
273	675,0308647	78	8,654241855	361,0301227	3	130	120,3433742	90	11700	14040	0,217267094	25,0271221
272	273,1366292	91	3,00150142	146,0830251	2	227,5	73,04151257	20	4550	5460	0,131868641	25,62848523
271	618,9778901	74	8,364566083	331,0510309	3	123,3333333	110,3503436	72	8880	10656	0,199225746	25,05677159
Servizi												
288	2958,715986	54	54,79103678	1582,424822	6	45	263,7374703	300	13500	16200	0,476149801	20,79192815
Laboratori												
277	3487,019946	85	41,02376407	1864,980262	7	60,71428571	266,4257518	300	18214,28571	21857,14286	0,481003206	21,99661032
276	4795,623012	86	55,76305828	2564,866964	9	47,77777778	284,9852183	300	14333,33333	17200	0,514510338	20,70800099
275	3432,301619	78	44,00386691	1835,714986	7	55,71428571	262,2449981	300	16714,28571	20057,14286	0,473455302	21,73307966
274	1478,254254	78	18,95197762	790,6220927	4	97,5	197,6555232	150	14625	17550	0,356845912	24,01602556
Spazi comuni												
282	3365,759391	104	32,36307107	1800,125875	8	65	225,0157344	240	15600	18720	0,406241848	22,7729594
Sale riunione												
283	1181,625159	49	24,11479916	631,9744747	3	81,66666667	210,6581582	200	16333,33333	19600	0,380320779	23,53024741
Edificio 3												
Piano 0	Carico sens. [W]	Sup. [m ²]	Resa [W/m ²]	Portata [l/h]	N° Circ.	L Circ. [m]	Portata Circ. [l/h]	ΔP _{unit.} [Pa/m]	ΔP _{dist.} [Pa]	ΔP _{tot.} [Pa]	v [m/s]	T _{sup} [°C]
Aule												
305	641,5183291	83	7,729136495	343,1064462	3	138,3333333	114,3688154	72	9960	11952	0,206	25,12214306
338	344,4772559	84	4,100919713	184,2384882	2	210	92,11924408	40	8400	10080	0,166	25,50660273
Servizi												
491	1764,421663	62	28,45841392	943,6744347	4	77,5	235,9186087	220	17050	20460	0,426	23,12894395
488	1085,814566	44	24,67760378	580,7316178	3	73,33333333	193,5772059	140	10266,66667	12320	0,349	23,47790211
489	1165,994894	42	27,7617832	623,6148624	3	70	207,8716208	200	14000	16800	0,375	23,19290687
Laboratori												
307	4034,472856	90	44,82747618	2157,777232	8	56,25	269,7221539	300	16875	20250	0,487	21,6605384
308	4167,694349	97	42,96592113	2229,028747	8	60,625	278,6285934	300	18187,5	21825	0,503	21,82467537
388	2925,062794	82	35,67149749	1564,425917	6	68,33333333	260,7376528	300	20500	24600	0,471	22,47439892
389	4698,639331	95	49,45936138	2512,996699	9	52,77777778	279,2218554	300	15833,33333	19000	0,504	21,25476348
378	1525,582786	83	18,38051549	815,935047	4	103,75	203,9837618	150	15562,5	18675	0,368	24,07048557
298	1514,10331	83	18,24220856	809,7954221	4	103,75	202,4488555	150	15562,5	18675	0,365	24,08368912
295	1504,259741	83	18,12361133	804,5307367	4	103,75	201,1326842	150	15562,5	18675	0,363	24,09501831
294	1494,115205	83	18,00138801	799,1050839	4	103,75	199,776271	150	15562,5	18675	0,361	24,10670095
Computer Lab												
371	1644,88208	84	19,58192953	879,7404835	5	84	175,9480967	140	11760	14112	0,318	23,95616409
303	1661,130618	84	19,7753645	888,43077	5	84	177,686154	140	11760	14112	0,321	23,93781821
302	1679,770995	86	19,53222087	898,4002957	5	86	179,6800591	140	12040	14448	0,324	23,96088124
301	1695,465656	86	19,71471693	906,7943494	5	86	181,3588699	140	12040	14448	0,327	23,94356842
300	1746,454327	84	20,79112294	934,0648749	5	84	186,812975	140	11760	14112	0,337	23,84174472
373	4911,453099	84	58,46967975	2626,816947	9	46,66666667	291,8685497	300	14000	16800	0,527	20,47499595
Sale riunione												
299	3069,700721	85	36,11412613	1641,783341	7	60,71428571	234,5404773	240	14571,42857	17485,71429	0,423	22,43465097
Edificio 3												
Piano 1	Carico sens. [W]	Sup. [m ²]	Resa [W/m ²]	Portata [l/h]	N° Circ.	L Circ. [m]	Portata Circ. [l/h]	ΔP _{unit.} [Pa/m]	ΔP _{dist.} [Pa]	ΔP _{tot.} [Pa]	v [m/s]	T _{sup} [°C]
Aule												
438	786,2388828	83	9,472757624	420,5080615	3	138,3333333	140,1693538	110	15216,66667	18260	0,253	24,94382036
437	825,999682	83	9,951803397	441,7735279	3	138,3333333	147,2578426	120	16600	19920	0,266	24,89537366
436	577,2759695	83	6,955132162	308,7473848	3	138,3333333	102,9157949	72	9960	11952	0,186	25,20243861
435	516,9982235	84	6,154740756	276,5087374	3	140	92,16957912	72	10080	12096	0,166	25,2863334
Servizi												
495	2214,142508	62	35,71197593	1184,200876	5	62	236,8401752	260	16120	19344	0,428	22,47076211
496	1249,88044	32	39,05876374	668,4797869	3	53,33333333	222,8265956	220	11733,33333	14080	0,402	22,17132271
499	1338,475755	32	41,82736733	715,8636608	3	53,33333333	238,6212203	260	13866,66667	16640	0,431	21,92538126
Laboratori												
442	1232,420742	84	14,6716755	659,1417297	4	105	164,7854324	140	14700	17640	0,298	24,42794385
443	1047,759785	84	12,47333078	560,3785896	3	140	186,7928632	140	19600	23520	0,337	24,64362548
444	1170,134302	84	13,93017026	625,8287624	4	105	156,4571906	130	13650	16380	0,282	24,50034163
445	1146,751182	86	13,33431607	613,3226518	4	107,5	153,330663	120	12900	15480	0,277	24,55877221
446	1217,23199	86	14,15386035	651,0182539	4	107,5	162,7545635	130	13975	16770	0,294	24,47846529
426	1106,040294	84	13,16714635	591,5490444	4	105	147,8872611	120	12600	15120	0,267	24,57520742
428	4635,819445	100	46,35819445	2479,398426	9	55,55555556	275,488714	300	16666,66667	20000	0,497	21,52603671
427	4909,426751	100	49,09426751	2625,733185	9	55,55555556	291,7481317	300	16666,66667	20000	0,527	21,28661773
441	4701,284091	95	49,48720096	2514,411209	9	52,77777778	279,3790232	300	15833,33333	19000	0,504	21,25233538
Computer Lab												
440	2183,29897	83	26,30480687	1167,704673	5	83	233,5409346	240	19920	23904	0,422	23,32715997
439	2038,056754	83	24,55490065	1090,024054	5	83	218,0048109	220	18260	21912	0,394	23,48930514

Tabella 2.23. Parametri dimensionamento e verifica pavimenti radianti, edifici 2 e 3.

Edificio 4												
Piano 0	Carico sens. [W]	Sup. [m ²]	Resa [W/m ²]	Portata [l/h]	N° Circ.	L Circ. [m]	Portata Circ. [l/h]	ΔP _{unit.} [Pa/m]	ΔP _{dist.} [Pa]	ΔP _{tot.} [Pa]	v [m/s]	T _{sup.} [°C]
Uffici												
404	1627,662663	50	32,55325326	870,5309366	4	62,5	217,6327342	220	13750	16500	0,393	22,75572421
373	5707,489019	132	43,23855317	3052,564807	11	60	277,5058915	300	18000	21600	0,501	21,80059709
215	174,7285683	13	13,4406591	93,45095129	1	65	93,45095129	50	3250	3900	0,169	24,5483269
216	171,9890296	13	13,22992536	91,98575016	1	65	91,98575016	50	3250	3900	0,166	24,56903312
217	172,3109466	13	13,2546882	92,15792261	1	65	92,15792261	50	3250	3900	0,166	24,56659844
218	173,6070049	12	14,46725041	92,85109998	1	60	92,85109998	50	3000	3600	0,168	24,44786921
220	958,2369988	18	53,23538882	512,4986713	2	45	256,2493357	300	13500	16200	0,463	20,92653032
374	1215,101191	36	33,75281087	649,8786281	3	60	216,6262094	220	13200	15840	0,391	22,64722331
375	1105,55529	35	31,58729401	591,2896478	3	58,33333333	197,0965493	200	11666,66667	14000	0,356	22,84335995
376	1878,831705	54	34,79317972	1004,864928	4	67,5	251,2162319	300	20250	24300	0,454	22,55340509
377	1243,465884	41	30,32843619	665,049058	3	68,33333333	221,6830193	220	15033,33333	18040	0,4	22,95793611
176	800,3067272	22	36,37757851	428,0320368	2	55	214,0160184	220	12100	14520	0,386	22,41101406
177	727,0252435	20	36,35126218	388,8385356	2	50	194,4192678	150	7500	9000	0,351	22,41337446
178	704,5214947	20	35,22607473	376,8027434	2	50	188,4013717	140	7000	8400	0,34	22,51444308
242	347,5689371	25	13,90275748	185,8920274	1	125	185,8920274	140	17500	21000	0,336	24,50302472
213	279,8180339	21	13,32466852	149,6564768	1	105	149,6564768	120	12600	15120	0,27	24,55972019
250	454,0769466	33	13,75990747	242,8562372	2	85	121,4281186	70	7425	8910	0,219	24,5170143
245	2324,312053	31	74,97780816	1243,123403	4	38,75	310,7808508	400	15500	18600	0,561	19,07346138
206	1049,089066	18	58,28272588	561,0895354	2	45	280,5447677	300	13500	16200	0,506	20,49105822
207	764,5922139	16	47,78701337	408,9306657	2	40	204,4653328	200	8000	9600	0,369	21,40085286
211	756,6102293	16	47,28813933	404,661621	2	40	202,3308105	200	8000	9600	0,365	21,44452178
212	758,5392492	16	47,40870307	405,6933283	2	40	202,8466642	200	8000	9600	0,366	21,43396442
247	673,5776146	14	48,11268676	360,2528737	2	35	180,1264369	140	4900	5880	0,325	21,37236743
246	876,8534722	16	54,80334201	468,9719141	2	40	234,4859571	260	10400	12480	0,423	20,79086484
348	1888,248392	43	43,9127533	1009,901301	4	53,75	252,4753254	300	16125	19350	0,456	21,74111225
349	1718,882477	36	47,74673548	919,3184849	4	45	229,8296212	240	10800	12960	0,415	21,40437704
350	2028,308871	36	56,34191308	1084,810545	4	45	271,2026364	300	13500	16200	0,49	20,65808428
351	1873,837109	37	50,64424618	1002,193643	4	46,25	250,5484107	300	13875	16650	0,452	21,15152926
Aule												
403	3659,091817	150	24,39394545	1957,010319	9	83,33333333	217,445591	220	18333,33333	22000	0,393	23,50427087
Servizi												
522	1482,60462	36	41,18346167	792,9488206	3	60	264,3162735	300	18000	21600	0,477	21,98244517
523	1053,822275	23	45,81835979	563,6210213	2	57,5	281,8105106	300	17250	20700	0,509	21,57342431
524	2705,643081	72	37,57837613	1447,072578	6	60	241,178763	260	15600	18720	0,435	22,3034739
359	1550,404169	39	39,75395306	829,2103914	3	65	276,4034638	300	19500	23400	0,499	22,10942226
Computer Lab												
399	3694,288947	134	27,5693205	1975,834975	9	74,44444444	219,5372195	220	16377,77778	19653,33333	0,396	23,2106039
Spazi comuni												
397	2596,793624	105	24,73136785	1388,856081	7	75	198,4080115	150	11250	13500	0,358	23,47290734
402	3093,969215	222	13,93679827	1654,76298	9	123,3333333	183,8625534	140	17266,66667	20720	0,332	24,49969297
381	2232,183811	111	20,10976406	1193,849996	6	92,5	198,9749994	150	13875	16650	0,359	23,90614124
Sale riunione												
370	2379,205706	96	24,78339277	1272,482449	6	80	212,0804082	220	17600	21120	0,383	23,46807508
367	1528,030888	92	16,60903139	817,2443779	5	92	163,4488756	140	12880	15456	0,295	24,24031122
366	1114,536127	116	9,608070059	596,0929132	4	145	149,0232283	120	17400	20880	0,269	24,93011388
Negozi												
362	3001,725335	71	42,27782163	1605,427726	6	59,16666667	267,5712877	300	17750	21300	0,483	21,88550883
Edificio 4												
Piano 1	Carico sens. [W]	Sup. [m ²]	Resa [W/m ²]	Portata [l/h]	N° Circ.	L Circ. [m]	Portata Circ. [l/h]	ΔP _{unit.} [Pa/m]	ΔP _{dist.} [Pa]	ΔP _{tot.} [Pa]	v [m/s]	T _{sup.} [°C]
Uffici												
467	1644,646262	47	34,99247365	879,6143595	4	58,75	219,9035899	220	12925	15510	0,397	22,53546252
465	1382,702439	40	34,56756099	739,5176391	3	66,66666667	246,5058797	300	20000	24000	0,445	22,57372899
462	1798,451534	39	46,11414189	961,8747999	4	48,75	240,4687	260	12675	15210	0,434	21,54745381
461	916,0924126	23	39,8301049	489,9582722	2	57,5	244,9791361	300	17250	20700	0,442	22,102648
460	885,4048031	23	38,49586101	473,5454651	2	57,5	236,7727325	260	14950	17940	0,427	22,22151729
459	885,0988116	23	38,48255703	473,3818101	2	57,5	226,690905	260	14950	17940	0,427	22,22270442
458	1058,394993	23	46,01717362	566,0666708	2	57,5	283,0333354	300	17250	20700	0,511	21,55596622
446	1858,13718	37	50,21992378	993,7967717	4	46,25	248,4491929	300	13875	16650	0,449	21,18847325
445	1980,606868	44	45,01379245	1059,297845	4	55	264,8244613	300	16500	19800	0,478	21,64414505
444	1963,95652	44	44,63537545	1050,392657	4	55	262,5981642	300	16500	19800	0,474	21,6774472
443	1888,200427	44	42,91364606	1009,875648	4	55	252,4689119	300	16500	19800	0,456	21,82929377
450	1862,512716	36	51,73646434	996,1369616	4	45	249,0342404	300	13500	16200	0,45	21,05656313
449	1912,930796	42	45,54597133	1023,102314	4	52,5	255,7755786	300	15750	18900	0,462	21,59735427
Aule												
418	1516,618489	73	20,77559575	811,1406278	4	91,25	202,785157	200	18250	21900	0,366	23,84321007
419	623,4126339	71	8,780459633	333,422887	3	118,3333333	111,1409623	72	8520	10224	0,201	25,01423157
420	569,1549523	75	7,588732697	304,4039807	3	125	101,4679936	72	9000	10800	0,183	25,13665214
421	497,9380761	92	5,412370392	266,3147037	3	153,3333333	88,7715679	50	7666,66667	9200	0,16	25,36503781
423	444,6378294	108	4,117016938	237,807867	3	180	79,26928901	50	9000	10800	0,143	25,50484239
424	1180,065712	135	8,741227494	631,1404278	5	135	126,2280856	105	14175	17010	0,228	25,0182365
405	1136,618885	90	12,62909872	607,9035448	4	112,5	151,9758862	120	13500	16200	0,274	24,62823553
406	834,1242032	82	10,17224638	446,1188061	3	136,6666667	148,7062687	120	16400	19680	0,268	24,87315166
407	717,7153339	71	10,10866667	383,8592702	3	118,3333333	127,9530901	105	12425	14910	0,231	24,87955635
425	5376,70801	70	76,81011443	2875,65155	9	38,88888889	319,5168389	420	16333,33333	19600	0,577	18,91974843
408	1510,947317	63	23,98329074	808,1074863	4	78,75	202,0268716	200	15750	18900	0,365	23,54249466
440	3374,671625	118	28,59891208	1804,89245	8	73,75	225,6115562	240	17700	21240	0,407	23,11606111
439	1309,235678	109	12,01133649	700,2250446	4	136,25	175,0562612	140	19075	22890	0,316	24,68937449
438	758,461492	92	8,244146652	405,6517411	3	153,3333333	135,217247	110	16866,66667	20240	0,244	25,06912432
437	2904,193639	91	31,91421582	1553,264363	7	65	221,894909	220	14300	17160	0,401	22,81367337

Tabella 2.24. Parametri dimensionamento e verifica pavimenti radianti, edificio 4.

Edificio 4												
Piano 1	Carico sens. [W]	Sup. [m ²]	Resa [W/m ²]	Portata [l/h]	N° Circ.	L Circ. [m]	Portata Circ. [l/h]	ΔP _{unit.} [Pa/m]	ΔP _{dist.} [Pa]	ΔP _{tot.} [Pa]	v [m/s]	T _{sup.} [°C]
Servizi												
471	1734,810466	34,5	50,28436133	927,8373304	4	43,125	231,9593326	240	10350	12420	0,419	21,18286112
473	1298,797476	36	36,07770767	694,6423292	3	60	231,5474431	240	14400	17280	0,418	22,43791966
468	1684,398438	29	58,08270476	900,8752141	3	48,33333333	300,591738	310	14983,33333	17980	0,542	20,50824835
Laboratori												
416	1513,637579	62	24,41350935	809,5463328	4	77,5	202,3865832	200	15500	18600	0,365	23,50245132
Computer Lab												
417	1984,731323	70	28,35330462	1061,503749	5	70	212,3007497	220	15400	18480	0,383	23,13858563
436	7827,799267	133	58,85563358	4186,580907	14	47,5	299,0414934	310	14725	17670	0,54	20,44185122
448	5769,963161	92	62,71699088	3085,978163	10	46	308,5978163	400	18400	22080	0,557	20,1113125
Spazi comuni												
422	6677,621472	215	31,05870452	3571,425583	15	71,66666667	238,0950389	260	18633,33333	22360	0,43	22,89141851
435	2926,695814	86	34,03134667	1565,299313	7	61,42857143	223,6141876	220	13514,28571	16217,14286	0,404	22,62208011
441	5626,753834	116	48,50649857	3009,384805	10	58	300,9384805	310	17980	21576	0,543	21,33794559
451	2683,871264	76	35,31409558	1435,428248	6	63,33333333	239,2380414	260	16466,66667	19760	0,432	22,50652624
Sale riunione												
447	2800,339526	95	29,47725817	1497,71955	7	67,85714286	213,9599357	220	14928,57143	17914,28571	0,386	23,03565122
Piano -1	Carico sens. [W]	Sup. [m ²]	Resa [W/m ²]	Portata [l/h]	N° Circ.	L Circ. [m]	Portata Circ. [l/h]	ΔP _{unit.} [Pa/m]	ΔP _{dist.} [Pa]	ΔP _{tot.} [Pa]	v [m/s]	T _{sup.} [°C]
Uffici												
475	8437,235396	160	52,73272123	4512,528671	15	53,33333333	300,8352447	310	16533,33333	19840	0,543	20,97009955
478	5573,940737	87	64,06828434	2981,138513	10	43,5	298,1138513	310	13485	16182	0,538	19,99608184
487	732,0890474	19	38,53100249	391,546835	2	47,5	195,7734175	150	7125	8550	0,353	22,21838175
488	864,1885121	23	37,57341357	462,1982504	2	57,5	231,0991252	240	13800	16560	0,417	22,30391768
490	734,0889726	19	38,63626172	392,616465	2	47,5	196,3082325	150	7125	8550	0,354	22,20899141
489	993,8799901	24	41,41166626	531,5617901	2	60	265,7808951	300	18000	21600	0,48	21,96221211
486	885,116219	17	52,06565994	473,3911201	2	42,5	236,6955601	260	11050	13260	0,427	21,02797615
485	799,9075048	20	39,99537524	427,8185187	2	50	213,9092594	220	11000	13200	0,386	22,08794931
484	795,9187462	20	39,79593731	425,6851911	2	50	212,8425955	220	11000	13200	0,384	22,10568746
483	786,0601361	20	39,30300681	420,4124615	2	50	210,2062308	200	10000	12000	0,38	22,14956382
482	782,0472672	20	39,10236336	418,2662388	2	50	209,1331194	200	10000	12000	0,378	22,16743764
481	729,6824608	20	36,48412304	390,2597084	2	50	195,1298542	150	7500	9000	0,352	22,40145933
491	2349,886271	83	28,31188278	1256,801389	6	69,16666667	209,4668982	200	13833,33333	16600	0,378	23,14238615
492	2081,921854	87	23,93013625	1113,484645	5	87	222,6969289	220	19140	22968	0,402	23,54744661
493	2820,850851	100	28,20850851	1508,689724	7	71,42857143	215,5271034	220	15714,28571	18857,14286	0,389	23,1518731
Servizi												
535	1369,254614	28	48,90195049	732,3252716	3	46,66666667	244,1084239	300	14000	16800	0,441	21,30340594
Infermeria												
477	161,8450488	65	2,489923828	86,56039434	1	325	86,56039434	40	13000	15600	0,156	25,68652631
496	5160,386647	127	40,63296573	2759,955318	10	63,5	275,9955318	300	19050	22860	0,498	22,03129527
Edificio 5												
Piano 0	Carico sens. [W]	Sup. [m ²]	Resa [W/m ²]	Portata [l/h]	N° Circ.	L Circ. [m]	Portata Circ. [l/h]	ΔP _{unit.} [Pa/m]	ΔP _{dist.} [Pa]	ΔP _{tot.} [Pa]	v [m/s]	T _{sup.} [°C]
Uffici												
516	1172,842912	20	58,64214558	627,2774216	2	50	313,6387108	410	20500	24600	0,566	20,46018257
513	392,3913767	20	19,61956884	209,8646363	1	100	209,8646363	200	20000	24000	0,379	23,95259299
514	1203,814913	28	42,99338975	643,8423315	3	46,66666667	214,6141105	220	10266,66667	12320	0,387	21,82224877
Servizi												
518	565,9512757	36	15,72086877	302,6905423	2	90	151,3452712	120	10800	12960	0,273	24,32606767
541	1386,290413	44	31,50660029	741,4366128	4	55	185,3591532	140	7700	9240	0,335	22,85069174
542	1550,565764	23	67,4159028	829,2968181	3	38,33333333	276,4322727	300	11500	13800	0,499	19,71155623
339	2650,690677	34	77,96149051	1417,68211	5	34	283,536422	300	10200	12240	0,512	18,82332993
502	3303,196588	107	30,87099615	1766,665099	8	66,875	220,8331374	220	14712,5	17655	0,399	22,9085025
532	1226,903494	30	40,89678313	656,1909123	3	50	218,7303041	220	11000	13200	0,395	22,00787709
Negozi												
225	1856,488261	73	25,43134604	992,914872	5	73	198,5829744	150	10950	13140	0,359	23,40796747
226	1566,588583	69	22,70418237	837,8663823	4	86,25	209,4665956	200	17250	20700	0,378	23,661941
219	1487,264916	73	20,37349199	795,4413096	4	91,25	198,8603274	150	13687,5	16425	0,359	23,88119265
227	1286,245162	65	19,78838711	687,9289126	4	81,25	171,9822281	140	11375	13650	0,31	23,9365837
228	1482,417887	74	20,03267415	792,8489491	4	92,5	198,2122373	150	13875	16650	0,358	23,91343953
229	1544,680124	78	19,80359133	826,1489717	4	97,5	206,5372429	200	19500	23400	0,373	23,93514247
230	1247,500548	64	19,49219606	667,2069374	4	80	166,8017344	140	11200	13440	0,301	23,96468023
Libreria												
509	23147,39814	630	36,7419018	12380,03835	46	68,47826087	269,1312684	300	20543,47826	24652,17391	0,486	22,37835263
Palestra												
501	13904,21902	653	21,29283158	7436,46278	35	93,28571429	212,4703651	200	18657,14286	22388,57143	0,384	23,79445016

Tabella 2.25. Parametri dimensionamento e verifica pavimenti radianti, edifici 4 e 5.

2.3.2 Ventilconvettori

I ventilconvettori sono dei terminali dell'impianto di climatizzazione equipaggiati di batteria per lo scambio termico tra acqua e aria. I ventilconvettori sono inoltre forniti di un ventilatore, un filtro per l'aria e una vaschetta di raccolta condensa. Tramite la batteria alettata l'acqua scambia calore con l'aria. Il ventilatore preleva l'aria dall'ambiente. Quest'aria viene filtrata, scambia calore con la batteria e viene reimpressa in ambiente. I ventilconvettori riescono a garantire un buon livello di confort producendo un flusso di aria forzato che investe l'intero ambiente e produce un ricircolo attivo d'aria. In questo modo si evitano stratificazioni e zone stagnanti. La presenza di un filtro sulla ripresa dell'apparecchiatura garantisce una maggiore qualità dell'aria, trattenendo le polveri e le impurità.

I modelli scelti sono prodotti dalla casa produttrice "Ventilclima". La scelta dei modelli dipenderà dal carico sensibile da bilanciare in ogni locale. In base al modello scelto viene fornita da catalogo [14] la portata di acqua necessaria e le perdite di carico che il fluido incontra attraversando la batteria. L'acqua di alimentazione alla batteria subirà un salto di temperatura da 7 °C a 12 °C. Seguono quindi le tabelle riepilogative.

Edificio 2		Piano 0				
Uffici	Carico sensibile [W]	Modello	Portata [l/h]	ΔP [kPa]	Potenza frigorifera sensibile [W]	
241	1806,183839	60-3	458	7,9	1900	
242	1628,934093	50-3	390	11,7	1680	
243	1594,331805	50-3	390	11,7	1680	
244	1420,800622	50-3	390	11,7	1680	
245	743,529964	20-3	200	6,7	840	
246	599,7855621	10-4	149	3,1	650	
247	697,1783135	20-2	168	5	710	
248	686,7070556	20-2	168	5	710	
249	709,530943	20-2	168	5	710	
251	1630,20059	50-3	390	11,7	1680	
252	1563,723615	50-3	390	11,7	1680	
253	743,0574884	20-3	200	6,7	840	
254	600,1662651	10-4	149	3,1	650	
Edificio 3		Piano 0				
Uffici	Carico sensibile [W]	Modello	Portata [l/h]	ΔP [kPa]	Potenza frigorifera sensibile [W]	
401	330,9631833	10-1	99	1,5	390	
382	1182,968255	20-5	295	13,3	1270	
381	1457,406046	50-3	390	11,7	1680	
384	1512,032233	50-3	390	11,7	1680	
385	1520,941571	50-3	390	11,7	1680	
402	2965,184641	80-4	729	10,7	3220	
309	1412,60057	50-3	390	11,7	1680	
310	1409,130229	50-3	390	11,7	1680	
311	1418,362111	50-3	390	11,7	1680	
312	2232,821658	60-4	549	10,8	2290	
314	2681,433684	70-4	659	9	2780	

Tabella 2.26. Parametri dei ventilconvettori, edifici 2 e 3.

Edificio 3 Piano 1					
Uffici	Carico sensibile [W]	Modello	Portata [l/h]	ΔP [kPa]	Potenza frigorifera sensibile [W]
449	985,4783385	30-2	255	12,6	1070
448	239,1720627	10-1	99	1,5	390
447	221,808238	10-1	99	1,5	390
453	1750,351501	60-3	458	7,9	1900
454	1768,808816	60-3	458	7,9	1900
455	1772,573022	60-3	458	7,9	1900
456	1777,19334	60-3	458	7,9	1900
457	2616,086381	70-4	659	9	2780
434	1882,732073	60-3	458	7,9	1900
433	1395,520921	50-3	390	11,7	1680
432	1335,352047	40-3	336	7,8	1390
431	1377,733574	40-3	336	7,8	1390
430	1376,561218	40-3	336	7,8	1390
452	218,0850757	10-1	99	1,5	390
451	186,3702791	10-1	99	1,5	390
450	1752,337704	60-3	458	7,9	1900
Edificio 4 Piano 0					
Uffici	Carico sensibile [W]	Modello	Portata [l/h]	ΔP [kPa]	Potenza frigorifera sensibile [W]
391	1001,241849	30-2	255	12,6	1070
392	1432,476713	50-3	390	11,7	1680
393	1902,557656	60-4	549	10,8	2290
394	2262,567807	60-4	549	10,8	2290
401	2251,659316	60-4	549	10,8	2290
390	2238,287314	60-4	549	10,8	2290
389	2242,117377	60-4	549	10,8	2290
388	2249,253629	60-4	549	10,8	2290
387	2237,248023	60-4	549	10,8	2290
396	1376,786073	40-3	336	7,8	1390
379	1298,995468	40-3	336	7,8	1390
378	1085,842415	40-3	336	7,8	1390
380	3985,297723	60-4 x2	549	10,8	2290
Piano 1					
Uffici	Carico sensibile [W]	Modello	Portata [l/h]	ΔP [kPa]	Potenza frigorifera sensibile [W]
409	1731,810639	60-3	458	7,9	1900
410	2051,299421	60-4	549	10,8	2290
411	2204,841042	60-4	549	10,8	2290
412	2450,380643	80-3	595	7,5	2590
413	2354,9737	80-3	595	7,5	2590
414	2339,647465	80-3	595	7,5	2590
415	2315,132121	80-3	595	7,5	2590

Tabella 2.27. Parametri dei ventilconvettori, edifici 3 e 4.

CAPITOLO III

Apparecchiature per la produzione di fluido termovettore

In questo capitolo si parlerà delle apparecchiature dedicate alla produzione di fluido termovettore per l'alimentazione dei terminali dell'impianto idronico e per l'alimentazione delle batterie delle unità di trattamento aria. L'impianto richiede principalmente fluido termovettore freddo per alimentare i terminali idronici e le batterie di raffreddamento e deumidificazione delle UTA. Vi sarà anche una piccola richiesta di fluido termovettore caldo per alimentare le batterie di post-riscaldamento delle UTA. L'analisi sulla scelta delle apparecchiature dovrà quindi tenere conto delle potenze richieste, delle temperature in gioco e delle condizioni esterne, che condizioneranno molto l'efficienza delle apparecchiature stesse.

UTA	Batteria Fredda [kW]	Batteria Calda [kW]	Terminali Idronici	Pavimento radiante [kW]	Fan Coil [kW]
Edificio 1	135	20	Edificio 1	42	
Edificio 2	273	34	Edificio 2	97	21
Edificio 3	283	39	Edificio 3	95	59
Edificio 4	289	33	Edificio 4	229	58
Edificio 4	310	31	Edificio 5	76	
Edificio 5	279	27			
Auditorium	180	8			
Tot	1749	192		539	138

Tabella 3.1. Potenze fluido termovettore richieste per edificio.

La tabella 3.1 mostra le effettive potenze richieste per edificio. Grazie a questi valori si possono scegliere le taglie delle apparecchiature di produzione del fluido termovettore. La tabella divide la potenza richiesta in base alla destinazione del fluido vettore, verso le batterie UTA o verso i terminali idronici. Infatti, un altro parametro da tenere in considerazione nella scelta delle apparecchiature è la temperatura di mandata del fluido termovettore, nonché il salto termico che subirà nel terminale. Le batterie fredde delle UTA sono dimensionate per avere acqua in ingresso alla temperatura di 6 °C e in uscita a 12 °C. Le batterie calde delle UTA sono state dimensionate per avere una temperatura dell'acqua in entrata di 60 °C e in uscita di 50 °C. Di solito le temperature di ingresso alle batterie calde sono maggiori ma nel nostro caso, viste le piccole potenze necessarie, è stato possibile ridurre la temperatura in ingresso alla batteria in modo da rendere compatibili più tipologie di apparecchiature. Per quanto riguarda l'alimentazione dei pannelli radianti a pavimento la temperatura di ingresso è di 15 °C con un salto di 2 °C tra ingresso e uscita. Per i fan coil la temperatura di ingresso è di 7 °C e quella di uscita 12 °C. Grazie alle caratteristiche elencate si può valutare la miglior tipologia di apparecchiatura, tenendo conto delle condizioni ambientali esterne della nostra località.

3.1 Tecnologia a ciclo inverso a compressione di vapore

Tra le varie apparecchiature per la produzione di fluido termovettore a bassa temperatura, la tecnologia più diffusa ed efficiente è quella che sfrutta il ciclo inverso a compressione di vapore. Queste apparecchiature sfruttano un ciclo termodinamico inverso a due livelli di pressione. La tecnologia di queste apparecchiature è basata sullo scambio di calore latente del refrigerante che, messo nelle condizioni di evaporare o condensare a temperature diverse, è in grado di assorbire calore dal lato dell'evaporatore e rilasciarlo dal lato del condensatore. Per far questo, un lavoro di compressione sarà applicato al fluido refrigerante per passare dal livello di pressione dell'evaporazione a quello della condensazione. Il ciclo inverso a compressione può essere descritto dalla figura seguente.

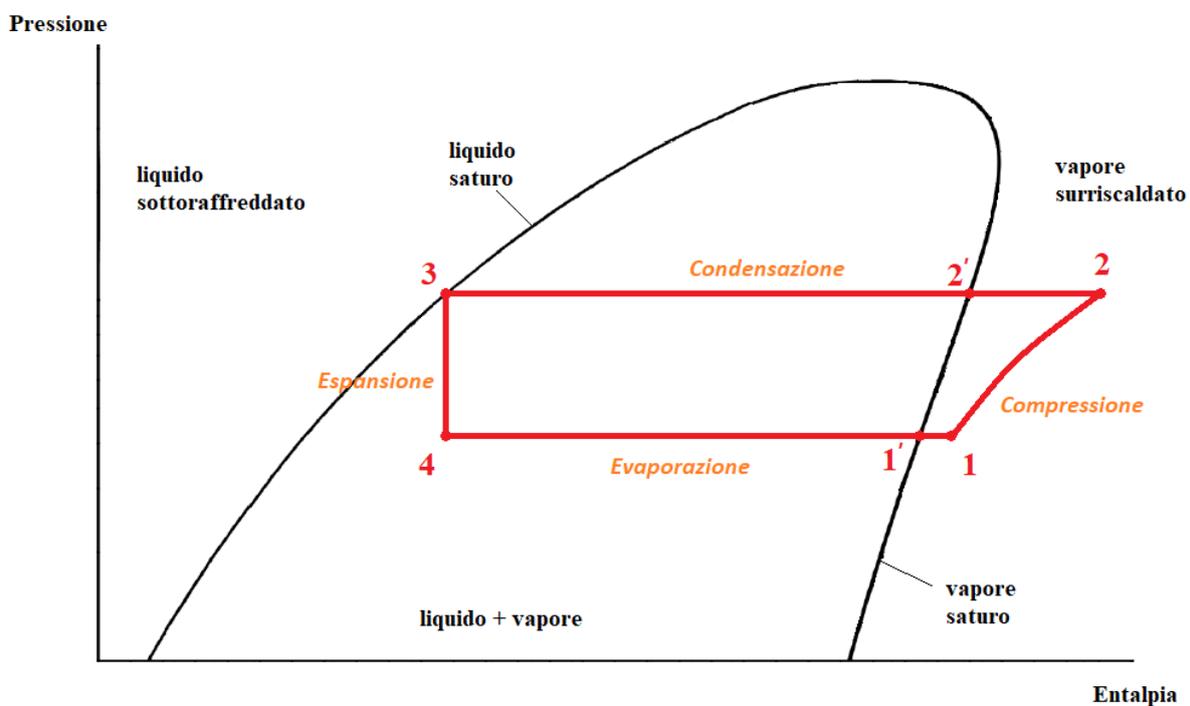


Figura 3.1. Esempio di ciclo inverso a compressione di vapore.

Come si può notare dal grafico, il ciclo inverso a compressione di vapore è composto da quattro fasi:

1 → 2 – *Compressione politropica*: il compressore porta il refrigerante dalle condizioni di pressione dell'evaporazione a quelle della condensazione. Generalmente il punto 1 non si trova sulla curva del vapore saturo per evitare la presenza di liquido nel compressore. Per questo motivo il vapore viene surriscaldato dalla condizione 1' (vapore saturo) alla condizione 1 (vapore surriscaldato). Nel caso delle macchine frigorifere la condensazione deve avvenire ad una temperatura maggiore di quella dell'ambiente esterno, a cui si vuole cedere calore. Per alzare la temperatura di condensazione del refrigerante sono necessari livelli adeguati di compressione.

2 → 3 – *Condensazione*: in questa fase il refrigerante passa attraverso un condensatore e, dopo una prima fase di desurriscaldamento (2 → 2'), inizia la condensazione cedendo calore. All'uscita del condensatore il refrigerante sarà in condizioni di liquido saturo. Per aumentare l'effetto utile si può ricorrere al sottoraffreddamento del refrigerante dalle condizioni di liquido saturo a quelle di liquido sottoraffreddato.

3 → 4 – *Espansione isoentalpica*: il refrigerante passa attraverso una valvola di laminazione. Le cadute di pressione all'interno della valvola permettono al fluido, sfruttando l'effetto di Joule-Thompson, di espandersi riducendo la sua temperatura e pressione.

4 → 1 – *Evaporazione*: il refrigerante passa attraverso l'evaporatore e assorbe calore evaporando. Questa fase rappresenta l'effetto utile per i frigoriferi. La temperatura a cui deve avvenire l'evaporazione deve essere inferiore rispetto a quella del fluido a cui si vuole sottrarre calore.

A queste quattro fasi corrispondono altrettanti componenti, progettati in base alle varie condizioni in cui le trasformazioni devono essere ottenute. Lo schema seguente rappresenta i componenti e i flussi di calore e lavoro coinvolti.

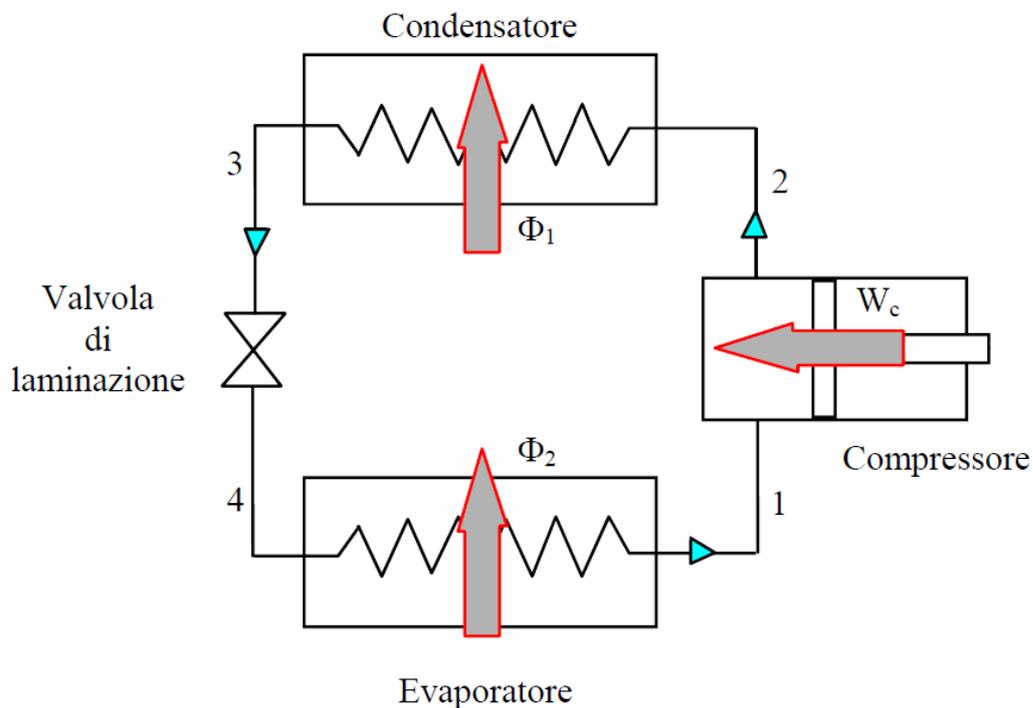


Figura 3.2. Schema macchina a ciclo inverso a compressione di vapore.

Come si può notare dallo schema, i componenti principali che compongono una macchina frigorifera che lavora con ciclo inverso a compressione di vapore sono quattro:

- *Compressore*: è l'apparecchiatura che fornisce il lavoro di compressione al refrigerante. Il compressore rappresenta il componente più dispendioso del sistema in termini di consumo energetico. Per questo motivo il tipo di compressore deve essere scelto con accuratezza tra le varie tipologie disponibili.
- *Condensatore*: è il componente attraverso il quale il refrigerante cede calore condensando. Generalmente può essere raffreddato ad aria, evaporativo o raffreddato ad acqua. Nella nostra applicazione questo componente è particolarmente importante in quanto deve essere in grado di cedere una grande quantità di calore verso l'ambiente esterno, il quale si trova ad una temperatura elevata.
- *Valvola di laminazione isoentalpica*: questo componente permette di laminare il refrigerante portandolo alle condizioni di pressione e temperatura dell'evaporazione. Questo processo non richiede alcun lavoro poiché sfrutta l'effetto di Joule-Thompson.
- *Evaporatore*: è lo scambiatore di calore che permette al refrigerante, evaporando, di sottrarre calore a un altro fluido termovettore o ad un ambiente. Nelle macchine frigorifere questo processo rappresenta l'effetto utile.

Un'altra considerazione da fare riguarda il refrigerante, il quale può essere naturale o artificiale ma deve soddisfare vari requisiti. Il refrigerante deve essere stabile e inerte, per evitare che altri componenti del ciclo possano essere aggrediti chimicamente. Non deve essere infiammabile o tossico e, in generale, non deve essere dannoso per le persone o inquinante per l'ambiente. Per quanto riguarda le caratteristiche di lavoro, il refrigerante deve potere mantenere una pressione maggiore di quella atmosferica nel suo campo di lavoro per evitare l'ingresso di aria nel sistema. La pressione di condensazione non deve essere troppo elevata per evitare grandi consumi di energia di compressione.

L'acqua può essere esclusa come refrigerante in quanto, nonostante non sia tossica o inquinante, non può mantenersi allo stato liquido sotto gli 0 °C. Inoltre, presenta una temperatura di evaporazione troppo elevata e un dislivello troppo grande tra temperatura di evaporazione e di condensazione. Le normali macchine frigorifere, invece, lavorano con un dislivello di temperatura di circa 20 - 30 °C e con temperature minime di poco sotto lo zero.

Tra i refrigeranti naturali si può citare l'ammoniaca (NH₃), la quale è molto economica ma risulta irritante per le vie respiratorie ed esplosiva se miscelata con piccole quantità d'acqua. Generalmente è utilizzata solo in grandi impianti o quando la macchina frigorifera è posizionata all'esterno delle abitazioni. I refrigeranti artificiali sono la soluzione più utilizzata grazie alle migliori proprietà fisiche e alla facilità di produzione. Ad oggi, i refrigeranti artificiali più utilizzati sono gli idrofluorocarburi sintetici, come l'R-134a (tetrafluoroetano, F₃C-CH₂-F). Clorofluorocarburi come il Freon hanno efficienze superiori rispetto all'R-134a ma sono stati vietati a causa della loro capacità di intaccare lo strato di ozono e di favorire l'effetto serra.

I seguenti sotto paragrafi analizzano nel dettaglio i vari componenti per valutare quali tipologie risultano più adatte alla nostra applicazione.

3.1.1 Compressore

Il compressore svolge il compito di portare il refrigerante dalla pressione in cui avviene l'evaporazione a quella in cui avviene la condensazione. L'aumento di pressione comporta nel refrigerante un aumento di temperatura. Il compressore rappresenta la voce più importante per quanto riguarda la spesa elettrica dell'impianto e, per questo, deve essere scelto con accuratezza tra le varie tipologie disponibili. Il dimensionamento del compressore sarà dipendente dalla portata di refrigerante e dalle condizioni in cui la macchina frigorifera dovrà lavorare. Le condizioni di evaporazione e condensazione influenzano il lavoro di compressione che il componente dovrà applicare al refrigerante e conseguentemente i suoi consumi. Generalmente il compressore deve essere dotato di inverter per potere funzionare con buona efficienza anche a carichi parziali, seguendo il profilo temporale richiesto. I compressori generalmente utilizzati per queste applicazioni sono i compressori rotativi. Le principali tipologie sono a palette, a spirale, a vite o centrifughi.

- Compressori rotativi a palette: sono compressori volumetrici rotanti composti da un involucro cilindrico in cui viene posizionato eccentricamente un rotore con palette. Le palette entrano in contatto con l'involucro durante la rotazione per effetto della forza centrifuga. In questo modo il fluido in aspirazione viene indotto verso volumi progressivamente inferiori. Questi compressori sono caratterizzati da uno spazio morto trascurabile e non presentano valvole. A causa dell'elevato attrito tra le palette e l'involucro, questi compressori richiedono un'alta necessità di lubrificazione. Questo causa la contaminazione del gas in compressione, il quale necessiterà di una successiva filtrazione. Solitamente questa soluzione è più conveniente per macchine frigorifere di piccola taglia, mentre risulta sconveniente, a causa del basso rapporto di compressione, per applicazioni superiori a 50 kW.

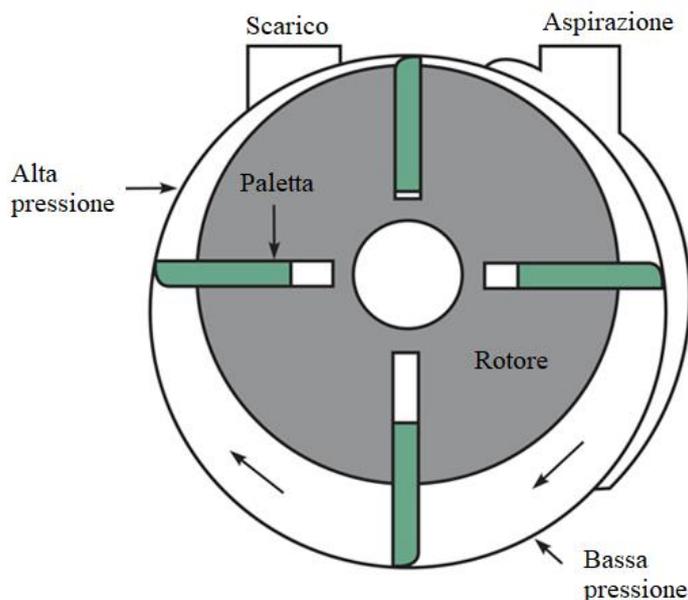


Figura 3.3. Schema compressore rotativo a palette [15].

- Compressori centrifughi: sono costituiti da un involucro che contiene una parte rotoria, la girante, e una parte statorica, il diffusore. La girante consiste in un disco palettato che ruota ad alta velocità, imprimendo una certa forza centrifuga al fluido che viene aspirato dal centro della girante e accelerato radialmente, incrementando la sua pressione statica. In uscita dalla girante, il fluido viene convogliato nel diffusore a canali divergenti, dove l'energia cinetica viene convertita in energia di pressione. Per quanto riguarda la nostra applicazione, questi compressori sono adatti a fornire alti livelli di portata ma presentano rapporti di compressione non elevati. Per questo motivo possono essere impiegati per sistemi che forniscono una grande potenza frigorifera, ma non in condizioni esterne troppo rigide come quelle del nostro caso. Utilizzare più compressori centrifughi in serie può essere una soluzione per adattare questi compressori a condizioni esterne più rigide.

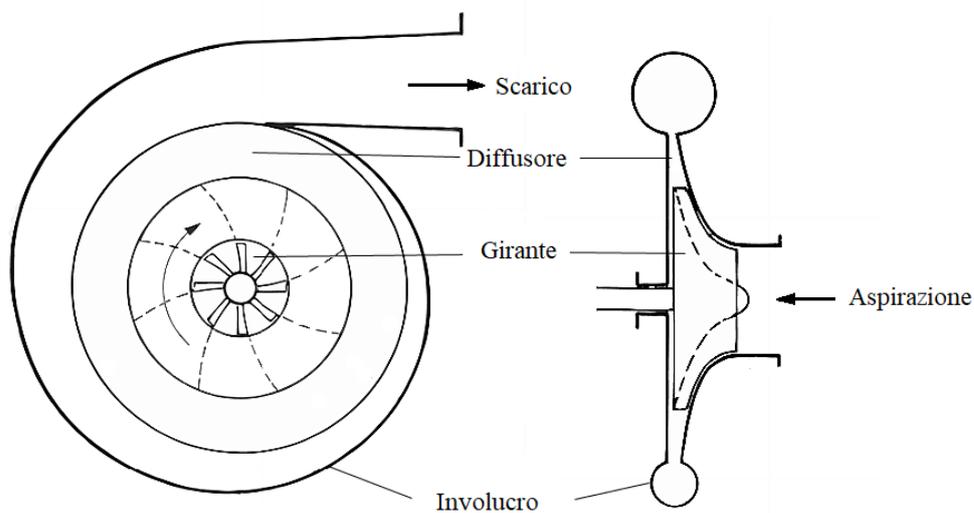


Figura 3.4. Schema compressore centrifugo [16].

- Compressori a spirale: sono caratterizzati dalla presenza di due alette a spirale accoppiate tra di loro. Una delle due spirali è fissa mentre l'altra compie un movimento orbitale rispetto alla prima. Questo movimento orbitale provoca l'aspirazione del gas e il suo convogliamento verso il centro delle spirali. In questo modo si crea una pressione sempre maggiore. Il gas compresso viene scaricato dalla luce situata nella spirale fissa. I compressori a spirale sono silenziosi e non richiedono lubrificazione. Per contro, non presentano una alta capacità di portata e la temperatura raggiunge temperature maggiori rispetto ad altri compressori. L'utilizzo di questa tipologia di compressori è conveniente per refrigeratori di taglia media mentre vi sono perdite di efficienza per taglie grandi, dovute alla perdita di gas tra le due spirali. Inoltre, non sono adatti al funzionamento a carichi parziali con condizioni inferiori a quelle nominali.



Figura 3.5. Schema funzionamento compressore a spirale [17].

- Compressori a vite: sono costituiti da due viti a passo inverso e di diametro differente che si accoppiano l'una con l'altra. La loro rotazione comprime il fluido spostandolo verso volumi inferiori. La semplice meccanica del compressore garantisce un moto continuo che può essere modulato fino al 25% del funzionamento a potenza nominale senza risultare sveniente. La tipologia di compressore risulta quindi adatta al funzionamento a carichi parziali. Il rendimento meccanico superiore rispetto ai compressori alternativi rende questa tipologia preferibile per applicazioni medio-grandi. Inoltre, esistono configurazioni "oil-free" che non richiedono lubrificazione.

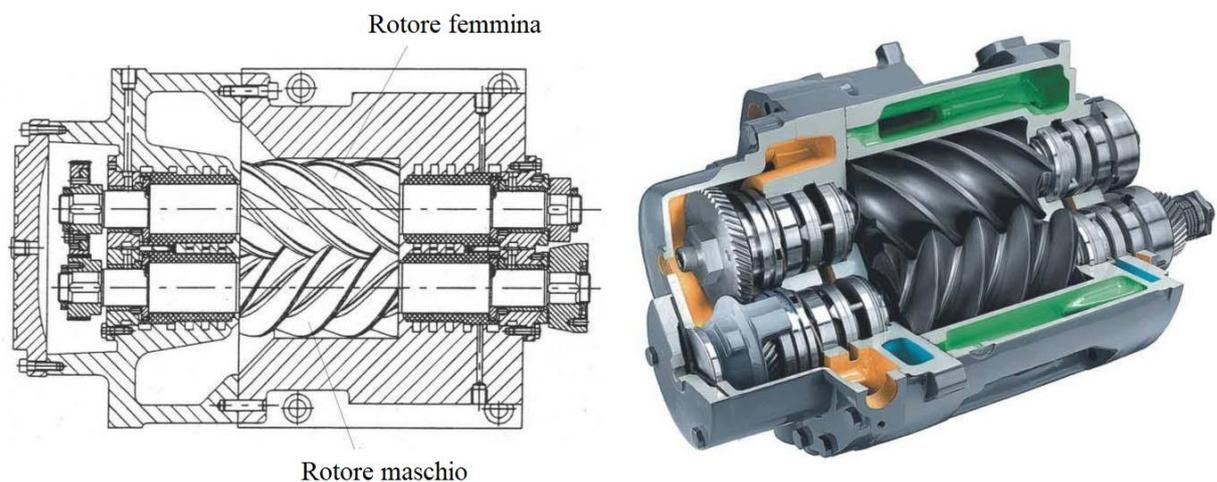


Figura 3.6. Schema compressore a vite [18].

I refrigeratori che rispettano le richieste della nostra applicazione sono normalmente dotati di compressori a vite. Infatti, i compressori a vite sono i più adatti a grandi taglie e presentano la possibilità di lavoro a carichi parziali. Anche i compressori a spirale possono essere adatti a queste applicazioni mentre i compressori centrifughi e a palette non sono adatti per grandi taglie.

3.1.2 Condensatore

Il condensatore è l'elemento che deve essere in grado di cedere calore all'ambiente esterno durante la condensazione del refrigerante. In particolare, nella nostra applicazione, dove l'ambiente esterno può trovarsi a temperature elevate, le valutazioni su questo componente devono essere accurate. La tipologia stessa del refrigeratore dipende dalla tipologia di condensatore utilizzato. Le principali soluzioni sono refrigeratori raffreddati ad aria, refrigeratori con condensatore evaporativo e refrigeratori raffreddati ad acqua. Nel primo caso il condensatore dovrà cedere calore direttamente all'aria ambiente.

I condensatori evaporativi scambiano calore con l'aria come per la tipologia precedente ma, in più, presentano una serie di ugelli che mantengono costantemente bagnato il fascio di tubi contenente il refrigerante. In questo modo lo scambio termico sarà incrementato e parte dell'acqua presente sul fascio di tubi evaporerà, sottraendo calore al refrigerante. La parte dell'acqua non evaporata viene raccolta e rimessa in circolo.

Un'altra soluzione è quella di sottrarre calore al refrigerante in condensazione attraverso lo scambio termico con l'acqua. In seguito, l'acqua viene raffreddata scambiando calore con l'aria tramite componenti quali le torri di raffreddamento. In questo modo la cessione di calore del refrigerante sarà meno dipendente dalle condizioni di temperatura esterna.

Le ultime due soluzioni risultano interessanti per la nostra applicazione in quanto permettono di sottrarre calore più facilmente al refrigerante in condensazione, nonostante le condizioni climatiche esterne. Tuttavia, la zona climatica della località considerata è caratterizzata da una bassa disponibilità d'acqua. Per questo motivo, nelle applicazioni mediorientali sono prevalentemente utilizzati i refrigeratori raffreddati ad aria. Dato il basso costo dei combustibili e dell'elettricità, in queste località si preferisce utilizzare refrigeratori che non consumano acqua, anche se questa soluzione risulta più energivora.

La scelta per la nostra applicazione sarà quella di utilizzare refrigeratori raffreddati ad aria. In questa tipologia di refrigeratori il condensatore è costituito da uno scambiatore di calore in cui il refrigerante passa attraverso un fascio di tubi di alcuni millimetri di diametro. Generalmente questi tubi sono alettati per aumentare la superficie di scambio termico con l'aria. L'aria entra solitamente nei condensatori dal basso o lateralmente. Per evitare che l'aria ostruisca lo spazio tra le alette, riducendo lo scambio termico con le stesse, di solito sono presenti dei filtri grossolani. Il moto dell'aria è normalmente in convezione forzata grazie all'utilizzo di ventilatori posti sulla parte superiore del condensatore. La convezione forzata è essenziale per ottenere i livelli di scambio termico necessari. Di solito i ventilatori possono lavorare a velocità variabile in modo da seguire meglio l'andamento della potenza richiesta.

Bisogna considerare che, specialmente con la scelta di refrigeratori raffreddati ad aria, la temperatura esterna influenzerà l'efficienza della macchina. Il condensatore infatti, per potere cedere la quantità necessaria di calore all'ambiente, ha bisogno che vi sia una sufficiente differenza di temperatura tra il refrigerante e l'ambiente esterno. Più la temperatura esterna è elevata e più questa differenza sarà piccola. Per ovviare a questo problema è necessario incrementare la temperatura di condensazione del refrigerante, richiedendo un maggiore lavoro

di compressione. Da una parte quindi sarà necessario compiere più lavoro lato compressore, dall'altra il salto utile di entalpia si riduce. Di conseguenza l'efficienza del refrigeratore si riduce. Una soluzione è quella di sovradimensionare lo scambiatore del condensatore in modo da avere una superficie di scambio termico maggiore. Il condensatore occupa la maggior parte del volume del refrigeratore proprio perché deve garantire adeguate superfici di scambio termico. Dato il picco di temperatura di 40 °C per la nostra località, il refrigeratore scelto deve essere in grado di garantire una temperatura di condensazione del refrigerante di almeno 50 °C, mantenendo valori accettabili di efficienza.

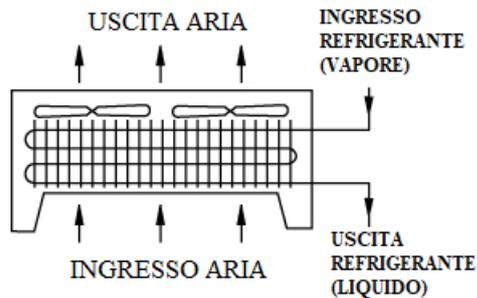


Figura 3.7. Schema condensatore raffreddato ad aria [19].

3.1.3 Evaporatore

L'evaporatore è il componente che realizza l'effetto utile del refrigeratore in quanto sottrae calore da un altro fluido termovettore sfruttando il calore latente di evaporazione del refrigerante. Le dimensioni dell'evaporatore dipendono dalla quantità di calore che deve essere sottratto e dalla temperatura a cui si deve portare il fluido termovettore in uscita dallo scambiatore. Nella nostra applicazione le unità di trattamento aria richiedono fluido termovettore a 6 °C. Le principali categorie di evaporatore sono gli evaporatori ad espansione diretta e gli evaporatori sommersi.

- Negli *evaporatori a espansione diretta o a secco*, il refrigerante entra nell'evaporatore tramite una valvola di espansione e viene forzato attraverso lo scambiatore di calore. Il refrigerante evapora prima di raggiungere la fine della serpentina dell'evaporatore, senza che vi sia una sezione fissa di separazione liquido-vapore. Vi è sempre almeno il 20 % di vapore all'interno serpentina dell'evaporatore. La quantità di liquido sarà maggiore in condizioni di carico maggiori. Il vapore viene prelevato in condizioni di surriscaldamento per evitare la presenza di liquido nel compressore. Questa tipologia di evaporatore è la più semplice e può essere utilizzata per refrigeratori di taglia media, soprattutto nelle applicazioni in cui il refrigerante scambia calore direttamente con l'aria ambiente.
- Negli *evaporatori sommersi* viene mantenuto in un serbatoio l'equilibrio termodinamico tra il refrigerante in fase liquido e in fase vapore. Le due fasi sono separate da una superficie libera che determina il livello del fluido. Il livello di refrigerante viene mantenuto costante

nel serbatoio da una apposita valvola. In questi evaporatori è fornito un ricircolo continuo di refrigerante. Il refrigerante arriva nel serbatoio, dove sono presenti le due fasi, tramite una valvola di espansione e inizia a scendere a causa della sua densità maggiore. Dal fondo della tubazione il fluido inizia a risalire la serpentina riscaldandosi e subendo una parziale evaporazione fino a ritornare nella camera di separazione. A questo punto, il vapore sale verso l'alto mentre il refrigerante liquido ritorna in circolo. Gli evaporatori sommersi sono utilizzati nei refrigeratori di grossa taglia perché garantiscono migliori prestazioni, contenendo liquido alla temperatura di saturazione. Inoltre, hanno anche una possibilità di regolazione variando il grado di evaporazione del fluido in circolo. Per contro, richiedono una maggiore carica di refrigerante e sono più ingombranti.

Di conseguenza, per la nostra applicazione risulta più adatto un refrigeratore dotato di evaporatore sommerso, in quanto questa tecnologia riesce a soddisfare meglio le grandi richieste di potenza frigorifera.



Figura 3.8. Schema evaporatore ad espansione diretta (sinistra) e sommerso (destra) [20].

3.2 Scelta delle apparecchiature

Il ciclo inverso a compressione di vapore può essere utilizzato per la produzione di freddo, nel caso dei refrigeratori, o per la produzione di caldo, nel caso delle pompe di calore. Nell'applicazione delle pompe di calore l'effetto utile sarà dato dal tratto di condensazione in cui viene ceduto calore ad un altro fluido termovettore.

In base alle caratteristiche dei vari componenti viste in precedenza, alle richieste di fluido termovettore caldo e freddo della struttura (tabella 3.1) e ai limiti dettati dalle condizioni esterne, si possono scegliere le apparecchiature più adatte alla nostra applicazione.

3.2.1 Refrigeratori

Il refrigeratore raffreddato ad aria scelto per la nostra applicazione è realizzato dalla casa produttrice Carrier. Il modello è 30XA 252-1702, della serie AquaForce. Questo modello è capace di fornire, per la sua taglia più grande, una potenza frigorifera nominale di 1700 kW. Questa unità è in grado di fornire prestazioni ad alta efficienza anche con temperature esterne elevate superiori al nostro valore di picco di 40 °C. L'unità è dotata di compressori a vite modulanti ed evaporatori sommersi ad alta efficienza, coerentemente con quanto detto nei paragrafi precedenti. Il refrigerante utilizzato è l'R134a. Questa unità garantisce una temperatura dell'acqua in uscita dall'evaporatore compresa tra -12 °C e 15 °C, che rispetta le nostre necessità. Tutte le informazioni a riguardo possono essere lette dalla scheda tecnica allegata [21].



Figura 3.9. Refrigeratore raffreddato ad aria AquaForce, 30XA 252-1702 [21].

La necessità di fluido freddo per la nostra applicazione è di 1749 kW per le batterie di raffreddamento e deumidificazione delle UTA, 138 kW per i ventilconvettori e 539 kW per i pavimenti radianti. Ogni edificio è dotato del proprio refrigeratore, collocato sul tetto. Il refrigeratore alimenta il collettore primario alla temperatura minima, ossia la temperatura di 6 °C di alimentazione della batteria fredda dell'UTA. Dal collettore primario sono alimentati la batteria di raffreddamento dell'UTA e i vari collettori secondari dell'impianto ad acqua. Per l'alimentazione dei collettori secondari di distribuzione dell'acqua verso i pannelli radianti e verso i ventilconvettori, a temperatura superiore rispetto alla minima, si utilizzano le valvole di miscelazione a tre vie poste a valle del collettore primario e a monte delle pompe di mandata.

La tabella seguente mostra la taglia di refrigeratore scelta per ogni edificio:

Edificio	Taglia refrigeratore	Potenza frigorifera nominale [kW]
Edificio 1	30XA 252	274
Edificio 2	30XA 452	451
Edificio 3	30XA 452	451
Edificio 4	30XA 1002	1000
Edificio 5	30XA 452	451
Auditorium	30XA 252	274

Tabella 3.2. Taglie di refrigeratore scelte per ogni edificio.

3.2.2 Pompe di calore ad alta temperatura

Il funzionamento delle pompe di calore si basa sempre sul ciclo inverso a compressione di vapore ma l'effetto utile si ottiene al condensatore, dove viene ceduto calore ad un secondo fluido termovettore, generalmente acqua. La richiesta di fluido caldo è dovuta alle batterie di post-riscaldamento delle UTA, per una potenza di 192 kW. La temperatura di alimentazione delle batterie di post-riscaldamento è di solito abbastanza alta. Nel nostro caso le batterie sono state dimensionate con una temperatura di alimentazione di 60 °C. Per fornire la potenza necessaria e garantire una temperatura di mandata dell'acqua sufficiente si è scelto di utilizzare una pompa di calore ad alta temperatura. Questa apparecchiatura è sempre realizzata dalla Carrier. Il modello scelto è 61AF 022-105, appartenente alla serie AquaSnap. La taglia più grande permette di fornire una potenza di riscaldamento di 102 kW. Il refrigerante utilizzato è R-407C. Questa macchina è capace di fornire acqua a temperature fino a 65 °C, anche quando le condizioni esterne sono inferiori allo zero. L'unità è dotata di compressori a spirale a iniezione di vapore.



Figura 3.10. Pompa di calore ad alta temperatura AquaSnap, 61AF 022-105 [21].

Anche in questo caso ogni edificio è dotato della propria pompa di calore ad alta temperatura. La tabella seguente riepiloga le taglie scelte per ciascun edificio.

Edificio	Taglia pompa di calore	Potenza nominale riscaldamento [kW]
Edificio 1	61AF 022	20,8
Edificio 2	61AF 045	43,6
Edificio 3	61AF 045	43,6
Edificio 4	61AF 075	66,7
Edificio 5	61AF 035	32,2
Auditorium	61AF 014-7	14

Tabella 3.3. Taglie di pompa di calore scelte per ogni edificio.

CAPITOLO IV

Reti di distribuzione

In questo capitolo si tratterà del dimensionamento e la progettazione della rete aeraulica e della rete idronica. La rete di distribuzione aeraulica si occupa di distribuire le portate d'aria necessarie, provenienti dalle UTA, ad ogni locale. La rete idronica distribuisce le portate d'acqua necessarie, provenienti dalla apparecchiatura di produzione del fluido freddo, ad ogni terminale di emissione. Il dimensionamento e la definizione delle due reti permettono poi di dimensionare i ventilatori, per la rete aeraulica, e le pompe per la rete idronica. Un altro aspetto importante da considerare è il bilanciamento di tali reti, in modo tale che ogni locale riceva le portate richieste e non vi siano zone sfavorite.

4.1 Rete aeraulica

La rete aeraulica è l'insieme di canali, con sezione generalmente circolare o rettangolare, che distribuiscono le portate d'aria ad ogni locale. La rete aeraulica ha lo scopo di convogliare le portate d'aria dai ventilatori ai vari terminali di immissione e, in seguito, di estrarre l'aria dalle varie zone per espellerla o trattarla. Per le nostre applicazioni sono stati scelti canali in lamiera zincata con classe di rugosità "liscio" ($\epsilon = 0,09$ mm). Le unità di trattamento aria dei vari edifici sono posizionate sul tetto degli stessi. Per la mandata sono stati scelti canali circolari mentre per la ripresa, maggiormente sviluppata sul tetto, sono stati scelti canali rettangolari. Il sistema di climatizzazione a tutt'aria dell'auditorium presenta canali rettangolari sia in mandata che in ripresa. L'immissione in ambiente delle portate d'aria avviene tramite diffusori in tutti i locali eccetto gli uffici, per i quali si utilizzano valvole di ventilazione. La ripresa viene effettuata in più punti delle zone transito tramite griglie di ripresa ad alettatura fissa. La circolazione dell'aria esausta dagli ambienti di immissione alle griglie di ripresa avviene tramite griglie di transito poste nelle porte di accesso ai vari locali.

Per il dimensionamento dei canali è stato utilizzato il metodo a perdita di carico costante. Questo metodo consiste nel fissare un certo range di perdita di carico continua per unità di lunghezza e, note le portate e fissando dei limiti di velocità dell'aria, si determinano le dimensioni dei canali in base ai modelli presenti a catalogo. I valori di perdita di carico continua generalmente consigliati nel dimensionamento dei canali d'aria vanno da 0.4 Pa/m a 0.6 Pa/m. Nel nostro caso si considereranno cadute tra 0.3 Pa/m e 0.5 Pa/m per non avere delle velocità dell'aria troppo elevate. È importante non avere velocità troppo elevate, soprattutto nei canali che attraversano ambienti con occupazione, per evitare problemi legati alla rumorosità e alla vibrazione dei canali.

Per condotte di mandata

Impianti commerciali e residenziali
Bassa velocità: fino a 10 m/s (compresa tra 5 e 8)
Alta velocità: oltre 12 m/s

Impianti industriali
Bassa velocità: fino a 12 m/s (compresa tra 7 e 12)
Alta velocità: da 12 m/s a 25 m/s

Per condotte di ripresa

Impianti commerciali e residenziali
Bassa velocità: fino a 9 m/s (compresa tra 4.5 e 7)

Impianti industriali
Bassa velocità: fino a 10 m/s (compresa tra 5 e 9)

Figura 4.1. Classificazione impianti aeraulici in base alla velocità dell'aria [22].

Perdite di carico continue dell'aria – CONDOTTI CIRCOLARI "LISCI" – $t = 20^\circ\text{C}$, $H = 0 \text{ m}_{slm}$

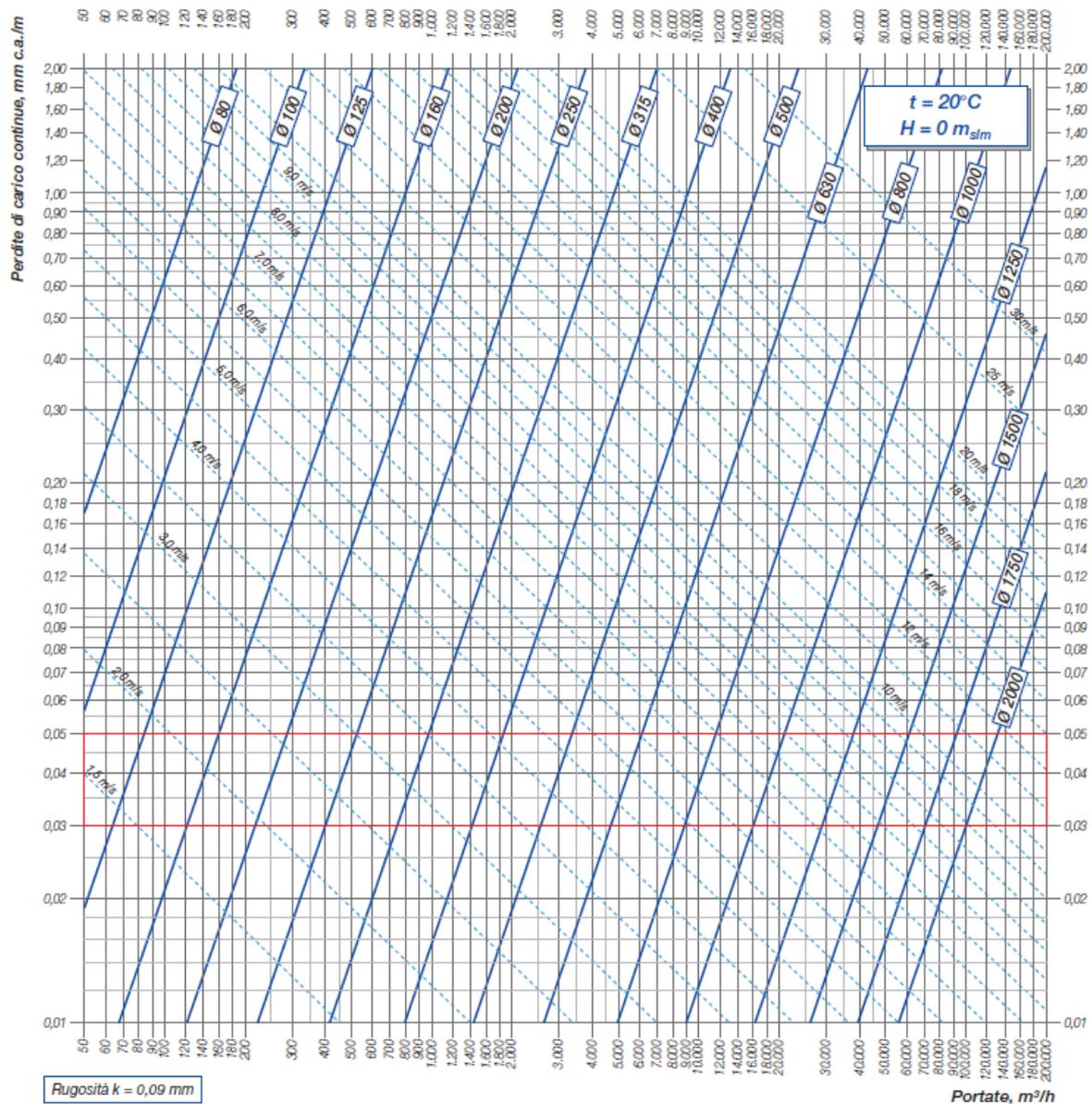


Figura 4.2. Grafico dimensionamento canali aeraulici [23].

La figura 4.2. mostra il grafico utilizzato per il dimensionamento dei canali, il quale è riferito alla tipologia di materiale scelto. Tramite tale grafico si possono identificare i diametri nominali dei condotti, fissando la velocità e il livello di caduta di pressione continua. Tramite il diametro nominale, si può passare alle dimensioni delle sezioni rettangolari tramite apposite tabelle fornite dalla stessa fonte del grafico [23].

Per la stima delle perdite distribuite si è usato il valore di perdita distribuita lineare letto dal grafico e la lunghezza dei canali misurati in pianta. Per la stima delle perdite localizzate si è usata la classica formula: $\Delta P_{loc} = \xi \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2}$, dove ρ rappresenta la densità dell'aria, v la velocità dell'aria nel condotto e ξ il coefficiente di caduta localizzata. Il coefficiente ξ dipende dal tipo di caduta localizzata (curve, derivazioni, restringimenti di sezione, etc.) ed è fornito sempre dalla stessa fonte citata per il grafico. Con il medesimo coefficiente ξ vengono valutate le cadute di pressione localizzate introdotte nella rete dalle serrande di regolazione, inserite per bilanciare la rete. Sono infine da considerare le cadute di pressione introdotte dai vari terminali di immissione.

4.1.1 Edificio 1

Il dimensionamento della rete aeraulica è avvenuto seguendo i principi elencati all'inizio del capitolo. Partendo dalla portata passante per ogni tratto, fissando il limite di velocità più adatto e cercando di rimanere nel range di caduta di pressione continua, si sono definite le dimensioni dei canali. Una volta scelte le dimensioni si è determinata la velocità effettiva in ogni canale, tramite la quale si sono valutate le perdite localizzate. Una volta disegnato lo schema in pianta è stato possibile determinare le varie lunghezze dei tratti per valutare le cadute di pressione distribuite.

L'ultimo aspetto riguarda il bilanciamento della rete, necessario a garantire che ogni locale riceva la sua portata designata e non vi siano zone sfavorite. È quindi necessario inserire delle serrande di prerogolazione per compensare il più possibile le disuniformità in termini di pressione fra le varie diramazioni della rete. Per far sì che tutti i nodi terminali lavorino alla stessa differenza di potenziale può essere necessario inserire delle serrande di regolazione a monte dei dispositivi di immissione, oltre alla possibile modifica delle sezioni trasversali dei canali. Per motivi di stabilità è importante che le serrande di prerogolazione non inseriscano nel circuito cadute superiori a 35 Pa e che le serrande di regolazione finale non inseriscano una caduta superiore a 20-25 Pa.

La figura seguente mostra lo schema della rete aeraulica dell'edificio 1. Per una visualizzazione più accurata si può fare riferimento alle planimetrie allegate. L'immagine a sinistra mostra sia la mandata che la ripresa sviluppate sul primo piano. L'immagine a destra mostra gli sviluppi sul tetto della ripresa e la posizione dell'UTA.

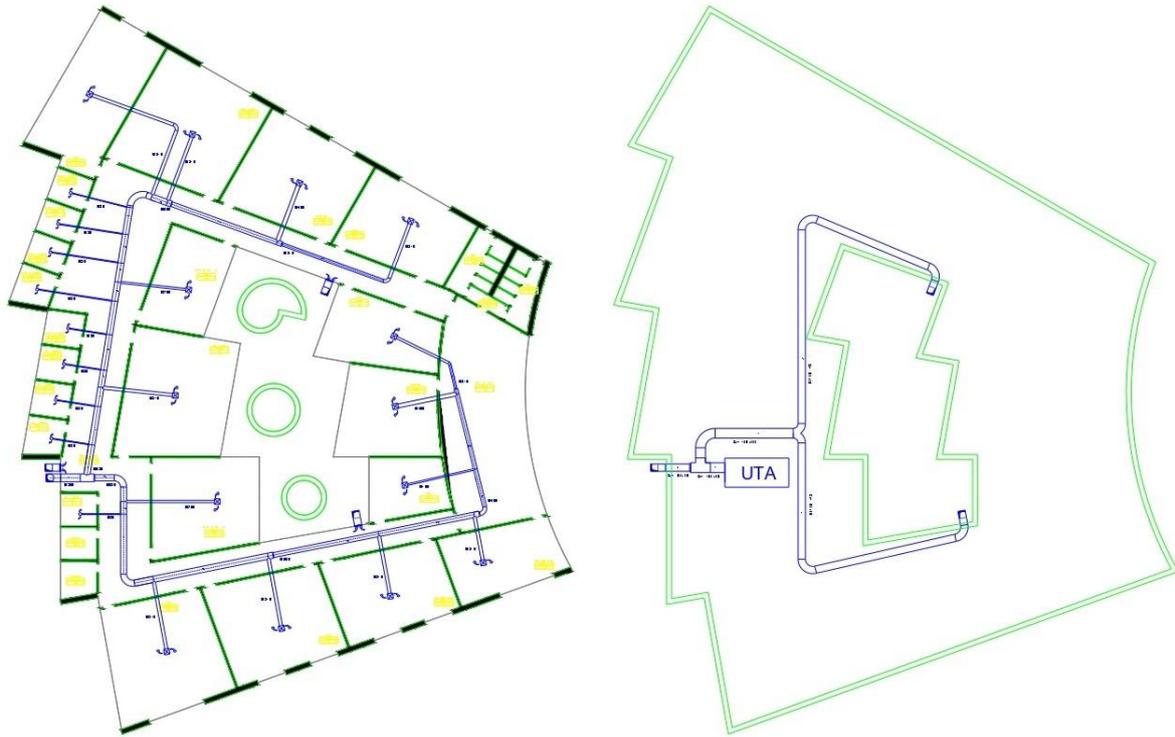


Figura 4.3. Vista in pianta della rete aerulica dell'edificio 1.

	Portata [m ³ /h]	D _n [mm]	v [m/s]	P _{dist} [Pa/m]	L [m]	ΔP _{dist} [Pa]	ξ derivazioni	ξ curve	ξ serrande	ΔP _{loc} [Pa]	ΔP _{tot} [Pa]
Tratto 1	11907,42534	800	6,580297	0,5	7,5	3,75	0,4			10,60858	14,35858
Tratto 2	6164,74562	630	5,493406	0,5	3	1,5	1,3			24,02884	25,52884
Tratto 3	6127,703205	630	5,460397	0,5	4	2	0,2			3,652452	5,652452
Tratto 4	6094,47703	630	5,430789	0,5	2	1	0,2			3,612951	4,612951
Tratto 5	5072,810232	630	4,520382	0,35	2	0,7	0,2			2,503147	3,203147
Tratto 6	5039,445125	630	4,49065	0,35	4	1,4	0,2			2,470328	3,870328
Tratto 7	5006,275433	630	4,461093	0,35	3	1,05	0,2			2,437915	3,487915
Tratto 8	4968,923156	630	4,427808	0,35	2	0,7	0,2			2,401672	3,101672
Tratto 9	4689,395789	630	4,178721	0,3	2	0,6	0,2			2,13906	2,73906
Tratto 10	4657,184229	630	4,150018	0,3	3	0,9	0,2			2,109774	3,009774
Tratto 11	4625,41543	630	4,121708	0,3	3	0,9	0,2			2,081089	2,981089
Tratto 12	3685,817777	630	3,284433	0,25	1	0,25	0,4	0,3		4,62514	4,87514
Tratto 13	2573,429296	500	3,640658	0,3	12,5	3,75	0,2			1,623663	5,373663
Tratto 14	744,0660692	315	2,65215	0,3	10,5	3,15	0,4			1,723305	4,873305
Tratto 15	5742,679721	630	5,117303	0,45	3,5	1,575	0,2	0,3	1	24,05911	25,63411
Tratto 16	5327,490009	630	4,747327	0,4	2	0,8	0,2			2,760797	3,560797
Tratto 17	5297,258662	630	4,720388	0,4	7,5	3	0,2	0,3		6,823882	9,823882
Tratto 18	4291,644223	630	3,824285	0,3	12,5	3,75	0,2			1,791581	5,541581
Tratto 19	3376,755966	500	4,777132	0,4	11	4,4	0,4			5,591144	9,991144
Tratto 20	2615,35833	500	3,699975	0,3	10,5	3,15	0,2			1,677002	4,827002
Tratto 21	2030,966824	400	4,489422	0,5	4	2	0,4	0,3		8,641419	10,64142
Tratto 22	1916,919996	400	4,237324	0,5	8	4	0,2			2,199477	6,199477
Tratto 23	590,0343515	315	2,103119	0,3	2,5	0,75	0,4	0,1		1,354577	2,104577

Tabella 4.1. Parametri dimensionamento canali principali di mandata, edificio 1.

La tabella 4.1 mostra i parametri di dimensionamento dei canali principali di mandata. I tratti da 2 a 15 rappresentano il primo ramo della diramazione mentre quelli dal 15 al 23 il secondo ramo. Viene mostrata la portata per ogni tratto, il diametro scelto secondo i criteri già menzionati e la velocità effettiva dell'aria nel canale. La tabella mostra poi le perdite distribuite per ogni tratto e i coefficienti di perdita localizzata dovuti a diramazioni, curve e alle serrande di regolazione. Le ultime due colonne mostrano le cadute localizzate per ogni tratto e le cadute totali.

Ramo 1													
Uffici	Portata [m ³ /h]	D _n [mm]	v [m/s]	P _{dist} [Pa/m]	L [m]	ΔP _{dist} [Pa]	ΔP _{terminale}	ξ derivazioni	ξ serrande	ΔP _{loc} [Pa]	ΔP _{tot} [Pa]	ΔP _{nodo term.} [Pa]	
94	31,79081532	80	1,756828		1	4	4	25	1,3	7	15,69072	44,69072	117,2365215
95	31,76879871	80	1,755612		1	4,5	4,5	25	1,3	8	17,55682	47,05682	116,6215374
96	32,21156018	80	1,78008		1	5	5	25	1,3	8	18,04961	48,04961	114,6045521
97	37,352277	80	2,064167		1	6	6	25	1,3	8	24,27049	55,27049	115,9846964
98	33,16969221	80	1,833028		1	2,5	2,5	25	1,3	15	33,54531	61,04531	118,2716085
99	33,36510756	80	1,843827		1	2,5	2,5	25	1,3	15	33,94174	61,44174	114,7977017
100	33,22617505	80	1,836149		1	2,5	2,5	25	1,3	15	33,65966	61,15966	106,6995255
101	37,04241566	80	2,047043		1	2,5	2,5	25	1,3	15	41,83575	69,33575	109,223169
Laboratori													
89	1021,666797	315	3,64163	0,5	7	3,5	15	1,3		4	43,05004	61,55004	111,7028576
83	907,8068379	315	3,235787	0,45	16	7,2	24	1,6			10,26091	41,46091	114,0067167
81	1112,388481	315	3,964998	0,5	7	3,5	18	1,3			12,51801	34,01801	111,4389579
65	744,0660692	315	2,65215	0,3	6	1,8	15	1,3			5,600741	22,40074	110,0686521
Spazi comuni													
85	279,5273664	200	2,471565	0,5	7	3,5	24	1,3		4	19,83014	47,33014	111,1460258
Aule													
82	1829,363227	400	4,043781	0,5	6	3	17	1,3			13,02041	33,02041	115,8150149
Ramo 2													
Uffici													
102	30,23134657	80	1,670649		1	2,3	2,3	25	1,3	20	36,41296	63,71296	107,2664429
Laboratori													
88	914,8882578	315	3,261028	0,45	7	3,15	25	1,3		2	21,49459	49,64459	108,5635372
86	590,0343515	315	2,103119	0,3	6	1,8	18	0,1			0,270915	20,07092	112,7534816
Computer Lab													
84	584,3915057	315	2,083005	0,3	4,5	1,35	17	1,3		4	14,08519	32,43519	106,1722857
87	761,3976357	315	2,713926	0,3	6	1,8	16	1,3		4	23,90991	41,70991	110,6200061
90	1005,614439	315	3,584413	0,5	7	3,5	14	1,3		4	41,70787	59,20787	112,5852335
Spazi comuni													
91	415,1897118	250	2,349493	0,3	9	2,7	13	1,3		15	55,11148	70,81148	110,8041665
Aule													
92	1326,885644	400	2,933061	0,3	6	1,8	23	1,3			6,850018	31,65002	122,2280071
Infermeria													
93	114,0468286	160	1,575618	0,25	7	1,75	25	1,3			1,976747	28,72675	113,10526

Tabella 4.2. Parametri dimensionamento canali finali e terminali, edificio 1.

La tabella 4.2 mostra gli stessi parametri della tabella 4.1 ma riferiti ai canali finali che arrivano nei vari locali. Per determinare la caduta sui vari nodi terminali si aggiunge la caduta del terminale (diffusori o valvole di ventilazione) e le cadute relative ai canali principali. Nella tabella sono aggiunte anche le cadute localizzate inserite tramite le serrande di regolazione. In questo modo il sistema è bilanciato e le cadute di pressione su ogni nodo terminale differiscono tra di loro di un valore minore di 20 Pa. Il terminale più sfavorito determinerà il valore di dimensionamento del ventilatore di mandata. Questo valore corrisponde a 122,2 Pa relativo all'aula numero 92.

I diffusori scelti sono diffusori a cono fissi con sezione quadrangolare. Questi diffusori multidirezionali sono impiegati a soffitto e dotati di alette fisse non direzionabili. Il materiale costruttivo dei diffusori è l'alluminio anodizzato.

I diffusori sono dotati di plenum in lamiera d'acciaio zincata con bocca ad attacco laterale. Di seguito alcune figure esplicative tratte dalle schede tecniche [24].

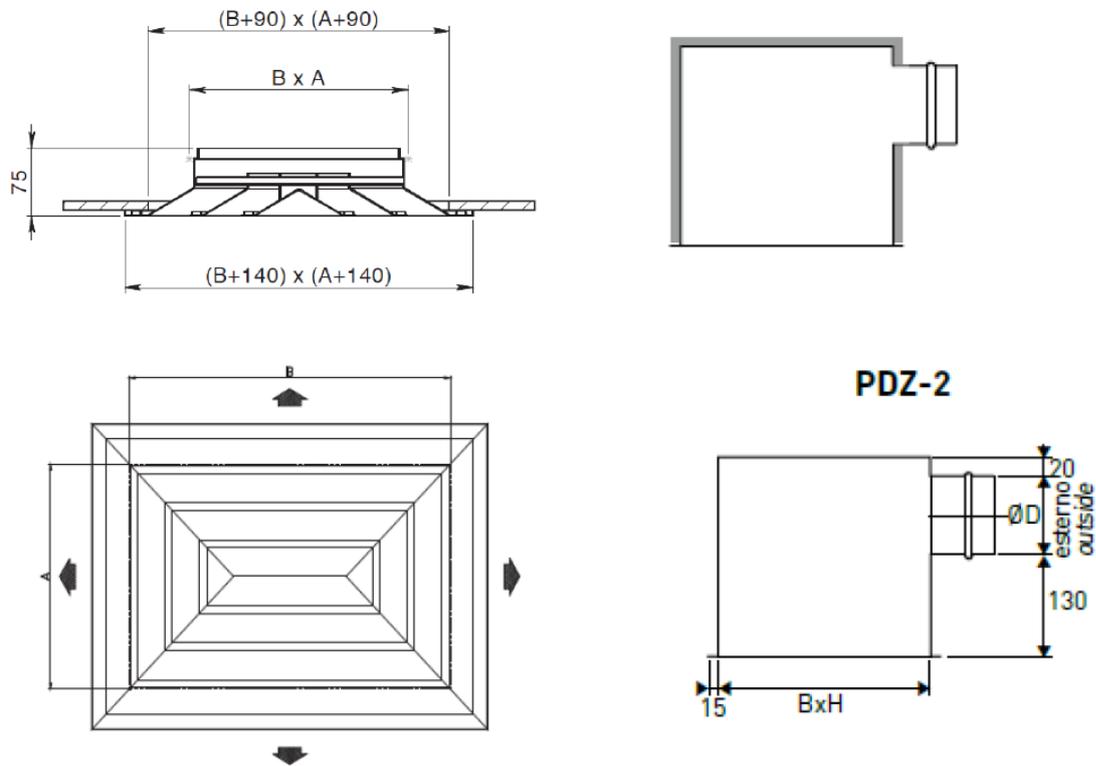


Figura 4.4. Configurazione diffusori (sinistra) e plenum (destra) [24].

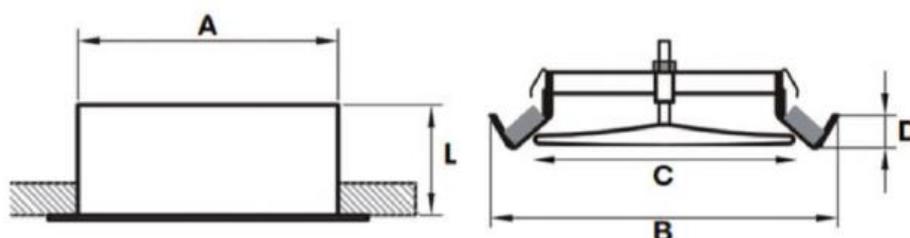
Modello	Q (m ³ /h)		Lwa (dB) A		X _(0.25) (m)		Dp (Pa)	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
AQ 150X150	130	290	35	53	4.2	8.8	10	50
AQ 225X225	290	620	35	53	6.1	12.8	10	50
AQ 300X300	510	1100	35	53	7.9	16.8	10	50
AQ 375X375	790	1700	35	53	9.8	20.8	10	50
AQ 450X450	1140	2450	35	53	11.6	24.8	10	50
AQ 525X525	1550	3320	35	53	13.5	28.7	10	50
AQ 600X600	2020	4340	35	53	15.3	32.7	10	50
AQ 225X150	200	420	35	53	5.0	10.6	10	50
AQ 300X150	260	560	35	53	5.7	12.1	10	50
AQ 375X150	320	690	35	53	6.4	13.4	10	50
AQ 300X225	380	830	35	53	6.9	14.6	10	50
AQ 375X225	480	1030	35	53	7.7	16.3	10	50
AQ 450X225	570	1230	35	53	8.4	17.7	10	50
AQ 525X225	670	1430	35	53	9.0	19.1	10	50
AQ 375X300	640	1370	35	53	8.8	18.7	10	50
AQ 450X300	760	1640	35	53	9.6	20.4	10	50
AQ 525X300	890	1910	35	53	10.3	21.9	10	50
AQ 600X300	1010	2180	35	53	11.0	23.4	10	50
AQ 450X375	950	2040	35	53	10.7	22.7	10	50
AQ 600X375	1270	2720	35	53	12.2	26.0	10	50
AQ 600X450	1520	3260	35	53	13.4	28.4	10	50

Figura 4.5. Tabella di selezione diffusori [24].

Per gli uffici sono state scelte delle valvole di ventilazione. Le valvole in questione sono valvole di mandata in ABS con cono centrale regolabile. Anche in questo caso si forniscono le seguenti figure tratte dalla scheda tecnica [25].

Dimensioni:

Modello	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	L (mm)
EVPMC 100	99	149	89	23,5	50
EVPMC 125	124	165	109	23,5	50
EVPMC 150	149	180	130	23,5	50
EVPMC 200	199	230	177	23,5	50



Dati di funzionamento:

Modello	Portata aria (m ³ /h)	Apertura "S" (mm)	Perdita di carico (Pa)	Rumorosità (dBA)
EVPMC 100	54	15	25	25
	72	18	40	30
	108	20	80	38
EVPMC 125	72	9	58	38
	108	17	68	35
	144	23	70	35
EVPMC 150	108	10	70	40
	144	18	68	35
	180	25	70	33
EVPMC 200	108	17	60	38
	144	22	68	35
	180	25	72	35

Figura 4.6. Dimensioni e dati di funzionamento valvole di ventilazione [25].

Uffici		Laboratori		Computer Lab	
94	EVPMC 100	89	AQ 525X300	84	AQ 375X225
95	EVPMC 100	83	AQ 375X300	87	AQ 375X300
96	EVPMC 100	81	AQ 525X300	90	AQ 525X300
97	EVPMC 100	65	AQ 375X300	Spazi comuni	
98	EVPMC 100	88	AQ 375X300	91	AQ 300X225
99	EVPMC 100	86	AQ 375X225	85	AQ 225X150
100	EVPMC 100	Aule		Infermeria	
101	EVPMC 100	82	AQ 600X450	93	EVPMC 100
102	EVPMC 100	92	AQ 450X375		

Tabella 4.3. Modello di diffusore o valvola di ventilazione scelto per ogni locale.

Per quanto riguarda la ripresa sono stati utilizzati condotti rettangolari. Le dimensioni delle sezioni sono state scelte in modo tale da non avere velocità troppo elevate nei condotti. Fissate le dimensioni si è trovato tramite tabelle il diametro equivalente e il fattore correttivo della velocità. Tramite il diametro equivalente e il grafico delle perdite distribuite (figura 4.2) si è verificata la perdita di carico continua per metro di condotto. Il fattore correttivo della velocità serve a trovare la velocità effettiva nel condotto rettangolare, partendo da quella su condotto circolare equivalente. Per le perdite localizzate si è utilizzato il coefficiente di caduta localizzata così come per le serrande inserite per bilanciare il circuito. Le seguenti tabelle descrivono i parametri di dimensionamento della ripresa dell'edificio 1.

	Portata [m ³ /h]	b _n [mm]	a _n [mm]	D _e [mm]	f _{correttivo}	v [m/s]	P _{dist} [Pa/m]	L [m]	ΔP _{dist} [Pa]
tratto 1	11907,42534	1000	700	911	0,93	4,721629486	0,3	1	0,3
tratto 2	3929,450363	750	500	667	0,93	2,906637888	0,2	4,5	0,9
tratto 3	7977,974979	1000	500	762	0,91	4,42437533	0,3	9,5	2,85
tratto 4	3929,450363	750	500	667	0,93	2,906637888	0,2	29	5,8
tratto 5	3929,450363	750	500	667	0,93	2,906637888	0,2	34,5	6,9

Tabella 4.4. Parametri dimensionamento canali di ripresa edificio 1.

	ξ derivazioni+curve	ξ serrande	ΔP _{loc} [Pa]	ΔP _{griglia}	ΔP _{tot} [Pa]	Griglia	ΔP _{tot} [Pa]
tratto 1	0,6	0	8,192966		8,492966	2	100,8473
tratto 2	0,4	2,2	13,45431	78	92,35431	4	113,9985
tratto 3	1,4	0	16,78565		19,63565	5	115,0985
tratto 4	0,4	0	2,069893	78	85,86989		
tratto 5	0,4	0	2,069893	78	86,96989		

Tabella 4.5. Parametri dimensionamento canali di ripresa edificio 1.

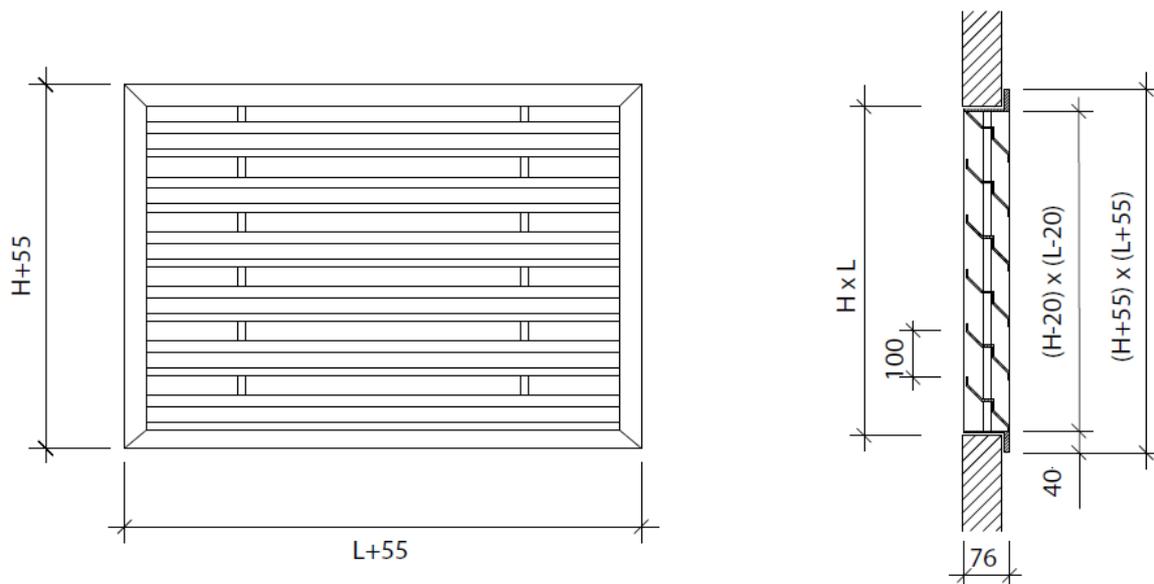


Figura 4.7. Configurazione griglie di ripresa [26].

Q [m ³ /h]	L [mm]	H [mm]	A _k [m ²]	V _k [m/s]	Δp [Pa]	NR
1500	400	400	0.096	4.3	82	55
	500	400	0.123	3.4	53	49
		500	0.158	2.6	30	41
	600	400	0.150	2.8	37	44
2000	400	400	0.123	4.5	85	57
	500	400	0.158	3.5	58	50
		600	400	0.150	3.7	78
	800	400	0.205	2.7	33	42
3000	500	500	0.158	5.3	125	62
	600	500	0.193	4.3	82	55
		600	0.235	3.5	38	50
	800	400	0.234	3.6	73	51
		500	0.298	2.8	37	44
	600	600	0.362	2.3	19	38
4000	600	600	0.266	4.2	86	55
	800	400	0.234	4.7	95	58
		500	0.298	3.7	78	51
		600	0.362	3.1	39	47
	1000	800	0.491	2.3	19	38
		500	0.377	2.9	40	45
600		0.458	2.4	22	39	
6000	800	600	0.362	4.6	90	58
	1000	800	0.491	3.4	53	49
		500	0.377	4.4	89	56
		600	0.458	3.6	73	51
800	800	0.621	2.7	33	42	

Q [m ³ /h]	L [mm]	H [mm]	A _k [m ²]	V _k [m/s]	Δp [Pa]	NR
6000	1000	1000	0.783	2.1	12	35
	1200	600	0.554	3.0	44	46
		800	0.751	2.2	15	36
		800	0.491	4.5	85	57
8000	800	600	0.458	4.8	100	59
		800	0.621	3.6	73	51
	1000	1000	0.783	2.8	37	44
		600	0.554	4.0	93	53
		800	0.751	3.0	44	46
	1200	1000	0.947	2.3	19	38
		1200	1.143	1.9	5	32
		800	0.881	2.5	25	40
	1400	1000	1.111	2.0	8	34
		800	0.621	4.5	85	57
10000	1000	1000	0.783	3.5	38	50
		600	0.554	5.0	110	60
	1200	800	0.751	3.7	98	51
		1000	0.947	2.9	40	45
		1200	1.143	2.4	22	39
		800	0.881	3.2	54	48
	1400	1000	1.111	2.5	26	40
		1200	1.341	2.1	12	35
		800	1.011	2.7	33	42
	1600	1000	1.275	2.2	15	36
1000		0.947	4.4	89	56	
1200		1.143	3.6	73	51	
15000	1400	800	0.881	4.7	95	58

Q [m ³ /h]	L [mm]	H [mm]	A _k [m ²]	V _k [m/s]	Δp [Pa]	NR
1400	1000	1.111	3.8	83	52	
	1200	1.341	3.1	39	47	
		1400	1.572	2.7	33	42
		800	1.011	4.1	79	54
15000	1600	1000	1.275	3.3	48	48
		1200	1.539	2.7	33	42
		1400	1.804	2.3	19	38
	1600	1600	2.068	2.0	8	34
		1000	1.439	2.9	40	45
		1200	1.737	2.4	22	39
1800	1000	1.603	2.6	30	41	
	1200	1.935	2.2	55	36	
20000	1200	1200	1.143	4.9	105	59
		1000	1.111	5.0	110	60
	1400	1200	1.341	4.1	79	54
		1400	1.572	3.5	58	50
		1000	1.275	4.4	89	56
	1600	1200	1.539	3.6	73	51
		1400	1.804	3.1	39	47
		1600	2.068	2.7	33	42
	1800	1000	1.439	3.9	88	52
		1200	1.737	3.2	54	48
1400		2.036	2.7	33	42	
2000	1000	1.603	3.5	58	50	
	1200	1.935	2.9	40	45	
	1400	2.268	2.4	22	39	
	1600	2.600	2.1	12	35	

Figura 4.8. Tabelle di selezione griglie di ripresa [26].

La tabella 4.4 mostra le dimensioni scelte per le sezioni dei canali rettangolari, il diametro equivalente, il fattore correttivo e la velocità effettiva (corretta) nei canali. Nella stessa tabella il calcolo delle cadute distribuite. Nella tabella 4.5 è mostrato il calcolo delle cadute localizzate comprese le serrande di regolazione, le cadute delle griglie di estrazione e le cadute totali. A destra è mostrata la caduta totale dalla griglia di estrazione al ventilatore di ripresa. Il valore massimo è riferito alla griglia del tratto 5, il valore di 115 Pa è il valore utile al dimensionamento del ventilatore di ripresa.

La figura 4.7 mostra la configurazione delle griglie di ripresa in alluminio tratta dalla scheda tecnica [26]. La figura 4.8 mostra le tabelle di selezione per le griglie di ripresa. Il modello scelto per le tre griglie di ripresa è il RA 100 - 800x500 mm.

4.1.2 Edificio 5

Le stesse ipotesi citate per l'edificio 1 sono valide anche per l'edificio 5. La mandata è realizzata tramite canali a sezione circolare. L'unità trattamento aria è collocata nel tetto dell'edificio. I terminali di immissione sono diffusori o valvole di ventilazione delle stesse case produttrici e con le stesse caratteristiche già elencate nel paragrafo precedente. I canali di ripresa sono di sezione rettangolare e valgono gli stessi criteri elencati per il caso dell'edificio 1. Come si può vedere nello schema seguente la ripresa avviene singolarmente nei locali palestra, mensa e biblioteca. Il resto della portata di ripresa sarà estratto in due punti della zona transito. Seguono le tabelle di dimensionamento della mandata e della ripresa dell'edificio 5.

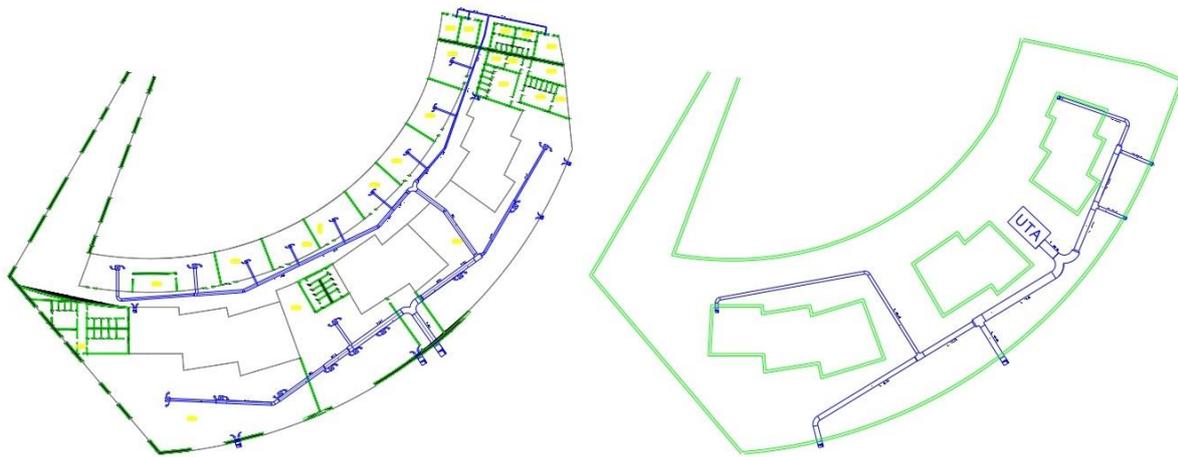


Figura 4.9. Vista in pianta della rete aeraulica dell'edificio 5.

La figura 4.9 mostra lo schema della rete aeraulica dell'edificio 5. Per una visualizzazione più accurata si può fare riferimento alle planimetrie allegate. L'immagine a sinistra mostra sia la mandata che la ripresa sviluppate sul primo piano. L'immagine di destra mostra gli sviluppi sul tetto della ripresa e la posizione dell'UTA.

	Portata [m ³ /h]	D _n [mm]	v [m/s]	P _{dist} [Pa/m]	L [m]	ΔP _{dist} [Pa]	ξ deriv.+curve	ξ serrande	ΔP _{loc} [Pa]	ΔP _{tot} [Pa]
tratto 1	27985,84291	1250	6,334699003	0,3	8	2,4	0,3		7,373595605	9,773595605
tratto 2	18242,2282	1250	4,129195793	0,15	5,5	0,825	0,2		2,088656592	2,913656592
tratto 3	15583,52376	1250	3,527388212	0,1	7,5	0,75	0,6		4,572606843	5,322606843
tratto 3b	10266,11486	1000	3,630895392	0,15	6	0,9	0,4		3,229933331	4,129933331
tratto 4	7607,410414	800	4,204017262	0,25	11,5	2,875	0,4		4,330071479	7,205071479
tratto 5	5071,606943	630	4,51930973	0,35	11,5	4,025	0,5		6,254899133	10,27989913
tratto 5b	2535,803471	500	3,587428064	0,3	9,5	2,85	0,4		3,153061827	6,003061827
tratto 6	9743,61471	1000	3,446098766	0,15	8,5	1,275	0,4		2,909521193	4,184521193
tratto 7	8468,523612	1000	2,995127541	0,1	5	0,5	0,2		1,098921651	1,598921651
tratto 8	2550,182198	500	3,6077698	0,25	12	3	0,7	3	29,49751664	32,49751664
tratto 9	1275,091099	400	2,818570157	0,2	12,5	2,5	0,4		1,946362743	4,446362743
tratto 10	5918,341414	800	3,270601705	0,15	18	2,7	1,4		9,17253645	11,87253645
tratto 11	943,0446316	400	2,084586315	0,15	3	0,45	0,6		1,596971289	2,046971289
tratto 12	682,5350105	315	2,432828213	0,25	12	3	0,5		1,812587517	4,812587517
tratto 13	401,1714366	250	2,270165944	0,3	10	3	0,4		1,262645086	4,262645086
tratto 14	169,2717085	200	1,496690508	0,2	11	2,2	0,3		0,411615155	2,611615155
tratto 15	100,1478633	160	1,383596136	0,2	4	0,8	0,6		0,703519313	1,503519313
tratto 16	50,19942076	125	1,136282447	0,2	3,2	0,64	0,5	1,3	1,423479424	2,063479424
tratto 17	69,12384519	160	0,954982782	0,15	12,5	1,875	0,7		0,391016619	2,266016619
tratto 18	4975,296782	630	4,433487731	0,35	4,5	1,575	0,4		4,815674299	6,390674299
tratto 19	4749,763777	630	4,232515235	0,3	12	3,6	0,3		3,291731533	6,891731533
tratto 20	4495,750505	630	4,00616397	0,3	10,5	3,15	0,2		1,966045345	5,116045345
tratto 21	4251,924826	630	3,78889087	0,25	9,5	2,375	0,2		1,758572518	4,133572518
tratto 22	3995,64378	630	3,560518789	0,2	12,5	2,5	0,5		3,882421302	6,382421302
tratto 23	1997,82189	500	2,826339815	0,2	20,5	4,1	0,7		3,424939356	7,524939356

Tabella 4.6. Parametri dimensionamento canali principali di mandata, edificio 5.

La tabella 4.6 mostra i parametri di dimensionamento dei canali principali di mandata. I tratti da 1 a 5b rappresentano il primo ramo della diramazione, i tratti da 6 a 9 il secondo ramo, i tratti da 10 a 17 il terzo ramo e i tratti da 18 a 23 il quarto ramo. Le grandezze mostrate nella tabella 4.6 sono analoghe a quelle viste per la tabella 4.1.

Uffici	Portata [m ³ /h]	D _n [mm]	v [m/s]	P _{dist} [Pa/m]	L [m]	ΔP _{dist} [Pa]	ξ deriv. + curve	ξ serrande	ΔP _{loc} [Pa]	ΔP _{terminale}	ΔP _{tot} [Pa]	ΔP _{nodo term.} [Pa]
516	50,19942076									25	25	69,73039268
513	49,94844256	125	1,130601462	0,2	1,3	0,26		1,3	1,01781426	25	26,27781426	68,94472752
514	69,12384519									40	40	84,93292988
Negozii												
225	256,2810467	250	1,450254059	0,15	4,6	0,69		1,5	1,932348842	20	22,62234884	72,58394744
226	243,8256789	250	1,379771095	0,15	3,6	0,54		1,5	1,749087102	38	40,2890871	86,11711318
219	254,0132714	250	1,437421076	0,15	4,6	0,69		1,5	1,898302277	41	43,58830228	84,30028301
227	225,5330057	250	1,27625574	0,1	5	0,5		1,5	3,691333074	33	37,19133307	71,01158227
228	260,5096211	250	1,474182895	0,15	5	0,75		1,5	1,996641472	42	44,74664147	74,22318766
229	281,3635739	250	1,592192128	0,15	4,5	0,675		1,5	2,329100866	47	50,00410087	84,29323457
230	231,8997281	250	1,312284019	0,1	4,5	0,45		1,5	1,582169586	35	37,03216959	75,58394838
Mensa												
339	10634,81779											
A	2658,704448		4,129195793					1,3	13,57626785	48	61,57626785	74,26352005
B	2658,704448		3,527388212					1,3	9,907314826	48	57,90731483	75,91717387
C	2658,704448		3,630895392					1,3	10,49728333	48	58,49728333	80,6370757
D	2658,704448	500	3,761297378	0,3	5,3	1,59		1,5	12,99788513	48	62,58788513	80,59774417
222	3995,64378											
A	1997,82189	500	2,826339815	0,2	5	1		1,5	7,339155764	21	29,33915576	85,68317566
B	1997,82189									21	21	84,86895925
Libreria												
509	3825,273296											
A	1275,091099		3,446098766					1,3	9,455943877	45	54,45594388	68,41406068
B	1275,091099		3,6077698					1,3	10,36399233	22	32,36399233	80,41854743
C	1275,091099									22	22	74,50091784
Palestra												
501	7607,410414											
A	2535,803471		4,204017262					1,3	14,07273231	33	47,07273231	76,41759616
B	2535,803471		4,51930973					1,3	16,26273775	33	49,26273775	88,88750073
C	2535,803471									33	33	78,62782481

Tabella 4.7. Parametri dimensionamento canali finali e terminali, edificio 5.

I parametri mostrati nella tabella 4.7 sono analoghi a quelli della tabella 4.2 relativa all'edificio 1. Come si può vedere, dato l'ampio volume, i locali mensa, libreria e palestra sono dotati di più di un terminale. I tratti in cui non sono indicate le lunghezze si riferiscono a terminali non aventi un proprio canale finale ma collocati sul canale principale. In questi casi vengono valutate solamente le cadute localizzate dovute alla derivazione nel plenum e le cadute dovute al terminale di immissione. L'inserimento di serrande di regolazione serve a bilanciare la rete. Il terminale più sfavorito determinerà il valore di dimensionamento del ventilatore di mandata. Questo valore corrisponde a 88,9 Pa, relativo al terminale B della palestra.

Uffici		Mensa		Negozi		Libreria	
516	EVPMC 100	339		225	AQ 225X150	509	
513	EVPMC 101	A	AQ 600X450	226	AQ 225X151	A	AQ 375X300
514	EVPMC 102	B	AQ 600X451	219	AQ 225X152	B	AQ 450X375
Palestra		C	AQ 600X452	227	AQ 225X153	C	AQ 450X376
501		D	AQ 600X453	228	AQ 225X154		
A	AQ 600X453	222		229	AQ 225X155		
B	AQ 600X453	A	AQ 600X453	230	AQ 225X156		
C	AQ 600X453	B	AQ 600X453				

Tabella 4.8. Modello di diffusore o valvola di ventilazione scelto per ogni locale.

Per quanto riguarda la ripresa sono stati utilizzati condotti rettangolari. I criteri di dimensionamento utilizzati sono gli stessi dell'edificio 1. Le tabelle seguenti mostrano gli stessi parametri di dimensionamento visti nelle tabelle 4.4 e 4.5. Dalla tabella 4.10 si può notare il nodo terminale più sfavorito, a cui corrisponde una caduta di pressione di 139 Pa. I modelli di griglia di ripresa, le cui caratteristiche sono le stesse di quelle riportate al paragrafo dell'edificio 1, sono riportati nella tabella 4.11.

	Portata [m ³ /h]	b _n [mm]	a _n [mm]	D _e [mm]	f _{correttivo}	v [m/s]	P _{dist} [Pa/m]	L [m]	ΔP _{dist} [Pa]
tratto 1	27985,84291	1700	800	1253	0,91	5,739915314	0,3	4	1,2
tratto 2	21201,39891	1700	800	1253	0,89	4,252851561	0,35	17	5,95
tratto 3	10566,58112	1100	800	1022	0,92	3,293429489	0,35	12	4,2
tratto 4	2959,170707	600	500	598	0,94	2,752474773	0,2	52	10,4
tratto 5	7607,410414	1000	600	911	0,93	3,01655247	0,2	29,5	5,9
tratto 6	10634,81779	1100	800	1022	0,93	3,350727059	0,4	9,65	3,86
tratto 7	6784,444003	1000	400	674	0,89	4,70340437	0,3	9,5	2,85
tratto 8	4871,807355	1000	400	674	0,89	3,377444046	0,2	10,7	2,14
tratto 9	1912,636648	600	300	457	0,91	2,948962892	0,3	7,6	2,28
tratto 10	1912,636648	600	300	457	0,91	2,948962892	0,3	8,6	2,58
tratto 11	2959,170707	600	500	598	0,94	2,752474773	0,2	19,85	3,97

Tabella 4.9. Parametri dimensionamento canali di ripresa edificio 5.

	ξ derivazioni+curve	ξ serrande	ΔP _{loc} [Pa]	ΔP _{griglia}	ΔP _{tot} [Pa]	Griglia	ΔP _{tot} [Pa]
tratto 1	0,6	0	12,10788572	0	13,30788572	4	130,8352069
tratto 2	0,4	0	4,431252869	0	10,38125287	5	139,2333237
tratto 3	0,4	0	2,65743606	0	6,85743606	6	126,8642865
tratto 4	1,7	0	7,88863222	82	100,2886322	9	137,545557
tratto 5	0,5	0	2,786749071	100	108,6867491	10	126,8007013
tratto 6	1,5	0	10,31514786	89	103,1751479	11	138,9326451
tratto 7	0,4	0	5,419893104	0	8,269893104		
tratto 8	0,4	0	2,79474643	0	4,93474643		
tratto 9	1,5	5,2	35,68777821	78	115,9677782		
tratto 10	1,5	2,2	19,70817603	78	100,288176		
tratto 11	0,5	5,2	26,4501198	82	112,4201198		

Tabella 4.10. Parametri dimensionamento canali di ripresa edificio 5.

Griglia	Modello
4	RA 100 - 600x500 mm
5	RA 100 - 1000x600 mm
6	RA 100 - 1200x1000 mm
9	RA 100 - 600x400 mm
10	RA 100 - 600x400 mm
11	RA 100 - 600x500 mm

Tabella 4.11. Modelli di griglia scelti.

4.1.3 Auditorium

Anche per l'auditorium valgono i criteri di dimensionamento citati per gli altri edifici. La rete aeraulica dell'auditorium è caratterizzata da canali di sezione rettangolare sia in mandata che in ripresa. L'unità di trattamento aria è posizionata sul tetto del locale. L'immissione in ambiente avviene tramite quattro diffusori con le stesse caratteristiche viste in precedenza. La ripresa avviene tramite griglie di ripresa in due punti del locale. Si fornisce lo schema della rete aeraulica e le tabelle di dimensionamento.

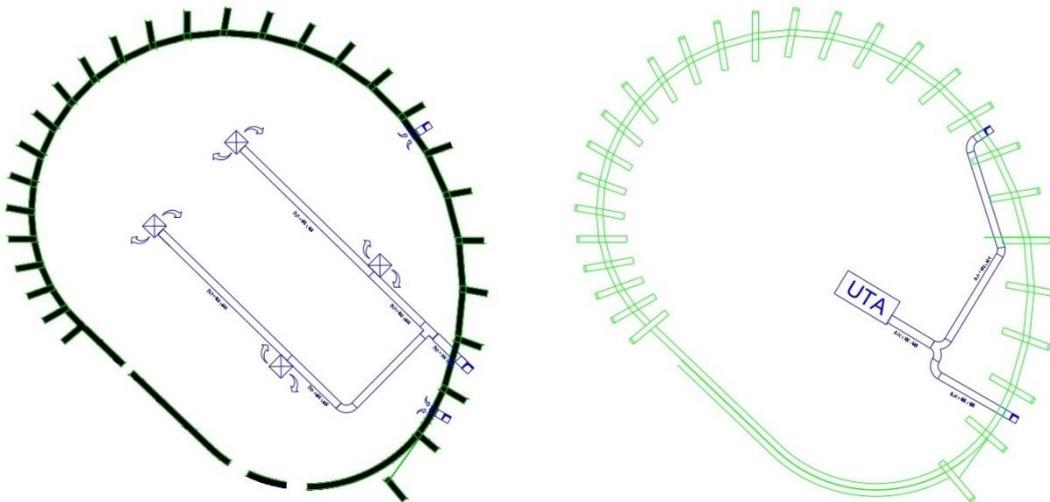


Figura 4.10. Vista in pianta della rete aeraulica dell'auditorium.

La figura 4.10 mostra lo schema della rete aeraulica dell'auditorium. Per una visualizzazione più accurata si può fare riferimento alle planimetrie allegate. L'immagine a sinistra mostra sia la mandata che la ripresa sviluppate all'interno del locale. L'immagine di destra mostra gli sviluppi sul tetto della ripresa e la posizione dell'UTA.

	Portata [m ³ /h]	b _n [mm]	a _n [mm]	D _e [mm]	f _{correttivo}	v [m/s]	P _{dist} [Pa/m]	L [m]	ΔP _{dist} [Pa]
tratto 1	7525,756085	700	600	708	0,94	4,993893992	0,35	6	2,1
tratto 2	3762,878042	600	600	656	0,94	2,908493919	0,15	5,75	0,8625
tratto 3	3762,878042	600	600	656	0,94	2,908493919	0,15	13,5	2,025
tratto 4	1881,439021	600	600	656	0,94	1,454246959	0,05	14,5	0,725
tratto 5	1881,439021	600	600	656	0,94	1,454246959	0,05	14,5	0,725

Tabella 4.12. Parametri dimensionamento canali di mandata, auditorium.

	ξ derivazioni+curve	ξ serrande	ΔP _{loc} [Pa]	ΔP _{tot} [Pa]
tratto 1	1		15,27512354	17,37512354
tratto 2	0,2	1,3	7,772015754	8,634515754
tratto 3	1,4		7,25388137	9,27888137
tratto 4	0,3		0,388600788	1,113600788
tratto 5	0,3		0,388600788	1,113600788

Tabella 4.13. Parametri dimensionamento canali di mandata, auditorium.

	$\Delta P_{loc. plenum}$	$\Delta P_{terminale}$	$\Delta P_{nodo\ term. [Pa]}$
Diffusore 1	1,683936747	40	67,69357604
Diffusore 2		40	67,12324008
Diffusore 3	1,683936747	40	68,33794165
Diffusore 4		40	67,76760569

Tabella 4.14. Parametri dimensionamento canali di mandata, auditorium.

Le tabelle 4.12 e 4.13 mostrano gli stessi parametri di dimensionamento visti nei casi precedenti, con cui si sono determinate le varie cadute di pressione sui canali di mandata. La 4.14 mostra il totale delle cadute di pressione sui vari nodi terminali, i diffusori. Ogni diffusore immette la stessa portata di circa 1881 m³/h. La caduta su ogni nodo terminale è costituita dalla caduta localizzata dovuta alla derivazione verso il plenum, la caduta sul diffusore e la caduta dei vari canali principali. La rete è bilanciata e il percorso più sfavorito è quello che porta al diffusore 3, con una caduta di 68 Pa. Il modello di diffusore scelto per i quattro terminali è AQ 600x300.

I criteri di dimensionamento utilizzati per i canali rettangolari di ripresa sono gli stessi visti in precedenza. Le tabelle seguenti mostrano i medesimi parametri di dimensionamento visti nelle tabelle 4.4 e 4.5. Si può notare il terminale di ripresa più sfavorito dalla tabella 4.16, a cui corrisponde una caduta di 102 Pa. La rete risulta bilanciata senza bisogno di inserire serrande di regolazione. Il modello delle due griglie di ripresa è RA 100 - 600x600 mm.

	Portata [m ³ /h]	b _n [mm]	a _n [mm]	D _e [mm]	f _{correttivo}	v [m/s]	P _{dist} [Pa/m]	L [m]	ΔP_{dist} [Pa]
tratto 1	7525,756085	700	600	708	0,94	4,993893992	0,35	4	1,4
tratto 2	3762,878042	600	600	656	0,94	2,908493919	0,15	8	1,2
tratto 3	3762,878042	600	600	656	0,94	2,908493919	0,15	18	2,7

Tabella 4.15. Parametri dimensionamento canali di ripresa auditorium.

	ξ derivazioni+curve	ΔP_{loc} [Pa]	$\Delta P_{griglia}$	ΔP_{tot} [Pa]	Griglia	ΔP_{tot} [Pa]
tratto 1	0,6	9,165074122	0	10,56507412	1	99,83761166
tratto 2	0,4	2,072537534	86	89,27253753	2	101,855746
tratto 3	0,5	2,590671918	86	91,29067192		

Tabella 4.16. Parametri dimensionamento canali di ripresa auditorium.

4.1.4 Edifici 2, 3 e 4

Anche per gli edifici 2, 3 e 4, a due piani, valgono gli stessi criteri citati in precedenza. La mandata è realizzata tramite canali a sezione circolare. I canali di ripresa sono di sezione rettangolare. I terminali di immissione sono diffusori o valvole di ventilazione delle stesse case produttrici e con le stesse caratteristiche già elencate nei paragrafi precedenti mentre la ripresa è effettuata tramite griglie di ripresa. Le unità di trattamento aria sono collocate sui tetti degli edifici. Nel caso dell'edificio 4 sono presenti due UTA di cui la prima si occupa del piano terra e del piano seminterrato e la seconda del primo piano. Lo schema dei canali può essere visualizzato nel dettaglio nelle planimetrie allegate. Per alleggerire la trattazione, le tabelle di dimensionamento delle reti di distribuzione aeraulica degli edifici 2, 3 e 4 sono allegate a fondo della trattazione, nell'allegato 1. I parametri valutati in queste tabelle sono gli stessi già analizzati per gli altri edifici.

4.2 Rete idronica

La rete idronica si occupa della distribuzione del fluido termovettore dalla macchina frigorifera ai vari terminali (pannelli radianti e fan coil). I refrigeratori sono posti sul tetto di ogni edificio. Il refrigeratore alimenta il collettore primario freddo con acqua refrigerata alla temperatura minima, quella di alimentazione della batteria fredda dell'UTA (6 °C). Dal collettore primario si diramano il circuito di alimentazione della batteria fredda dell'UTA e quelli di alimentazione dei collettori secondari. Dai collettori secondari, a loro volta, si diramano i circuiti di alimentazione dei pannelli radianti e dei fan coil. I circuiti di alimentazione dei pannelli radianti e dei fan coil richiedono una temperatura di alimentazione superiore rispetto alla minima. Per questo motivo i rami uscenti dal collettore primario saranno dotati di valvola di miscelazione a tre vie, installata tra il collettore primario e le pompe di mandata. Tramite la miscelazione dell'acqua di mandata, a temperatura minima, con quella di ritorno si alimentano i vari circuiti alla temperatura desiderata, superiore a quella minima.

Al fine di dimensionare le pompe di mandata, presenti su ogni ramo a valle del collettore primario, è necessario stimare le perdite di carico lungo tutto il circuito. La rete idronica presenta una struttura a collettori con distribuzione a due tubi. Vi sono tante coppie di tubi quanti sono i terminali e ciascuna coppia (mandata e ritorno) è collegata ad un collettore di distribuzione (collettore secondario). Ogni collettore secondario è collegato al tetto tramite montante verticale. Le perdite di carico da considerare sono quelle distribuite lungo i circuiti, quelle concentrate dovute a variazioni di direzione nelle tubazioni e quelle introdotte dai collettori.

Le perdite distribuite dipendono dalla rugosità del materiale delle tubazioni, dalle caratteristiche fisiche del fluido e dalle sue condizioni di moto. Nel dimensionamento delle tubazioni è importante tenere conto della velocità dell'acqua sia per evitare cadute di pressione elevate e sia per evitare l'eccessiva rumorosità. Nella nostra applicazione i circuiti che vanno dal collettore primario ai collettori secondari saranno in acciaio mentre quelli che si diramano negli ambienti interni dai collettori secondari saranno in materiale plastico (PEX – polietilene reticolato). Sulle tubazioni interne in PEX si manterrà una velocità non superiore agli 0,7 m/s mentre per le tubazioni in acciaio una velocità non superiore a 1 m/s. La tabella seguente mostra i valori massimi di velocità consigliati in base al materiale e al tipo di tubazione.

TAB. 1 - Velocità (m/s) consigliate per reti ad acqua calda e refrigerata

	tubazioni principali	tubazioni secondarie	derivazioni ai corpi scaldanti
tubi in acciaio	1,5 ÷ 2,5	0,5 ÷ 1,5	0,2 ÷ 0,7
tubi in rame	0,9 ÷ 1,2	0,5 ÷ 0,9	0,2 ÷ 0,5
tubi in mat. plastico	1,5 ÷ 2,5	0,5 ÷ 1,5	0,2 ÷ 0,7

Figura 4.11. Tabella velocità consigliate per reti ad acqua calda e refrigerata [27].

Per la stima delle cadute distribuite si è utilizzato il software “HySelect” [28] che permette di determinare le cadute distribuite per metro di tubazione e la velocità dell’acqua, fissando la portata, la temperatura dell’acqua, il diametro e il tipo di materiale della tubazione.

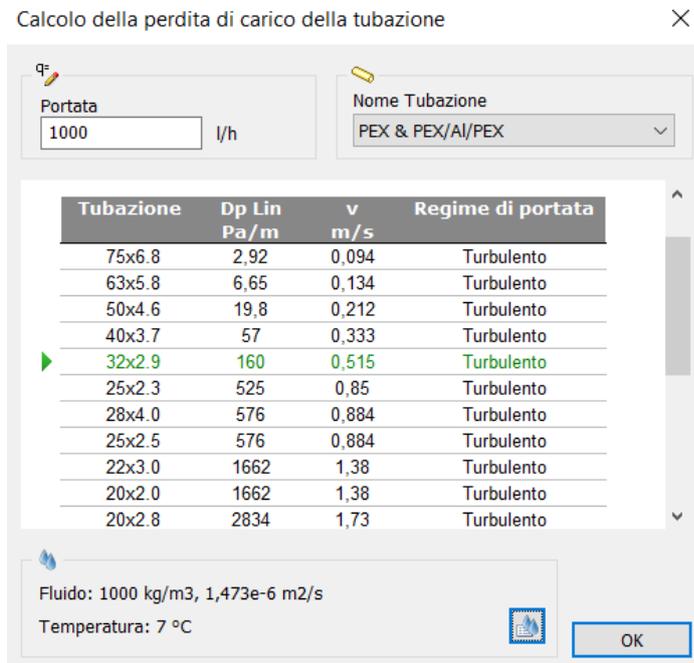


Figura 4.12. Esempio di stima delle cadute distribuite con il software “HySelect”.

Per la stima delle perdite localizzate si è determinato il coefficiente di perdita localizzata da apposite tabelle e si è valutata la caduta di pressione tramite la relazione nota: $\Delta P_{loc} = \xi \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2}$, in cui ρ rappresenta la densità dell’acqua e v la velocità dell’acqua nella tubazione. Il coefficiente di caduta localizzata ξ dipende dal tipo di caduta localizzata (curve, derivazioni, restringimenti di sezione, etc.). La figura seguente mostra la tabella utilizzata per determinare il coefficiente di perdita localizzata relativo alle curve.

Diametro interno tubi in acciaio inox, rame e materiale plastico		8 + 16 mm	18 + 28 mm	30 + 54 mm	> 54 mm	
Diametro tubi in acciaio		3/8" + 1/2"	3/4" + 1"	1 1/4" + 2"	> 2"	
Tipo di resistenza localizzata		Simbolo				
Curva stretta a 90°	r/d = 1,5		2,0	1,5	1,0	0,8
Curva normale a 90°	r/d = 2,5		1,5	1,0	0,5	0,4
Curva larga a 90°	r/d > 3,5		1,0	0,5	0,3	0,3
Curva stretta a U	r/d = 1,5		2,5	2,0	1,5	1,0
Curva normale a U	r/d = 2,5		2,0	1,5	0,8	0,5
Curva larga a U	r/d > 3,5		1,5	0,8	0,4	0,4

Figura 4.13. Coefficienti di perdita localizzata per curve [29].

Per quanto riguarda le perdite di carico al collettore secondario, la stima è stata effettuata seguendo le indicazioni fornite nella scheda tecnica del prodotto. Il collettore scelto è un collettore premontato di distribuzione Caleffi, serie 663. La figura seguente riporta lo schema del collettore.

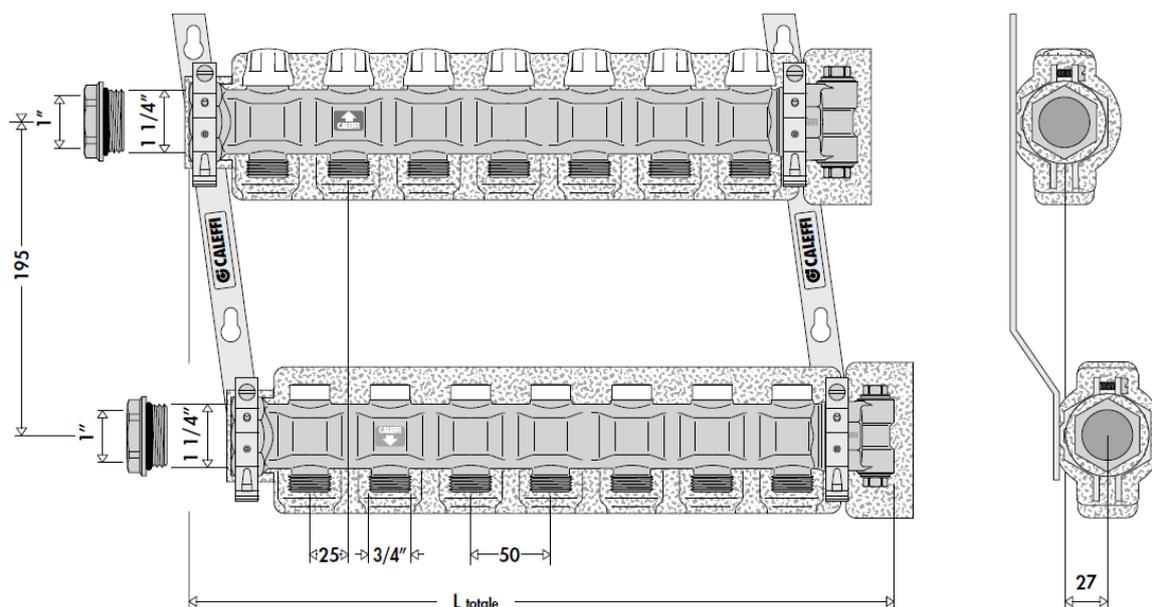


Figura 4.14. Schema collettore premontato di distribuzione Caleffi, serie 663 [30].

Per stimare la perdita totale al collettore bisogna considerare la perdita localizzata alla valvola di intercettazione e la perdita localizzata al detentore di taratura per ogni circuito uscente. Bisogna poi considerare le perdite distribuite sul collettore di mandata e di ritorno. Per effettuare queste valutazioni si utilizzano i coefficienti K_v , i quali indicano la portata corrispondente ad una perdita di carico di 1 bar. I coefficienti forniti dalla scheda tecnica sono i seguenti:

	K_v	$K_{v_{0,01}}$
Detentore tutto aperto	3,10	310
Valvola d'intercettazione	2,87	287

	K_v	$K_{v_{0,01}}$
Collettore di mandata/ritorno 3+7 partenze	33,5*	3350*
Collettore di mandata/ritorno 8+13 partenze	23,5*	2350*

* Valore medio

- K_v = portata in m^3/h per una perdita di carico di 1 bar

- $K_{v_{0,01}}$ = portata in l/h per una perdita di carico di 1 kPa

Figura 4.15. Coefficienti K_v per il calcolo delle perdite al collettore [30].

La perdita di carico viene valutata tramite la formula: $\Delta P = G^2 / Kv_{0,01}^2$, dove G rappresenta la portata in l/h e ΔP la perdita di carico in kPa. Per la valvola di intercettazione e per il detentore si utilizza la portata del singolo circuito in uscita dal collettore mentre per le perdite al collettore di mandata e ritorno si utilizza la portata totale.

Il bilanciamento della rete è molto importante per evitare anomalie di funzionamento, zone sfavorite e portate diverse da quelle desiderate, che causerebbero fenomeni di rumorosità e uno scambio non corretto di energia termica con gli ambienti. Inoltre, un sistema bilanciato permette di ridurre i consumi energetici delle pompe. Per bilanciare i vari circuiti, in questo caso, si può utilizzare il detentore di taratura.

Inizialmente si stimano le perdite su ogni circuito considerando il detentore tutto aperto, in modo da individuare il percorso più sfavorito. Noto il percorso più sfavorito, al quale corrisponderà il detentore tutto aperto, si può determinare tramite apposito grafico quanti giri bisogna applicare al detentore di ogni circuito affinché le cadute risultino bilanciate. Per determinare il numero di giri al detentore è necessario conoscere la portata del circuito e la differenza di perdita di carico rispetto al circuito più sfavorito. Il grafico in questione, fornito dalle schede tecniche, è il seguente:

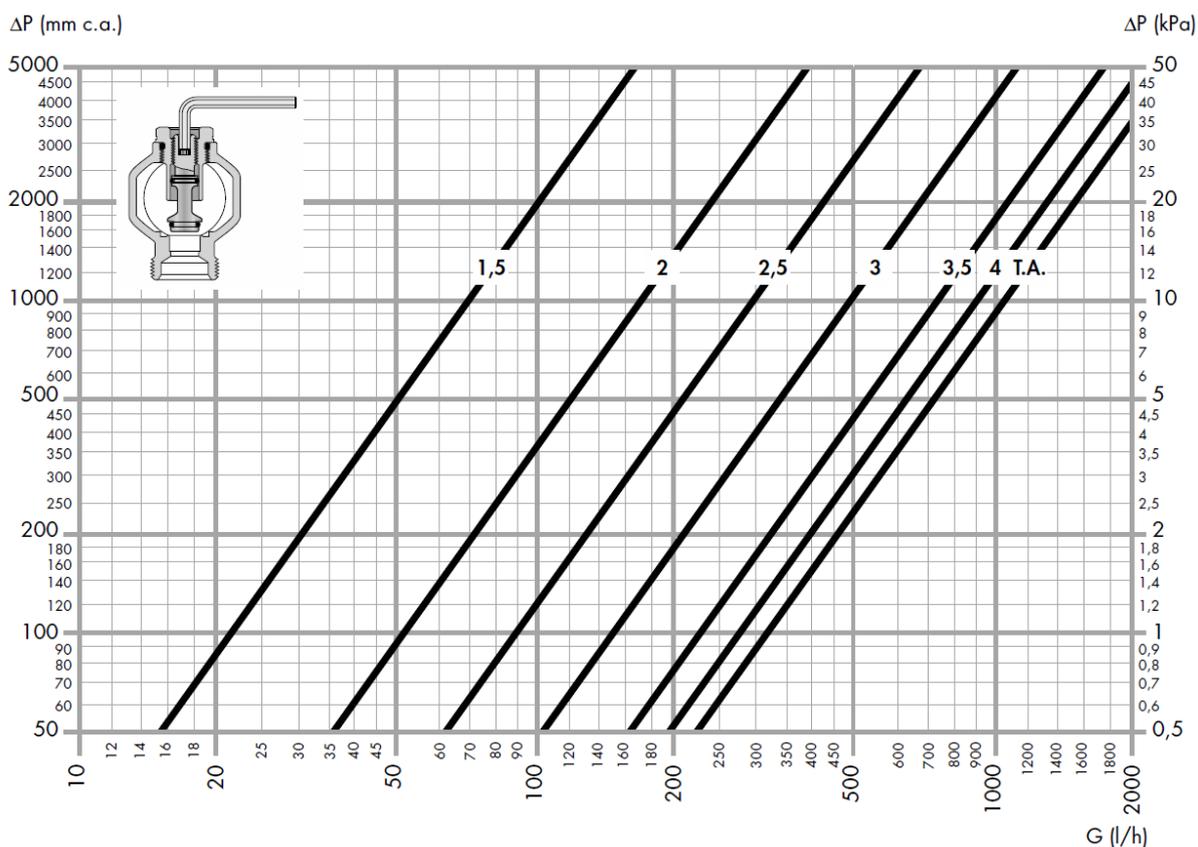


Figura 4.16. Grafico di regolazione detentore di taratura [30].

Come si può vedere dal grafico le linee nere oblique indicano quanti giri applicare al detentore e vanno da 1,5 a tutto aperto.

I locali serviti dai pannelli radianti presentano poi un apposito collettore da cui si diramano i vari circuiti dei pannelli. Il collettore usato per questa applicazione è il collettore di distribuzione per impianti a pannelli Caleffi, serie 664.

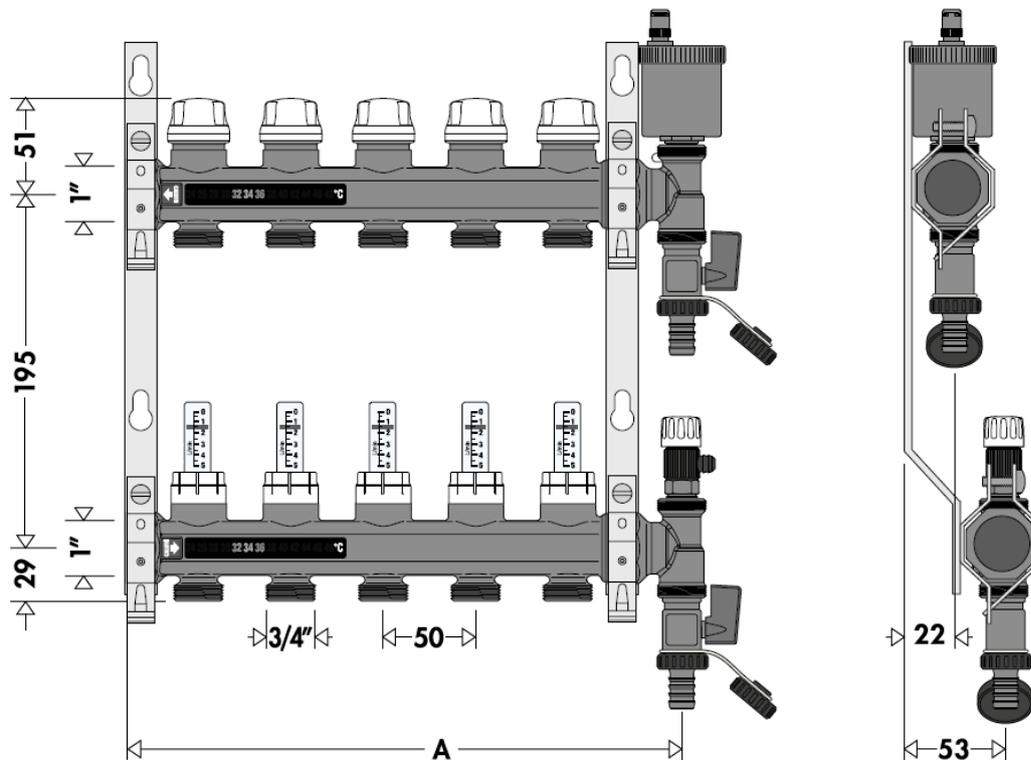


Figura 4.17. Schema collettore di distribuzione per impianti a pannelli Caleffi, serie 664 [31].

Anche in questo caso le perdite di carico vengono calcolate tramite i coefficienti K_v relativi alle perdite localizzate sulla valvola di regolazione e sulla valvola di intercettazione e alle perdite distribuite sul collettore di mandata e di ritorno. I coefficienti K_v utilizzati sono i seguenti:

	K_v	$K_{v_{0,01}}$
Valvola di regolazione portata tutta aperta (VR)	1,10	110
Valvola d'intercettazione circuito a pannelli (VI)	4,10	410

	K_v	$K_{v_{0,01}}$
Collettore di mandata 2÷7 partenze	11,10*	1110*
Collettore di ritorno 2÷7 partenze	16,70*	1670*
Collettore di mandata 8÷13 partenze	6,90*	690*
Collettore di ritorno 8÷13 partenze	10,40*	1040*

* Valore medio

- K_v = portata in m^3/h per una perdita di carico di 1 bar
- $K_{v_{0,01}}$ = portata in l/h per una perdita di carico di 1 kPa

Figura 4.18. Coefficienti K_v per il calcolo delle perdite al collettore [31].

4.2.1 Edificio 1

L'edificio 1 è caratterizzato dalla presenza di due collettori secondari di distribuzione mentre i terminali sono tutti a pannelli radianti. Uno schema della rete è mostrato nella figura seguente. A sinistra è mostrato lo sviluppo a piano terra delle rate mentre a destra lo sviluppo sul tetto. Sul tetto il refrigeratore alimenta il collettore primario, che a sua volta alimenta la batteria fredda UTA e i due montanti verso i collettori secondari. La pompa di calore alimenta la batteria di post riscaldamento dell'UTA. La visione accurata dello schema è rimandata alle planimetrie allegate.

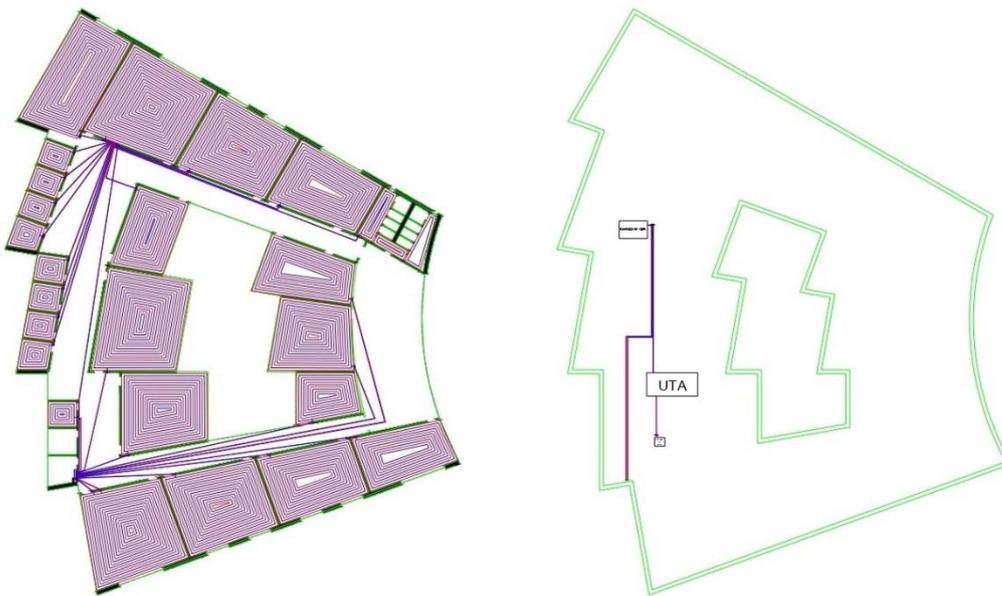


Figura 4.19. Schema rete di distribuzione idronica edificio 1.

Le seguenti tabelle mostrano i vari parametri di dimensionamento, valutati secondo le assunzioni viste a inizio paragrafo.

Edificio 1												
Collettore 1 (Serie 663)										(Serie 664)		
Uffici	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{col2} [kPa]	ΔP_{anello} [kPa]	ΔP_{tot} [kPa]
94	9,28	221,4414705	586	16 x 2,2	0,594	5,43808	6	1,058508	1,105588525	4,401679737	17,16	29,16385626
95	14,4	219,2544902	577	16 x 2,2	0,588	8,3088	4	0,691488	1,083858534	4,315166121	17,16	31,55931265
96	20,8	224,1036758	596	16 x 2,2	0,599	12,3968	4	0,717602	1,132331448	4,50815134	17,16	35,91488479
97	29,5	297,7834453	542	16 x 1,5	0,622	15,989	4	0,773768	1,999294217	2,067772295	5,4	26,22983451
98	31,8	225,2930473	600	16 x 2,2	0,602	19,08	4	0,724808	1,144382446	4,556129982	19,32	44,82532043
99	39	231,910906	628	16 x 2,2	0,618	24,492	4	0,763848	1,21260109	4,827728875	20,16	51,45617796
100	46,4	232,8817696	632	16 x 2,2	0,62	29,3248	4	0,7688	1,222775122	4,868234751	20,16	56,34460987
101	53,6	295,0273924	536	16 x 1,5	0,617	28,7296	4	0,761378	1,962457637	2,029674022	5,4	38,88310966
Aule												
82	19,6	407,5294528	349	20 x 2,0	0,562	6,8404	8	1,263376	3,744498077	1,113946523	21,6	34,5622206
Servizi												
110	68	375,4404189	106	25 x 2,5	0,332	7,208	8	0,440896	3,178027571	3,286878595	12,18	26,29380217
Laboratori												
83	8	1403,236967	289	32 x 2,9	0,723	2,312	6	1,568187	44,39536631	5,864329035	15,42857143	69,56845378
81	0,6	1221,703264	227	32 x 2,9	0,629	0,1362	4	0,791282	33,65170532	5,419654987	22,05	62,04884231
65	45	1076,786906	182	32 x 2,9	0,554	8,19	8	1,227664	26,1417791	4,210170692	13,58	53,34961379
Spazi comuni												
85	17,2	917,7429579	138	32 x 2,9	0,472	2,3736	6	0,668352	18,98968368	3,970313795	11,928	37,92994947

Collettore 2 (Serie 663)												
Uffici	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{col2} [kPa]	ΔP_{anello} [kPa]	ΔP_{tot} [kPa]
102	14,86	214,0140439	551	16 x 2,2	0,572	8,18786	8	1,308736	1,03266666	4,111355905	17,16	31,80061857
Aule												
92	92	616,9971859	249	25 x 2,5	0,545	22,908	6	0,891075	8,583056583	2,553363852	16,02	50,95549544
Laboratori												
88	24,6	1023,452221	167	32 x 2,9	0,527	4,1082	4	0,555458	23,61624007	3,80342904	16,8	48,88332711
86	110	957,5318893	149	32 x 2,9	0,493	16,39	6	0,729147	20,67198123	4,322044203	13,272	55,38517244
89	26	1477,883487	316	32 x 2,9	0,761	8,216	6	1,737363	49,24430384	6,50484104	23,65714286	89,35965073
Computer Lab												
84	71,4	1168,17716	210	32 x 2,9	0,602	14,994	4	0,724808	30,76755818	6,43280124	21,6	74,51916742
87	49,2	1325,501085	261	32 x 2,9	0,683	12,8412	4	0,932978	39,61282218	6,379701333	21,78	81,54670151
90		2269,729263										
	5	1134,864631	199	32 x 2,9	0,584	0,995	4	0,682112	29,03780146	6,071148191	19,152	55,93806165
	6,4	1134,864631	199	32 x 2,9	0,584	1,2736	4	0,682112	29,03780146	6,071148191	19,152	56,21666165
Spazi comuni												
91	13,6	1293,632931	250	32 x 2,9	0,677	3,4	4	0,916658	37,7309495	6,076623062	23,54	71,66423056
Infermeria												
93	61	310,7112711	219	20 x 2,0	0,428	13,359	4	0,366368	2,176655128	2,251208017	18,72	36,87323114

Tabella 4.17. Parametri dimensionamento tratti finali, edificio 1.

	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{ramo} [kPa]	$\Delta P_{terminale}$ [kPa]	ΔP_{MAX} [kPa]
Ramo 1	164	7350,1	205	50 x 2,0	0,925	33,62	14	5,989375	19,56523373	59,17460873	69,56845378	128,7430625
Ramo 2	79	10658	409	50 x 2,0	1,34	32,311	12	10,7736	41,13538748	84,21998748	89,35965073	173,5796382
	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	$\Delta P_{batteria}$ [kPa]	ΔP_{tot} [kPa]		
Batteria Fredda	38	55476	102	125 x 5,0	1,16	3,876	4	2,6912	26,8	33,3672		
Batteria Calda	10	1692	306	25 x 1,0	0,809	3,06	4	1,308962	8,8	13,168962		

Tabella 4.18. Parametri dimensionamento tratti verso collettori secondari e batterie UTA, edificio 1.

La prima tabella mostra il diametro scelto per le tubazioni in PEX dei tratti che vanno dal collettore secondario di distribuzione ai collettori terminali degli impianti a pannelli. Sono mostrate la velocità del fluido e le cadute distribuite e localizzate su ogni tratto. Infine, le cadute dovute al collettore di distribuzione (ΔP_{col1}), quelle dovute al collettore finale (ΔP_{col2}), quelle dovute al circuito del pannello (ΔP_{anello}) e quelle totali.

La seconda tabella mostra gli stessi parametri per i rami che portano l'acqua refrigerata dal collettore primario al secondario di distribuzione. Queste tubazioni sono in acciaio. Alla fine, la caduta sul ramo è sommata a quella del tratto più sfavorito del collettore secondario per ottenere la perdita di carico massima con cui dimensionare le pompe di mandata.

Nella stessa tabella sono mostrati i parametri di dimensionamento del ramo che va dal collettore primario freddo alla batteria di raffreddamento dell'UTA e del ramo va dalla pompa di calore alla batteria di post riscaldamento dell'UTA.

4.2.2 Edificio 2

L'edificio 2 è caratterizzato dalla presenza di cinque collettori secondari di distribuzione al piano terra e due al primo piano. A piano terra due collettori sono dedicati a servire i fan coil e tre a servire i pannelli radianti. Al primo piano vi sono solo terminali a pannello radiante. Uno schema della rete è mostrato nella figura seguente. A sinistra e al centro sono mostrati gli sviluppi a piano terra e a primo piano delle reti, a destra lo sviluppo sul tetto. La visione accurata dello schema è rimandata alle planimetrie allegate.

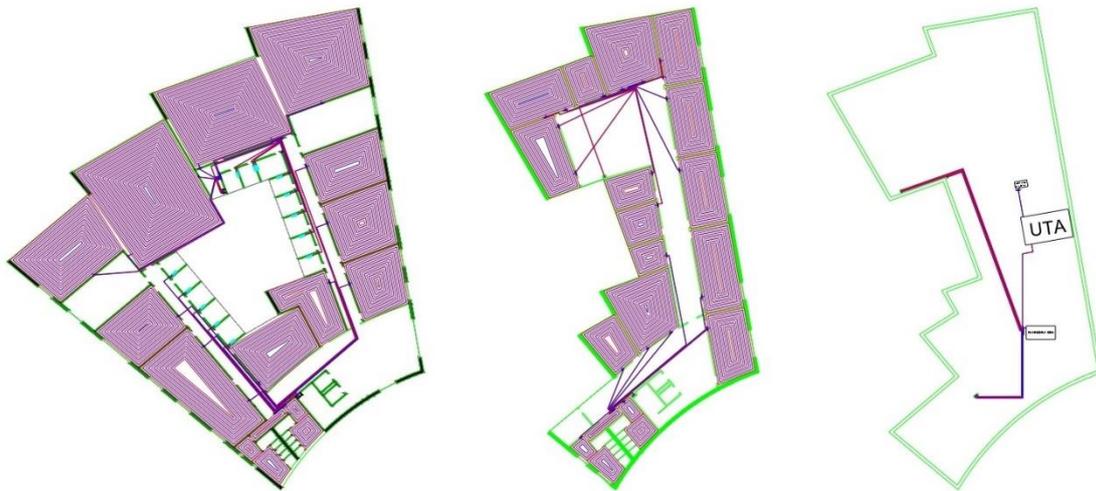


Figura 4.20. Schema rete di distribuzione idronica edificio 2.

Per quanto riguarda le tabelle di dimensionamento, valgono le stesse considerazioni viste per l'edificio 1. In questo caso, per i collettori secondari di distribuzione 1 e 2 si è utilizzata una tipologia differente da quella citata all'inizio, in quanto la portata sulle singole diramazioni era superiore a quella accettabile dal modello caleffi serie 663. Il collettore scelto è di tipo Caleffi, serie 550 [32] e permette di calcolare le perdite di carico direttamente da grafico. Il grafico utilizzato è il seguente:

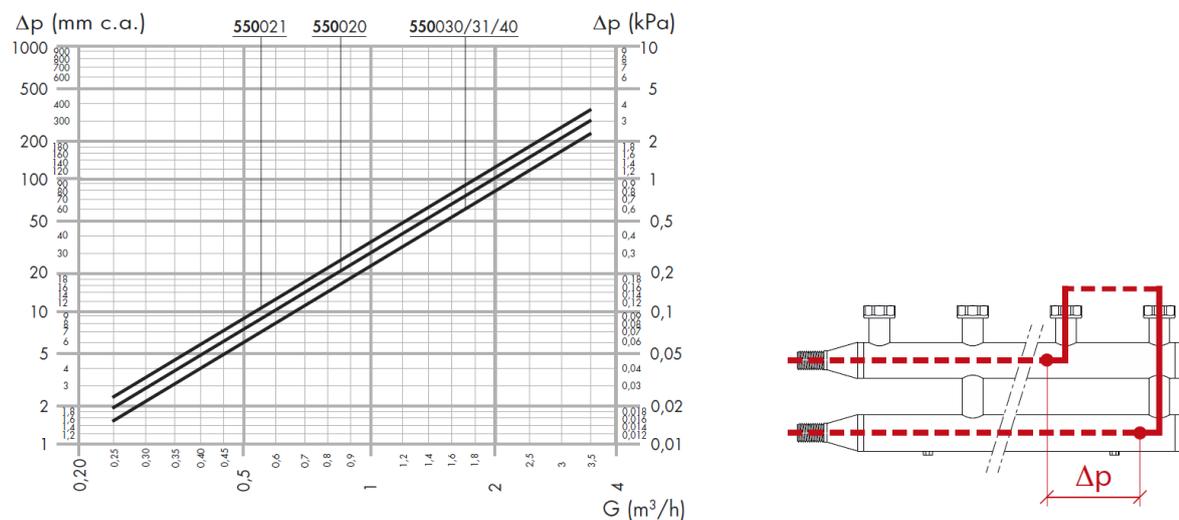


Figura 4.21. Grafico per stima cadute di pressione collettore Caleffi serie 550 [32].

Seguono le tabelle di dimensionamento e calcolo delle perdite di carico. Le prime due tabelle si riferiscono ai tratti in PEX che vanno dai collettori secondari di distribuzione ai terminali e ai tratti in acciaio che vanno dal collettore primario ai collettori secondari di distribuzione. In particolare, nella tabella 4.38 si notano i collettori 3 e 4 dedicati ai ventilconvettori.

Edificio 2 Piano 0												
Collettore 1 (Serie 550-030)												
Laborato	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{col2} [kPa]	ΔP_{anello} [kPa]	ΔP_{tot} [kPa]
255		7227,975411										
	7,1	2409,325137	91	50 x 4,6	0,512	0,6461	5	0,65536		1,2	22,37568362	48,14940169
	54,76	2409,325137	91	50 x 4,6	0,512	4,98316	10	1,31072		1,2	22,37568362	53,14182169
	64,16	2409,325137	91	50 x 4,6	0,512	5,83856	9	1,179648		1,2	22,37568362	53,86614969
Collettore 2 (Serie 550-030)												
Laborato	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{col2} [kPa]	ΔP_{anello} [kPa]	ΔP_{tot} [kPa]
256		7917,087172										
	7,74	2639,029057	106	50 x 4,6	0,561	0,82044	6	0,944163		1,4	26,16645445	52,68378473
	24,34	2639,029057	106	50 x 4,6	0,561	2,58004	10	1,573605		1,4	26,16645445	55,07282673
	49,84	2639,029057	106	50 x 4,6	0,561	5,28304	12	1,888326		1,4	26,16645445	58,09054773
Collettore 3 (Serie 663)												
Uffici	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{col2} [kPa]	$\Delta P_{batteria}$ [kPa]	ΔP_{tot} [kPa]
246	43,28	149	263	16 x 2,2	0,398	11,38264	6	0,475212	0,500550784		3,1	15,45840278
247	35,86	168	365	16 x 2,2	0,449	13,0889	6	0,604803	0,636347251		5	19,33005025
248	28,36	168	365	16 x 2,2	0,449	10,3514	6	0,604803	0,636347251		5	16,59255025
249	20,66	168	365	16 x 2,2	0,449	7,5409	6	0,604803	0,636347251		5	13,78205025
251	19,32	390	325	22 x 3,0	0,539	6,279	7	1,0168235	3,429294817		11,7	22,42511832
252	13,68	390	325	22 x 3,0	0,539	4,446	7	1,0168235	3,429294817		11,7	20,59211832
253	12,8	200	276	17 x 2,0	0,419	3,5328	7	0,6144635	0,90185268		6,7	11,74911618
254	14,62	149	263	16 x 2,2	0,398	3,84506	6	0,475212	0,500550784		3,1	7,920822784
Collettore 4 (Serie 663)												
Uffici	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{col2} [kPa]	$\Delta P_{batteria}$ [kPa]	ΔP_{tot} [kPa]
241	29,72	458	428	22 x 3,0	0,633	12,72016	6	1,202067	4,729405641		7,9	26,55163264
242	37,96	390	325	22 x 3,0	0,539	12,337	6	0,871563	3,429294817		11,7	28,33785782
243	46,06	390	325	22 x 3,0	0,539	14,9695	6	0,871563	3,429294817		11,7	30,97035782
244	54,3	390	325	22 x 3,0	0,539	17,6475	6	0,871563	3,429294817		11,7	33,64835782
245	62,3	200	276	17 x 2,0	0,419	17,1948	6	0,526683	0,90185268		6,7	25,32333568
Collettore 5 (Serie 663)												
Laborato	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{col2} [kPa]	ΔP_{anello} [kPa]	ΔP_{tot} [kPa]
263		2058,277582										
	11,8	1029,138791	168	31 x 2,9	0,53	1,9824	6	0,8427	23,87940523	4,992644092	20,64	52,33714933
	30,44	1029,138791	168	31 x 2,9	0,53	5,11392	6	0,8427	23,87940523	4,992644092	20,64	55,46866933
	11,7	1276,363916	245	32 x 2,9	0,675	2,8665	6	1,366875	36,73031429	5,91546934	21,6	68,47915863
Computer Lab												
257	98,8	967,6939714	151	32 x 2,9	0,498	14,9188	10	1,24002	21,11308421	4,41426887	17,64	59,32617309
258	78,52	1195,190833	218	33 x 2,9	0,616	17,11736	10	1,89728	32,20698833	5,186981262	16,5	72,90860959
Servizi												
264	2,3	821,1891281	372	25 x 2,3	0,698	0,8556	8	1,948816	15,20414459	4,523063879	15,9	38,43162447
Spazi comuni												
268	47,08	1177,426436	213	33 x 2,9	0,606	10,02804	6	1,101708	31,2567036	5,033936555	15,45	62,87038816
259	56,72	745,2074854	315	23 x 2,3	0,633	17,8668	10	2,003445	12,52074084	3,724781113	18,27	54,38576695
Negozi												
266	57,64	1357,537364	96,7	40 x 3,7	0,452	5,573788	10	1,02152	41,5507811	5,488578476	13,43828571	67,07295329
L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{ramo} [kPa]	$\Delta P_{terminale}$ [kPa]	ΔP_{MAX} [kPa]	
Ramo 1	103	7227,975411	199	50 x 2,0	0,91	20,497	14	5,7967	-	26,2937	80,15984969	
Ramo 2	105	7917,087172	235	50 x 2,0	0,997	24,675	14	6,958063	-	31,633063	89,72361073	
Ramo 3	130	1782	106	32 x 1,25	0,489	13,78	16	1,912968	1,150031326	16,84299933	39,26811764	
Ramo 4	67	1828	111	33 x 1,25	0,502	7,437	15	1,89003	1,210170756	10,53720076	44,18555857	
Ramo 5	64	9598,886716	93	65 x 2,5	0,717	5,952	15	3,8556675	33,36844769	43,17611519	116,0847248	

Tabella 4.19. Parametri dimensionamento rete di distribuzione, edificio 2, piano terra e tetto.

Edificio 2 Piano 1												
Collettore 1 (Serie 663)												
Uffici	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{col2} [kPa]	ΔP_{anello} [kPa]	ΔP_{tot} [kPa]
279	41,8	844,6615989	120	32 x 2,9	0,435	5,016	7	0,6622875	16,08574239	7,857906247	23,4	53,02193614
278	30,32	805,4887515	110	32 x 2,9	0,415	3,3352	7	0,6027875	14,62832394	4,35176364	9,45	32,36807508
280	10,32	895,5703462	132	32 x 2,9	0,461	1,36224	8	0,850084	18,0831889	8,833661482	22,94	52,06917438
Aule												
284		1698,996334										
	3,28	849,498167	121	32 x 2,9	0,437	0,39688	8	0,763876	16,27048509	4,840288316	16,95	39,22152941
	1,8	849,498167	121	32 x 2,9	0,437	0,2178	4	0,381938	16,27048509	4,840288316	16,95	38,66051141
273	32,8	361,0301227	284	22 x 3,0	0,499	9,3152	6	0,747003	2,938748951	1,435582715	14,04	28,47653467
Laboratori												
277		1864,980262										
	28,7	932,4901312	142	32 x 2,9	0,48	4,0754	6	0,6912	19,6048759	7,306123558	21,85714286	53,53474232
	34,92	932,4901312	142	32 x 2,9	0,48	4,95864	6	0,6912	19,6048759	7,306123558	21,85714286	54,41798232
276		2564,866964										
	24,1	1282,433482	247	32 x 2,9	0,661	5,9527	8	1,747684	37,08047642	9,119788828	17,2	71,10064925
	31,34	1282,433482	247	32 x 2,9	0,661	7,74098	10	2,184605	37,08047642	9,119788828	17,2	73,32585025
275		1835,714986										
	9,56	917,8574932	138	32 x 2,9	0,472	1,31928	6	0,668352	18,99442384	7,078627185	20,05714286	48,11782588
	14,18	917,8574932	138	32 x 2,9	0,472	1,95684	8	0,891136	18,99442384	7,078627185	20,05714286	48,97816988
274	11,36	790,6220927	107	32 x 2,9	0,407	1,21552	7	0,5797715	14,09332609	4,192607732	17,55	37,63122532
											max	73,32585025
Collettore 2 (Serie 663)												
Uffici	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{col2} [kPa]	ΔP_{anello} [kPa]	ΔP_{tot} [kPa]
281	64,52	651,4558522	249	25 x 2,3	0,553	16,06548	10	1,529045	9,568538061	4,674243387	11,88	43,71730645
Aule												
272	52,74	146,0830251	249	16 x 2,2	0,4	13,13226	10	0,8	0,481144047	0,497623772	5,46	20,37102782
271	41,42	331,0510309	245	22 x 3,0	0,457	10,1479	6	0,626547	2,470958767	1,207066597	10,656	25,10847236
Spazi comuni												
282		1800,125875										
	24,84	900,0629375	134	32 x 2,9	0,464	3,32856	8	0,861184	18,26507108	5,433655459	18,72	46,60847054
	33,24	900,0629375	134	32 x 2,9	0,464	4,45416	8	0,861184	18,26507108	5,433655459	18,72	47,73407054
Sale riunione												
283	15,2	631,9744747	236	25 x 2,3	0,536	3,5872	8	1,149184	9,004812706	4,398862812	19,6	37,74005952
Servizi												
288		1582,424822										
	4,1	791,2124108	107	32 x 2,9	0,408	0,4387	8	0,665856	14,11437952	6,894892897	16,2	38,31382841
	13,4	791,2124108	107	32 x 2,9	0,408	1,4338	8	0,665856	14,11437952	6,894892897	16,2	39,30892841
											max	47,73407054
	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{ramo} [kPa]	$\Delta P_{terminale}$ [kPa]	ΔP_{MAX} [kPa]
Ramo 1	114	11661,93146	133	65 x 2,5	0,871	15,162	14	5,310487	49,2532894	69,7257764	73,32585025	143,0516267
Ramo 2	56	5143,115079	107	50 x 2,0	0,648	5,992	15	3,14928	9,579586318	18,72086632	47,73407054	66,45493686

Tabella 4.20. Parametri dimensionamento rete di distribuzione, edificio 2, primo piano e tetto.

Nella terza tabella sono mostrati i parametri di dimensionamento del ramo che va dal collettore primario freddo alla batteria di raffreddamento dell'UTA e del ramo va dalla pompa di calore alla batteria di post riscaldamento dell'UTA.

	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	$\Delta P_{batteria}$ [kPa]	ΔP_{tot} [kPa]
Batteria Fredda	31	100620	130	150 x 6,0	1,48	4,03	8	8,7616	28,7	24,1916
Batteria Calda	9	2844	201	32 x 1,25	0,78	1,809	4	1,2168	11,4	14,4258

Tabella 4.21. Parametri dimensionamento rami batterie UTA, edificio 2, tetto.

4.2.3 Edifici 3, 4 e 5

Anche per i restanti edifici sono valide le considerazioni fatte in precedenza e sono stati utilizzati gli stessi componenti già visti. Si rimanda alle planimetrie allegate per la visualizzazione in pianta della rete di distribuzione. Per alleggerire la trattazione le tabelle di dimensionamento degli edifici 3, 4 e 5 sono allegate in fondo alla trattazione, nell'allegato 2.

CAPITOLO V

Considerazioni finali

In questo ultimo capitolo si vogliono sottolineare alcuni aspetti della trattazione, particolarmente rilevanti per il nostro caso in analisi. Rispetto a questi aspetti verranno quindi fatte delle considerazioni finali.

Il primo aspetto riguarda la soluzione adottata per le unità di trattamento aria. L'ambiente esterno del nostro sito presenta in estate temperature sui 40 °C, ma l'elemento che rende opprimente il caldo estivo è l'alto livello di umidità relativa, con valori intorno al 70 %. Per questo motivo l'utilizzo di uno scambiatore rotativo in grado di deumidificare l'aria esterna in ingresso rappresenta una soluzione particolarmente adatta alla nostra applicazione e, di conseguenza, comporta un grande risparmio energetico. L'utilizzo di uno scambiatore rotativo in grado di recuperare calore sensibile e in parte latente rappresenta già una soluzione più vantaggiosa rispetto alla configurazione senza scambiatore. Però, dati gli alti livelli di umidità relativa, l'utilizzo di uno scambiatore rotativo dotato di rivestimento in materiale igroscopico per massimizzare lo scambio di vapore acqueo, rappresenta la soluzione più adatta al nostro caso, comportando il massimo risparmio energetico. È stato quindi stimato il risparmio ottenuto sulla richiesta di potenza di alimentazione delle batterie di raffreddamento delle UTA. Il grafico seguente descrive questa stima.

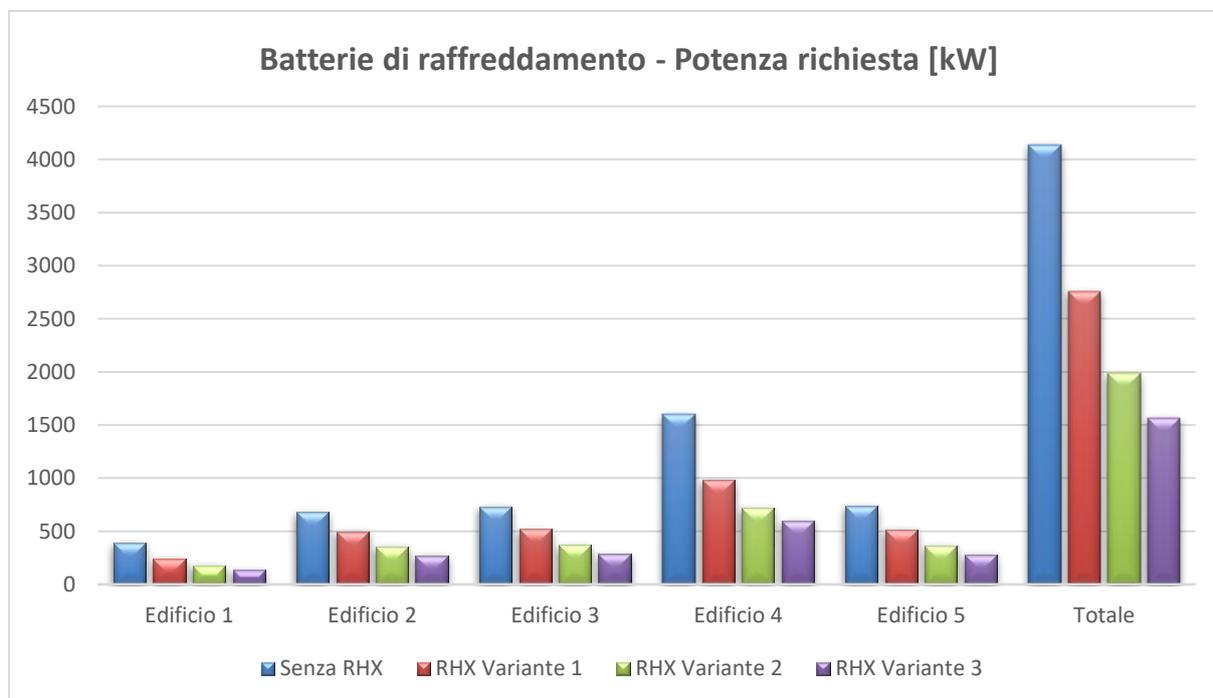


Grafico 5.1. Potenza di alimentazione richiesta dalle batterie di raffreddamento UTA dei vari edifici.

Come si può notare dal grafico, il risparmio ottenuto utilizzando lo scambiatore rotativo nelle tre configurazioni mantiene circa le stesse proporzioni nei vari edifici. L'ultima soluzione, che permette il maggiore recupero di calore latente, è quella per cui si ha il maggior risparmio.

Potenza richiesta [kW]	Risparmio [kW]	Risparmio [%]
4139	2570	62,1
2755	1186	43
1982	413	20,8
1569	-	-

Tabella 5.1. Risparmio ottenuto rispetto alla soluzione migliore per l'intero edificio.

Nella tabella precedente si è confrontato per l'intero edificio quanto effettivamente si è risparmiato utilizzando la soluzione migliore rispetto alle altre tre. Come si può notare, rispetto al caso senza scambiatore, il risparmio sull'alimentazione delle batterie fredde è di circa il 60 %. Confrontando il caso migliore, in cui lo scambiatore è dotato di rivestimento in zeolite, con il caso senza rivestimento, si nota che vi è comunque un notevole risparmio del 21 %. Questo perché nel caso migliore la deumidificazione della portata di alimentazione è maggiore e l'aria arriva alle batterie di raffreddamento in condizioni migliori. Grazie a questa ottimizzazione è stato possibile utilizzare taglie più piccole di refrigeratori rispetto a quelle previste negli altri casi. In base a queste valutazioni si può concludere che, avendo scelto una soluzione particolarmente adatta alla nostra applicazione, si è ottimizzato il consumo energetico.

Il secondo aspetto riguarda l'utilizzo di un impianto misto e la scelta dei terminali di immissione dell'impianto idronico. Data la zona climatica in cui si trova la struttura, vi sarà una necessità di raffrescamento per la maggior parte dei mesi dell'anno. Come già detto, utilizzare un impianto misto permette di evitare gli ingombri eccessivi e il trattamento di portate d'aria troppo elevate. Utilizzando la portata di aria primaria si riesce a bilanciare circa il 50-60 % dei carichi delle varie zone, mentre il restante carico viene bilanciato dal raffrescamento a pavimento. Sulla scelta dell'utilizzo dei pannelli radianti a pavimento si può fare qualche ulteriore considerazione. Nonostante questa tecnologia non sia particolarmente diffusa nei paesi mediorientali, il suo utilizzo nella nostra applicazione mira a fornire un raffrescamento confortevole degli occupanti per la maggior parte dell'anno. Questa tipologia di raffrescamento misto, infatti, risulta molto più confortevole rispetto al caso in cui tutto il carico fosse gestito dalle UTA, dovendo immettere portate maggiori negli ambienti. L'idea di fondo è la seguente: le UTA saranno responsabili di abbattere il carico del 50-60 %, mentre i pannelli a pavimento avranno il compito di raffrescare, coprendo il restante carico e assicurando la sensazione di raffrescamento piacevole agli occupanti. Da un punto di vista della regolazione, quindi, i pannelli radianti saranno sempre tenuti a regime, dato che costituiscono la parte di raffrescamento confortevole. La regolazione, invece, sarà fatta sulle UTA, variando la potenza immessa negli ambienti dal sistema ad aria. Questa considerazione sull'impianto vuole sottolineare l'aspetto della ricerca del confort abitativo all'interno della nostra struttura, in una località in cui le condizioni esterne rendono spesso il caldo opprimente. Allo stesso tempo sono stati ricercati aspetti di risparmio energetico, dato che l'alimentazione dei pannelli a pavimento è possibile a temperature superiori rispetto ai normali terminali di immissione e, di solito, l'utilizzo dei pannelli a pavimento comporta un risparmio del 15-20 % rispetto ai terminali convenzionali.

L'ultima considerazione da fare riguarda gli accorgimenti e le modifiche da attuare allo schema di progettazione a seguito della recente pandemia mondiale di Covid-19. Mantenere negli ambienti interni le dovute condizioni di qualità dell'aria implica anche garantirne la salubrità, evitando l'accumularsi di inquinanti di natura biologica. Negli ambienti interni, infatti, la presenza di virus rappresenta una delle cause più frequenti del diffondersi di malattie infettive. Questo grazie alle caratteristiche dei virus di resistenza in ambiente e di elevata contagiosità. In particolare, i virus enterici e quelli respiratori (come il Covid-19). Ad oggi le modalità di trasmissione accertate del Covid-19 sono per contatto ravvicinato o diretto con una persona infetta, per inalazione di goccioline liquide prodotte da una persona infetta o per contatto indiretto con superfici contaminate.

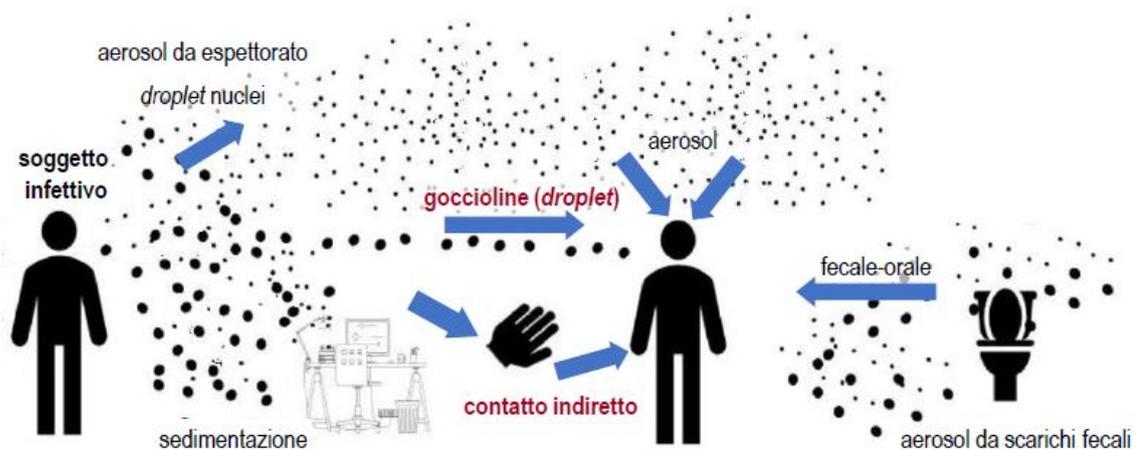


Figura 1. Schematizzazione delle vie di trasmissione del virus (in rosso quelle accertate)

Figura 5.1. Modalità di trasmissione del virus Covid-19 [33].

Per evitare il contatto diretto con persone infette la soluzione più semplice è quella di mantenere un certo distanziamento sociale tra le persone e l'utilizzo di dispositivi di protezione personale, quali mascherine. Per evitare contatti con superfici contaminate è invece necessaria una periodica sanificazione dei locali. L'aspetto che più influenza gli impianti di climatizzazione è sicuramente l'emissione di goccioline liquide in aria. In base alla dimensione di queste goccioline la carica virale è diversa, in relazione con la loro persistenza in ambiente e con la capacità di evaporare e produrre aerosol. Gli impianti di climatizzazione e ventilazione possono quindi mitigare o incrementare le possibilità di diffusione del virus per via aerea. La distanza attraverso cui possono viaggiare le goccioline infette e lo spostamento dell'aerosol dipendono dalla movimentazione dell'aria, la quale può favorire o sfavorire il contatto dei contaminanti con gli occupanti. La tabella seguente mostra la classificazione delle goccioline (droplet) in base alle dimensioni e la stima del comportamento e del rischio che ne derivano.

Diametro <i>droplet</i> (μm)	Tempo di sedimentazione entro 5 "feet" (1,524 m)	Tempo di evaporazione a 18°C e U.R. 50%	Classificazione	Destino stimato	Rischio stimato
0,5	24~41 h	0,0 s	<i>Small droplet</i>	Evaporano prima di cadere al suolo, con eventuale formazione di bioaerosol di <i>droplet</i> nuclei	Carica infettante potenziale minima ma di lunga durata in aria in ambiente chiuso
1	7~12,0 h	0,0 s			
2	2,2~3,1 h	0,0 s			
3	1,1~1,5 h	0,0 s			
5	26~31 min	0,1 s			
10	7,9~8,2 min	0,2 s			
20	2,2~2,3 min	0,8 s			
50	22,5~28,6 s	4,5 s	<i>Medium droplet</i>	Sedimentano al suolo prima di evaporare entro una gittata che dipende dalla velocità di emissione	Carica infettante potenziale media dipendente dalle condizioni ambientali (<i>temperatura, umidità, turbolenza, ecc.</i>)
80	9,1~12,6 s	10,9 s			
100	5,8~8,6 s	16,5 s			
160	2,4~3,8 s	39,8 s	<i>Large droplet</i>	Sedimentano al suolo entro breve distanza	Carica infettante potenziale elevata ma di brevissima durata in aria
200	1,6~2,6 s	60,4 s			
500	0,3~0,5 s	5,6 min			
1000	0,1~0,2 s	21 min			

Figura 5.2. Destino delle *droplet* (goccioline) emesse durante respirazione, tosse, starnuto, etc. [33].

L'immissione di aria esterna in ambiente ha l'effetto di diluire gli inquinanti, mentre il ricircolo dell'aria può causare la diffusione dei contaminanti attraverso più ambienti. Sono quindi da prediligere gli impianti a tutta aria esterna. Nel nostro caso, per tutti gli edifici, non è previsto ricircolo d'aria e le portate fornite nei vari ambienti sono costituite solamente da aria esterna. Qualche approfondimento potrebbe essere necessario sulla eventualità che i contaminanti possano essere trasmessi tramite lo scambiatore rotativo dal flusso di aria espulsa a quello di aria esterna di alimentazione. Solamente l'auditorium presenta una quota di ricircolo, circa il 30 % della portata di immissione. Si potrebbe quindi valutare di utilizzare tutta aria esterna, spendendo più energia di raffreddamento. È importante evitare che nelle UTA vi siano possibilità di interazione tra la presa d'aria esterna e l'espulsione dell'aria di scarico. Il posizionamento delle bocche di presa e di espulsione deve essere debitamente distanziato, evitando che siano in posizioni contrapposte. Gli interventi regolari di manutenzione e pulizia dei componenti delle UTA è poi essenziale per garantire la qualità dell'aria fornita agli ambienti.

I ventilconvettori e i terminali di immissione dell'impianto ad aria (diffusori, bocchette) devono essere attenzionati poiché i getti d'aria possono interagire con le emissioni della respirazione e provocarne la diffusione. È importante controllare la velocità dell'aria. Velocità superiori a 0,25 m/s possono provocare un incremento della distanza percorribile dalle goccioline, riducendo così l'efficacia della distanza interpersonale. Velocità superiori a 2 m/s possono provocare trascinamento delle gocce, aumentando il rischio di sospensione della carica virale.

La figura seguente mostra alcuni casi di interazione dei getti d'aria con le emissioni della respirazione.

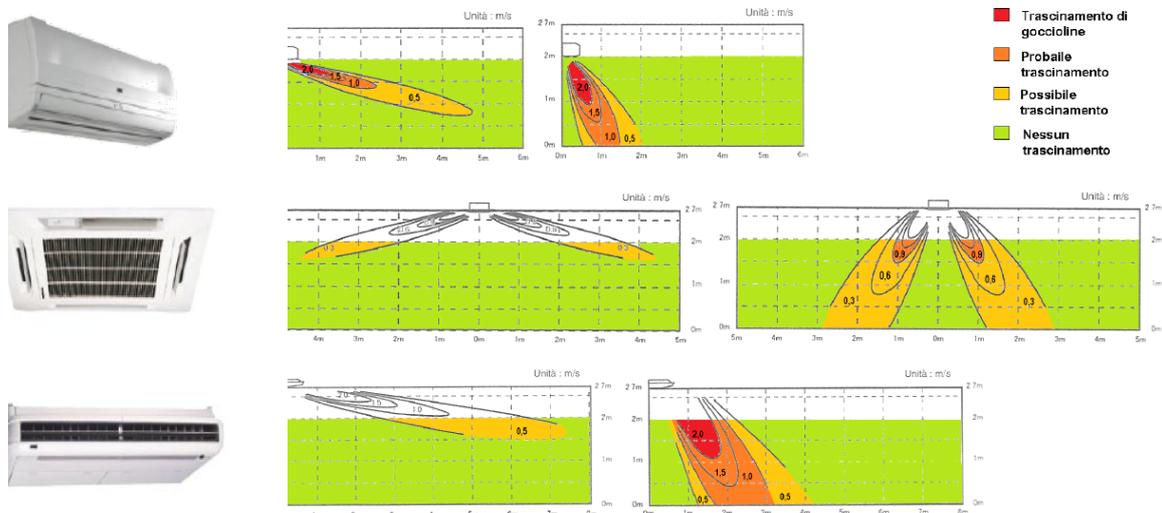


Figura 5.3. Interazione dei getti di alcuni terminali di climatizzazione con l'ambiente e rischio di trascinamento goccioline [33].

Infine, una ulteriore considerazione deve essere fatta in merito alle portate di ventilazione. È infatti molto probabile che a seguito di questo periodo di pandemia mondiale le principali norme in merito alla ventilazione vengano modificate. Da una parte, per garantire un maggiore distanziamento interpersonale, gli indici di affollamento considerati saranno sicuramente ridotti. Questo significa che nei vari locali vi saranno meno occupanti a parità di superficie calpestabile. Dall'altra parte, sarà incrementata la portata di ricambio d'aria esterna per persona, in modo da garantire una maggiore diluizione degli inquinanti e un miglioramento della qualità dell'aria. Ci si può aspettare che, nonostante il minore affollamento degli ambienti, vi sarà una maggiore necessità di immissione d'aria esterna. Questo sicuramente implica una rivalutazione delle taglie delle unità di trattamento aria ma anche la riduzione del ricircolo d'aria negli ambienti. È prevedibile che tutte queste considerazioni, frutto di vari studi svolti a seguito delle recenti problematiche di diffusione del Covid-19, siano presto oggetto di normazione in materia di qualità dell'aria degli ambienti interni. Per questo motivo, è corretto inserire questo tipo di valutazioni all'interno della progettazione di impianti di climatizzazione e ventilazione.

In conclusione, la progettazione dell'impianto di climatizzazione del Musandam College of Technology ha richiesto lo studio e la ricerca di tecnologie e applicazioni che meglio si adattassero alle condizioni sia climatiche che di utilizzo della struttura. A partire dalle unità di trattamento aria, in grado di gestire alte portate e condizioni severe dell'aria esterna, fino ai refrigeratori, in grado di fornire prestazioni ottimali alle alte temperature esterne del luogo. Il tutto, cercando di garantire l'ottimizzazione energetica e la ricerca delle migliori condizioni di confort termo-igrometrico interno. Inoltre, l'immissione negli ambienti della sola portata di rinnovo, senza alcun ricircolo, costituisce un fattore importante nell'ottica di prevenzione della diffusione di virus nella struttura.

RIFERIMENTI

- [1] IEA (2019), *Tracking Buildings*, IEA, Paris “<https://www.iea.org/reports/tracking-buildings>”.
- [2] Fonte dati cartografici: Google Maps “<https://www.google.it/maps>”.
- [3] Fonte immagine: POLITECNA EUROPA S.R.L “<https://www.politecna-europa.com/>”.
- [4] Data provided by WorldWeatherOnline.com, title: “Historical average weather”, site: “<https://www.worldweatheronline.com>”
- [5] *ThinkHazard!* web-based tool, developed by The Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR), “<http://thinkhazard.org/en/report/187-oman/EQ>”
- [6] ANIT - Associazione Nazionale per l’Isolamento Termico e acustico, “mini GUIDA ANIT”, Gennaio 2018.
- [7] Finstral S.p.A, “Brochure informativa Il vetro ed il serramento”.
- [8] Climate.OneBuilding.Org: Repository of free climate data for building performance simulation, “<http://climate.onebuilding.org/>”.
- [9] Modular Air Handling Unit, Danvent DV Catalogue, 13. edition 2017, Systemair A/S.
- [10] Ecoclima S.R.L., Scheda tecnica – EVHRPE Heat recuperator unit with high efficiency up to 90% and flow rates up to 5000 m³/h.
- [11] Würth, Würth termotecnica, Manuale tecnico.
- [12] Eurotherm Spa, Sistema radiante a pavimento Eurogrid – Scheda tecnica.
- [13] Eurotherm Spa, Tubo Midix Plus – Scheda tecnica.
- [14] Ventilclima, Air - Design and Performance, catalogo ventilconvettori.
- [15] Immagine riadattata, fonte immagine: “<https://slideplayer.com/slide/13183172/>”.
- [16] Immagine riadattata, fonte immagine: “<https://www.mecholic.com/2016/07/working-principle-of-centrifugal-compressor.html>”.
- [17] Fonte immagine: “<http://macchinefrigorifere.blogspot.com/2013/03/compressori-copeland-scroll.html>”.

⁵ Tutti i collegamenti a siti web, presenti nei riferimenti, sono stati visitati in ultima data il 23 giugno 2020.

- [18] Immagine riadattata, fonte immagine: “<https://www.quora.com/What-is-the-difference-between-a-centrifugal-compressor-and-a-screw-compressor>”.
- [19] Immagine riadattata, fonte immagine: “<http://www.baltimoreaircoil.com/english/products/evaporative-condensers/vca/engineering-considerations>”.
- [20] Immagine riadattata, fonte immagine: “<http://www.ref-wiki.com/technical-information/161-refrigeration-32541-d-x-and-flooded-evaporators.html>”.
- [21] Carrier, Soluzioni per la climatizzazione, Catalogo generale 2011, Aprile 2011.
- [22] Immagine riadattata, fonte immagine: “<https://www.edilizianamirial.it/dimensionamento-canali/>”.
- [23] Marco e Mario Doninelli, Tabelle e diagrammi perdite di carico aria, Quaderni Caleffi.
- [24] Gardair Spa, Scheda tecnica – AQ Diffusore a cono fissi con sezione quadrangolare, Nr 3S2151 Rev.0 del 11/13.
- [25] Ecoclima S.R.L., Scheda tecnica – EVPMC Valvole di ventilazione in ABS per la mandata e estrazione dell'aria.
- [26] Air Car, Scheda tecnica – Griglie.
- [27] Mario Doninelli, Le reti di distribuzione, Quaderni Caleffi.
- [28] “HySelect”, IMI Hydronic Engineering Srl, “<https://www2.imi-hydronic.com/it/knowledge-tools/hydrionic-tools-software/balance-control/hyselect/>”.
- [29] Marco e Mario Doninelli, Tabelle e diagrammi perdite di carico acqua, Quaderni Caleffi.
- [30] Caleffi, Scheda tecnica - Collettori premontati di distribuzione per impianti di riscaldamento e condizionamento, serie 663.
- [31] Caleffi, Scheda tecnica - Collettore di distribuzione per impianti a pannelli Caleffi, serie 664.
- [32] Caleffi, Scheda tecnica - Collettore per centrale termica Caleffi, serie 550.
- [33] Rapporto ISS COVID-19 n. 33/2020, “Indicazioni sugli impianti di ventilazione/climatizzazione in strutture comunitarie non sanitarie e in ambienti domestici in relazione alla diffusione del virus SARS-CoV-2”, Versione del 25 maggio 2020.

ALLEGATI

Gli allegati 1, 2 (tabelle di dimensionamento) e 3 (schede tecniche refrigeratori e pompe di calore) sono inseriti in questo stesso documento per una visualizzazione più immediata. Gli allegati 4, 5, 6 (planimetrie e schemi di riferimento) e 7 (raccolta schede tecniche) vengono forniti in documenti separati rispetto a quello corrente.

ALLEGATO 1: Tabelle di dimensionamento rete aeraulica

- Edificio 2

Tetto	Portata [m ³ /h]	D _n [mm]	v [m/s]	P _{dist} [Pa/m]	L [m]	ΔP _{dist} [Pa]	ξ d+c	ξ s	ΔP _{loc} [Pa]	ΔP _{tot} [Pa]
tratto 1	25700,14392	1250	5,817322586	0,25	16	4	0,7		14,50943254	18,50943254
tratto 2	15921,03408	1000	5,630913939	0,3	15,5	4,65	1,9		36,89924444	41,54924444
tratto 3	9779,109844	800	5,40414469	0,35	8,5	2,975	1		17,88792765	20,86292765
Piano 0	Portata [m ³ /h]	D _n [mm]	v [m/s]	P _{dist} [Pa/m]	L [m]	ΔP _{dist} [Pa]	ξ d+c	ξ s	ΔP _{loc} [Pa]	ΔP _{tot} [Pa]
tratto 1	15921,03408	1000	5,630913939	0,3	0,25	0,075	0,3		5,826196491	5,901196491
tratto 2	7608,74677	800	4,204755761	0,25	6,5	1,625	1,3		14,07767692	15,70267692
tratto 3	7325,042331	800	4,047974637	0,2	1,5	0,3	0,2		2,007297086	2,307297086
tratto 4	6970,098538	800	3,851825125	0,2	6	1,2	0,2		1,817478208	3,017478208
tratto 5	6943,71741	800	3,837246352	0,2	3,5	0,7	0,2		1,803746296	2,503746296
tratto 6	6913,915588	800	3,820777229	0,2	1,5	0,3	0,2		1,788296483	2,088296483
tratto 7	6075,13397	800	3,357248616	0,15	2	0,3	0,2		1,380711988	1,680711988
tratto 8	6045,23328	800	3,340724856	0,15	3,5	0,525	0,2		1,367154214	1,892154214
tratto 9	6014,994496	800	3,32401426	0,15	2,5	0,375	0,2		1,353511173	1,728511173
tratto 10	5208,842136	630	4,641600032	0,35	0,75	0,2625	0,4		5,278390459	5,540890459
tratto 11	5182,934785	630	4,618513987	0,35	5,7	1,995	0,2		2,613007253	4,608007253
tratto 12	5092,474469	630	4,537904786	0,35	1,5	0,525	0,2		2,522591031	3,047591031
tratto 13	3664,794289	630	3,265698757	0,2	7	1,4	0,2		1,306436576	2,706436576
tratto 14	90,46031547	160	1,249757497	0,2	4	0,8	1,3		1,243657938	2,043657938
tratto 15	49,34173368	125	1,116868383	0,2	3,5	0,7	0,4		0,305611771	1,005611771
tratto 16	24,72391962	125	0,559635061	0,15	3	0,45	0,2		0,038365947	0,488365947
tratto 17	8312,287308	800	4,593547269	0,25	23	5,75	0,8		10,33933149	16,08933149
tratto 18	7502,262284	800	4,145910163	0,2	3	0,6	0,2		2,105599957	2,705599957
tratto 19	6185,217981	800	3,418083388	0,15	3,5	0,525	0,2		1,431203521	1,956203521
tratto 20	6152,803132	800	3,400170251	0,15	3,5	0,525	0,2		1,416241823	1,941241823
tratto 21	6122,896362	800	3,383643132	0,15	4	0,6	0,2		1,402507504	2,002507504
tratto 22	6092,98213	800	3,36711189	0,15	2	0,3	0,2		1,388836704	1,688836704
tratto 23	5683,34586	800	3,140738149	0,15	1,75	0,2625	0,2		1,208368925	1,470868925
tratto 24	5653,513852	800	3,124252345	0,15	3,5	0,525	0,2		1,195716708	1,720716708
tratto 25	5627,656689	800	3,109963125	0,15	3	0,45	0,2		1,184804153	1,634804153
tratto 26	3682,496857	630	3,281473519	0,2	7	1,4	0,4		2,638176771	4,038176771

Tabella A1.1. Parametri dimensionamento canali principali di mandata, edificio 2, piano terra.

Ramo 1															
Uffici	Portata [m ³ /h]	D _n [mm]	v [m/s]	P _{dist} [Pa/m]	L [m]	ΔP _{dist} [Pa]	ξ d+c	ξ s	ΔP _{loc} [Pa]	ΔP _{term}	Modello term.	ΔP _{tot} [Pa]	ΔP _{nodo term.} [Pa]		
246	26,3811276	125	0,597146576	0,15	3	0,45	1,3	105	23,21674067	25	EVPMC 100	48,66674067	135,6540663		
247	29,80182221	125	0,674575263	0,15	3	0,45	1,3	60	17,0854881	25	EVPMC 100	42,5354881	132,0265601		
248	29,90069022	125	0,676813177	0,15	3	0,45	1,3	60	17,19903888	25	EVPMC 100	42,64903888	135,9091193		
249	30,23878349	125	0,684466043	0,15	3	0,45	1,3	40	11,85113538	25	EVPMC 100	37,30113538	132,45337		
251	24,72391962	125	0,559635061	0,15	2,5	0,375	0,3		0,05754892	25	EVPMC 100	25,43254892	135,9998281		
252	24,61781406	125	0,557233322	0,15	2,5	0,375	1,3		0,247242772	25	EVPMC 100	25,62224277	135,701156		
253	41,11858179	125	0,9307343	0,2	2,5	0,5	1,3		0,689764571	25	EVPMC 100	26,18976457	135,2630661		
254	25,90735103	125	0,586422468	0,15	3	0,45	1,3	15	3,433324877	25	EVPMC 100	28,88332488	131,3049612		
Aule															
269	1427,68018	400	3,15586608	0,3	8,5	2,55	1,3		7,930244484	14	AQ 600X375	24,48024448	134,5574791		
Laboratori															
256	3664,794289	630	3,265698757	0,2	7	1,4	0,2		1,306436576	38	AQ 600X600	40,70643658	150,7836712		
Computer Lab															
257	806,1523608	315	2,873449973	0,35	8	2,8	1,3		6,574409117	30	AQ 300X300	39,37440912	136,255155		
258	838,7816177	315	2,989753717	0,35	7	2,45	1,3		7,117381976	32	AQ 300X300	41,56738198	133,1467504		
Spazi comuni															
259	354,9437935	250	2,008570996	0,25	5,5	1,375	1,3	2,2	8,648653772	38	AQ 225X150	48,02365377	131,9935012		
Negozi															
266	283,7044385	200	2,508497987	0,4	4,5	1,8	1,3		5,010452612	48	AQ 150X150	54,81045261	136,473003		
Ramo 2															
Uffici															
241	32,4148488	125	0,733722086	0,15	2	0,3	1,3	60	20,21295233	25	EVPMC 100	45,51295233	132,2239608		
242	29,90676996	125	0,676950794	0,15	2	0,3	1,3	60	17,2060338	25	EVPMC 100	42,5060338	131,1582841		
243	29,91423158	125	0,677119691	0,15	2	0,3	1,3	60	17,21462054	25	EVPMC 100	42,51462054	133,1693783		
244	29,83200785	125	0,675258526	0,15	2	0,3	1,3	60	17,12011669	25	EVPMC 100	42,42011669	136,2345801		
245	25,85716351	125	0,585286455	0,15	2	0,3	1,3	60	12,86185221	25	EVPMC 100	38,16185221	133,6970323		
Laboratori															
263	1317,044303	400	2,911307099	0,25	6	1,5	1,3		6,748783313	47	AQ 375X300	55,24878331	140,0035882		
255	3682,496857	630	3,281473519	0,2	7	1,4	0,2		1,319088385	39	AQ 600X600	41,71908839	138,8890726		
270	810,0250233	315	2,887253694	0,35	7,5	2,625	1,3		6,637726236	48	AQ 300X225	57,26272624	139,3119312		
Spazi comuni															
268	409,6362702	250	2,318067103	0,3	6,5	1,95	1,3		4,278597694	48	AQ 225X150	54,22859769	146,5721922		
Sale riunione															
267	1945,159831	500	2,751838242	0,2	8	1,6	1,3		6,029693669	42	AQ 600X300	49,62969367	146,7996779		

Tabella A1.2. Parametri dimensionamento canali finali di mandata, edificio 2, piano terra.

Piano 1	Portata [m ³ /h]	D _n [mm]	v [m/s]	P _{dist} [Pa/m]	L [m]	ΔP _{dist} [Pa]	ξ d+c	ξ s	ΔP _{loc} [Pa]	ΔP _{tot} [Pa]
tratto 1	9779,109844	800	5,40414469	0,35	6,5	2,275	1,3		23,25430594	25,52930594
tratto 2	8743,678838	800	4,83194343	0,3	2	0,6	0,2		2,86009047	3,46009047
tratto 3	7595,301295	800	4,197325505	0,25	8	2	0,2		2,15814882	4,15814882
tratto 4	7175,605341	800	3,965392569	0,2	5	1	0,2		1,926231432	2,926231432
tratto 5	5776,098552	800	3,191995265	0,15	3,5	0,525	0,2		1,248132137	1,773132137
tratto 6	5710,339689	800	3,155655515	0,15	5,5	0,825	0,2		1,219874812	2,044874812
tratto 7	5614,879133	800	3,102901975	0,15	3,5	0,525	0,2		1,179430082	1,704430082
tratto 8	4440,833236	630	3,957227183	0,25	2	0,5	0,4		3,836613509	4,336613509
tratto 9	4339,215679	630	3,866675762	0,25	9	2,25	0,2		1,831519727	4,081519727
tratto 10	3750,784183	630	3,342324365	0,2	2,5	0,5	0,2		1,36846369	1,86846369
tratto 11	1428,041507	400	3,156664788	0,3	9	2,7	1,3		7,934259072	10,63425907
tratto 12	1342,781596	400	2,968199006	0,25	6	1,5	0,2		1,079250154	2,579250154
tratto 13	2322,742676	500	3,286008697	0,25	8	2	0,4		2,645474024	4,645474024

Tabella A1.3. Parametri dimensionamento canali principali di mandata, edificio 2, primo piano.

Ramo 1	Edificio 2 Piano 1													
Uffici	Portata [m ³ /h]	D _n [mm]	v [m/s]	P _{dist} [Pa/m]	L [m]	ΔP _{dist} [Pa]	ξ d+c	ξ s	ΔP _{loc} [Pa]	ΔP _{term}	Modello term.	ΔP _{tot} [Pa]	ΔP _{nodo term.} [Pa]	
281	65,75886313	125	1,488476177	0,25	5	1,25	1,3		1,764140709	60	EVVMC 80	63,01414071	140,2334097	
279	95,46055651	160	1,318838493	0,2	5,5	1,1	1,3		1,38494547	50	EVVMC 100	52,48494547	131,7490893	
278	101,6175575	160	1,403900745	0,2	5,5	1,1	1,3		1,569358827	50	EVVMC 100	52,66935883	137,9745462	
280	85,25991118	160	1,177911138	0,15	8	1,2	1,3		1,10477669	45	EVVMC 80	47,30477669	149,1942066	
Aule														
284	1730,454744	500	2,448092678	0,15	3,5	0,525	0,5		1,835404564	34	AQ 600X300	36,36040456	132,2610494	
273	1174,045896	400	2,59521122	0,2	5	1	1,3		5,362840316	46	AQ 450X225	52,36284032	133,3314142	
272	1399,506789	400	3,093589213	0,3	5	1,5	1,3		7,620346774	48	AQ 525X225	57,12034677	132,5664836	
271	1148,377543	400	2,538471701	0,2	5	1	1,3	5	24,86516211	45	AQ 450X225	70,86516211	139,2269187	
Laboratori														
277	683,7032929	315	2,43699244	0,25	3	0,75	0,4		1,455038377	36	AQ 300X225	38,20503838	142,6737184	
276	659,0783028	315	2,34921911	0,25	8	2	1,3		4,394368727	34	AQ 300X225	40,39436873	144,8630488	
275	592,2879322	315	2,111151472	0,2	5	1	1,3		3,548854827	39	AQ 375X150	43,54885483	139,4494997	
274	588,4314956	315	2,097405586	0,2	5	1	1,3		3,502791492	39	AQ 375X150	43,50279149	132,8894986	
Spazi comuni														
282	419,6959534	250	2,374993265	0,3	7	2,1	1,3	1,3	8,982644368	50	AQ 225X150	61,08264437	133,6025498	
Sale riunione														
283	1035,431007	400	2,288805041	0,15	15	2,25	1,5	5	20,85628978	45	AQ 300X300	68,10628978	133,0079559	

Tabella A1.4. Parametri dimensionamento canali finali di mandata, edificio 2, primo piano.

Ripresa	Portata [m ³ /h]	b _n [mm]	a _n [mm]	D _e [mm]	f _{correttivo}	v [m/s]	P _{dist} [Pa/m]	L [m]	ΔP _{dist} [Pa]	ξ d+c	ξ s	ΔP _{loc} [Pa]	ΔP _{griglia}	ΔP _{tot} [Pa]
tratto 1	25700,14392	1500	800	1183	0,92	5,978355492	0,3	6	1,8	0,9		19,70207983		21,50207983
tratto 2	16523,71753	1200	800	1066	0,83	4,270702191	0,3	17,5	5,25	1,5		16,7569868		22,0069868
tratto 3	12858,92324	1200	600	914	0,91	4,956572321	0,3	1,5	0,45	1,4		21,06672487		21,51672487
tratto 4	7969,368323	1200	500	827	0,9	3,710934014	0,25	5	1,25	1,6		13,49561063		14,74561063
tratto 5	3682,496857	800	400	609	0,91	3,197253227	0,2	23,5	4,7	0,3		1,878371182	95	101,5783712
tratto 6	3664,794289	800	400	609	0,91	3,181883332	0,2	23,5	4,7	0,4	3	21,08402455	95	120,7840245
tratto 7	4286,871465	800	400	609	0,91	3,721989226	0,25	13	3,25	0,2		1,697017465	90	94,94701747
tratto 8	4889,554922	800	400	609	0,91	4,245256917	0,35	13	4,55	0,2		2,207720271	90	96,75772027
tratto 9	9176,426387	1200	500	827	0,9	4,273000247	0,3	33,5	10,05	1,5	2,2	41,37839613		51,42839613
tratto 10	4889,554922	800	400	609	0,91	4,245256917	0,35	0	0	0		0	90	90
tratto 11	4286,871465	800	400	609	0,91	3,721989226	0,25	4,5	1,125	0,1		0,848508733	90	91,97350873

Tabella A1.5. Parametri dimensionamento canali di ripresa, edificio 2.

Griglia	ΔP _{tot} [Pa]	Modello
Primo piano		
Griglia 1	161,7835118	RA 100 - 800 x 600 mm
Griglia 2	162,930476	RA 100 - 800 x 600 mm
Piano terra		
Griglia 1	164,2930912	RA 100 - 800 x 400 mm
Griglia 2	181,3497733	RA 100 - 800 x 400 mm
Griglia 3	174,7184196	RA 100 - 800 x 600 mm
Griglia 4	164,9039847	RA 100 - 800 x 600 mm

Tabella A1.6. Parametri dimensionamento canali di ripresa, edificio 2.

- Edificio 3

Tratto	Portata [m ³ /h]	D _n [mm]	v [m/s]	P _{dist} [Pa/m]	L [m]	ΔP _{dist} [Pa]	ξ d+c	ξ s	ΔP _{loc} [Pa]	ΔP _{tot} [Pa]
Tratto 1	27311,68953	1250	6,182101892	0,25	1,5	0,375	0,4		9,363504033	9,738504033
Tratto 2	10480,60819	800	5,791807641	0,35	27,5	9,625	1,2		24,65560128	34,28060128
Tratto 3	16831,08134	1000	5,952777316	0,3	31,5	9,45	0,9	0	23,87470705	33,32470705
Tratto 4	6084,621627	630	5,422007272	0,4	4,5	1,8	0,2		3,601274949	5,401274949
Tratto 5	8079,478565	800	4,464892192	0,25	4,5	1,125	0,2		2,44206963	3,56706963
Piano 0	Portata [m ³ /h]	D _n [mm]	v [m/s]	P _{dist} [Pa/m]	L [m]	ΔP _{dist} [Pa]	ξ d+c	ξ s	ΔP _{loc} [Pa]	ΔP _{tot} [Pa]
Tratto 1	6084,621627	630	5,422007272	0,5	1,3	0,65	0,3		5,401912424	6,051912424
Tratto 2	5081,350378	630	4,527992107	0,35	1	0,35	0,2		2,511582284	2,861582284
Tratto 3	3237,66489	500	4,580358856	0,4	5,5	2,2	0,4		5,140023376	7,340023376
Tratto 4	2594,992833	500	3,671163881	0,3	7	2,1	0,2		1,65098692	3,75098692
Tratto 5	1940,372569	500	2,745065651	0,2	14	2,8	0,2		0,923084715	3,723084715
Tratto 6	1283,479072	400	2,837111647	0,2	7	1,4	0,4		1,972054612	3,372054612
Tratto 7	640,7827069	315	2,284006277	0,2	5,5	1,1	0,4		1,278087744	2,378087744
Tratto 8	1003,271248	315	3,576060658	0,5	4,5	2,25	1,3		10,18261208	12,43261208
Tratto 9	940,4687504	315	3,352207395	0,4	5,5	2,2	0,2		1,376568566	3,576568566
Tratto 10	879,0666096	315	3,133345567	0,4	4	1,6	0,2		1,202687169	2,802687169
Tratto 11	838,6707753	315	2,98935863	0,35	1	0,35	0,2		1,094692465	1,444692465
Tratto 12	159,1320892	160	2,198494671	0,4	2	0,8	0,4		1,18417781	1,98417781
Tratto 13	118,6559653	160	1,639295434	0,3	2,75	0,825	0,2		0,329192966	1,154192966
Tratto 14	75,99278638	125	1,720124813	0,35	0,25	0,0875	0,4		0,724913196	0,812413196
Tratto 15	8079,478565	800	4,464892192	0,25	5,5	1,375	0,3		3,663104444	5,038104444
Tratto 16	7359,826214	800	4,067196952	0,2	1,5	0,3	0,2		2,026406153	2,326406153
Tratto 17	6735,711612	800	3,722297911	0,2	8	1,6	0,5		4,243247407	5,843247407
Tratto 18	5161,55783	630	4,599464979	0,35	5	1,75	1,3		16,84473093	18,59473093
Tratto 19	4518,906479	630	4,026798261	0,3	7,5	2,25	0,2		1,986350269	4,236350269
Tratto 20	3881,437994	630	3,458749996	0,2	7	1,4	0,2		1,465461563	2,865461563
Tratto 21	3242,16358	630	2,889092467	0,2	8	1,6	0,2		1,022489772	2,622489772
Tratto 22	2601,593396	500	3,680501768	0,3	6,5	1,95	0,4		3,318792849	5,268792849
Tratto 23	1321,009048	400	2,92007111	0,25	6,5	1,625	0,4		2,089069745	3,714069745
Tratto 24	1574,153783	400	3,479643829	0,3	6,5	1,95	0,5		3,708050861	5,658050861
Tratto 25	953,9403589	315	3,400225605	0,4	0,75	0,3	0,4		2,83257587	3,13257587
Tratto 26	903,6234898	315	3,220876125	0,4	3	1,2	0,2		1,270820269	2,470820269
Tratto 27	854,3610166	315	3,045284936	0,35	3,5	1,225	0,2		1,136035642	2,361035642
Tratto 28	810,7416594	315	2,889808072	0,35	3	1,05	0,2		1,02299636	2,07299636
Tratto 29	771,3823491	315	2,749515722	0,3	1	0,3	0,2		0,926079996	1,226079996
Tratto 30	35,12488168	125	0,795064682	0,2	1,5	0,3	0,4		0,154871323	0,454871323

Tabella A1.7. Parametri dimensionamento canali principali di mandata, edificio 3, piano terra.

Ramo 1	Portata [m ³ /h]	D _n [mm]	v [m/s]	P _{dist} [Pa/m]	L [m]	ΔP _{dist} [Pa]	ξ d+c	ξ s	ΔP _{loc} [Pa]	ΔP _{term}	Modello term.	ΔP _{tot} [Pa]	ΔP _{nodo term.} [Pa]
Uffici													
309	42,66317889	125	0,965696826	0,2	4,5	0,9	1,3		0,742559149	25	EVP MC 100	26,64255915	105,5097829
310	40,47612396	125	0,916192029	0,2	4,5	0,9	1,3		0,668378488	25	EVP MC 100	26,56837849	104,2814093
311	40,39583433	125	0,914374644	0,2	4,5	0,9	1,3		0,665729488	25	EVP MC 100	26,56572949	100,84989
312	61,40214077	125	1,389860156	0,25	4,5	1,125	1,3		1,538125085	36	EVV MC 80	38,66312508	110,1445984
314	62,80249801	125	1,421557759	0,25	4,5	1,125	1,3		1,609083072	36	EVV MC 80	38,73408307	106,6389878
402	75,99278638	125	1,720124813	0,35	7	2,45	0,3		0,543684897	30	V/V-A 200	32,9936849	112,6733218
Laboratori													
307	679,5386861	315	2,422148113	0,25	7	1,75	1,3		4,671440678	22	AQ 300X300	28,42144068	104,1502936
Computer Lab													
371	640,7827069	315	2,284006277	0,25	8	2	0,3		0,958565808	19	AQ 300X300	21,95856581	100,8566781
303	642,6963647	315	2,290827319	0,25	8,5	2,125	1,3		4,178632259	19	AQ 300X300	25,30363226	101,8236569
302	656,8934969	315	2,341431586	0,25	8,5	2,125	1,3		4,365282867	20	AQ 300X300	26,49028287	99,63825285
301	654,6202645	315	2,333328875	0,25	8,5	2,125	1,3		4,335122324	20	AQ 300X300	26,46012232	95,88500759
300	642,6720568	315	2,290740676	0,25	8,5	2,125	1,3	2,2	11,24931279	19	AQ 300X300	32,37431279	98,04821113
Sale riunione													
299	1843,685488	500	2,608281413	0,2	8,5	1,7	1,3		5,4169938	38	AQ 600X300	45,1169938	103,4508688

Tabella A1.8. Parametri dimensionamento canali finali di mandata, edificio 3, piano terra.

Ramo 2														
Uffici	Portata [m ³ /h]	D _n [mm]	v [m/s]	P _{dist} [Pa/m]	L [m]	ΔP _{dist} [Pa]	ξ d+c	ξ s	ΔP _{loc} [Pa]	ΔP _{term}	Modello term.	ΔP _{tot} [Pa]	ΔP _{nodo term.} [Pa]	
401	50,31686909	125	1,138940933	0,2	5		1	1,3	1,03288471	25	EVPMC 100	27,03288471	95,66155016	
382	49,26247317	125	1,115074292	0,2	5		1	1,3	0,990049826	25	EVPMC 100	26,99004983	98,08953555	
381	43,61935728	125	0,987340277	0,2	5		1	1,3	0,776217006	25	EVPMC 100	26,77621701	100,2367384	
384	39,35931027	125	0,890912538	0,15	5	0,75	1,3		0,632003652	25	EVPMC 100	26,38200365	101,9155214	
385	35,12488168	125	0,795064682	0,15	4,5	0,675	0,3		0,116153492	25	EVPMC 100	25,79115349	103,0056225	
Aule														
305	1280,584347	400	2,830712902	0,2	9		1,8	1,3	6,380299919	10	AQ 600X375	18,18029992	111,606164	
338	1321,009048	400	2,92007111	0,25	9		2,25	0,3	1,566802309	11	AQ 600X375	14,81680231	111,9567362	
Laboratori														
308	736,2574674	315	2,624316572	0,3	6,5	1,95	1,3		5,483803585	15	AQ 375X300	22,43380358	99,1934013	
388	624,1146013	315	2,22459447	0,25	3,5	0,875	1,3	1,3	7,880996738	31	AQ 300X225	39,75599674	93,75078805	
389	719,6523508	315	2,565129284	0,3	7,5	2,25	1,3		5,239236014	40	AQ 300X225	47,48923601	99,15762117	
378	642,6513508	315	2,290666872	0,25	9	2,25	1,3		4,178046945	14	AQ 450X225	20,42804694	98,8608166	
298	637,4684853	315	2,272193063	0,25	9	2,25	1,3		4,110928323	14	AQ 450X225	20,36092832	103,0300482	
295	639,2744139	315	2,278630116	0,25	9	2,25	1,3		4,134253582	14	AQ 450X225	20,38425358	105,9188351	
294	640,5701839	315	2,283248759	0,25	9	2,25	1,3		4,151030324	14	AQ 450X225	20,40103032	108,5581016	
Computer Lab														
373	620,2134238	315	2,210689111	0,25	6,5	1,625	1,3		3,891390278	31	AQ 300X225	36,51639028	102,0124799	

Tabella A1.9. Parametri dimensionamento canali finali di mandata, edificio 3, piano terra.

Piano 1	Portata [m ³ /h]	D _n [mm]	v [m/s]	P _{dist} [Pa/m]	L [m]	ΔP _{dist} [Pa]	ξ d+c	ξ s	ΔP _{loc} [Pa]	ΔP _{tot} [Pa]	
tratto 1	4395,986567	630	3,917264309	0,25	0,75	0,1875	1,3	1	24,43684827	24,62434827	
tratto 2	4014,633203	630	3,577440267	0,2	0,75	0,15	0,2		1,567764661	1,717764661	
tratto 3	3903,074549	630	3,478030334	0,2	6	1,2	0,2		1,481845138	2,681845138	
tratto 4	3260,353973	500	4,612457342	0,4	6,5	2,6	0,4		5,21231687	7,81231687	
tratto 5	2605,669755	500	3,686268636	0,3	14,5	4,35	0,2		1,664600616	6,014600616	
tratto 6	1948,713811	500	2,756866096	0,2	7	1,4	0,2		0,931038057	2,331038057	
tratto 7	1305,956569	400	2,886797825	0,25	6,5	1,625	0,4		2,041732412	3,666732412	
tratto 8	665,116764	315	2,370742605	0,25	6	1,5	0,4		1,377003022	2,877003022	
tratto 9	111,5586539	160	1,541242293	0,2	3,5	0,7	1,3		1,891434389	2,591434389	
tratto 10	83,4174441	160	1,152456473	0,2	4	0,8	0,2		0,1626991	0,9626991	
tratto 11	51,59189464	125	1,167801608	0,15	3,5	0,525	0,4		0,334121346	0,859121346	
tratto 12	381,3533643	250	2,158018595	0,25	5,5	1,375	1,3		3,708171491	5,083171491	
tratto 13	337,3806632	250	1,909184009	0,2	3,5	0,7	0,2		0,446510489	1,146510489	
tratto 14	296,5333484	250	1,678035491	0,2	3	0,6	0,2		0,344935881	0,944935881	
tratto 15	257,1343356	200	2,273566698	0,4	0,5	0,2	0,4		1,266430854	1,466430854	
tratto 16	223,9000074	200	1,979710719	0,3	2,5	0,75	0,2		0,48010868	1,23010868	
tratto 17	183,4996654	200	1,622493267	0,2	1	0,2	0,2		0,322479339	0,522479339	
tratto 18	150,0672204	160	2,073258674	0,4	2	0,8	0,4		1,053108375	1,853108375	
tratto 19	109,5864636	160	1,513995433	0,25	0,75	0,1875	0,2		0,280792316	0,468292316	
tratto 20	76,09094788	125	1,722346735	0,4	2,5	1	0,4		0,726787177	1,726787177	
tratto 21	42,66728728	125	0,965789821	0,2	3	0,6	0,2		0,114261872	0,714261872	
tratto 22	8751,602772	800	4,836322365	0,3	2,5	0,75	1,3		18,62429866	19,37429866	
tratto 23	8704,992775	800	4,810564686	0,3	2,5	0,75	0,2		2,834837744	3,584837744	
tratto 24	7985,257638	800	4,412823698	0,25	2	0,5	0,2		2,385444091	2,885444091	
tratto 25	7961,696962	800	4,399803566	0,25	3	0,75	0,2		2,371388248	3,121388248	
tratto 26	7933,804247	800	4,384389456	0,25	3	0,75	0,2		2,354801686	3,104801686	
tratto 27	6441,517416	800	3,559719923	0,2	6,5	1,3	0,2		1,552271726	2,852271726	
tratto 28	5798,773739	800	3,204526057	0,15	7,5	1,125	0,2		1,257950938	2,382950938	
tratto 29	5161,220031	800	2,852200279	0,15	7	1,05	0,2		0,996543188	2,046543188	
tratto 30	3882,885164	630	3,46003957	0,25	7,5	1,875	0,4		2,933109087	4,808109087	
tratto 31	2601,944535	500	3,680998527	0,3	6,75	2,025	0,4		3,319688789	5,344688789	
tratto 32	1321,202673	400	2,920499113	0,25	7	1,75	0,4		2,089682193	3,839682193	
tratto 33	1492,286831	400	3,298678134	0,35	12	4,2	1,3		8,664217154	12,86421715	
tratto 34	758,5026002	315	2,703607137	0,3	9	2,7	0,2		0,895412715	3,595412715	

Tabella A1.10. Parametri dimensionamento canali principali di mandata, edificio 3, primo piano.

Ramo 1																	
Uffici	Portata [m ³ /h]	D _n [mm]	v [m/s]	P _{dist} [Pa/m]	L [m]	ΔP _{dist} [Pa]	ξ d+c	ξ s	ΔP _{loc} [Pa]	ΔP _{term}	Modello term.	ΔP _{tot} [Pa]	ΔP _{nodo term.} [Pa]				
449	51,59189464	125	1,167801608	0,2	2,5	0,5	0,3		0,250591009	25	EVPMC 100	25,75059101	100,5250641				
448	31,82554945	125	0,720383077	0,15	2	0,3	1,3		0,413215353	25	EVPMC 100	25,71321535	99,62856708				
447	28,14120979	125	0,636986687	0,15	1,5	0,225	1,3		0,323080061	25	EVPMC 100	25,54808006	98,50073269				
453	33,23432822	125	0,752271305	0,15	5	0,75	1,3		0,450607523	25	EVPMC 100	26,20060752	103,4851098				
454	33,43244497	125	0,756755751	0,15	5	0,75	1,3		0,455995867	25	EVPMC 100	26,20599587	105,2430862				
455	33,49551576	125	0,758183382	0,15	5	0,75	1,3		0,457717975	25	EVPMC 100	26,20771798	107,566209				
456	33,42366059	125	0,756556914	0,15	5	0,75	1,3		0,455756272	25	EVPMC 100	26,20575627	109,2910345				
457	42,66728728	125	0,965789821	0,2	5	1	0,3		0,171392809	25	EVPMC 100	26,17139281	109,9709329				
434	43,97270113	125	0,995338346	0,2	4	0,8	1,3		0,788843619	25	EVPMC 100	26,58884362	100,3154687				
433	40,8473148	125	0,924594071	0,2	4	0,8	1,3		0,680693579	25	EVPMC 100	26,48069358	101,3538291				
432	39,39901274	125	0,891811219	0,2	4	0,8	1,3		0,633279323	25	EVPMC 100	26,43327932	102,2513508				
431	40,40034204	125	0,914476677	0,2	4	0,8	1,3		0,665878071	25	EVPMC 100	26,46587807	104,980489				
430	40,48075678	125	0,916296895	0,2	4	0,8	1,3		0,668531499	25	EVPMC 100	26,4685315	107,3587302				
Laboratori																	
442	665,116764	315	2,370742605	0,25	7,5	1,875	0,3		1,032752266	11	AQ 375X300	13,90775227	109,6525066				
443	640,8398049	315	2,284209797	0,25	7,5	1,875	1,3		4,154525462	10	AQ 375X300	16,02952546	108,8972768				
444	642,7572425	315	2,291044312	0,25	7,5	1,875	1,3		4,179423918	10	AQ 375X300	16,05442392	105,2554428				
445	656,9559431	315	2,34165417	0,25	7,5	1,875	1,3		4,366112859	11	AQ 375X300	17,24111286	104,1110937				
446	654,6842182	315	2,333556832	0,25	7,5	1,875	1,3		4,335969412	11	AQ 375X300	17,21096941	98,06634966				
426	642,7205762	315	2,290913619	0,25	7,5	1,875	1,3	1,3	8,357894197	10	AQ 375X300	20,2328942	93,27595758				
Ramo 2																	
Uffici							0										
452	27,89271484	125	0,631361912	0,15	4,5	0,675	1,3		0,317399474	25	EVPMC 100	25,99239947	98,02157931				
451	23,56067634	125	0,533304619	0,15	5	0,75	1,3	8	1,620092202	20	EVPMC 101	22,37009222	91,27788379				
450	46,60999753	125	1,055034525	0,2	6	1,2	1,3	5,2	4,431520811	25	EVPMC 102	30,63152081	93,06903056				
Aule																	
438	1278,334867	400	2,825740459	0,25	6	1,5	1,3		6,357904278	10	AQ 600X375	17,85790428	100,2736517				
437	1280,94063	400	2,831500459	0,25	6	1,5	1,3		6,383850648	10	AQ 600X375	17,88385065	105,1077071				
436	1280,741862	400	2,831061085	0,25	6	1,5	1,3		6,381869595	10	AQ 600X375	17,8818696	110,4504148				
435	1321,202673	400	2,920499113	0,25	6	1,5	0,3		1,567261644	11	AQ 600X375	14,06726164	110,4754891				
Laboratori																	
428	758,5026002	315	2,703607137	0,3	7	2,1	0,3		1,343119073	16	AQ 375X300	19,44311907	111,0367305				
427	733,7842306	315	2,615500965	0,3	7	2,1	1,3		5,447023068	15	AQ 375X300	22,54702307	110,5452217				
441	719,7351366	315	2,565424366	0,3	6	1,8	1,3		5,240441482	24	AQ 300X300	31,04044148	97,06278898				
Computer Lab																	
440	642,7436768	315	2,290995959	0,25	6	1,5	1,3		4,179247503	10	AQ 375X300	15,6792475	93,66550075				
439	637,553708	315	2,272496831	0,25	6	1,5	1,3		4,11202757	10	AQ 375X300	15,61202757	95,98123175				

Tabella A1.11. Parametri dimensionamento canali finali di mandata, edificio 3, primo piano.

Ripresa	Portata [m ³ /h]	b _n [mm]	a _n [mm]	D _e [mm]	f _{correttivo}	v [m/s]	P _{dist} [Pa/m]	L [m]	ΔP _{dist} [Pa]	ξ d+c	ξ s	ΔP _{loc} [Pa]	ΔP _{griglia}	ΔP _{tot} [Pa]
tratto 1	27311,68953	1500	800	1183	0,92	6,35323248	0,5	4		2	0,9	22,25041407		24,25041407
tratto 2	9103,89651	1000	700	911	0,93	3,609951351	0,2	28,5		5,7	1,6	12,77111378		18,47111378
tratto 3	18207,79302	1000	800	976	0,94	6,357895253	0,3	22		6,6	0,1	2,475898463		9,075898463
tratto 4	9103,89651	1000	700	911	0,93	3,609951351	0,2	20,5		4,1	1,5	11,97291917		16,07291917
tratto 5	9103,89651	1000	700	911	0,93	3,609951351	0,2	58,5		11,7	1,7	13,5693084		25,2693084
tratto 6	4382,52978	1000	400	674	0,89	3,03824598				0		0	89	89
tratto 7	4382,52978	1000	400	674	0,89	3,03824598				0		0	89	89
tratto 8	4382,52978	1000	400	674	0,89	3,03824598	0,2	2		0,4		0	89	89
tratto 9	4721,36673	1000	400	674	0,89	3,273149119	0,2	4,5		0,9	0,1	0,656202191	89	90,55620219
tratto 10	4721,36673	1000	400	674	0,89	3,273149119	0,2	4,5		0,9	0,1	0,656202191	89	90,55620219
tratto 11	4721,36673	1000	400	674	0,89	3,273149119	0,2	4,5		0,9	0,1	0,656202191	89	90,55620219

Tabella A1.12. Parametri dimensionamento canali di ripresa, edificio 3.

Griglia	ΔP _{tot} [Pa]	Modello
Piano terra		
Griglia 1	133,27773	RA 100 - 1000 x 500 mm
Griglia 2	139,9554339	RA 100 - 1000 x 500 mm
Griglia 3	149,1518231	RA 100 - 1000 x 500 mm
Primo piano		
Griglia 1	131,7215279	RA 100 - 1000 x 500 mm
Griglia 2	138,3992317	RA 100 - 1000 x 500 mm
Griglia 3	147,5956209	RA 100 - 1000 x 500 mm

Tabella A1.13. Parametri dimensionamento canali di ripresa, edificio 3.

- Edificio 4

Piano 0	Portata [m ³ /h]	D _n [mm]	v [m/s]	P _{dist} [Pa/m]	L [m]	ΔP _{dist} [Pa]	ξ d+c	ξ s	ΔP _{loc} [Pa]	ΔP _{tot} [Pa]
tratto 1	8777,26492	800	4,850503816	0,3	5	1,5	0,3	2	36,02631175	37,52631175
tratto 2	6532,53224	800	3,610016656	0,2	1,2	0,24	0,2		1,596446981	1,836446981
tratto 3	3010,6523	500	4,259201737	0,4	5	2	0,4		4,444495862	6,444495862
tratto 4	2903,474037	500	4,107575513	0,4	3	1,2	0,2		2,066841632	3,266841632
tratto 5	2029,076464	500	2,870555992	0,2	4	0,8	0,2		1,009411234	1,809411234
tratto 6	1977,181894	500	2,797140194	0,2	4	0,8	0,2		0,958439175	1,758439175
tratto 7	1925,244209	500	2,7236634	0,2	4	0,8	0,2		0,908746934	1,708746934
tratto 8	1873,079016	500	2,649864748	0,2	5	1	0,2		0,86016844	1,86016844
tratto 9	1820,896239	500	2,57604122	0,2	4	0,8	0,2		0,812908575	1,612908575
tratto 10	1767,494715	500	2,500493518	0,15	8	1,2	0,2		0,76592731	1,96592731
tratto 11	1712,675602	500	2,422940337	0,15	2	0,3	0,2		0,719153385	1,019153385
tratto 12	690,2860895	315	2,460456164	0,25	2	0,5	0,4		1,483191911	1,983191911
tratto 13	640,3729412	315	2,282545707	0,25	4	1	0,2		0,638226826	1,638226826
tratto 14	590,5669985	315	2,105017375	0,2	3,5	0,7	0,2		0,542809523	1,242809523
tratto 15	543,0208461	315	1,935543839	0,2	2,5	0,5	0,2		0,458925419	0,958925419
tratto 16	119,6622292	160	1,653197506	0,4	1	0,4	0,4		0,669600189	1,069600189
tratto 17	3521,879941	500	4,982440903	0,4	8	3,2	1,3		19,76668119	22,96668119
tratto 18	665,2433299	315	2,371193736	0,25	2,5	0,625	0,4		1,377527135	2,002527135
tratto 19	581,6090728	315	2,073087738	0,25	5,5	1,375	0,2		0,526467364	1,901467364
tratto 20	513,6768592	315	1,830950114	0,2	2,5	0,5	0,2		0,410666344	0,910666344
tratto 21	82,97443697	125	1,878157055	0,6	2	1,2	0,4		0,864231111	2,064231111
tratto 22	13309,96961	1000	4,707438791	0,2	2	0,4	1,3		17,64488405	18,04488405
tratto 23	13269,62565	1000	4,693170034	0,2	1,5	0,3	0,2		2,698166008	2,998166008
tratto 24	13193,86363	1000	4,666374702	0,2	2,5	0,5	0,2		2,667443975	3,167443975
tratto 25	13159,30521	1000	4,654152159	0,2	3	0,6	0,2		2,653488709	3,253488709
tratto 26	13079,6043	1000	4,62596373	0,2	0,5	0,1	0,2		2,621443703	2,721443703
tratto 27	995,1751074	315	3,547202768	0,4	0,5	0,2	0,4		3,082748632	3,282748632
tratto 28	955,7927383	315	3,406828227	0,4	2	0,8	0,2	1	8,530761748	9,330761748
tratto 29	924,7848694	315	3,29630376	0,4	1	0,4	0,2		1,331038264	1,731038264
tratto 30	885,5608369	315	3,156493594	0,4	2	0,8	0,2		1,220522847	2,020522847
tratto 31	834,7522691	315	2,975391504	0,35	1,5	0,525	0,2		1,084486939	1,609486939
tratto 32	803,7723045	315	2,864966499	0,35	1	0,35	0,2		1,005484047	1,355484047
tratto 33	764,4620083	315	2,724848855	0,3	1,5	0,45	0,2		0,909538157	1,359538157
tratto 34	733,4946192	315	2,614468674	0,3	1	0,3	0,2		0,83734219	1,13734219
tratto 35	671,7971522	315	2,394554184	0,25	1,5	0,375	0,2		0,702401493	1,077401493
tratto 36	625,3780367	315	2,22909786	0,2	2,5	0,5	0,3		0,913031199	1,413031199
tratto 37	577,0016932	315	2,056665192	0,2	1,5	0,3	0,2		0,518159285	0,818159285
tratto 38	547,6895871	315	1,952185103	0,15	2	0,3	0,2		0,466850768	0,766850768
tratto 39	499,3186429	250	2,825565518	0,4	2	0,8	0,4		1,956036022	2,756036022
tratto 40	455,2169687	250	2,576001093	0,35	1,5	0,525	0,2		0,81288325	1,33788325
tratto 41	402,3468459	250	2,276817399	0,3	3,5	1,05	0,2		0,63502744	1,68502744
tratto 42	314,8953906	250	1,781943395	0,2	1,5	0,3	0,2		0,388976977	0,688976977
tratto 43	216,413162	200	1,913512471	0,25	4,5	1,125	0,4		0,897074844	2,022074844
tratto 44	131,815879	160	1,821106659	0,35	1,5	0,525	0,4		0,812525219	1,337525219
tratto 45	12084,4292	1000	4,273992536	0,2	6	1,2	1,3		14,54510846	15,74510846
tratto 46	11824,19003	1000	4,181951757	0,2	10	2	0,2		2,142368261	4,142368261
tratto 47	9310,597964	800	5,145235031	0,3	2	0,6	0,4		6,485993664	7,085993664
tratto 48	7190,340639	800	3,973535608	0,2	6	1,2	0,2		1,934150691	3,134150691
tratto 49	4696,870497	630	4,185382025	0,3	8,5	2,55	0,4		4,291768561	6,841768561
tratto 50	2725,596663	500	3,855930504	0,3	3,5	1,05	0,4		3,642709013	4,692709013
tratto 51	2634,266446	500	3,726724679	0,3	5	1,5	0,2		1,701338412	3,201338412
tratto 52	2543,999339	500	3,599022844	0,3	2	0,6	0,2		1,586738266	2,186738266
tratto 53	500,2254248	250	2,830696854	0,4	2,5	1	0,4		1,963146946	2,963146946
tratto 54	410,5508002	250	2,323242284	0,3	6	1,8	0,2		0,661188202	2,461188202
tratto 55	306,0808587	250	1,732063347	0,2	2	0,4	0,2		0,367505321	0,767505321

Tabella A1.14. Parametri dimensionamento canali principali di mandata, edificio 4, piano terra.

Uffici	Portata [m ³ /h]	D _n [mm]	v [m/s]	P _{dist} [Pa/m]	L [m]	ΔP _{dist} [Pa]	ξ d+c	ξ s	ΔP _{loc} [Pa]	ΔP _{term}	Modello term.	ΔP _{tot} [Pa]	ΔP _{nodo term.} [Pa]
391	47,54615246	125	1,076224738	0,2	5	1	1,3	11	8,726038913	25	EVP/PMC 100	34,72603891	165,973582
292	49,80594268	125	1,127375925	0,2	5	1	1,3	15	12,6891114	25	EVP/PMC 100	38,6891114	168,693845
393	49,91314825	125	1,129802563	0,2	5	1	1,3	15	12,74379594	25	EVP/PMC 100	38,74379594	167,1103027
394	54,81911326	125	1,240850894	0,2	5	1	1,3	15	15,37208912	25	EVP/PMC 100	41,37208912	166,7362506
401	53,40152401	125	1,208763238	0,2	5	1	1,3	20	19,06198761	25	EVP/PMC 100	45,06198761	168,4602218
390	52,18277676	125	1,181176443	0,2	5	1	1,3	20	18,20183824	25	EVP/PMC 100	44,20183824	165,9871638
389	52,16519314	125	1,180778431	0,2	5	1	1,3	22	19,89751483	25	EVP/PMC 100	45,89751483	165,822672
388	51,93768523	125	1,175628706	0,2	5	1	1,3	30	26,49663934	25	EVP/PMC 100	52,49663934	170,7130495
387	51,89456945	125	1,174652764	0,2	5	1	1,3	30	26,45266552	25	EVP/PMC 100	52,45266552	168,9106365
396	107,1782623	160	1,480724847	0,2	5	1	1,3	20	28,60450419	30	EVV/PMC 125	59,60450419	170,9862224
379	83,63425712	125	1,89302328	0,4	4,5	1,8	1,3		2,853599606	45	EVP/PMC 100	49,65359961	179,5600302
378	67,93221358	125	1,537670768	0,35	4,5	1,575	1,3		1,882678495	40	EVP/PMC 100	43,45767849	175,2655765
380	82,97443697	125	1,878157055	0,4	4,5	1,8	1,3		0,648173334	30	EVV/PMC 125	32,44817333	167,2309688
404	119,6622292	160	1,653197506	0,3	8	2,4	0,3		0,502200141	30	EVV/PMC 125	32,90220014	166,1782689
373	306,0808587	250	1,732063347	0,2	8,5	1,7	0,3		0,551257982	12	AQ 225X225	14,25125798	162,923324
215	31,00786891	125	0,701874576	0,15	10,5	1,575	1,3	60	18,49633105	30	EVP/PMC 100	50,07133105	158,1348917
216	30,97996454	125	0,70124295	0,15	10,5	1,575	1,3	60	18,46305587	30	EVP/PMC 100	50,03805587	163,4626645
217	30,96738908	125	0,7009583	0,15	10,5	1,575	1,3	60	18,44806978	25	EVP/PMC 100	45,02306978	161,1627006
218	29,3121062	125	0,66349036	0,15	10	1,5	1,3	60	16,52858982	25	EVP/PMC 100	43,02858982	163,6141548
220	44,1016742	125	0,998257699	0,2	9,5	1,9	1,3	22	14,2215637	25	EVP/PMC 100	41,1215637	165,2300155
374	87,45145527	125	1,979496019	0,4	8	3,2	1,3		3,120029576	30	EVV/PMC 125	36,32002958	163,4513921
375	84,59728304	125	1,914890776	0,4	8	3,2	1,3		2,919694822	30	EVV/PMC 125	36,11969482	165,9621092
376	131,815879	160	1,821106659	0,35	5	1,75	0,3	1,3	3,250100875	30	EVV/PMC 125	35,00010087	166,1800404
377	98,48222862	160	1,360584504	0,2	5	1	1,3	5	7,14328016	30	EVV/PMC 125	38,14328016	165,9636196
176	52,8701228	125	1,196734775	0,2	6	1,2	1,3	15	14,29846839	25	EVP/PMC 100	40,49846839	165,9448035
177	48,37094417	125	1,094894203	0,2	6	1,2	1,3	30	22,98236636	25	EVP/PMC 100	49,18236636	170,5347822
178	48,37634346	125	1,095016418	0,2	6	1,2	1,3	30	22,98749735	25	EVP/PMC 100	49,18749735	168,9549031
242	61,69746698	125	1,396544974	0,25	5	1,25	1,3	15	19,47168565	30	EVP/PMC 100	50,72168565	167,9986587
213	50,80856783	125	1,150070716	0,2	5	1	1,3	30	25,35709636	25	EVP/PMC 100	51,35709636	163,1722181
250	79,70090558	125	1,804059462	0,4	5	2	1,3	15	32,49341768	45	EVP/PMC 100	79,49341768	172,2202042
245	75,76201638	125	1,714901249	0,4	5	2	1,3	11	22,15590211	60	EVV/PMC 80	84,15590211	170,463576
206	46,4191155	125	1,05071384	0,2	13	2,6	1,3	30	21,16505181	25	EVP/PMC 100	48,76505181	167,1194264
207	39,31029626	125	0,889803088	0,15	13	1,95	1,3	50	24,8777601	25	EVP/PMC 100	51,8277601	166,6078528
211	39,22403252	125	0,887850477	0,15	13	1,95	1,3	60	29,59690045	25	EVP/PMC 100	56,54690045	166,3414993
212	39,38236907	125	0,891434483	0,15	13	1,95	1,3	50	24,96906717	45	V/A-A 100	71,91906717	170,651866
247	34,55842457	125	0,782242716	0,15	13	1,95	1,3	60	22,97468804	45	V/A-A 100	69,92468804	159,3998059
246	40,34395997	125	0,913200448	0,15	13	1,95	1,3	60	31,31113421	45	V/A-A 100	78,26113421	161,570642
348	104,4699416	160	1,443307952	0,2	6	1,2	1,3		1,658698508	30	EVV/PMC 125	32,85869851	180,7632592
349	89,67462457	160	1,238902758	0,2	6	1,2	1,3		1,222148235	30	EVV/PMC 125	32,42214823	177,8655207
350	90,26710755	160	1,247088226	0,2	6	1,2	1,3		1,238351126	30	EVV/PMC 125	32,43835113	172,7318384
351	91,33021628	160	1,26177564	0,2	6	1,2	1,3		1,267691921	30	EVV/PMC 125	32,46769192	169,5598408
Aule													
403	2244,73268	500	3,175647129	0,25	10,5	2,625	1,3	1,3	16,05993999	44	AQ 450X450	62,68493999	165,7857153
Computer Lab													
399	1022,389512	400	2,259977009	0,2	6	1,2	1,3		4,066843754	30	AQ 375X300	35,26684375	161,6501586
Spazi comuni													
397	423,3586169	250	2,395719701	0,3	5	1,5	1,3	2	11,60090957	21	AQ 375X150	34,10090957	166,3073781
402	874,3975737	315	3,116703252	0,35	8,5	2,975	1,3	4	31,53355038	22	AQ 375X300	56,50855038	171,1571102
381	430,7024222	250	2,437277138	0,3	8	2,4	1,3	2	12,00687149	22	AQ 375X150	36,40687149	169,1254358
Sale riunione													
382	2856,636611	500	4,041314109	0,3	8	2,4	1,3		13,00452996	25	AQ 225X225	40,40452996	168,3084334
370	2043,773914	500	2,891348631	0,2	6	1,2	1,3		6,656567911	22	AQ 600X450	29,85656791	172,3367935
367	1971,273834	500	2,788781999	0,2	6	1,2	1,3		6,192679137	21	AQ 600X450	35,39267914	167,792119
366	2493,470142	500	3,527538654	0,25	6	1,5	1,3		9,908159931	32	AQ 600X450	43,40815993	168,9658312
365	2513,592062	500	3,556005347	0,25	6	1,5	1,3	1,3	20,13743964	33	AQ 600X450	54,63743964	169,9749666
Negozi													
362	260,2391706	200	2,301019466	0,4	5,5	2,2	1,3	9	33,40287922	21	AQ 225X150	56,60287922	167,7980379
Mensa													
259	2120,257325	500	2,999550523	0,2	5,5	1,1	1,3	2	18,18579938	24	AQ 600X450	43,28579938	165,70932

Tabella A1.15. Parametri dimensionamento canali finali di mandata, edificio 4, piano terra.

Tetto	Portata [m ³ /h]	D _n [mm]	v [m/s]	P _{dist} [Pa/m]	L [m]	ΔP _{dist} [Pa]	ξ d+c	ξ s	ΔP _{loc} [Pa]	ΔP _{tot} [Pa]
tratto 1	27813,47005	1250	6,295681767	0,3	47	14,1	0,7		16,99376732	31,09376732
tratto 2	11107,48215	1000	3,928468198	0,2	20	4	0,4	3	32,13893591	36,13893591
tratto 3	16705,9879	1000	5,908534562	0,35	53	18,55	1,1		23,52113848	42,07113848
Piano 1	Portata [m ³ /h]	D _n [mm]	v [m/s]	P _{dist} [Pa/m]	L [m]	ΔP _{dist} [Pa]	ξ d+c	ξ s	ΔP _{loc} [Pa]	ΔP _{tot} [Pa]
tratto 1	16705,9879	1000	5,908534562	0,35	5,5	1,925	0,3		6,414855949	8,339855949
tratto 2	12111,46225	1000	4,283553522	0,2	1	0,2	0,2		2,24773177	2,44773177
tratto 3	11264,9255	1000	3,984152393	0,2	5	1	0,2		1,94450011	2,94450011
tratto 4	10789,19211	1000	3,815896126	0,2	4,5	0,9	0,2		1,783730248	2,683730248
tratto 5	8738,587957	800	4,829130101	0,3	2	0,6	0,4		5,713521894	6,313521894
tratto 6	8686,715318	800	4,800464174	0,3	3,5	1,05	0,2		2,822945895	3,872945895
tratto 7	8634,809857	800	4,771780109	0,3	2	0,6	0,2		2,789310963	3,389310963
tratto 8	6970,398316	800	3,85199079	0,2	2,5	0,5	0,2		1,817634548	2,317634548
tratto 9	6918,275876	800	3,823186817	0,2	5,5	1,1	0,2		1,790552786	2,890552786
tratto 10	5506,067205	630	4,906457337	0,4	2,5	1	0,4		5,897964283	6,897964283
tratto 11	4519,085008	630	4,026957349	0,3	3,5	1,05	0,2		1,986507222	3,036507222
tratto 12	3354,376906	630	2,989085779	0,2	4,5	0,9	0,2		1,09449264	1,99449264
tratto 13	3299,550251	630	2,940229738	0,2	2	0,4	0,2		1,059006487	1,459006487
tratto 14	2197,903498	500	3,109397388	0,2	2	0,4	0,4		2,368746269	2,768746269
tratto 15	2147,982148	500	3,038773124	0,2	3,5	0,7	0,2		1,131182407	1,831182407
tratto 16	2098,16194	500	2,968291948	0,2	1,5	0,3	0,2		1,079317743	1,379317743
tratto 17	970,2897821	400	2,14481132	0,2	2,5	0,5	0,4		1,127052822	1,627052822
tratto 18	922,7307647	400	2,03968281	0,2	3,5	0,7	0,2		0,509637481	1,209637481
tratto 19	380,7888802	250	2,154824269	0,3	0,5	0,15	0,4		1,137600569	1,287600569
tratto 20	4594,525648	630	4,094182515	0,3	6	1,8	1,3		13,34700563	15,14700563
tratto 21	3224,066671	500	4,561121312	0,4	7	2,8	0,4		5,096937767	7,896937767
tratto 22	1997,000699	500	2,825178068	0,2	5,5	1,1	0,2		0,977749811	2,077749811
tratto 23	1046,258147	400	2,312738276	0,15	1	0,15	0,4		1,310445792	1,460445792
tratto 24	11107,48215	1000	3,928468198	0,2	5,3	1,06	0,3	1	7,562102568	8,622102568
tratto 25	9750,51028	1000	3,448537575	0,15	4,5	0,675	0,2		1,456820397	2,131820397
tratto 26	3548,713294	630	3,162258965	0,2	2	0,4	0,4		2,449971031	2,849971031
tratto 27	2168,960844	500	3,068451908	0,2	7,5	1,5	0,4		2,306772292	3,806772292
tratto 28	522,8358424	250	2,958645644	0,4	5	2	0,5		2,680785115	4,680785115
tratto 29	468,5772217	250	2,65160466	0,4	4	1,6	0,2		0,861298391	2,461298391
tratto 30	413,7901446	250	2,341573224	0,3	2	0,6	0,2		0,671663232	1,271663232
tratto 31	303,3701554	250	1,716723905	0,2	2	0,4	0,2		0,361024768	0,761024768
tratto 32	248,5233475	200	2,197428846	0,3	3,5	1,05	0,4		1,183029916	2,233029916
tratto 33	193,3315375	200	1,709426102	0,25	4	1	0,2		0,357961856	1,357961856
tratto 34	96,88401246	160	1,338504296	0,2	2	0,4	0,4		0,438940469	0,838940469
tratto 35	6201,796986	800	3,4272453	0,15	4	0,6	1,3		9,352760739	9,952760739
tratto 36	6110,49975	800	3,3767925	0,15	6	0,9	0,2		1,39683413	2,29683413
tratto 37	6003,00743	800	3,317389951	0,15	5,5	0,825	0,2		1,348121821	2,173121821
tratto 38	5895,584923	800	3,258025982	0,15	1,5	0,225	0,2		1,30030483	1,52530483
tratto 39	4135,671925	630	3,685297892	0,2	4,5	0,9	0,4		3,327448035	4,227448035
tratto 40	4028,252447	630	3,589576378	0,2	3	0,6	0,2		1,578419675	2,178419675
tratto 41	3570,728507	630	3,181876724	0,15	8,5	1,275	0,2		1,240231587	2,515231587
tratto 42	2880,403164	500	4,074936903	0,4	5,5	2,2	0,4		4,068252137	6,268252137
tratto 43	2577,909978	500	3,646996586	0,3	3,5	1,05	0,2		1,629321552	2,679321552
tratto 44	533,9094095	250	3,021309216	0,4	4,5	1,8	0,4		2,236435797	4,036435797
tratto 45	444,2417854	250	2,513894261	0,3	4,5	1,35	0,2		0,774158883	2,124158883
tratto 46	104,4725662	160	1,443344212	0,2	1,5	0,3	0,4		0,510394416	0,810394416

Tabella A1.16. Parametri dimensionamento canali principali di mandata, edificio 4, primo piano.

Ramo 1																	
Uffici	Portata [m ³ /h]	D _n [mm]	v [m/s]	P _{dist} [Pa/m]	L [m]	ΔP _{dist} [Pa]	ξ _{d+c}	ξ _s	ΔP _{loc} [Pa]	ΔP _{term}	Modello term.	ΔP _{tot} [Pa]	ΔP _{nodo term.} [Pa]				
409	47,5901746	125	1,076515942	0,2	4,5	0,9	1,3		0,922763434	25	EVPMC 100	26,82276343	156,1817233				
410	49,82020802	125	1,127698826	0,2	4,5	0,9	1,3		1,012594822	25	EVPMC 100	26,91259482	153,2651841				
411	49,92135032	125	1,12998822	0,2	4,5	0,9	1,3		1,016710426	25	EVPMC 100	26,91671043	151,4381173				
412	54,82665552	125	1,241021616	0,2	4,5	0,9	1,3		1,226332217	25	EVPMC 100	27,12633222	147,4199863				
413	52,12244082	125	1,179810717	0,2	4,5	0,9	1,3	5,2	5,541714184	25	EVPMC 100	31,44171418	136,9158514				
414	51,90546105	125	1,1748993	0,2	4,5	0,9	1,3	30	26,46377043	25	EVPMC 100	52,36377043	152,1309621				
415	51,87263838	125	1,174156346	0,2	4,5	0,9	1,3	30	26,43031202	25	EVPMC 100	52,33031202	148,2245578				
Aule																	
418	1127,872158	400	2,493144848	0,2	6,5	1,3	1,3		4,949307845	14	AQ 600X300	20,24930785	147,9812149				
419	1101,646753	400	2,435173975	0,2	6,5	1,3	1,3		4,72182006	13	AQ 600X300	19,02182006	140,7744807				
420	1164,708102	400	2,574570162	0,2	6,5	1,3	1,3		5,277872673	15	AQ 600X300	21,57787267	139,8770341				
421	1412,20867	400	3,121666535	0,3	6,5	1,95	1,3		7,759298558	24	AQ 600X300	33,70929856	142,0739885				
423	1664,411541	400	3,679157279	0,35	7,5	2,625	1,3		10,77819788	32	AQ 600X300	45,40319788	148,5597005				
424	2050,604157	500	2,901011448	0,2	8,5	1,7	1,3		6,701134436	45	AQ 600X300	53,40113444	142,9818583				
405	1370,458977	400	3,029379451	0,3	6,5	1,95	1,3		7,307297612	46	AQ 525X225	55,25729761	151,909065				
406	1227,065972	400	2,712411319	0,25	6,5	1,625	1,3		5,858150724	39	AQ 525X225	46,48315072	151,0318559				
407	1046,258147	400	2,312738276	0,2	6	1,2	0,3		0,982834344	32	AQ 375X300	34,18283434	142,2697351				
425	986,9821974	400	2,181709659	0,2	4,5	0,9	1,3		3,790036165	29	AQ 375X300	33,69003617	148,9526904				
408	950,7425517	400	2,101602454	0,2	5	1	1,3		3,516823552	27	AQ 375X300	31,51682355	138,1432785				
Laboratori																	
416	475,7333846	250	2,692100258	0,4	5,5	2,2	1,3	1,3	11,54149055	39	AQ 300X150	52,74149055	139,6384842				
Computer Lab																	
417	541,9418845	250	3,066763726	0,45	5	2,25	1,3		7,4887629	12	AQ 300X300	21,7387629	152,3073602				
436	380,7888802	250	2,154824269	0,3	14	4,2	0,3		0,853200427	16	AQ 375X150	21,05320043	152,9093983				
Spazi comuni																	
422	846,5367505	315	3,017396117	0,35	11,5	4,025	1,3	1,3	14,49920183	37	AQ 375X225	55,52420183	139,4766953				
Ramo 2													156,1817233				
Uffici																	
467	110,4199892	160	1,525511033	0,2	8	1,6	1,3		1,853020189	50	EVVMC 100	53,45302019	146,5101365				
465	96,44752499	160	1,332473989	0,2	9,5	1,9	1,3		1,413731469	50	EVVMC 100	53,31373147	150,7228643				
462	96,88401246	160	1,338504296	0,2	7	1,4	0,3		0,329205352	50	EVVMC 100	51,72920535	149,9772786				
461	55,19181007	125	1,249287025	0,2	4	0,8	1,3	15	15,58181903	25	EVPMC 100	41,38181903	137,432299				
460	54,84680785	125	1,241477772	0,2	4	0,8	1,3	20	20,10775535	25	EVPMC 100	45,90775535	139,7258964				
459	54,78707713	125	1,240125745	0,2	4	0,8	1,3	30	29,4836928	25	EVPMC 100	55,2836928	147,0691458				
458	54,25862072	125	1,228163939	0,2	4	0,8	1,3	30	28,91765776	25	EVPMC 100	54,71765776	144,0418124				
446	91,29723593	160	1,261319999	0,2	3,5	0,7	1,3		1,266776532	50	EVVMC 100	51,96677653	139,9061635				
445	107,49232	160	1,485063722	0,2	5	1	1,3		1,756061103	50	EVVMC 100	52,7560611	142,9922822				
444	107,4225072	160	1,484099221	0,2	5	1	1,3		1,753780833	50	EVVMC 100	52,75378083	145,1631237				
443	107,4194786	160	1,484057379	0,2	5	1	1,3		1,753681945	50	EVVMC 100	52,75368194	150,9157777				
450	89,66762409	160	1,238806042	0,2	5	1	1,3		1,221957427	30	EVVMC 125	32,22195743	148,0617139				
449	104,4725662	160	1,443344212	0,2	5	1	0,3		0,382795812	30	EVVMC 125	31,38279581	150,1571056				
Aule																	
440	1759,912998	400	3,890261847	0,4	9	3,6	1,3		12,05055678	44	AQ 525X300	59,65055678	153,5852045				
439	1646,125001	400	3,638735151	0,4	8	3,2	1,3		10,54266332	39	AQ 525X300	52,74266332	137,3860328				
438	1379,752451	400	3,049922538	0,25	8	2	1,3	2,2	19,94122143	38	AQ 450X300	59,94122143	140,7778187				
437	1356,971868	400	2,999566394	0,25	8	2	1,3	1,3	14,3283572	49	AQ 375X300	65,3283572	141,1831163				
Computer Lab																	
448	690,3253429	315	2,460596079	0,25	7,5	1,875	1,3		4,820921951	37	AQ 300X225	43,69592195	146,551669				
Spazi comuni																	
435	339,7692193	250	1,922700471	0,2	6	1,2	1,3		2,943558768	35	AQ 225X150	39,14355877	157,1074742				
441	457,5239403	250	2,589055882	0,35	7,5	2,625	1,3	1,3	10,6748625	24	AQ 375X150	37,2998625	137,6403779				
451	302,4931853	250	1,711761269	0,2	5	1	1,3		2,333113339	29	AQ 225X150	32,33311334	141,4571125				
Sale riunione																	
447	2044,000569	500	2,891669282	0,2	7	1,4	1,3		6,658044421	22	AQ 600X450	30,05804442	141,8613651				

Tabella A1.17. Parametri dimensionamento canali finali di mandata, edificio 4, primo piano.

Tetto	Portata [m ³ /h]	D _n [mm]	v [m/s]	P _{dist} [Pa/m]	L [m]	ΔP _{dist} [Pa]	ξ d+c	ξ s	ΔP _{loc} [Pa]	ΔP _{tot} [Pa]
tratto 1	29894,46444	1250	6,766722541	0,3	33	9,9	0,7		19,63183393	29,53183393
tratto 2	21117,19952	1000	7,468681529	0,4	21	8,4	0,3	1	27,33278985	35,73278985
tratto 3	8777,26492	800	4,850503816	0,3	62,5	18,75	1,2		17,29262964	36,04262964
tratto 4	7807,229911	800	4,314441778	0,25	4,5	1,125	0,4		4,560529925	5,685529925
Piano -1	Portata [m ³ /h]	D _n [mm]	v [m/s]	P _{dist} [Pa/m]	L [m]	ΔP _{dist} [Pa]	ξ d+c	ξ s	ΔP _{loc} [Pa]	ΔP _{tot} [Pa]
tratto 1	7807,229911	800	4,314441778	0,25	5	1,25	0,3		3,420397444	4,670397444
tratto 2	7560,430662	800	4,178055249	0,25	3,2	0,8	0,2		2,138377844	2,938377844
tratto 3	894,8093501	315	3,189459001	0,5	3,5	1,75	0,4		2,492298935	4,242298935
tratto 4	690,1104509	315	2,459830118	0,25	7	1,75	0,2		0,741218615	2,491218615
tratto 5	490,5488408	250	2,77593859	0,4	3,5	1,4	0,5		2,359911986	3,759911986
tratto 6	443,0781853	250	2,507309631	0,4	4	1,6	0,2		0,770108694	2,370108694
tratto 7	394,1931124	250	2,230676707	0,3	2	0,6	0,2		0,609550025	1,209550025
tratto 8	347,3146444	250	1,965398843	0,25	2,5	0,625	0,2		0,473192095	1,098192095
tratto 9	298,4923027	250	1,689120905	0,2	1,5	0,3	0,2		0,349508355	0,649508355
tratto 10	243,7914487	200	2,155589674	0,35	2,5	0,875	0,4		1,138408877	2,013408877
tratto 11	194,6045728	200	1,720682206	0,25	1	0,25	0,2		0,362691539	0,612691539
tratto 12	148,6919883	200	1,31472583	0,2	3,5	0,7	0,2		0,211741741	0,911741741
tratto 13	99,82450197	160	1,379128727	0,2	1	0,2	0,4		0,465989031	0,665989031
tratto 14	41,35090831	125	0,935993096	0,2	1,5	0,3	0,4		0,214640354	0,514640354
tratto 15	6665,621312	800	3,683564516	0,2	17	3,4	1,3		10,80403561	14,20403561
tratto 16	3173,789839	630	2,828164616	0,15	1,5	0,225	0,4		1,959636198	2,184636198
tratto 17	1048,481352	400	2,317652638	0,15	8	1,2	0,4		1,316020869	2,516020869
tratto 18	750,5873323	315	2,675393951	0,3	9	2,7	0,4		1,753644534	4,453644534
tratto 19	544,7411663	315	1,94167575	0,15	2	0,3	0,2		0,461837828	0,761837828
tratto 20	381,4371489	250	2,158492719	0,3	9	2,7	0,4		1,14147725	3,84147725

Tabella A1.18. Parametri dimensionamento canali principali di mandata, edificio 4, piano seminterrato.

Uffici	Portata [m ³ /h]	D _n [mm]	v [m/s]	P _{dist} [Pa/m]	L [m]	ΔP _{dist} [Pa]	ξ d+c	ξ s	ΔP _{loc} [Pa]	ΔP _{term}	Modello term.	ΔP _{tot} [Pa]	ΔP _{nodo term.} [Pa]
475	381,4371489	250	2,158492719	0,3	5,5	1,65	0,3		0,856107938	10	AQ 300X225	12,50610794	101,9436956
478	205,846166	200	1,820079713	0,25	6	1,5	1,3	0,5	3,652240903	11	AQ 225X150	16,1522409	100,9865135
487	46,87846798	125	1,061111453	0,2	8,5	1,7	1,3		0,896543672	25	EVPMC 100	27,59654367	103,1455673
488	54,70085401	125	1,238174052	0,2	8,5	1,7	1,3		1,220710956	25	EVPMC 100	27,92071096	105,217435
490	45,91258449	125	1,039248323	0,2	8,5	1,7	1,3		0,859979523	25	EVPMC 100	27,55997952	107,482804
489	58,47359366	125	1,323571409	0,2	8,5	1,7	1,3		1,394903616	25	EVPMC 100	28,09490362	109,5954588
486	41,35090831	125	0,935993096	0,2	6	1,2	0,3		0,160980265	25	EVPMC 100	26,36098027	108,3761759
485	48,86748634	125	1,106133619	0,2	6	1,2	1,3		0,974237023	25	EVPMC 100	27,17423702	108,0088032
484	49,18687585	125	1,113363119	0,2	6	1,2	1,3		0,987013532	25	EVPMC 100	27,18701353	106,4971465
483	48,82234178	125	1,105111755	0,2	6	1,2	1,3		0,972437823	25	EVPMC 100	27,17243782	103,8196535
482	48,88507291	125	1,106531697	0,2	6	1,2	1,3		0,974938371	25	EVPMC 100	27,17493837	101,5144119
481	47,4706555	125	1,074515836	0,2	6	1,2	1,3	2,2	2,475140056	25	EVPMC 100	28,67514006	100,6445049
491	199,56161	200	1,764512038	0,25	9	2,25	1,3	1,3	4,958253102	27	AQ 225X150	34,2082531	102,417706
492	204,6988993	200	1,809935648	0,25	9	2,25	1,3	1,3	5,216818277	29	AQ 225X150	36,46681828	102,1850526
493	246,7992486	200	2,182184465	0,4	9	3,6	1,3		3,791685996	39	AQ 225X150	46,391686	104,9292435
Sale riunione													
495	2125,308487	500	3,006696456	0,2	5	1	1,3		7,198278025	22	AQ 525X525	30,19827803	108,0628852
494	3491,831473	630	3,111571565	0,2	8,5	1,7	1,3		7,709195041	35	AQ 600X600	44,40919504	120,089166
Infermeria													
477	163,3040174	200	1,443924533	0,2	5	1	1,3		1,660116003	18	AQ 150X150	20,660116	106,2562264
496	297,8940199	250	1,685735317	0,2	6,5	1,3	1,3		2,262706458	27	AQ 225X150	30,56270646	110,9433345

Tabella A1.19. Parametri dimensionamento canali finali di mandata, edificio 4, piano seminterrato.

Piano seminterrato e piano terra														
Ripresa	Portata [m ³ /h]	b _n [mm]	a _n [mm]	D _e [mm]	f _{correttivo}	v [m/s]	P _{dist} [Pa/m]	L [m]	ΔP _{dist} [Pa]	ξ d+c	ξ s	ΔP _{loc} [Pa]	ΔP _{griglia}	ΔP _{tot} [Pa]
tratto 1	29894,46444	1700	800	1253	0,91	6,13137488	0,3	5	1,5	0,9		20,72355905		22,22355905
tratto 2	14947,23222	1500	800	1183	0,92	3,477018187	0,25	15	3,75	0,1		0,740491398		4,490491398
tratto 3	10558,59976	1000	800	976	0,94	3,686908744	0,15	22,5	3,375	1,5		12,48884078		15,86384078
tratto 4	4388,63246	1000	400	674	0,89	3,042476743	0,2	63,5	12,7	0,4		2,267882859	89	103,9678829
tratto 5	14947,23222	1500	800	1183	0,92	3,477018187	0,25	39,5	9,875	0,1		0,740491398		10,6154914
tratto 6	10558,59976	1000	800	976	0,94	3,686908744	0,15	22,5	3,375	1,5		12,48884078		15,86384078
tratto 7	4388,63246	1000	400	674	0,89	3,042476743	0,2	42	8,4	0,3		1,700912144	89	99,10091214
tratto 8	6654,984805	800	800	875	0,94	2,89125674						0	85	85
tratto 9	6654,984805	800	800	875	0,94	2,89125674						0	85	85
tratto 10	3903,614955	800	400	609	0,91	3,389234532	0,3	4,5	1,35	0,1		0,703573281	78	80,05357328
tratto 11	3903,614955	800	400	609	0,91	3,389234532	0,3	4,5	1,35	0,1		0,703573281	78	80,05357328
Primo piano														
Ripresa	Portata [m ³ /h]	b _n [mm]	a _n [mm]	D _e [mm]	f _{correttivo}	v [m/s]	P _{dist} [Pa/m]	L [m]	ΔP _{dist} [Pa]	ξ d+c	ξ s	ΔP _{loc} [Pa]	ΔP _{griglia}	ΔP _{tot} [Pa]
tratto 1	27813,47005	1700	800	1253	0,91	5,704561522	0,25	1,5	0,375	0,9		17,93878971		18,31378971
tratto 2	13906,73502	1500	800	1183	0,92	3,234978214	0,25	21	5,25	0,1		0,640986398		5,890986398
tratto 3	5553,741074	1000	500	762	0,91	3,079958894	0,25	14,5	3,625	0,2		1,162052982	89	93,78705298
tratto 4	8352,993949	1000	600	840	0,92	3,853889555	0,25	67,5	16,875	0,4		3,638853852	85	105,5138539
tratto 5	13906,73502	1500	800	1183	0,92	3,234978214	0,25	32,5	8,125	0,1		0,640986398		8,765986398
tratto 6	5553,741074	1000	500	762	0,91	3,079958894	0,25	14,5	3,625	0,2		1,162052982	89	93,78705298
tratto 7	8352,993949	1000	600	840	0,92	3,853889555	0,25	36,5	9,125	0,3		2,729140389	85	96,85414039

Tabella A1.20. Parametri dimensionamento canali di ripresa, edificio 4.

Griglia	ΔP _{tot} [Pa]	Modello
Piano terra		
Griglia 1	127,5778912	RA 100 - 800 x 800 mm
Griglia 2	133,7028912	RA 100 - 800 x 800 mm
Griglia 3	130,6819333	RA 100 - 1000 x 500 mm
Griglia 4	131,9399626	RA 100 - 1000 x 500 mm
Piano seminterrato		
Griglia 1	122,6314645	RA 100 - 800 x 500 mm
Griglia 2	128,7564645	RA 100 - 800 x 500 mm
Primo piano		
Griglia 1	117,9918291	RA 100 - 1000 x 500 mm
Griglia 2	120,8668291	RA 100 - 1000 x 500 mm
Griglia 3	129,71863	RA 100 - 1000 x 800 mm
Griglia 4	123,9339165	RA 100 - 1000 x 800 mm

Tabella A1.21. Parametri dimensionamento canali di ripresa, edificio 4.

ALLEGATO 2: Tabelle di dimensionamento rete idronica

- Edificio 5

Edificio 5												
Collettore 1 (Serie 663)												
Uffici	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{col2} [kPa]	ΔP_{anello} [kPa]	ΔP_{tot} [kPa]
516	42,46	627,2774216	256	28 x 4,0	0,554	10,86976	10	1,53458	8,871456359	9,175313731	24,6	55,05111009
513	35,24	209,8646363	433	16 x 2,0	0,513	15,25892	10	1,315845	0,993011173	3,95347551	24	45,52125168
514	53,38	643,8423315	268	28 x 4,0	0,569	14,30584	10	1,618805	9,346191253	4,565626679	12,32	42,15646293
Servizi												
518	36,1	302,6905423	393	18 x 2,0	0,545	14,1873	10	1,485125	2,065728836	2,136482375	12,96	32,83463621
541	16,52	741,4366128	342	28 x 4,0	0,655	5,64984	8	1,7161	12,39434741	3,687180476	9,24	32,68746789
542	35,14	829,2968181	416	28 x 4,0	0,733	14,61824	12	3,223734	15,50585103	7,574628555	13,8	54,72245358
339	95,86	1417,68211	104	40 x 3,7	0,472	9,96944	9	1,002528	45,31409669	9,474153769	12,24	78,00021846
Negozi												
225	118,4	992,914872	158	32 x 2,9	0,511	18,71352	10	1,305605	22,22796173	4,647364568	13,14	60,0344513
226	97,2	837,8663823	118	32 x 2,9	0,431	11,4696	9	0,8359245	15,82796715	4,708644151	20,7	53,5421358
219	74,68	795,4413096	108	32 x 2,9	0,41	8,06544	9	0,75645	14,26566075	4,243875376	16,425	43,75642612
227	52,76	687,9289126	273	25 x 2,3	0,584	14,40348	8	1,364224	10,6699586	3,174193985	13,65	43,26185658
228	29,24	792,8489491	107	32 x 2,9	0,408	3,12868	8	0,665856	14,17282807	4,216258687	16,65	38,83362276
229	7,3	826,1489717	115	32 x 2,9	0,426	0,8395	5	0,45369	15,38836016	4,577865962	23,4	44,65941612
230	7,62	667,2069374	260	25 x 2,3	0,567	1,9812	5	0,8037225	10,03683341	2,985846285	13,44	29,24760219
Collettore 2 (Serie 550-040)												
Servizi	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{col2} [kPa]	ΔP_{anello} [kPa]	ΔP_{tot} [kPa]
502	168	1766,665099	153	40 x 3,7	0,588	25,71012	12	2,074464	0,6	13,7616668	17,655	59,8012508
Palestra												
501		7436,46278										
	53,92	2478,820927	95	50 x 4,6	0,526	5,1224	6	0,830028	1,2	22,58643171	22,38857143	52,12743114
	82,78	2478,820927	95	50 x 4,6	0,526	7,8641	8	1,106704	1,2	22,58643171	22,38857143	55,14580714
	110,5	2478,820927	95	50 x 4,6	0,526	10,4956	8	1,106704	1,2	22,58643171	22,38857143	57,77730714
Collettore 3 (Serie 550-040)												
Libreria	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{col2} [kPa]	ΔP_{anello} [kPa]	ΔP_{tot} [kPa]
509		12380,03835										
	19,02	3095,009587	140	50 x 4,6	0,658	2,6628	4	0,865928	3	35,39327199	24,65217391	66,57417391
	46,2	3095,009587	140	50 x 4,6	0,658	6,468	8	1,731856	3	35,39327199	24,65217391	71,24530191
	69,64	3095,009587	140	50 x 4,6	0,658	9,7496	9	1,948338	3	35,39327199	24,65217391	74,74338391
	86,08	3095,009587	140	50 x 4,6	0,658	12,0512	10	2,16482	3	35,39327199	24,65217391	77,26146591
Rami												
	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{ramo} [kPa]	$\Delta P_{terminale}$ [kPa]	ΔP_{MAX} [kPa]
Ramo 1	67	10372,44681	107	65 x 2,5	0,775	7,169	9	2,7028125	38,96338715	48,83519965	78,00021846	126,8354181
Ramo 2	103	9203,127879	86	65 x 2,5	0,688	8,858	10	2,36672	-	11,22472	59,8012508	71,0259708
Ramo 3	104	12380,03835	148	65 x 2,5	0,925	15,392	10	4,278125	-	19,670125	77,26146591	96,93159091

Tabella A2.1. Parametri dimensionamento rete di distribuzione, edificio 5, piano terra e tetto.

	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	$\Delta P_{batteria}$ [kPa]	ΔP_{tot} [kPa]
Batteria Fredda	39	67643	148	125 x 5,0	1,42	5,772	4	4,0328	28,6	38,4048
Batteria Calda	33	2268	535	25 x 1,0	1,08	17,655	6	3,4992	10,8	31,9542

Tabella A2.2. Parametri dimensionamento rami batterie UTA, edificio 5, tetto.

- Edificio 3

Edificio 3 Piano 0												
Collettore 1 (Serie 663)												
Servizi	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{col2} [kPa]	ΔP_{anello} [kPa]	ΔP_{tot} [kPa]
491	80,42	943,6744347	145	32 x 2,9	0,486	11,6609	8	0,944784	20,07797866	5,972975297	20,46	59,11663796
488	2,2	580,7316178	204	25 x 2,3	0,493	0,4488	4	0,486098	7,603727644	3,714430922	12,32	24,57305657
Laboratori												
307		2157,777232										
	28,9	1078,888616	183	32 x 2,9	0,555	5,2887	6	0,924075	26,24392755	7,807276498	20,25	60,51397905
	42,86	1078,888616	183	32 x 2,9	0,555	7,84338	7	1,0780875	26,24392755	7,807276498	20,25	63,22267155
Computer Lab												
371	45,26	879,7404835	128	32 x 2,9	0,453	5,79328	8	0,820836	17,4495714	3,648311117	14,112	41,82399852
303	30,92	888,43077	130	32 x 2,9	0,458	4,0196	8	0,839056	17,79601619	3,720744894	14,112	40,48741708
302	16,32	898,4002957	133	32 x 2,9	0,463	2,17056	8	0,857476	18,19765308	3,804718093	14,448	39,47840718
301	14,42	906,7943494	135	32 x 2,9	0,467	1,9467	8	0,872356	18,53929519	3,876147738	14,448	39,68249893
300	29,18	934,0648749	142	32 x 2,9	0,481	4,14356	8	0,925444	19,67114732	4,112792446	14,112	42,96494377
Sale riunione												
299		1641,783341										
	45,72	820,8916704	114	32 x 2,9	0,422	5,21208	8	0,712336	15,19313185	5,662004653	17,48571429	44,26526679
	52,12	820,8916704	114	32 x 2,9	0,422	5,94168	8	0,712336	15,19313185	5,662004653	17,48571429	44,99486679
Collettore 2 (Serie 663)												
Uffici	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{col2} [kPa]	$\Delta P_{batteria}$ [kPa]	ΔP_{tot} [kPa]
401	31,74	99	447	12 x 1,7	0,473	14,18778	8	0,894916	0,220976453		1,5	16,80367245
382	25,82	295	201	22 x 3,0	0,408	5,18982	8	0,665856	1,962093238		13,3	21,11776924
381	20,02	390	325	22 x 3,0	0,539	6,5065	8	1,162084	3,429294817		11,7	22,79787882
384	14,76	390	325	22 x 3,0	0,539	4,797	7	1,0168235	3,429294817		11,7	20,94311832
385	10,84	390	325	22 x 3,0	0,539	3,523	6	0,871563	3,429294817		11,7	19,52385782
402	11,2	729	303	25 x 2,3	0,62	3,3936	6	1,1532	11,98203726		10,7	27,22883726
309	5,24	390	325	22 x 3,0	0,539	1,703	8	1,162084	3,429294817		11,7	17,99437882
310	13,56	390	325	22 x 3,0	0,539	4,407	8	1,162084	3,429294817		11,7	20,69837882
311	20,9	390	325	22 x 3,0	0,539	6,7925	8	1,162084	3,429294817		11,7	23,08387882
312	37,18	549	186	25 x 2,3	0,467	6,91548	8	0,872356	6,795482493		10,8	25,38331849
314	38,9	659	254	25 x 2,3	0,56	9,8806	8	1,2544	9,791437098		9	29,9264371
Collettore 3 (Serie 663)												
Aule	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{col2} [kPa]	ΔP_{anello} [kPa]	ΔP_{tot} [kPa]
305	77,82	343,1064462	260	22 x 3,0	0,474	20,2332	8	0,898704	2,654198285	1,296579342	11,952	37,03468163
338	91,18	184,2384882	348	16 x 2,0	0,452	31,73064	8	0,817216	0,765308138	0,791520804	10,08	44,18468494
Laboratori												
388		1564,425917										
	7,92	782,2129585	105	32 x 2,9	0,403	0,8316	4	0,324818	13,79512442	6,738936364	24,6	46,29047879
	22,86	782,2129585	105	32 x 2,9	0,403	2,4003	7	0,5684315	13,79512442	6,738936364	24,6	48,10279229
389		2512,996699										
	8,96	1256,498349	238	32 x 2,9	0,647	2,13248	8	1,674436	35,59585704	8,75465287	19	67,1574259
	23,46	1256,498349	238	32 x 2,9	0,647	5,58348	8	1,674436	35,59585704	8,75465287	19	70,6084259
378	16,44	815,935047	113	32 x 2,9	0,42	1,85772	8	0,7056	15,01021057	4,465370665	18,675	40,71390124
298	31,42	809,7954221	111	32 x 2,9	0,417	3,48762	8	0,695556	14,78516732	4,398422801	18,675	42,04176612
295	46,96	804,5307367	110	32 x 2,9	0,414	5,1656	8	0,685584	14,59354799	4,341418182	18,675	43,46115017
294	62,4	799,1050839	109	32 x 2,9	0,412	6,8016	8	0,678976	14,39737764	4,283059687	18,675	44,83601333
308		2229,028747										
	53,84	1114,514373	193	32 x 2,9	0,574	10,39112	10	1,64738	28,00573381	8,331394262	21,825	70,20062807
	45,14	1114,514373	193	32 x 2,9	0,574	8,71202	10	1,64738	28,00573381	8,331394262	21,825	68,52152807
Computer Lab												
373		2626,816947										
	22,72	1313,408473	257	32 x 2,9	0,67	5,83904	9	2,02005	38,89333969	9,565655003	16,8	73,11808469
	37,06	1313,408473	257	32 x 2,9	0,67	9,52442	10	2,2445	38,89333969	9,565655003	16,8	77,02791469
Servizi												
489	1,2	623,6148624	231	25 x 2,3	0,529	0,2772	4	0,559682	8,76816115	4,283258216	16,8	30,68830137
Rami												
Ramo 1	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{ramo} [kPa]	$\Delta P_{terminale}$ [kPa]	ΔP_{MAX} [kPa]
Ramo 1	76	9831,397398	97	65 x 2,5	0,735	7,372	12	3,24135	35,00457213	45,61792213	63,22267155	108,8405937
Ramo 2	170,5	4671	90	50 x 2,0	0,588	15,345	11	1,901592	7,901581168	25,14817317	29,9264371	55,07461027
Ramo 3	118	13313,5944	169	65 x 2,5	0,995	19,942	11	5,4451375	64,19259239	89,57972989	77,02791469	166,6076446

Tabella A2.3. Parametri dimensionamento rete di distribuzione, edificio 3, piano terra e tetto.

Edificio 3 Piano 1												
Collettore 1 (Serie 663)												
Servizi	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{col2} [kPa]	ΔP_{anello} [kPa]	ΔP_{tot} [kPa]
495	81,44	1184,200876	215	32 x 2,9	0,61	17,5096	8	1,4884	31,6174154	6,610487182	19,344	76,56990258
496	2	668,4797869	261	25 x 2,3	0,568	0,522	4	0,645248	10,07516503	4,921731328	14,08	30,24414436
Laboratori												
442	60	659,1417297	254	25 x 2,3	0,56	15,24	8	1,2544	9,795649197	2,914096665	17,64	46,84414586
443	45,42	560,3785896	192	25 x 2,3	0,476	8,72064	8	0,906304	7,080088344	3,458632438	23,52	43,68566478
444	31,16	625,8287624	232	25 x 2,3	0,531	7,22912	8	1,127844	8,830527492	2,626983695	16,38	36,19447519
445	16,48	613,3226518	225	25 x 2,3	0,521	3,708	8	1,085764	8,481128016	2,523041237	15,48	31,27793325
446	14,42	651,0182539	249	25 x 2,3	0,553	3,59058	8	1,223236	9,555687552	2,842710745	16,77	33,98221463
426	28,46	591,5490444	211	25 x 2,3	0,502	6,00506	8	1,008016	7,889638844	2,347079788	15,12	32,36979463
Collettore 2 (Serie 663)												
Uffici	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{col2} [kPa]	$\Delta P_{batteria}$ [kPa]	ΔP_{tot} [kPa]
453	27,32	458	428	22 x 3,0	0,633	11,69296	8	1,602756	4,729405641		7,9	25,92512164
454	21,36	458	428	22 x 3,0	0,633	9,14208	8	1,602756	4,729405641		7,9	23,37424164
455	15,94	458	428	22 x 3,0	0,633	6,82232	8	1,602756	4,729405641		7,9	21,05448164
456	11,44	458	428	22 x 3,0	0,633	4,89632	6	1,202067	4,729405641		7,9	18,72779264
457	10,62	659	254	25 x 2,3	0,56	2,69748	6	0,9408	9,791437098		9	22,4297171
433	32,9	390	325	22 x 3,0	0,539	10,6925	8	1,162084	3,429294817		11,7	26,98387882
432	25,8	336	251	22 x 3,0	0,464	6,4758	8	0,861184	2,545389005		7,8	17,68237301
431	18,7	336	251	22 x 3,0	0,464	4,6937	8	0,861184	2,545389005		7,8	15,90027301
430	11,56	336	251	22 x 3,0	0,464	2,90156	8	0,861184	2,545389005		7,8	14,10813301
449	75,1	255	266	20 x 2,8	0,441	19,9766	7	0,6806835	1,466074264		12,6	34,72335776
448	74,4	99	447	12 x 1,7	0,473	33,2568	7	0,7830515	0,220976453		1,5	35,76082795
447	67,06	99	447	12 x 1,7	0,473	29,97582	7	0,7830515	0,220976453		1,5	32,47984795
434	40,3	458	428	22 x 3,0	0,633	17,2484	6	1,202067	4,729405641		7,9	31,07987264
452	54,42	99	447	12 x 1,7	0,473	24,32574	8	0,894916	0,220976453		1,5	26,94163245
451	56,56	99	447	12 x 1,7	0,473	25,28232	8	0,894916	0,220976453		1,5	27,89821245
450	64,56	458	428	22 x 3,0	0,633	27,63168	8	1,602756	4,729405641		7,9	41,86384164
Collettore 3 (Serie 663)												
Aule	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{col2} [kPa]	ΔP_{anello} [kPa]	ΔP_{tot} [kPa]
438	47,68	420,5080615	129	25 x 2,5	0,371	6,15072	8	0,550564	3,986798269	1,947556181	18,26	30,89563845
437	63,04	441,7735279	140	25 x 2,5	0,39	8,8256	8	0,6084	4,400226031	2,149516184	19,92	35,90374222
436	78,4	308,7473848	217	22 x 3,0	0,426	17,0128	8	0,725904	2,149226488	1,049899957	11,952	32,88983044
435	93,92	276,5087374	180	20 x 2,0	0,381	16,9056	8	0,580644	1,723825605	0,842091068	12,096	32,14816067
Laboratori												
441	8,34	2514,411209	238	32 x 2,9	0,648	1,98492	8	1,679616	35,63594056	8,764511245	19	67,0649878
	22,1	1257,205604	238	32 x 2,9	0,648	5,2598	8	1,679616	35,63594056	8,764511245	19	70,3398678
428	56,4	1239,699213	233	32 x 2,9	0,638	13,1412	7	1,424654	34,6504006	8,522121795	20	77,73837639
	48,56	1239,699213	233	32 x 2,9	0,638	11,31448	7	1,424654	34,6504006	8,522121795	20	75,91165639
427	41,12	1312,866593	257	32 x 2,9	0,676	10,56784	7	1,599416	38,86125339	9,55776351	20	80,58627289
	23,74	1312,866593	257	32 x 2,9	0,676	6,10118	7	1,599416	38,86125339	9,55776351	20	76,11961289
Computer Lab												
440	16,44	1167,704673	210	32 x 2,9	0,601	3,4524	8	1,444804	30,74267441	6,427598604	23,904	65,97147701
439	32,16	1090,024054	186	32 x 2,9	0,562	5,98176	8	1,263376	26,78846155	5,600862039	21,912	61,54645959
Servizi												
499	0,4	715,8636608	293	25 x 2,3	0,608	0,1172	4	0,739328	11,55410322	5,64419457	16,64	34,69482579
L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{ramo} [kPa]	$\Delta P_{terminale}$ [kPa]	ΔP_{MAX} [kPa]	
Ramo 1	65	5553,919695	162	50 x 2,0	0,818	10,53	12	4,014744	11,1710363	25,7157803	102,2856829	
Ramo 2	165	5456	119	51 x 2,0	0,687	19,635	16	3,775752	10,78060154	34,19135354	76,05519518	
Ramo 3	108	12040,67292	141	65 x 2,5	0,9	15,228	11	4,455	52,50441081	72,18741081	152,7736837	

Tabella A2.4. Parametri dimensionamento rete di distribuzione, edificio 3, primo piano e tetto.

	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	$\Delta P_{batteria}$ [kPa]	ΔP_{tot} [kPa]
Batteria Fredda	43	104652	140	150 x 6,0	1,54	6,02	4	4,7432	28,4	39,1632
Batteria Calda	18	3348	275	32 x 1,25	0,919	4,95	4	1,68912	13,1	19,73912

Tabella A2.5. Parametri dimensionamento rami batterie UTA, edificio 5, tetto.

- Edificio 4

Edificio 4 Piano 0													
Collettore 1 (Serie 663)													
Uffici	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{col2} [kPa]	ΔP_{anello} [kPa]	ΔP_{tot} [kPa]	
404	57,2	870,5309366	126	32 x 2,9	0,448	7,2072	8	0,802816	17,08614266	5,082937368	16,5	46,67909603	
Aule													
403		1957,010319											
	58,86	978,5051594	154	32 x 2,9	0,504	9,06444	8	1,016064	21,58747507	5,309349634	22	58,9773287	
	68,72	978,5051594	154	32 x 2,9	0,504	10,58288	8	1,016064	21,58747507	5,309349634	22	60,4957687	
Servizi													
522	70,76	792,9488206	107	32 x 2,9	0,408	7,57132	6	0,499392	14,17639887	6,925189431	21,6	50,7723003	
524		1447,072578											
	6	723,5362891	92	32 x 2,9	0,373	0,552	4	0,278258	11,80310431	5,765831929	18,72	37,11919424	
	12,14	723,5362891	92	32 x 2,9	0,373	1,11688	8	0,556516	11,80310431	5,765831929	18,72	37,96233224	
Computer Lab													
399		1975,834975											
	20,64	987,9174877	157	32 x 2,9	0,509	3,24048	8	1,036324	22,00477618	5,411983105	19,65333333	51,34689661	
	37,36	987,9174877	157	32 x 2,9	0,509	5,86552	8	1,036324	22,00477618	5,411983105	19,65333333	53,97193661	
Spazi comuni													
397	47,44	1388,856081	101	40 x 3,7	0,462	4,79144	8	0,853776	43,49006914	5,744745372	13,5	68,38003051	
402		1654,76298											
	26,18	827,3814902	115	32 x 2,9	0,426	3,0107	8	0,725904	15,43430971	3,796004228	20,72	43,68691794	
	41,74	827,3814902	115	32 x 2,9	0,426	4,8001	8	0,725904	15,43430971	3,796004228	20,72	45,47631794	
381	91,54	1193,849996	218	32 x 2,9	0,615	19,95572	10	1,891125	32,13476541	5,175349658	16,65	75,80696007	
Collettore 2 (Serie 663)													
Uffici	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{col2} [kPa]	$\Delta P_{batteria}$ [kPa]	ΔP_{tot} [kPa]	
391	44,28	255	266	20 x 2,8	0,441	11,77848	8	0,777924	1,466074264		12,6	26,62247826	
392	33,38	390	325	22 x 3,0	0,539	10,8485	8	1,162084	3,429294817		11,7	27,13987882	
393	25,58	549	204	28 x 4,0	0,485	5,21832	8	0,9409	6,795482493		10,8	23,75470249	
394	15,8	549	204	28 x 4,0	0,485	3,2232	8	0,9409	6,795482493		10,8	21,75958249	
401	6,24	549	204	28 x 4,0	0,485	1,27296	8	0,9409	6,795482493		10,8	19,80934249	
390	6,2	549	204	28 x 4,0	0,485	1,2648	8	0,9409	6,795482493		10,8	19,80118249	
389	14,64	549	204	28 x 4,0	0,485	2,98656	8	0,9409	6,795482493		10,8	21,52294249	
388	23,52	549	204	28 x 4,0	0,485	4,79808	8	0,9409	6,795482493		10,8	23,33446249	
387	32,28	549	204	28 x 4,0	0,485	6,58512	8	0,9409	6,795482493		10,8	25,12150249	
396	41,1	336	251	22 x 3,0	0,464	10,3161	8	0,861184	2,545389005		7,8	21,52267301	
379	84,54	336	251	22 x 3,0	0,464	21,21954	10	1,07648	2,545389005		7,8	32,64140901	
378	94,4	336	251	22 x 3,0	0,464	23,6944	10	1,07648	2,545389005		7,8	35,11626901	
380	96,02	549	204	28 x 4,0	0,485	19,58808	10	1,176125	6,795482493		10,8	38,35968749	
Collettore 3 (Serie 663)													
Uffici	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{col2} [kPa]	ΔP_{anello} [kPa]	ΔP_{tot} [kPa]	
215	18,74	93,45095129	370	12 x 1,7	0,445	6,9338	7	0,6930875	0,196898797	0,783913205	3,9	12,5076995	
216	25,92	91,98575016	346	12 x 1,7	0,435	8,96832	7	0,6622875	0,190772916	0,759524235	3,9	14,48090465	
217	33,3	92,15792261	358	12 x 1,7	0,44	11,9214	7	0,6776	0,191487735	0,762370144	3,9	17,45285788	
218	41,22	92,85109998	358	12 x 1,7	0,44	14,75676	7	0,6776	0,194379166	0,7738818	3,6	20,00262097	
220	44,62	512,4986713	165	25 x 2,3	0,435	7,3623	7	0,6622875	5,921900372	6,124732129	16,2	36,27122	
374	53,06	649,8786281	248	25 x 2,3	0,552	13,15888	6	0,914112	9,522261834	4,651637389	15,84	44,08689122	
375	65,16	591,2896478	211	25 x 2,3	0,502	13,74876	6	0,756012	7,882721083	3,850719583	14	40,23821267	
376	67,16	1004,864928	161	32 x 2,9	0,517	10,81276	6	0,801867	22,76622302	6,772698089	24,3	65,45354811	
377	55,56	665,049058	258	25 x 2,3	0,565	14,33448	6	0,957675	9,972016178	4,871342976	18,04	48,17551415	
176	49,14	428,0320368	133	25 x 2,5	0,378	6,53562	6	0,428652	4,130742858	4,272225453	14,52	29,88724031	
177	44,02	388,8385356	112	25 x 2,5	0,343	4,93024	6	0,352947	3,408899571	3,525658221	9	21,21774479	
178	35,7	376,8027434	107	25 x 2,5	0,332	3,8199	6	0,330672	3,201133021	3,310775432	8,4	19,06248045	
Collettore 4 (Serie 663)													
Uffici	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{col2} [kPa]	ΔP_{anello} [kPa]	ΔP_{tot} [kPa]	
242	27,02	185,8920274	352	16 x 2,0	0,454	9,51104	8	0,824464	0,779107055	3,10185902	21	35,21647008	
213	19,22	149,6564768	205	16 x 2,0	0,366	3,9401	8	0,535824	0,504971239	2,010442057	15,12	22,1113373	
250	14,16	242,8562372	381	16 x 1,5	0,506	5,39496	8	1,024144	1,329762656	1,375308525	8,91	18,03417518	
245	10,16	1243,123403	234	32 x 2,9	0,64	2,37744	6	1,2288	34,84208166	10,3651317	18,6	67,41345335	
206	50,06	561,0895354	193	25 x 2,3	0,477	9,66158	11	1,2514095	7,09806459	7,341181296	16,2	41,55223539	
207	41,66	408,9306657	122	25 x 2,5	0,361	5,08252	11	0,7167655	3,770291839	3,89942858	9,6	23,06900592	
211	34,52	404,661621	120	25 x 2,5	0,357	4,1424	8	0,509796	3,691982577	3,818437139	9,6	21,76261572	
212	38,78	405,6933283	121	25 x 2,5	0,358	4,69238	11	0,704902	3,710832406	3,837932595	9,6	22,546047	
247	47,26	360,2528737	283	22 x 3,0	0,497	13,37458	11	1,3585495	2,926109114	3,026331646	5,88	26,56557026	
246	54,66	468,9719141	155	25 x 2,5	0,414	8,4723	11	0,942678	4,958716481	5,128558105	12,48	31,98225259	
Negozzi													
362		1605,427726											
	1,5	802,7138631	109	32 x 2,9	0,413	0,1635	4	0,341138	14,52770913	7,096804956	21,3	43,42915209	
	9,12	802,7138631	109	32 x 2,9	0,413	0,99408	8	0,682276	14,52770913	7,096804956	21,3	44,60087009	

Collettore 4 (Serie 663)												
Uffici	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{col2} [kPa]	ΔP_{anello} [kPa]	ΔP_{tot} [kPa]
467	43,24	879,6143595	128	32 x 2,9	0,453	5,53472	7	0,7182315	17,44456845	5,189565052	15,51	44,397085
465	63,22	739,5176391	95	32 x 2,9	0,381	6,0059	7	0,5080635	12,33027276	6,023354407	24	48,86759067
462	70,12	961,8747999	150	32 x 2,9	0,495	10,518	6	0,735075	20,85992308	6,205595063	15,21	53,52859314
461	61,84	489,9582722	152	25 x 2,3	0,416	9,39968	6	0,519168	5,412448762	5,597831227	20,7	41,62912799
460	52,68	473,5454651	144	25 x 2,3	0,402	7,58592	6	0,484812	5,05590579	5,229076258	17,94	36,29571405
459	45,9	473,3818101	144	25 x 2,3	0,402	6,6096	6	0,484812	5,052411802	5,225462597	17,94	35,3122864
458	37,04	566,0666708	196	25 x 2,3	0,481	7,25984	6	0,694083	7,224549635	7,471998596	20,7	43,35047123
446	2,8	993,7967717	158	32 x 2,9	0,512	0,4424	4	0,524288	22,26746469	6,624323034	16,65	46,50847573
445	9,54	1059,297845	177	32 x 2,9	0,546	1,68858	8	1,192464	25,29949118	7,526317186	19,8	55,50685237
Aule												
439	35,56	700,2250446	282	25 x 2,3	0,595	10,02792	10	1,770125	11,05479998	3,288680015	22,89	49,03152499
438	19,7	405,6517411	346	22 x 3,0	0,56	6,8162	10	1,568	3,710071657	1,812374868	20,24	34,14664653
437		1553,264363										
	19	776,6321815	103	32 x 2,9	0,4	1,957	10	0,8	13,59898122	5,067914615	17,16	38,58389584
	24,78	776,6321815	103	32 x 2,9	0,4	2,55234	10	0,8	13,59898122	5,067914615	17,16	39,17923584
Collettore 5 (Serie 663)												
Aule	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{col2} [kPa]	ΔP_{anello} [kPa]	ΔP_{tot} [kPa]
440		1804,89245										
	53,36	902,4462248	134	32 x 2,9	0,465	7,15024	8	0,8649	18,36192774	5,462469238	21,24	53,07953698
	62,12	902,4462248	134	32 x 2,9	0,465	8,32408	8	0,8649	18,36192774	5,462469238	21,24	54,25337698
Computer Lab												
448		3085,978163										
	14,64	1028,659388	168	32 x 2,9	0,53	2,45952	8	1,1236	23,85716295	9,675208951	22,08	59,1954919
	19,28	1028,659388	168	32 x 2,9	0,53	3,23904	8	1,1236	23,85716295	9,675208951	22,08	59,9750119
	24,02	1028,659388	168	32 x 2,9	0,53	4,03536	8	1,1236	23,85716295	9,675208951	22,08	60,7713319
Spazi comuni												
435		1565,299313										
	14,96	782,6496566	342	25 x 2,3	0,665	5,11632	8	1,7689	13,81053196	5,14675295	16,21714286	42,05964776
	27,12	782,6496566	342	25 x 2,3	0,665	9,27504	8	1,7689	13,81053196	5,14675295	16,21714286	46,21836776
441		3009,384805										
	33,44	1003,128268	161	32 x 2,9	0,517	5,38384	8	1,069156	22,68759951	9,200895612	21,576	59,91749113
	39	1003,128268	161	32 x 2,9	0,517	6,279	8	1,069156	22,68759951	9,200895612	21,576	60,81265113
	44,86	1003,128268	161	32 x 2,9	0,517	7,22246	8	1,069156	22,68759951	9,200895612	21,576	61,75611113
Sale riunione												
447		1497,71955										
	4,18	748,8597749	317	25 x 2,3	0,636	1,32506	4	0,808992	12,64377082	4,711937597	17,91428571	37,40404613
	5,2	748,8597749	317	25 x 2,3	0,636	1,6484	8	1,617984	12,64377082	4,711937597	17,91428571	38,53637813
Collettore 6 (Serie 663)												
Uffici	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{col2} [kPa]	ΔP_{anello} [kPa]	ΔP_{tot} [kPa]
444	33,86	1050,392657	174	32 x 2,9	0,541	5,89164	8	1,170724	24,87590921	7,40030626	19,8	59,13857947
443	18,98	1009,875648	163	32 x 2,9	0,52	3,09374	8	1,0816	22,99383489	6,840410087	19,8	53,80958498
450	25,9	996,1369616	159	32 x 2,9	0,513	4,1181	8	1,052676	22,37245889	6,65555764	16,2	50,39879253
449	39,44	1023,102314	167	32 x 2,9	0,527	6,58648	8	1,110916	23,60009457	7,020765598	18,9	57,21825617
Computer Lab												
436		4186,580907										
	107,1	1046,645227	173	32 x 2,9	0,539	18,53522	9	1,3073445	24,69872891	9,204443124	17,67	71,41573654
	91,68	1046,645227	173	32 x 2,9	0,539	15,86064	9	1,3073445	24,69872891	9,204443124	17,67	68,74115654
	83,88	1046,645227	173	32 x 2,9	0,539	14,51124	9	1,3073445	24,69872891	9,204443124	17,67	67,39175654
	72,82	1046,645227	173	32 x 2,9	0,539	12,59786	9	1,3073445	24,69872891	9,204443124	17,67	65,47837654
Spazi comuni												
451		1435,428248										
	8,88	717,7141242	294	25 x 2,3	0,609	2,61072	8	1,483524	11,61391371	5,673412074	19,76	41,14156979
	17,88	717,7141242	294	25 x 2,3	0,609	5,25672	8	1,483524	11,61391371	5,673412074	19,76	43,78756979
Servizi												
473	58,54	694,6423292	86	32 x 2,9	0,358	5,03444	9	0,576738	10,87922848	5,314517374	17,28	39,08492385
468	3,84	900,8752141	134	32 x 2,9	0,464	0,51456	4	0,430592	18,29805319	8,938622971	17,98	46,16182816
	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{ramo} [kPa]	$\Delta P_{terminale}$ [kPa]	ΔP_{MAX} [kPa]
Ramo 1	190	9199,019507	86	65 x 2,5	0,678	16,34	15	3,44763	30,64625075	50,43388075	77,48750184	127,9213826
Ramo 2	197	3936	66	50 x 2,0	0,496	13,002	15	1,84512	2,760899265	17,60801926	35,40104164	53,00906091
Ramo 3	196	7752,81619	79,5	65 x 2,5	0,658	15,582	15	3,24723	10,71172357	29,54095357	53,96279714	83,50375071
Ramo 4	163	9296,194782	86	65 x 2,5	0,688	14,018	14	3,313408	31,29714348	48,62855148	55,50685237	104,1354039
Ramo 5	93	10963,27428	118	65 x 2,5	0,819	10,974	14	4,695327	43,52861312	59,19794012	61,75611113	120,9540512
Ramo 6	103	11297,03428	125	65 x 2,5	0,844	12,875	14	4,986352	46,21927877	64,08063077	71,41573654	135,4963673

Tabella A2.7. Parametri dimensionamento rete di distribuzione, edificio 4, primo piano e tetto.

Edificio 4 Piano -1												
Collettore 1 (Serie 663)												
Uffici	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{col2} [kPa]	ΔP_{anello} [kPa]	ΔP_{tot} [kPa]
487	29,24	391,546835	114	25 x 2,5	0,346	3,33336	9	0,538722	3,456551602	3,574942387	8,55	19,45357599
488	39,7	462,1982504	152	25 x 2,5	0,408	6,0344	9	0,749088	4,816507083	4,981477876	16,56	33,14147296
490	46,8	392,616465	114	25 x 2,5	0,347	5,3352	9	0,5418405	3,475462654	3,594501164	8,55	21,49700432
489	56,7	531,5617901	175	25 x 2,5	0,451	9,9225	9	0,9153045	6,370640815	6,588842438	21,6	45,39728775
486	78,98	473,3911201	144	25 x 2,5	0,402	11,37312	9	0,727218	5,052610537	5,225668138	13,26	35,63861668
485	69,6	427,8185187	132	25 x 2,5	0,378	9,1872	9	0,642978	4,126622753	4,26796423	13,2	31,42476498
484	63,52	425,6851911	131	25 x 2,5	0,376	8,32112	9	0,636192	4,08557035	4,225505736	13,2	30,46838809
483	52,48	420,4124615	129	25 x 2,5	0,371	6,76992	9	0,6193845	3,984985726	4,121475976	12	27,4957662
482	48	418,2662388	128	25 x 2,5	0,37	6,144	9	0,61605	3,944402553	4,079502783	12	26,78395534
481	39,24	390,2597084	113	25 x 2,5	0,345	4,43412	7	0,4165875	3,433863602	3,551477298	9	20,8360484
491	33,32	1256,801389	238	32 x 2,9	0,647	7,93016	6	1,255827	35,613029	5,735528955	16,6	67,13454496
492	31,84	1113,484645	193	32 x 2,9	0,573	6,14512	4	0,656658	27,95400726	5,844551312	22,968	63,56833657
493		1508,689724										
	33,48	754,3448619	99	32 x 2,9	0,388	3,31452	6	0,451632	12,8296699	4,781216364	18,85714286	40,23418112
	38,66	754,3448619	99	32 x 2,9	0,388	3,82734	8	0,602176	12,8296699	4,781216364	18,85714286	40,89754512
Collettore 2 (Serie 663)												
Uffici	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{col2} [kPa]	ΔP_{anello} [kPa]	ΔP_{tot} [kPa]
475		4512,528671										
	28,12	1128,132168	198	32 x 2,9	0,581	5,56776	8	1,350244	28,69429606	9,507148091	19,84	64,95944815
	20,26	1128,132168	198	32 x 2,9	0,581	4,01148	8	1,350244	28,69429606	9,507148091	19,84	63,40316815
	11,96	1128,132168	198	32 x 2,9	0,581	2,36808	8	1,350244	28,69429606	9,507148091	19,84	61,75976815
	4,76	1128,132168	198	32 x 2,9	0,581	0,94248	8	1,350244	28,69429606	9,507148091	19,84	60,33416815
478		2981,138513										
	3,28	993,7128378	158	32 x 2,9	0,512	0,51824	8	1,048576	22,26370353	9,028985722	16,182	49,04150525
	8,64	993,7128378	158	32 x 2,9	0,512	1,36512	8	1,048576	22,26370353	9,028985722	16,182	49,88838525
	16,54	993,7128378	158	32 x 2,9	0,512	2,61332	8	1,048576	22,26370353	9,028985722	16,182	51,13658525
Infermeria	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{col2} [kPa]	ΔP_{anello} [kPa]	ΔP_{tot} [kPa]
477	5,88	86,56039434	468	12 x 2,0	0,481	2,75184	4	0,462722	0,168932832	0,672572304	15,6	19,65606714
496		2759,955318										
	20,84	1379,977659	100	40 x 3,7	0,459	2,084	8	0,842724	42,93581589	8,97690899	22,86	77,69944887
	34,7	1379,977659	100	40 x 3,7	0,459	3,47	8	0,842724	42,93581589	8,97690899	22,86	79,08544887
Servizi	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{col2} [kPa]	ΔP_{anello} [kPa]	ΔP_{tot} [kPa]
535	40,22	732,3252716	94	32 x 2,9	0,377	3,78068	6	0,426387	12,09159665	5,906760816	16,8	39,00542447
Ramo 1	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	ΔP_{col1} [kPa]	ΔP_{ramo} [kPa]	$\Delta P_{terminale}$ [kPa]	ΔP_{MAX} [kPa]
Ramo 1	178	8212,732337	70	65 x 2,5	0,614	12,46	16	3,015968	24,42697055	39,90293855	67,13454496	107,0374835
Ramo 2	110	11072,50817	121	65 x 2,5	0,827	13,31	14	4,787503	44,40033938	62,49784238	79,08544887	141,5832913

Tabella A2.8. Parametri dimensionamento rete di distribuzione, edificio 4, piano seminterrato e tetto.

	L [m]	Q [l/h]	P [Pa/m]	D [mm]	v [m/s]	ΔP_{dis} [kPa]	ξ [-]	ΔP_{loc} [kPa]	$\Delta P_{batteria}$ [kPa]	ΔP_{tot} [kPa]
Batteria Fredda UTA 1	61	115308	168	150 x 6,0	1,7	10,248	6	8,67	28,6	47,518
Batteria Fredda UTA 2	35	114912	167	150 x 6,0	1,69	5,845	4	5,7122	29,9	41,4572
Batteria Calda UTA 1	32	2844	246	32 x 1,25	0,78	7,872	8	2,4336	11,3	21,6056
Batteria Calda UTA 2	39	2628	213	33 x 1,25	0,721	8,307	8	2,079364	14	24,386364

Tabella A2.9. Parametri dimensionamento rami batterie UTA, edificio 4, tetto.

ALLEGATO 3: Schede tecniche di refrigeratori e pompe di calore

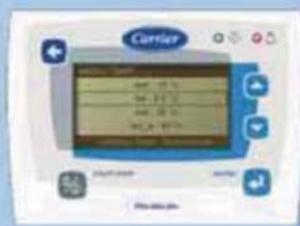


CLASSE A

Classe di efficienza energetica secondo EUROVENT EER > 3,10



Ventilatori assiali Flying Bird con anello volvente, realizzati in materiale composito per un funzionamento silenzioso.



Interfaccia del sistema Pro-Dialog con l'operatore con controllo touch screen

ACCESSORI/OPZIONI

- Esecuzione per alta efficienza energetica, alta temperatura esterna (fino a +55°C).
- Modulo Energy Management
- Un passo evaporatore in più o in meno, su taglie a singolo evaporatore
- Inversione degli attacchi idraulici
- Esecuzione per funzionamento con acqua a bassa temperatura fino a -12°C con miscele glicolate
- Quattro opzioni di moduli idronici
- Batterie di tipo tradizionale (Cu-Al)
- Trattamenti speciali del condensatore
- Griglie
- Funzionamento invernale
- Rubinetto di aspirazione e mandata
- Protezione dal gelo dell'evaporatore e del modulo idronico
- Quadro di controllo con protezione IP54
- Gateway di comunicazione Jbus, Bacnet® o LON-Talk®

I REFRIGERATORI D'ACQUA AQUAFORCE SONO CONCEPITI PER SODDISFARE OGNI PRESCRIZIONE ATTUALE E FUTURA IN FATTO DI EFFICIENZA ENERGETICA E DI LIVELLI SONORI DI FUNZIONAMENTO. QUESTE MACCHINE SI AVVALGONO INFATTI DELLE MIGLIORI SOLUZIONI TECNOLOGICHE OGGI DISPONIBILI.

20 taglie con capacità nominali di raffreddamento da 275 a 1700 kW.

CARATTERISTICHE

I gruppi frigoriferi ad alta efficienza 30XA a R134a sono equipaggiati con compressori a vite di nuova generazione e hanno due (252-1002), tre (1102-1502) o quattro (1702) circuiti frigoriferi indipendenti.

Si distinguono per livelli d'efficienza energetica elevati e livelli sonori particolarmente contenuti. Le unità Aquaforce sono disponibili in versione silenziosa e, con l'aggiunta dell'opzione 119, in versione ad alta efficienza.

La dotazione standard prevede:

- Unità in classe "A" (versione ad alta efficienza con opzione 119)
- Batterie del condensatore interamente in alluminio
- Compressori a vite modulanti montati su telaio flottante ammortizzato dalla struttura
- Compressori completamente revisionabili in sito
- Compressori isolati acusticamente, ventilatori Flying Bird a basso livello sonoro
- Flussostato elettronico di protezione montato, collegato e tarato in fabbrica
- Evaporatore di tipo allagato ad alta efficienza isolato con materassino da 19 mm e ricoperto con protezione d'alluminio
- Rubinetti d'intercettazione circuito frigorifero su linee di mandata e aspirazione per ogni compressore
- Quadri di potenza e controllo separati
- Controllo Prodialog Plus con visore LCD Touch Screen da 5,5"
- Funzione Master/Slave (ad eccezione della grandezza 1702) con la sola aggiunta di una sonda per gruppo
- Nuove funzioni esclusive del controllo: segnalazione Allerta (richiesta di manutenzione), segnalazione carica di refrigerante scarsa, visualizzazione corrente effettiva assorbita e limitazione della stessa tramite contatto remoto
- Alta precisione temperatura acqua in uscita (+/- 0,1/0,2 °C)
- Attacchi idraulici di tipo Victaulic



La qualità superiore di Aquaforce è sottolineata dalla possibilità di offrire 3 anni di garanzia su compressori e batterie in abbinamento ad un contratto di manutenzione.

Caratteristiche fisiche

30XA	252	302	352	402	452	502	602	702	752	802	852	902	1002	1102	1202	1302	1352	1402	1502	1702	
Potenzialità frigorifera nominale*																					
Unità silenziata	kW	268	293	320	382	438	492	605	653	706	764	802	869	951	1116	1216	1296	1382	1426	1478	1605
Unità ad alta efficienza	kW	274	300	326	393	451	508	616	677	726	792	837	899	999	1146	1245	1352	1440	1466	1521	1673
Peso in funzione**																					
Unità silenziata e ad alta efficienza	kg	3840	3880	3920	4780	4850	5330	6260	6410	6710	7010	7560	7860	8440	10440	10880	11260	11620	4250/8380	4250/8530	7560/7560
Opzione 254***	kg	4160	4190	4710	5190	5260	5830	6870	7030	7820	8140	8260	9010	9260	11470	11890	12250	12640	4650/9180	4650/9340	8270/8270
Refrigerante	R134a																				
Compressori	Semimetlici a vite serie 06T (velocità di rotazione: 50 g/s)																				
Sistema di controllo	PRO-DIALOG, con valvola elettronica di espansione (EXV)																				
Condensatori	Scambiatore a micro canali interamente costruito in alluminio																				
Ventilatori	Assiale Flying Bird IV ad anellovolvente																				
Qtà., MCHX/CU-AL	6/6	6/6	6/7	8/8	8/8	9/9	11/11	12/12	12/13	12/13	14/14	14/15	16/16	19/19	20/20	20/20	20/20	24/24	24/24	28/28	
Evaporatore	Di tipo multitubolare ad allagamento																				

* Condizioni di riferimento: temperatura di ingresso/uscita dell'acqua evaporatore = 12°C/7°C, temperatura dell'aria esterna = 35°C.

** I pesi indicati hanno carattere solo indicativo. Pesi e diametri dei moduli di collegamento 1 e 2 per le grandezze da 1402 e 1702.

*** Opzione 254 = batterie di tipo tradizionale CU/AL.

Note:

I modelli di grandezza da 30XA 1402 a 30XA 1702 sono forniti divisi in due moduli da riassiemare in cantiere.

Caratteristiche elettriche

30XA	252	302	352	402	452	502	602	702	752	802	852	902	1002	1102	1202	1302	1352	1402	1502	1702	
Circuito di alimentazione																					
Tensione nominale di alimentazione	V-f-Hz	400-3-50 ± 10%																			
Circuito di controllo	A 24V tramite trasformatore interno																				
Corrente massima di spunto, circuiti A + B/C + D*																					
Unità silenziata	A	262/-	262/-	284/-	395/-	502/-	502/-	571/-	597/-	770/-	795/-	796/-	880/-	932/-	571/587	770/587	795/587	878/587	880/587	932/597	796/796
Unità ad alta efficienza	A	262/-	262/-	283/-	400/-	507/-	507/-	579/-	608/-	778/-	803/-	807/-	892/-	945/-	579/587	778/587	803/587	889/587	892/587	945/587	807/807
Potenza assorbita dall'unità**																					
Unità standard	kW	85,7	97,2	105,4	120,5	143,3	157,2	193,1	207,5	234,4	257,9	263,9	294,4	322,6	350,2	394,1	439,3	490,4	460,5	480,9	527,8
Unità ad alta efficienza	kW	86,8	95,4	104,6	121,1	140,5	154,0	189,2	203,0	230,1	249,2	256,2	286,1	309,8	340,0	381,6	418,0	462,5	446,2	472,4	512,4
Massima corrente assorbibile A + B/C + D***																					
Unità silenziata	A	198/-	215/-	233/-	270/-	303/-	335/-	404/-	436/-	492/-	522/-	572/-	611/-	707/-	404/354	492/354	568/354	655/352	661/354	707/354	572/572
Unità ad alta efficienza	A	216/-	240/-	264/-	304/-	345/-	376/-	457/-	488/-	552/-	579/-	642/-	678/-	796/-	457/398	552/398	634/398	729/394	741/398	796/398	642/642

* Alle massime condizioni di funzionamento

** Condizioni di riferimento: temperatura di uscita dell'acqua evaporatore = 7°C, temperatura dell'aria esterna = 35°C

*** Massima corrente assorbibile con tensione di alimentazione nominale - 10%

Limiti di funzionamento

Temperatura dell'acqua all'evaporatore	°C	Minima	Massima
Temperatura di ingresso acqua all'avviamento		-	45
Temperatura di ingresso acqua durante il funzionamento		-8	21
Temperatura di uscita acqua durante il funzionamento		-12	15
Nota: Quando siano richieste temperature di uscita acqua inferiori ai 4°C è necessario aggiungere del glicole all'acqua per impedire che essa possa congelarsi.			
Temperatura dell'aria al condensatore	°C	Minima	Maxima
Durante l'immagazzinaggio		-20	68
In funzionamento			
Unità silenziata		-10	55*
In esecuzione per funzionamento invernale (opzione No. 28)		-20	55*
Versione ad alta efficienza (opzione 119)		-10	55*

Nota: Quando si prevede che la temperatura dell'aria possa scendere a valori inferiori ai 0°C è necessario aggiungere del glicole all'acqua per impedire che essa possa congelarsi.

* Funzionamento a carico parziale

Dimensioni, mm

30XA	252-352 +	402-452 +	502 +	602-802 +	852-902 +	1002 +	1102-1352 +
	252-302 Cu/Al	352-452 Cu/Al	502 Cu/Al	602/702 Cu/Al	752-852 Cu/Al	902-1002 Cu/Al	1102-1353 Cu/Al
A	3604	4798	5992	7186	8380	9574	11962
30XA	1402-1502 +	1702 +					
	1402-1502 Cu/Al	1702 Cu/Al					
	modulo 1/2	modulo 1/2					
A	9574/4798	8380/8380					



Scambiatore MCHX interamente realizzato in alluminio



Compressore a vite 06T



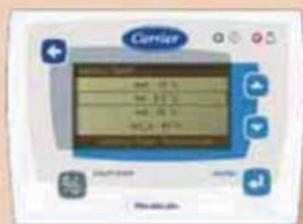


*La gamma 61AF soddisfa i requisiti tecnici e può usufruire della detrazione del 55% (D.M. del 7 Aprile 2008).



Modulo idronico

CONTROLLI



Interfaccia operatore Pro-Dialog+

OPZIONI/ ACCESSORI

- Condensatore con trattamento anticorrosione (optional)
- Versione canalizzabile
- Ridotto livello di rumorosità (optional)
- Soft Starter (optional)
- Protezione antigelo fino a -20°C (optional)
- Modulo idronico a una pompa a bassa pressione (optional)
- Gateway di comunicazione JBus, Bacnet® e LonTalk (optional/accessorio)
- Controllo del sistema di riscaldamento (optional)*
- Collegamento idraulico a vite e collegamento idraulico saldato tra il condensatore del cliente e l'unità (optional)
- Interfaccia remota (accessorio)
- Kit di sensori master slave (accessorio)

LE POMPE DI CALORE AQUASNAP ARIA-ACQUA AD ALTA TEMPERATURA SONO INDICATE PER APPLICAZIONI COMMERCIALI QUALI IL RISCALDAMENTO DI UFFICI, APPARTAMENTI E HOTEL E PER LA PRODUZIONE DI ACQUA CALDA AD USO DOMESTICO IN EDIFICI NUOVI E RISTRUTTURATI.

Sette grandezze con capacità di riscaldamento nominale da 21 a 102 kW.

CARATTERISTICHE

Le unità sono dotate delle funzioni tecnologiche più recenti: compressori scroll a iniezione di vapore, ventilatori a basso livello di rumorosità in materiale composito, comando microprocessore autoadattativo, valvola di espansione elettronica e pompa a più velocità.

Unità certificate secondo la classe di efficienza energetica Eurovent A con COP superiore a 4 e conformi al COP richiesto dalla certificazione Ecolabel.

Le pompe di calore 61AF sono dotate di serie di modulo idronico con pompa a più velocità. E' inoltre disponibile un modulo idronico facoltativo con pompa a velocità variabile automaticamente adattabile ai requisiti del sistema.

Le basse emissioni sonore e una struttura estremamente compatta riducono il livello di rumorosità dell'unità.

I limiti di funzionamento consentono temperature esterne fino a -20°C e temperature dell'acqua in uscita fino a 65°C per le applicazioni di acqua calda ad uso domestico.

Una gestione intelligente dell'unità ne permette il funzionamento in condizioni estreme riducendo al minimo i tempi di arresto.

- Test di funzionamento sistematico eseguito in fabbrica prima della spedizione e funzione quick-test per la verifica di strumenti, componenti elettrici e motori.
- Compressori scroll a basso livello di rumorosità e di vibrazioni.
- Collegamenti elettrici semplificati.
- Test completi per la qualità e la resistenza.



Caratteristiche fisiche								
61AF		022	030	035	045	055	075	105
Potenzialità nominale riscaldamento*	kW	20,8	25,7	32,2	43,6	52,2	66,7	102,0
Potenza assorbita	kW	5,8	7,3	9,2	11,8	14	19,4	28,1
COP	kW/kW	3,6	3,5	3,5	3,7	3,7	3,4	3,6
Classe Eurovent, riscaldamento		A	A	A	A	A	A	A
Potenzialità nominale riscaldamento**	kW	21,2	26,1	32,8	43,8	52,8	64,7	102,0
Potenza assorbita	kW	4,9	6,1	7,8	9,9	11,9	16,1	23,6
COP	kW/kW	4,3	4,3	4,2	4,4	4,4	4,0	4,3
Classe Eurovent, riscaldamento		A	A	A	A	A	B	A
Pesi in funzione***								
Unità standard, con modulo idronico	kg	343	396	421	509	533	900	1020
Unità standard, senza opzione modulo idronico	kg	349	403	436	524	549	926	1046
Compressore		Uno, Ermetici scroll 48,3 g/s				Due, Ermetici scroll 48,3 g/s		
Condensatore		Scambiatore saldo brasato ad espansione diretta						
Ventilatori		Assiali con voluta rotante Flying bird IV						
Quantità		1	1	1	1	1	2	2
Flusso d'aria	l/s	3800	3800	3800	3800	3800	7600	7600
Evaporatore		Tubi di rame con alette in alluminio						
Refrigerante***		R-407C						

* Condizioni standard Eurovent: temperatura acqua in entrata/uscita dell'evaporatore = 40°C/45°C, temperatura dell'aria esterna bu/bs = 7°C/6°C,
 ** Condizioni standard Eurovent: temperatura acqua in entrata/uscita dell'evaporatore = 30°C/35°C, temperatura dell'aria esterna bu/bs = 7°C/6°C,
 *** Il peso indicato ha solo carattere informativo, l'entità della carica di refrigerante è indicata sulla targhetta di identificazione dell'unità,

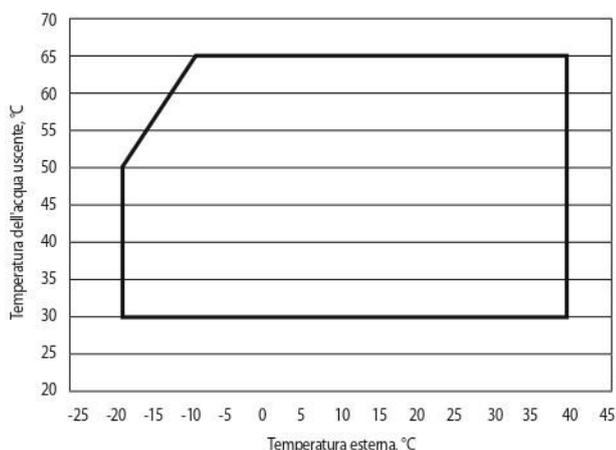
Dati elettrici								
61AF - Unità standard (senza modulo idronico)		022	030	035	045	055	075	105
Potenza assorbita								
Alimentazione nominale	V-ph-Hz	400-3-50 ± 10%						
Controllo alimentazione circuito		24 V con trasformatore interno						
Massima corrente di spunto (Un)*								
Unità standard	A	104,6	102,6	131,0	171,0	191,0	154,5	221,5
Unità con opzione starter elettronica	A	56,1	55,1	70,0	90,8	101,2	101,5	142,5
Fattore dell'unità di potenza al massimo della capacità**		0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82
Potenza massima assorbita per unità**	kW	8,7	11,6	12,9	14,6	16,8	25,8	33,7
Potenza nominale assorbita***	A	14,3	16,9	20,2	23,2	27,9	39,7	55,1
Potenza massima assorbita (Un)****	A	16,1	21,3	24,1	27,1	31,1	47,5	61,5

* Massima corrente istantanea di spunto a condizioni limite di funzionamento (massima corrente assorbita dal compressore (i) di grandezza minore, più corrente assorbita dai ventilatori, più corrente di spunto del compressore di grandezza superiore).
 ** Potenza assorbita dai compressori e dai ventilatori alle condizioni di funzionamento limite (cioè con temperatura saturo di aspirazione pari a 10°C e temperatura saturo di condensazione equivalente a 65°C) con tensione nominale di alimentazione di 400V (dati riportati sulla targhetta di identificazione dell'unità)
 *** Condizioni standard Eurovent: temperatura acqua in entrata/uscita dell'evaporatore = 40°C/45°C, temperatura dell'aria esterna bu/bs = 7°C
 **** Massima corrente assorbita con potenza assorbibile in funzionamento con tensione di alimentazione nominale di 400 V (valori riportati sulla tabella di identificazione dell'unità)

Dimensioni, mm								
61AF		022	030	035	045	055	075	105
Altezza (C)		1330	1330	1330	1330	1330	1330	1330
Lunghezza (A)		1110	1110	1110	1114	1114	2273	2273
Profondità (B)		1327	1327	1327	2100	2100	2100	2100

Per gli spazi minimi di manutenzione fare riferimento al manuale specifico del prodotto.

Campo di funzionamento



— In condizioni di carico massimo



ALLEGATO 4: Planimetrie dell'intera struttura

ALLEGATO 5: Schema rete di distribuzione aeraulica

ALLEGATO 6: Schema rete di distribuzione idronica

ALLEGATO 7: Raccolta schede tecniche