

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria
Energetica e Nucleare

Tesi di Laurea Magistrale

Progetto di riqualificazione energetica e dell'impianto
di climatizzazione in un ambiente industriale



Relatore

Prof. Marco Carlo Masoero

Candidata

Cristina Pirazzoli

Marzo 2019

Abstract

La tesi tratta di un progetto di riqualificazione energetica e dimensionamento di un impianto di climatizzazione presso il *Service Center Alfa Laval* di Monza.

Durante la stagione invernale ed estiva il personale deve far fronte a discomfort ambientale che porta conseguenze dirette sulla produttività, specialmente nel periodo estivo nel quale non è presente un impianto di refrigerazione.

È stato analizzato l'edificio attuale per redigere un capitolato tecnico relativo ad un nuovo impianto di climatizzazione ambiente.

Le simulazioni di calcolo, basate sul *software* EdilClima EC700 [1], hanno considerato più casi, comprensivi di: sostituzione impianto, coibentazione superfici orizzontali opache, coibentazione superfici verticali opache, sostituzione dei serramenti e la combinazione delle stesse.

Sulla base dei risultati ottenuti si è giunti a definire la migliore soluzione tecnico/economica, ovvero la coibentazione delle superfici orizzontali opache con relativa riqualificazione impiantistica e redazione di un capitolato tecnico.

Per completezza di informazioni è stato redatto un terzo capitolato comprensivo di tutte le migliorie energetiche apportabili al *Service Center Alfa Laval*.

Dei tre capitolati redatti sono stati stimati i costi di investimento per la messa in opera dell'impianto di climatizzazione [2], che, combinati con i risparmi annui, hanno portato alla valutazione di indici economici quali: *PayBack Time*, Valore Attuale Netto e Tasso Interno di Rendimento.

Per la definizione dei ritorni economici sono stati analizzati due macro-casi:

- Confronto tra l'edificio attuale e impianto invernale realmente esistente con l'edificio dotato di un nuovo impianto di climatizzazione (per il primo sottocaso) e anche riqualificato strutturalmente (per gli altri due sottocasi). Per questo macro-caso i risparmi annui sono energetici per il caso invernale e relativi alla produttività per il caso estivo
- Confronto tra l'edificio esistente ipotizzando la presenza di un'impianto dotato di pompa di calore e l'edificio riqualificato energeticamente, con installazione della pompa di calore dimensionata in funzione della potenza termica necessaria in seguito agli interventi migliorativi

La tesi si conclude con la determinazione degli indici economici che, insieme alle analisi energetiche, forniscono le informazioni necessarie alla direzione aziendale per valutare quale soluzione sia la migliore dal punto di vista tecnico ed economico.

Ringraziamenti

Vorrei ringraziare il Professor Marco Masoero che si è dimostrato sempre disponibile a fornire il suo aiuto.

Ringrazio sentitamente l'azienda *Alfa Laval* che mi ha permesso di svolgere la mia prima esperienza lavorativa in un ambiente sereno e cordiale, specialmente Christian Callegari che ha condiviso con me le sue conoscenze e mi ha aiutata a portare avanti questo progetto.

Un particolare ringraziamento va a Papà e Mamma, fonti di sostegno e coraggio, che, oltre ad avermi permesso di compiere questo percorso universitario, mi hanno spronata ed aiutata ad andare avanti anche nei momenti di sconforto. A mio fratello Andrea, che, oltre ad essere un costante supporto, mi ha dato spesso consigli e aiuti.

Un sentito ringraziamento va ad Andrea che ha sempre cercato il meglio di me, incoraggiandomi, continuamente e a modo suo, a raggiungere il massimo sia in ambito universitario sia nella vita di tutti i giorni, condividendo momenti di estrema gioia e felicità ed altri più infelici ma riuscendo sempre a non farmi perdere di vista il traguardo finale.

A tutta la mia famiglia che ha sempre cercato di farmi vedere gli aspetti positivi dei risultati ottenuti, aiutandomi a portare avanti gli studi e sostenere gli esami con un'ottica più tranquilla e ottimistica.

Ringrazio tutti i miei amici, nessuno escluso, quelli di sempre, quelli dell'università e quelli conosciuti da poco, ognuno mi ha insegnato qualcosa per imparare ad affrontare i momenti della vita. In particolare, Claudia, con la quale negli ultimi mesi ci siamo sostenute per arrivare alla fine della stesura delle tesi, passando da momenti di demoralizzazione ad altri estremamente felici e appaganti.

Alle mie prime coinquiline, che mentre ero lontana da casa mi hanno sempre fatta andare a dormire con il sorriso in viso grazie alla loro esuberanza.

Agli amici/colleghi conosciuti durante lo *stage* con i quali mi sono trovata sempre bene, trascorrendo momenti piacevoli.

Sommario

1.	Introduzione	1
1.1.	Riqualificazione energetica.....	1
1.2.	Ventilazione all'interno dell'edificio	2
1.2.1.	Ventilazione meccanica.....	2
1.2.2.	Ventilazione naturale.....	2
1.3.	Influenza degli impianti di climatizzazione sul comfort termico	3
2.	Determinazione dei fabbisogni energetici	4
2.1.	Dati geografici	4
2.2.	La struttura	5
2.3.	Componenti dell'involucro	7
2.4.	Definizione dei carichi termici.....	15
2.5.	Potenza invernale	17
2.6.	Potenza estiva.....	20
3.	Descrizione delle possibili soluzioni	22
3.1.	Sistemi a tutt'aria	22
3.1.1.	UTA (Unità di Trattamento Aria)	22
3.1.2.	Metodi di distribuzione dell'aria	25
3.1.3.	Installazione <i>Rooftop</i>	26
3.2.	Sistemi misti aria-acqua	26
3.3.	Generatori di fluido termovettore caldo.....	29
3.4.	Generatori di fluido termovettore freddo	30
3.5.	Miglioramenti dell'involucro edilizio.....	31
3.6.	Considerazioni preliminari alla progettazione	32
4.	Dimensionamento impianto allo stato attuale.....	33
4.1.	Analisi impianto caso estivo	33
4.1.1.	Caso 1: Unità trattamento aria.....	33
4.1.2.	Caso 2: Installazione <i>rooftop</i> dell'unità trattamento aria	37
4.1.3.	Terminali	38
4.1.4.	Caso 3: Impianto ad acqua	39
4.2.	Analisi impianto caso invernale.....	43

4.2.1.	Caso 1: Caldaia a condensazione	43
4.2.2.	Caso 2: Pompa di calore.....	46
4.2.3.	Caso 3: Caldaia attualmente presente.....	47
4.3.	Capitolato tecnico	47
4.3.1.	Premessa.....	47
4.3.2.	Descrizione dell'intervento	48
4.3.3.	Prescrizioni e condizioni generali	49
4.3.4.	Descrizione delle opere e dei materiali	49
4.3.5.	Allegati	57
4.3.6.	Computo metrico estimativo	58
5.	Analisi degli interventi migliorativi.....	62
5.1.1.	Coibentazione superfici opache verticali verso l'esterno.....	62
5.1.2.	Sostituzione dei serramenti	63
5.1.3.	Coibentazione delle superfici opache orizzontali.....	64
5.1.4.	Considerazioni finali sugli interventi migliorativi	64
6.	Dimensionamento impianto con coibentazione delle coperture	73
6.1.	Capitolato tecnico	74
6.1.1.	Premessa.....	74
6.1.2.	Descrizione dell'intervento	74
6.1.3.	Prescrizioni e condizioni generali	74
6.1.4.	Descrizione delle opere e dei materiali	74
6.1.5.	Allegati	82
6.1.6.	Computo metrico estimativo	83
7.	Dimensionamento impianto con applicazione del cappotto esterno, installazione di nuovi serramenti e coibentazione delle coperture	87
7.1.	Capitolato tecnico	88
7.1.1.	Premessa.....	88
7.1.2.	Descrizione dell'intervento	88
7.1.3.	Prescrizioni e condizioni generali	88
7.1.4.	Descrizione delle opere e dei materiali	88
7.1.5.	Allegati	96

7.1.6.	Computo metrico estimativo	97
8.	Valutazione economica.....	101
8.1.	Caso 1: struttura attualmente esistente.....	101
8.2.	Caso 2: stuttura con miglioramento della copertura	103
8.2.1.	Caso 2.1	104
8.2.2.	Caso 2.2.....	105
8.3.	Caso 3: struttura con miglioramenti sui serramenti, sui componenti opachi orizzontali e verticali	107
8.3.1.	Caso 3.1	108
8.3.2.	Caso 3.2.....	110
9.	Conclusioni.....	112
10.	Bibliografia.....	115

1. Introduzione

La tesi svolta tratta della progettazione di un impianto di climatizzazione per un ambiente industriale basata sull'analisi dello stato attuale e possibili riqualificazioni energetiche. Riprendendo le parole dell'ingegnere William Fisk, leader dell'*Indoor Enviromental Group* [3], migliorando la qualità ambientale interna, attraverso le tecnologie esistenti, si ha una conseguenza positiva diretta sulla salute umana e sulla produttività dei lavoratori ed è proprio per questo motivo che vengono introdotti sempre più sistemi HVAC (Heating Ventilation and Air Conditioning) in ambienti lavorativi, garantendo condizioni operative più confortevoli.

Alfa Laval è leader mondiale per le tematiche riguardanti scambiatori di calore, separazione e gestione di fluidi, uno dei principali obiettivi è di creare condizioni di vita migliori ideando soluzioni efficienti e in linea con il rispetto del territorio. Oltre che garantire la piena soddisfazione delle richieste dei clienti, vuole una condizione di lavoro ottimale per i propri collaboratori. [4]

Nella sede italiana di Monza viene gestito il *Service Center* nel quale scambiatori di calore, decanter e separatori ad alta velocità vengono sottoposti a revisione e manutenzione.

Lo scopo della tesi è quello di progettare un impianto di climatizzazione per garantire il miglior comfort possibile ai lavoratori nei periodi estivi ed invernali. Lavorare in condizioni migliori aiuta a mantenere costante la produttività poichè non ci sono fattori climatici variabili che alterano lo stato fisico della persona e ne limitano le capacità lavorative.

In seguito, verrà analizzata la struttura presa in esame per definire le richieste termiche estive ed invernali; verranno proposte combinazioni di impianti per garantire i fabbisogni ed infine sarà svolta un'analisi energetica ed economica per arrivare alla migliore soluzione ed al successivo dimensionamento.

1.1. Riqualificazione energetica

La riqualificazione energetica comprende tutte le opere che vogliono ottenere come risultato un miglioramento della classe energetica dell'edificio. Un primo aspetto è quello di analizzare i sistemi di produzione di calore esistenti e successivamente, essendo un edificio datato, verificare la struttura per individuare i possibili miglioramenti legati a pareti verticali, finestre e serramenti e copertura orizzontale.

L'agevolazione fiscale consiste in detrazioni dall'Ires (Imposta sul reddito delle società) ed è concessa quando si eseguono interventi che aumentano il livello di efficienza energetica degli edifici esistenti. In particolare, le detrazioni sono riconosciute se le spese sono state sostenute per:

- La riduzione del fabbisogno energetico per il riscaldamento
- Il miglioramento termico dell'edificio (coibentazioni - pavimenti - finestre, comprensive di infissi)
- L'installazione di pannelli solari
- La sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale [5]

Nell'edificio in esame si valuterà come migliorare termicamente l'edificio e quindi come ridurre il fabbisogno energetico invernale. Non verranno installati dei pannelli solari e la sostituzione degli impianti di climatizzazione esistenti verrà valutata in seguito.

1.2. Ventilazione all'interno dell'edificio

1.2.1. Ventilazione meccanica

Gli impianti HVAC (Heating Ventilation and Air Conditioning) sono progettati per garantire miglior comfort all'interno degli edifici. Sono costituiti da un impianto di regolazione per la climatizzazione invernale ed estiva e forniscono un ricambio d'aria costante, attraverso una ventilazione meccanica controllata, immettendo in ambiente aria esterna ed estraendo quella interna in modo da ridurre e diluire la concentrazione degli inquinanti, per garantirne la qualità. Le sorgenti di inquinanti interne sono principalmente le emissioni degli occupanti, dovute a processi metabolici, fumo e prodotti di pulizia, le apparecchiature presenti negli uffici, come stampanti e fotocopiatrici, e gli stessi materiali della struttura. [6]

Questi sistemi di ventilazione sono stati sviluppati a seguito di osservazioni ed esperienze scientifiche nei confronti dell'uomo, le quali indicano una generale insoddisfazione per la qualità dell'ambiente interno che porta ad un grado di malessere generale. Per garantire ricambi orari opportuni, quindi una qualità dell'aria interna adeguata, si fa ricorso a impianti aeraulici destinati alla climatizzazione, solitamente sono a tutt'aria oppure misti aria/acqua. [7]

La circolazione dell'aria è gestita dall'UTA (unità di trattamento aria) che attraverso ventilatori, filtri, umidificazione, batterie di riscaldamento e raffreddamento garantisce immissione ed estrazione di aria con caratteristiche di temperatura, umidità e concentrazione di inquinanti accettabili. Le componenti elettriche saranno alimentate opportunamente, mentre per le batterie di riscaldamento e raffreddamento si può pensare a più tipi di soluzioni per generare fluidi termovettori rispettivamente caldi e freddi.

1.2.2. Ventilazione naturale

In alcuni casi la circolazione dell'aria è naturale, quindi grazie ai valori di densità, diversi in base alla temperatura, si crea un movimento dell'aria dal basso verso l'alto, questo passaggio d'aria comporta un rinnovamento della stessa rendendola più pura e fresca. Il

movimento interno dell'aria può essere favorito da aperture in basso e in alto in modo da generare un effetto camino che fa uscire l'aria calda dall'alto ed entrare quella fresca e pulita dal basso.

Questo tipo di ventilazione favorisce il raffrescamento notturno in estate, infatti introducendo aria esterna si asporta il calore accumulato durante il giorno.

Un limite è legato alla qualità dell'aria esterna caratterizzata da determinate temperature, umidità, rumore e inquinanti, che potrebbero creare problemi in quanto, se ci fossero temperature elevate, non si otterrebbe il raffrescamento voluto, così come in caso di rumore o concentrazioni elevate di inquinanti non si potrebbero avere aperture e ingressi di aria pulita.

1.3. Influenza degli impianti di climatizzazione sul comfort termico

Il comfort termoigrometrico è lo stato psicofisico nel quale il soggetto esprime soddisfazione nei confronti dell'ambiente termico [8], definito dal professor Fanger come l'insieme di sei parametri che determinano la sensazione termica provata da un soggetto. Questi ultimi si distinguono in oggettivi e soggettivi, i primi caratterizzano l'ambiente interno definendo temperatura ambiente, temperatura media radiante, umidità relativa e velocità dell'aria, i secondi caratterizzano il soggetto valutando l'attività fisica svolta e il tipo di abbigliamento.

Gli impianti HVAC (Heating Ventilation and Air Conditioning) hanno come fine ultimo garantire una qualità d'aria costante nel tempo, monitorando la temperatura, la percentuale di umidità e gli inquinanti presenti nell'ambiente interno. Sono sistemi governati da ventilazioni meccaniche, dove le caratteristiche dell'aria in ingresso e in uscita sono controllate da unità di trattamento dell'aria. Queste ultime operano attraverso batterie di riscaldamento e raffreddamento per regolare i parametri sopra citati. Dei filtri sono posizionati nei condotti aeraulici in modo da limitare la presenza di polveri o particelle inquinanti in aria.

Attraverso questa breve descrizione è chiaro come un sistema di monitoraggio possa influenzare una migliore qualità ambientale interna e di conseguenza una condizione di comfort per i dipendenti, infatti potendo controllare temperatura, umidità e areazione è più facile rimanere in intervalli prestabiliti garantendo delle condizioni lavorative favorevoli.

Un aspetto negativo di questi impianti può essere legato alle dimensioni dei condotti aeraulici, nel caso in cui il carico latente da compensare sia elevato il diametro dei condotti aumenta, quindi potrebbero esserci problemi di spazio.

2. Determinazione dei fabbisogni energetici

Per la determinazione dei carichi termici invernali ed estivi è stato utilizzato il software EC700 di EdilClima, una *software house* con esperienza decennale. È stata possibile la valutazione dei fabbisogni energetici inserendo: caratteristiche geografiche, geometria, descrizione degli involucri, delle superfici vetrate e delle zone climatizzate. Di seguito verranno analizzate più nel dettaglio le varie parti.

Il metodo di calcolo adottato dal programma segue le attuali norme, le principali sono:

[1]

- **UNI/TS 11300-1** "Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale" per il calcolo del fabbisogno di energia utile dell'edificio o della singola unità immobiliare.
- **UNI/TS 11300-2** "Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione" per il calcolo dei rendimenti del sistema di riscaldamento, per la determinazione del consumo per la produzione di acqua calda sanitaria, per il calcolo dei fabbisogni elettrici di ventilazione ed illuminazione.
- **UNI/TS 11300-3** "Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva" per il calcolo dei rendimenti del sistema di raffrescamento dell'edificio o della singola unità immobiliare.
- **UNI/TS 11300-4** "Prestazioni energetiche degli edifici - Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria" per il calcolo del fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale e la produzione di acqua calda sanitaria nel caso vi siano sottosistemi di generazione che forniscono energia termica utile da energie rinnovabili o con metodi di generazione diversi dalla combustione a fiamma di combustibili fossili (trattati dalla UNI/TS 11300-2).
- **UNI/TS 11300-5** "Prestazioni energetiche degli edifici - Calcolo dell'energia primaria e dalla quota di energia da fonti rinnovabili".
- **UNI/TS 11300-6** "Prestazioni energetiche degli edifici - Determinazione del fabbisogno di energia per ascensori e scale mobili."

2.1. Dati geografici

L'edificio in esame si trova in Italia, a Monza, in Via Pusiano 2, a nord rispetto a Milano. Caratterizzata da un clima subcontinentale, tipico della pianura padana, con estati calde e afose ed inverni freddi.

La zona climatica corrispondente è la 'E' quindi con un'accensione degli impianti di riscaldamento invernale prevista per il 15 ottobre e spegnimento il 15 aprile.

I dati relativi alla temperatura, umidità, velocità del vento e irradianza solare sono stati definiti dal *software* stesso seguendo la norma UNI 10349:2016 che fornisce i dati climatici convenzionali per la verifica delle prestazioni energetiche e termoigrometriche degli edifici. La temperatura esterna invernale di riferimento è $-5,2^{\circ}\text{C}$ e quella massima estiva $31,9^{\circ}\text{C}$ diurna e $23,1^{\circ}\text{C}$ notturna.

Mese	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Temp. [$^{\circ}\text{C}$]	2,8	4,7	7,9	13,0	17,9	22,8	24,8	23,8	19,0	13,7	9,2	2,7

Tabella 2.1 - Temperature esterne medie mensili

Per la determinazione dei carichi termici invernali ed estivi si è utilizzato il *software* di EdilClima EC700 che effettua il calcolo delle prestazioni energetiche in conformità alla norma UNI/TS 11300.

Inizialmente sono state definite le generalità:

- La categoria dell'edificio: E.8 edifici adibiti ad attività industriali
- La posizione, in modo da ottenere i parametri caratteristici e i regimi regolativi di riferimento della regione Lombardia
- La temperatura interna invernale è stata impostata a 18°C
- La temperatura interna estiva è stata impostata a 26°C
- Il periodo di accensione e spegnimento dell'impianto è stato impostato dalle 6:00 fino alle 20:00 dal lunedì al venerdì
- È stato impostato il nord per ottenere i valori correttivi in base all'esposizione su tutte le parti dell'edificio

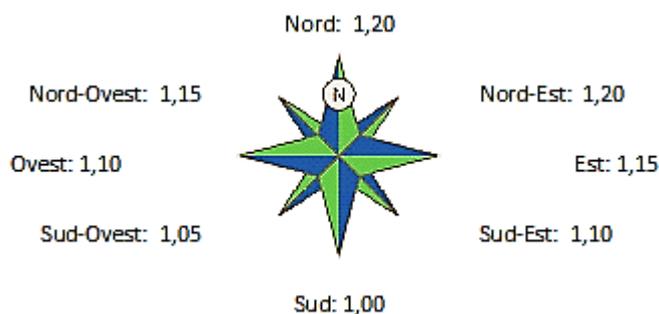


Figura 2.1- Valori correttivi per l'esposizione [1]

2.2. La struttura

La struttura, costruita intorno agli anni '30, ha una geometria regolare, posizionata direttamente sul terreno con un piano fuoriterra. La base, con una forma ad "L", si sviluppa ad altezze differenti in quanto è caratterizzata da tetti a volta diversi in base alle varie zone. Ogni zona può essere considerata come delimitata da una base rettangolare che sarà la stessa del tetto a volta sovrastante. All'interno è presente una sottostruttura delimitata dove è presente un ufficio *open space* con nove postazioni lavorative, la

rimanente parte è uno spazio aperto con settori differenti in base al tipo di lavoro da svolgere, degli esempi possono essere la riguarnitura delle piastre, la revisione o il bilanciamento delle parti meccaniche in movimento. Un secondo edificio con geometria regolare a base rettangolare costituisce un laboratorio per lo studio delle macchine per separazione di fluidi.



Figura 2.2 – Struttura dei due edifici analizzati, vista SE

La struttura è stata disegnata sul software tenendo in considerazione i muri interni, esterni, verso ambienti non climatizzati, pavimento, tetto e componenti trasparenti. Le coperture orizzontali sono state approssimate con un tetto a due falde in modo da poter inserire i lucernari.

In aggiunta alla struttura principale si sono stilizzati gli edifici adiacenti perchè influiscono sulla valutazione degli apporti gratuiti per il calcolo del fabbisogno estivo in quanto creano delle zone d'ombra che riducono la quota di radiazione solare incidente.

Superficie in pianta netta	1638	m ²
Superficie esterna lorda	5144	m ²
Volume netto	10157	m ³
Volume lordo	12093	m ³
Rapporto S/V	0,43	m ⁻¹

Tabella 2.2 - Parametri caratteristici della struttura

L'ultimo valore della Tabella 2.2 indica la compattezza dell'edificio, è il rapporto tra la superficie esterna e il volume, se basso indica che l'edificio è compatto e quindi ha meno

superfici disperdenti a parità di volume, in conclusione, da un punto di vista energetico, più il valore è basso migliori saranno le prestazioni dell'edificio.

2.3. Componenti dell'involucro

I componenti dell'involucro edilizio sono stati ipotizzati poichè non erano disponibili dati relativi alle stratigrafie essendo un edificio molto datato. Attraverso il *software* si sono definiti i vari tipi di parete, il pavimento, il soffitto, i ponti termici e i componenti trasparenti cercando di considerare l'età dell'edificio e quindi i materiali disponibili in fase di costruzione dello stesso. La determinazione dei componenti è fondamentale per la valutazione della trasmittanza termica che rappresenta quanta potenza termica, per unità di superficie e unità di differenza di temperatura, un materiale riesce a scambiare. Conoscendo i valori delle resistenze, quindi la difficoltà del flusso di potenza ad attraversare il materiale, la trasmittanza risulta essere pari all'inverso della somma delle resistenze degli strati che compongono i muri.

$$U = \frac{1}{\sum_i R_i} \quad \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

Equazione 2.1 - Trasmittanza termica

Di seguito sono presenti le caratteristiche di ogni componente utile per il calcolo dei carichi termici, verranno utilizzati i seguenti simboli:

s	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK

Tabella 2.3 - Simboli utilizzati per la descrizione delle stratigrafie

Pareti confinante con l'ambiente esterno

Sono presenti due tipi di pareti. La prima ha spessore complessivo di *430 mm* e la trasmittanza termica *1,635 W/(m²*K)*.

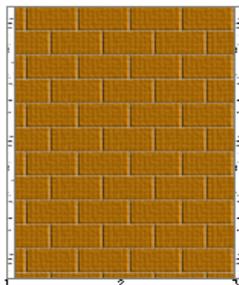


Figura 2.3 - Stratigrafia parete esterna (430mm)

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-
1	Intonaco di gesso e sabbia	15,00	0,800	0,019	1600	1,00
2	Muratura in laterizi pareti esterne (um. 1.5%)	400,00	0,990	0,404	2000	0,84
3	Intonaco di calce e sabbia	15,00	0,800	0,019	1600	1,00
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,04	-	-

Tabella 2.4 - Stratigrafia parete esterna (430mm)

La seconda ha spessore complessivo di *100 mm* e la trasmittanza termica *3,221 W/(m²*K)*.

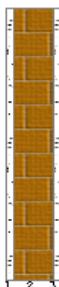


Figura 2.4 - Stratigrafia parete esterna (100mm)

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-
1	Intonaco di gesso e sabbia	15,00	0,800	0,019	1600	1,00
2	Muratura in laterizio pareti esterne (um. 1.5%)	70,00	0,680	0,103	1600	0,84
3	Intonaco di calce e sabbia	15,00	0,800	0,019	1600	1,00
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-

Tabella 2.5 - Stratigrafia parete esterna (100mm)

Parete interna confinante con locali non climatizzati

Questa parete delimita ambienti climatizzati da ambienti interni non climatizzati, ha spessore complessivo di 380 mm e la trasmittanza termica 0,719 W/(m²*K).

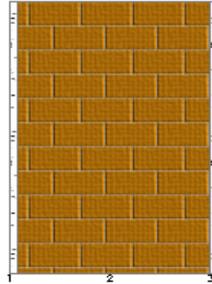


Figura 2.5 - Stratigrafia parete interna verso ambienti non climatizzati (380mm)

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-
1	Intonaco di gesso e sabbia	15,00	0,800	0,019	1600	1,00
2	Muratura in laterizio alveolato (pareti interne)	350,00	0,320	1,094	870	0,84
3	Intonaco di calce e sabbia	15,00	0,800	0,019	1600	1,00
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,130	-	-

Tabella 2.6 - Stratigrafia parete interna verso ambienti non climatizzati (380mm)

Parete interna tra locali climatizzati

La parete è un divisorio tra due ambienti climatizzati. La prima ha spessore complessivo di 100 mm e la trasmittanza termica 2,286 W/(m²*K).

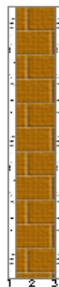


Figura 2.6 - Stratigrafia parete interna tra locali climatizzati (100mm)

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-
1	Intonaco di gesso e sabbia	15,00	0,800	0,019	1600	1,00
2	Muratura in laterizi pareti interne (um. 0.5%)	70,00	0,500	0,140	1400	0,84
3	Intonaco di gesso e sabbia	15,00	0,800	0,019	1600	1,00
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,130	-	-

Tabella 2.7 - Stratigrafia parete interna tra locali climatizzati (100mm)

La seconda ha spessore complessivo di 250 mm e la trasmittanza termica $1,924 W/(m^2 \cdot K)$.

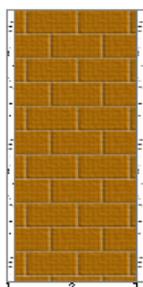


Figura 2.7 - Stratigrafia parete interna tra locali climatizzati (250mm)

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-
1	Intonaco di gesso e sabbia	15,00	0,800	0,019	1600	1,00
2	Muratura in laterizi pareti esterne (um. 1.5%)	220,00	0,990	0,222	2000	0,84
3	Intonaco di calce e sabbia	15,00	0,800	0,019	1600	1,00
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,130	-	-

Tabella 2.8 - Stratigrafia parete interna tra locali climatizzati (250mm)

Infissi

Le porte sono state definite nella sezione “muri” del programma, ottenendo le seguenti stratigrafie.

La prima ha spessore complessivo di 30 mm e la trasmittanza termica 2,886 W/(m²*K).



Figura 2.8 - Stratigrafia porta confinante con l'esterno

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-
1	Policloruro di vinile (PVC)	30,00	0,170	0,176	1390	0,90
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-

Tabella 2.9 - Stratigrafia porta confinante con l'esterno

La seconda ha spessore complessivo di 30 mm e la trasmittanza termica 2,437 W/(m²*K).



Figura 2.9- Stratigrafia porta interna

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-
1	Acciaio	10,00	52,000	0,000	7800	0,45
2	Intercapedine non ventilata	10,00	0,067	0,150	-	-
3	Acciaio	10,00	52,000	0,000	7800	0,45
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,130	-	-

Tabella 2.10 - Stratigrafia porta interna

Pavimento

Il pavimento è appoggiato direttamente sul terreno, ha spessore complessivo di 550 mm e la trasmittanza termica $1,590 W/(m^2 \cdot K)$.

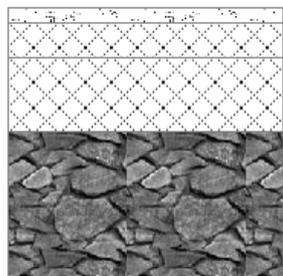


Figura 2.10 - Stratigrafia pavimento su terreno

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170	-	-
1	Malta di cemento	30,00	1,400	0,021	2000	1,00
2	Sottofondo di cemento magro	70,00	0,900	0,078	1800	0,88
3	Sabbia e ghiaia pareti esterne	150,00	2,150	0,070	2400	0,88
4	Ghiaia grossa senza argilla (um. 5%)	300,00	1,200	0,250	1700	0,84
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-

Tabella 2.11 - Stratigrafia pavimento su terreno

Copertura inclinata

Nel disegno è stato approssimato come un tetto a due falde per poter inserire le finestre presenti, ha spessore complessivo di 150mm e la trasmittanza termica $3,762 W/(m^2 \cdot K)$.

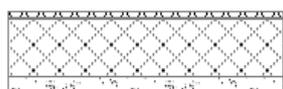


Figura 2.11 - Stratigrafia soffitto (copertura inclinata)

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-
1	Copertura in tegole di argilla	10,00	0,990	0,010	2000	0,84
2	Impermeabilizzazione con bitume	5,00	0,170	0,029	1200	0,92
3	Sabbia e ghiaia pareti esterne	105,00	2,150	0,049	2400	0,88
4	Intonaco di gesso e sabbia	30,00	0,800	0,038	1600	1,00
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,100	-	-

Tabella 2.12 - Stratigrafia soffitto (copertura inclinata)

Copertura piana

Copertura caratteristica della struttura comprendente il laboratorio, ha spessore complessivo di 297 mm e la trasmittanza termica 1,664 W/(m²*K).

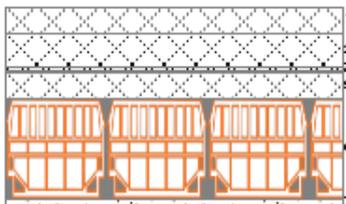


Figura 2.12 - Stratigrafia soffitto (copertura piana)

N	Descrizione strato	s	Cond	R	M.V.	C.T.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-
1	Sottofondo di cemento magro	40	0,9	0,044	1800	0,88
2	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	50	1,49	0,034	2200	0,88
3	Tessuto non tessuto	5	0,05	0,100	1	2,10
4	Impermeabilizzazione con guaina finit. in ardesia	2	0,23	0,009	1200	0,92
5	Sabbia e ghiaia pareti interne	40	1,16	0,034	2000	0,88
6	Soletta in laterizio	150	0,66	0,227	1100	0,84
7	Intonaco di calce e sabbia	10	0,80	0,013	1600	1,00
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,100	-	-

Tabella 2.13 - Stratigrafia soffitto (copertura piana)

Componenti vetrate

Le componenti vetrate hanno un vetro singolo e telaio in alluminio, la differenza che le distingue le une dalle altre è la dimensione delle stesse.

Descrizione strato	s	λ	R
Resistenza superficiale interna	-	-	0,130
Primo vetro	2,0	1,00	0,002
Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040



Tabella 2.14 - Stratigrafia vetro singolo

Il telaio è considerato attraverso la trasmittanza lineica pari a $1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.

Per i componenti vetrati ci sono anche altri fattori oltre alla trasmittanza termica globale utili alla valutazione degli apporti solari.

Emissività	ε	0,837	-
Fattore tendaggio (invernale)	$f_{c \text{ inv}}$	1,00	-
Fattore tendaggio (estivo)	$f_{c \text{ est}}$	1,00	-
Fattore di trasmittanza solare	$g_{gl,n}$	0,850	-

Tabella 2.15 - Valori per valutare gli apporti solari

Dati i valori caratteristici, ogni finestra sarà diversa in altezza (H), larghezza (L), trasmittanza globale del serramento (U_w), area del vetro (A_{gf}) e perimetro del vetro (L_{gf}).

Descrizione	H [cm]	L [cm]	U_w [W/m ² K]	A_{gf} [m ²]	L_{gf} [m]
finestra 240x165	165,0	240,0	5,133	3,657	21,920
finestra 120x65	65,0	120,0	5,165	0,708	3,540
finestra 270x200	200,0	270,0	5,240	4,700	58,840
finestra 80x40	40,0	80,0	5,271	0,274	2,240
finestra 180x135	135,0	180,0	5,161	2,210	15,520
finestra 200x150	150,0	200,0	5,110	2,803	12,600
finestra soffitto 200x250	250,0	200,0	5,050	4,822	8,840
finestra 400x360	360,0	400,0	5,112	13,446	79,240
finestra soffitto 615x205	205,0	615,0	5,043	12,201	24,200
finestra 300x100	100,0	300,0	5,110	2,803	11,600
finestra 330x184	360,0	400,0	5,101	13,523	71,920
finestra 700x150	150,0	700,0	5,167	9,520	79,600

Tabella 2.16 - Finestre presenti nell'edificio

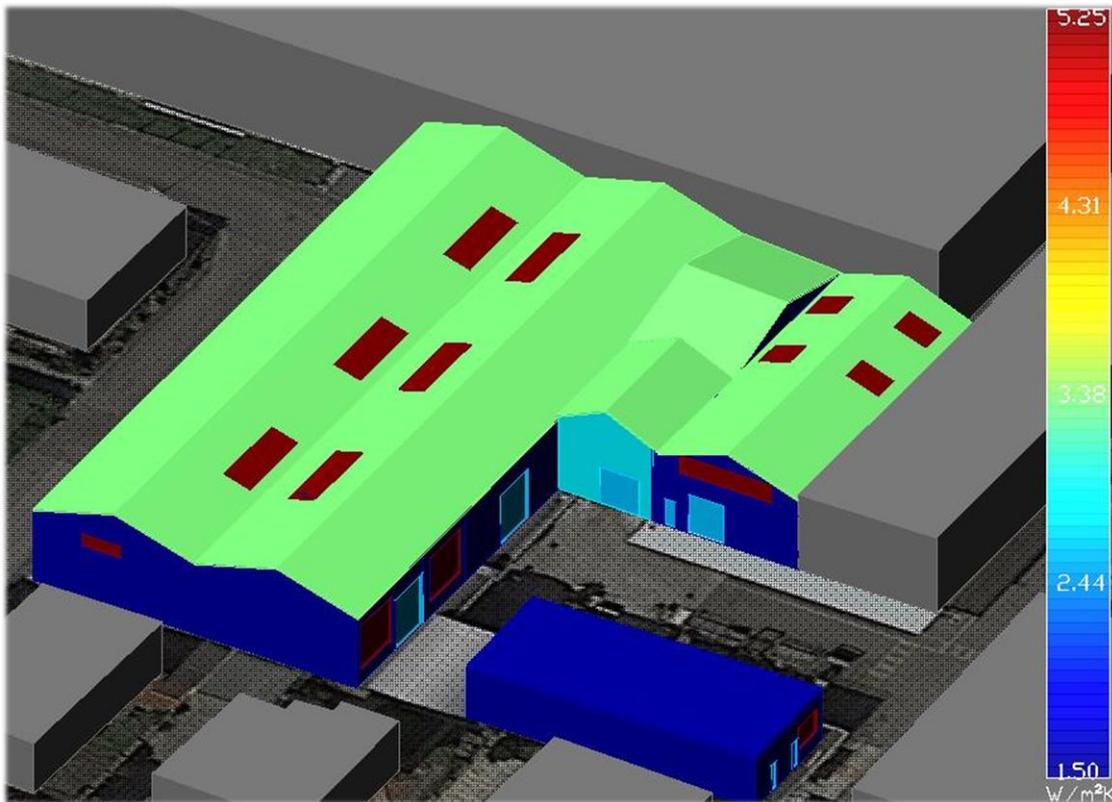


Figura 2.13 - Immagine termografica della struttura

2.4. Definizione dei carichi termici

Introducendo la località, i dati geografici territoriali risultano essere assegnati. Nel disegno dell'edificio si definiscono le zone climatizzate, non climatizzate ed esterne, il risultato è un'unica zona climatizzata complessiva poichè la temperatura interna è stata imposta costante pari a 18°C per l'inverno e 26°C per l'estate.

Il calcolo delle energie termiche è svolto automaticamente in base ai parametri precedentemente inseriti. Riprendendo la norma UNI/TS 11300 [9], i fabbisogni ideali di energia termica per riscaldamento e raffrescamento sono definiti come:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} * Q_{gn} = (Q_{H,tr} + Q_{H,ve}) - \eta_{H,gn} * (Q_{int} + Q_{sol,w}) \quad [MJ]$$

Equazione 2.2 – Fabbisogno energetico invernale

$$Q_{C,nd} = Q_{gn} - \eta_{C,ls} * Q_{C,ht} = (Q_{int} + Q_{sol,w}) - \eta_{C,ls} * (Q_{C,tr} + Q_{C,ve}) \quad [MJ]$$

Equazione 2.3 – Fabbisogno energetico estivo

Considerando Equazione 2.2, i fabbisogni ideali di energia termica per riscaldamento sono pari allo scambio di energia termica totale in caso di riscaldamento diminuito degli apporti totali di energia termica moltiplicati per un fattore di utilizzazione degli apporti. Il termine di scambio termico, quindi di perdita di energia, è pari alla somma delle perdite per trasmissione e delle perdite per ventilazione. Il termine degli apporti è la somma dell'energia dovuta da sorgenti interne e quella dovuta alla radiazione solare incidente sui componenti vetrati.

Considerando Equazione 2.3, i fabbisogni ideali di energia termica per raffrescamento sono pari agli apporti di energia termica totali diminuiti dello scambio di energia termica in caso di raffrescamento moltiplicato per il fattore di utilizzazione delle dispersioni di energia termica. Come nel caso precedente il termine degli apporti è la somma dell'energia dovuta da sorgenti interne e quella dovuta alla radiazione solare incidente sui componenti vetrati e il termine di scambio termico, quindi di perdita di energia, è pari alla somma delle perdite di trasmissione e delle perdite di ventilazione.

Per il dimensionamento di un impianto di climatizzazione sono necessarie le potenze le quali sono riportate in seguito.

Scambi di energia termica per trasmissione e ventilazione

La principale causa di queste perdite è dovuta dalla differenza di temperatura tra ambienti adiacenti, a parità di trasmittanza, infatti l'energia termica persa per trasmissione e ventilazione è pari al prodotto dei rispettivi coefficienti globali di scambio termico della zona considerata, per il tempo del mese o della frazione di mese considerata e per la differenza di temperatura con l'esterno. Quindi si può notare come mantenendo i primi due termini invariati la perdita energetica sia direttamente proporzionale alla variazione di temperatura. Si deve prestare particolare attenzione al termine delle dispersioni per trasmissione poichè in esse sono considerate le perdite verso ambienti non climatizzati usando un fattore di riduzione. [9]

Apporti termici solari e interni

L'energia dovuta agli apporti solari è quella generata dal passaggio delle radiazioni solari attraverso componenti vetrate e opache. In questo calcolo sono valutate anche le strutture esterne all'edificio che generano ombre sullo stesso e quindi riducono gli apporti solari. L'energia generata internamente all'edificio è quella legata all'occupazione, all'illuminazione e alle apparecchiature presenti (come computer, stampanti o macchine utensili). [9]

2.5. Potenza invernale

Attraverso il *software* EC700 di EdilClima si è valutata la potenza invernale necessaria, data dalla somma delle potenze termiche perse per trasmissione, in base alle esposizioni delle pareti e agli ambienti adiacenti (se confinanti con l'esterno o con zone non climatizzate) e per ventilazione.

U	Trasmittanza termica di un elemento disperdente
Ψ	Trasmittanza termica lineica di un ponte termico
θ_e	Temperatura di esposizione dell'elemento
Sup.	Superficie di un elemento disperdente
Lung.	Lunghezza di un ponte termico
Φ_{tr}	Potenza dispersa per trasmissione
$\% \Phi_{Tot}$	Rapporto percentuale tra il Φ_{tr} dell'elemento e il totale dei Φ_{tr}
V _{netto}	Volume netto della zona termica
Φ_{ve}	Potenza dispersa per ventilazione

Tabella 2.17 - Simboli utilizzati per valutare la potenza invernale

Dispersioni per trasmissione in base all'esposizione

Di seguito sono riportate le tabelle con le dispersioni per trasmissione in base all'esposizione delle pareti.

Prospetto Nord

Descrizione elemento	U [W/m ² K]	θ_e	Sup.[m ²]	Φ_{tr}	$\% \Phi_{Tot}$
	Ψ [W/mK]	[°C]	Lungh. [m]	[W]	[%]
Parete esterna	1,635	-5,2	252,46	12040	4,3
Porta esterna	2,886	-5,2	2,10	169	0,1
Copertura civile inclinata	3,762	-5,2	54,26	5874	2,1
P.T. di pilastro	0,650	-5,2	47,16	918	0,3
P.T. serramenti, porte e finestre	1,000	-5,2	58,61	1750	0,6
P.T. coperture	0,200	-5,2	75,87	444	0,2
P.T. pavimenti su terreno	0,250	-5,2	48,43	356	0,1
Finestra 240x165	5,905	-5,2	3,96	707	0,3
Finestra 80x40	5,986	-5,2	0,32	53	0,0
Finestra 200x150	5,892	-5,2	3,00	492	0,2
Finestra 330x184	5,915	-5,2	24,28	4343	1,6

Tabella 2.18 - Dispersioni per trasmissione prospetto Nord

Prospetto Est

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ[W/mK]	θe [°C]	Sup.[m ²] Lungh. [m]	Φ _{tr} [W]	%Φ _{Tot} [%]
Parete esterna	1,635	-5,2	161,14	7166	2,6
Porta esterna	2,886	-5,2	32,16	2499	0,9
Copertura civile inclinata	3,762	-5,2	722,43	73018	26,2
P.T. di pilastro	0,650	-5,2	77,87	1373	0,5
P.T. serramenti, porte e finestre	1,000	-5,2	105,40	2830	1,0
P.T. coperture	0,200	-5,2	174,41	947	0,3
P.T. pavimenti su terreno	0,250	-5,2	35,04	239	0,1
Finestra soffitto 200x250	5,856	-5,2	10,00	1562	0,6
Finestra 400x360	5,892	-5,2	28,80	4528	1,6
Finestra soffitto 615x205	5,852	-5,2	37,83	5907	2,1
Finestra 330x184	5,915	-5,2	4,60	789	0,3

Tabella 2.19 - Dispersioni per trasmissione prospetto Est

Prospetto Sud

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ[W/mK]	θe [°C]	Sup.[m ²] Lungh. [m]	Φ _{tr} [W]	%Φ _{Tot} [%]
Parete esterna	1,635	-5,2	236,81	9199	3,3
Parete esterna	3,076	-5,2	44,39	3440	1,2
Porta esterna	2,886	-5,2	18,40	1338	0,5
Copertura civile inclinata	3,762	-5,2	58,04	5499	2,0
P.T. di pilastro	0,650	-5,2	33,60	521	0,2
P.T. serramenti, porte e finestre	1,000	-5,2	8,00	186	0,1
P.T. coperture	0,200	-5,2	66,20	316	0,1
P.T. pavimenti su terreno	0,250	-5,2	63,77	381	0,1
Finestra 300x100	5,892	-5,2	3,00	410	0,1
Finestra 700x150	5,925	-5,2	10,50	1568	0,5

Tabella 2.20 - Dispersioni per trasmissione prospetto Sud

Prospetto Ovest

Descrizione elemento	U [W/m ² K]	θ_e	Sup.[m ²]	Φ_{tr}	% Φ_{Tot}
	Ψ [W/mK]	[°C]	Lungh. [m]	[W]	[%]
Parete esterna	1,635	-5,2	322,24	13558	4,9
Porta esterna	2,886	-5,2	1,68	134	0,0
Copertura civile inclinata	3,762	-5,2	717,95	68950	24,8
P.T. di pilastro	0,650	-5,2	134,34	2250	0,8
P.T. serramenti, porte e finestre	1,000	-5,2	116,27	3007	1,1
P.T. coperture	0,200	-5,2	171,82	888	0,3
P.T. pavimenti su terreno	0,250	-5,2	54,82	355	0,1
Finestra soffitto 200x250	5,856	-5,2	5,00	747	0,3
Finestra soffitto 615x205	5,852	-5,2	37,83	5650	2,0
Finestra 300x100	5,892	-5,2	15,00	2255	0,8
Finestra 330x184	5,915	-5,2	10,67	1750	0,6

Tabella 2.21 - Dispersioni per trasmissione prospetto Ovest

Prospetto Orizzontale

Descrizione elemento	U [W/m ² K]	θ_e	Sup.[m ²]	Φ_{tr}	% Φ_{Tot}
	Ψ [W/mK]	[°C]	Lungh. [m]	[W]	[%]
Pavimento su terreno	0,431	-5,2	1758,49	17808	6,4
Soffitto a terrazzo	1,664	-5,2	192,53	8073	2,9
P.T. coperture	0,200	-5,2	60,84	307	0,1
P.T. pavimenti su terreno	0,250	-5,2	314,99	1875	0,7

Tabella 2.22 - Dispersioni per trasmissione prospetto orizzontale

Prospetto verso locali non climatizzati

Descrizione elemento	U [W/m ² K]	θ_e	Sup.[m ²]	Φ_{tr}	% Φ_{Tot}
	Ψ [W/mK]	[°C]	Lungh. [m]	[W]	[%]
Parete interna	0,719	7,4	286,67	2390	0,9
P.T. di pilastro	0,650	-5,2	66,64	502	0,2
P.T. coperture	0,200	-5,2	44,15	102	0,0
P.T. pavimenti su terreno	0,250	-5,2	43,50	126	0,0

Tabella 2.23 - Dispersioni per trasmissione prospetto verso locali non climatizzati

Dispersioni per ventilazione

Nr.	Descrizione zona termica	V _{netto} [m ³]	Φ _{ve} [W]
1	Zona climatizzata	10157	39645

Tabella 2.24 - Dispersioni per ventilazione

Potenza termica totale dispersa

Per valutare il valore complessivo della potenza termica invernale non si tiene conto degli apporti gratuiti per considerare il caso più sfavorevole, ottenendo un valore globale pari a 325 kW. L'apporto principale è dovuto alle perdite per trasmissione in quanto la trasmittanza di tutti i componenti presenti è alta e quindi le prestazioni energetiche dell'edificio non risultano essere ottimali.

2.6. Potenza estiva

Come per la potenza invernale, quella estiva è stata valutata attraverso il *software* EC700 di EdilClima, grazie al modulo aggiuntivo EC706. Risulta essere pari alla somma delle potenze scambiate per trasmissione e ventilazione, dall'esterno verso l'ambiente interno, e delle potenze dovute agli apporti gratuiti, i quali sono dati a loro volta dalla somma degli apporti interni e della potenza dovuta alla radiazione solare incidente. In questo caso non è presente una divisione in base all'esposizione ma un calcolo unico nell'ora di picco del mese più caldo ovvero il 16 del mese di luglio.

Come carichi interni correlati ad apparecchiature elettriche si sono assunti dei valori costanti di potenza per unità di superficie, valutati considerando le attrezzature elettriche all'interno del locale dividendo le potenze per la superficie:

- Uffici 15 W/m²
- Locale 1: locale riguarnitura, manutenzione, assemblaggio 150 W/m²
- Locale 2: locale lavaggio 20 W/m²
- Locale 3: locale test 50 W/m²
- Locale 4: zona ristoro 10 W/m²
- Laboratorio 20 W/m²

Per i carichi interni dovuti alla presenza di persone sono stati presi valori tabulati per:

- Persone che svolgono lavoro leggero al banco:
 - Calore sensibile 70 W/persona
 - Calore latente 151 W/persona

- Persone sedute con attività moderata (uffici)
 - Calore sensibile 64 W/persona
 - Calore latente 70 W/persona

Q_{Irr}	Carico dovuto all'irraggiamento
Q_{Tr}	Carico dovuto alla trasmissione
Q_v	Carico dovuto alla ventilazione
Q_c	Carichi interni
$Q_{gl, sen}$	Carico sensibile globale
$Q_{gl, lat}$	Carico latente globale
Q_{gl}	Carico globale

Tabella 2.25 - Simboli utilizzati per valutare la potenza estiva

Q_{Irr} [kW]	Q_{Tr} [kW]	Q_v [kW]	Q_c [kW]	$Q_{gl, sen}$ [kW]	$Q_{gl, lat}$ [kW]	Q_{gl} [kW]
52,3	111,3	57,4	178,3	357,8	41,5	399,3

Tabella 2.26 - Valori riassuntivi delle parti componenti la potenza estiva

La potenza globale estiva è pari a 400 kW. Il valore ottenuto per la quota di irraggiamento solare attraverso superfici vetrate non risulta eccessivamente alto, questo grazie alla presenza di numerosi edifici nelle vicinanze che creano ombra e quindi riducono la quota di carico dovuta all'irraggiamento. I carichi interni al contrario hanno un peso decisamente significativo sul bilancio complessivo in quanto rappresentano circa il 50% del carico globale. Il secondo apporto più significativo è la trasmissione dall'esterno verso l'interno, infatti la zona climatica in esame è caratterizzata da estati calde e afose.

3. Descrizione delle possibili soluzioni

Per la climatizzazione di un ambiente industriale si può introdurre un sistema ad aria, che permetta di soddisfare i requisiti richiesti di: temperatura, umidità, concentrazione di inquinanti e rumorosità dei condotti. Attraverso l'introduzione di un sistema di climatizzazione ad aria oltre alla regolazione della temperatura per le stagioni invernali ed estive, si monitorano la concentrazione di inquinanti, evitando di arrivare a valori di soglia, attraverso la loro diluizione che avviene attraverso ricambi dell'aria ambiente con l'aria esterna. [10] Le possibili soluzioni potranno essere: un sistema totalmente ad aria, un sistema combinato aria-acqua o un sistema ad acqua. Nei seguenti paragrafi verranno analizzati gli aspetti caratteristici di entrambi.

3.1. Sistemi a tutt'aria

Come detto precedentemente i sistemi ad aria si occupano di garantire condizioni interne ambientali favorevoli. Sono composti da:

- UTA (unità di trattamento aria)
- Canali aeraulici
- Bocchette di immissione ed estrazione

3.1.1. UTA (Unità di Trattamento Aria)

L'unità di trattamento aria è un blocco unico dotato di serrande per aspirare aria esterna ed espellere l'aria interna estratta, all'interno sono presenti filtri, batterie di riscaldamento e raffreddamento, ventilatori di mandata e aspirazione, umidificatore e recuperatore di calore. Il complesso è collegato al sistema aeraulico per la distribuzione/estrazione dell'aria in ambiente; le batterie e il sistema di umidificazione sono collegati a reti idriche che forniscono fluido refrigerante caldo o freddo, infine sono presenti dei collegamenti elettrici per il corretto funzionamento dei rimanenti componenti.

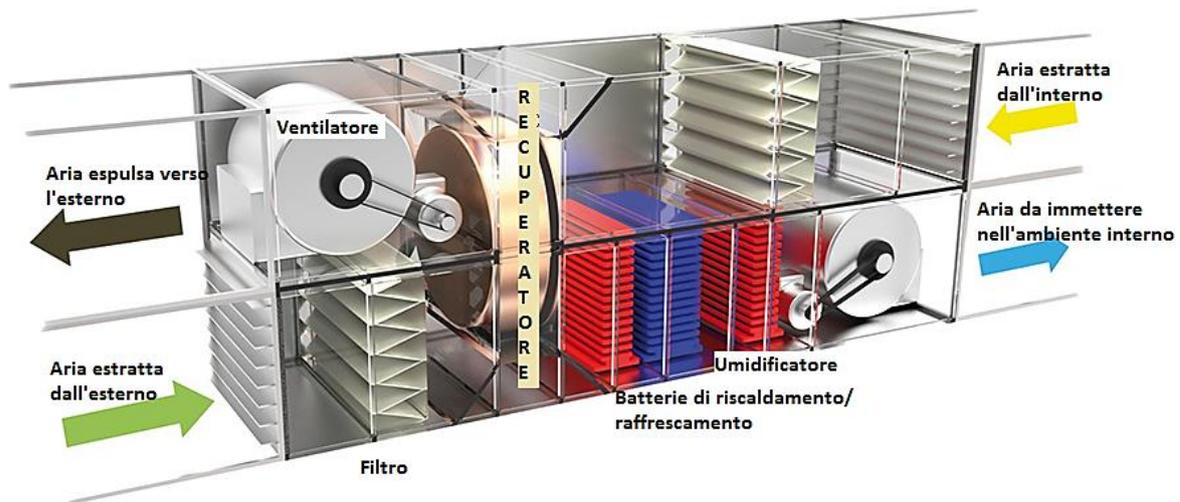


Figura 3.1- Unità Trattamento Aria [11]

Filtri

I sistemi filtranti sono utili per la pulizia dell'aria da particelle inquinanti indesiderate. In commercio sono presenti molte tipologie di filtri, una possibile differenza può essere la presenza di un filtro piano oppure a superficie estesa, il materiale caratteristico (metallo, lana, cotone, cellulosa, fibra di vetro, ecc.). [6] Per la scelta corretta è necessario decidere il grado di penetrazione desiderato, ovvero la dimensione delle particelle che si vogliono bloccare, e la portata transitante in essi.

Batterie

Le batterie di riscaldamento e raffreddamento sono caratterizzate da tubi alettati in modo da favorire lo scambio termico tra aria e fluido termovettore, sono collegate ad un sistema di generazione di calore e ad un sistema refrigerante. Solitamente ve ne sono tre:

- Batteria di pre-riscaldamento: viene utilizzata solamente nel periodo invernale per aumentare la temperatura dell'aria prima di andare a valutare il grado di umidità
- Batteria di raffreddamento: utilizzata nel periodo estivo, serve a diminuire la temperatura dell'aria estratta dall'esterno
- Batteria di post-riscaldamento: usata in entrambi i periodi per raggiungere la temperatura e umidità desiderata, l'umidità assoluta è mantenuta costante mentre quella relativa varia fino al valore richiesto

Umidificatore

L'umidificatore serve nel periodo invernale in quanto l'aria prelevata dall'esterno e preriscaldata potrebbe risultare troppo secca, quindi grazie all'utilizzo dello stesso si può raggiungere l'umidità desiderata. Essendo presente del vapore è necessario porre attenzione alla formazione di batteri, causata dalla possibile condensa e successiva stagnazione.

Recuperatori di calore

I recuperatori di calore hanno lo scopo di riutilizzare il calore sensibile e latente presente nell'aria in uscita. Ve ne sono di diverse tipologie e si distinguono in recuperatori di solo calore sensibile, quindi la parte legata alla temperatura, oppure recuperatori di calore sensibile e latente, ovvero sia la quota legata alla temperatura che quella dovuta all'umidità relativa.

Molto frequente è l'uso di un recuperatore di calore a piastre che consiste in uno scambiatore di calore a piastre a flusso incrociato, esso permette di recuperare una quota di temperatura dell'aria in uscita molto utile nel periodo invernale per riscaldare in parte l'aria in ingresso prima che raggiunga la batteria di preriscaldamento.

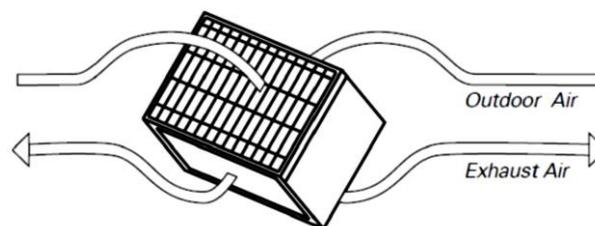


Figura 3.2 - Recuperatore di calore a piastre a flusso incrociato [6]

Un altro tipo è il recuperatore rotativo composto da un rotore cilindrico dove sono presenti canali utili allo scambio di calore tra i due flussi, in questo caso viene trasferito sia il calore sensibile che quello latente quindi sia la parte relativa alla temperatura che all'umidità.

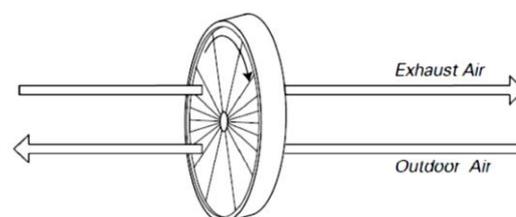


Figura 3.3 - Recuperatore di calore rotativo [6]

Ventilatori

I ventilatori hanno lo scopo di vincere le cadute di pressione dei componenti e dei condotti per garantire condizioni di immissione ed estrazione dell'aria ottimali. Sono solitamente posizionati dopo la sequenza di batterie, umidificatori e filtri per la mandata e prima della serranda di uscita per l'estrazione. Sono quindi dimensionati in base alle cadute di pressione che devono vincere, alla portata da garantire, alla rumorosità prodotta, al rendimento e collegati alla rete elettrica per il funzionamento.

3.1.2. Metodi di distribuzione dell'aria

Come modalità di immissione ed estrazione dell'aria esistono due principali modi di ventilazione: *displacement* e *mixing ventilation*.

Nel primo l'aria fresca e pulita è introdotta dal basso, a bassa velocità, vicino a sorgenti termiche, a temperatura inferiore rispetto quella ambiente ed estratta dall'alto.

Nel secondo caso l'aria viene introdotta con velocità elevate e alto grado di turbolenza in modo da creare vortici interni alla stanza per miscelare l'aria presente. [6]

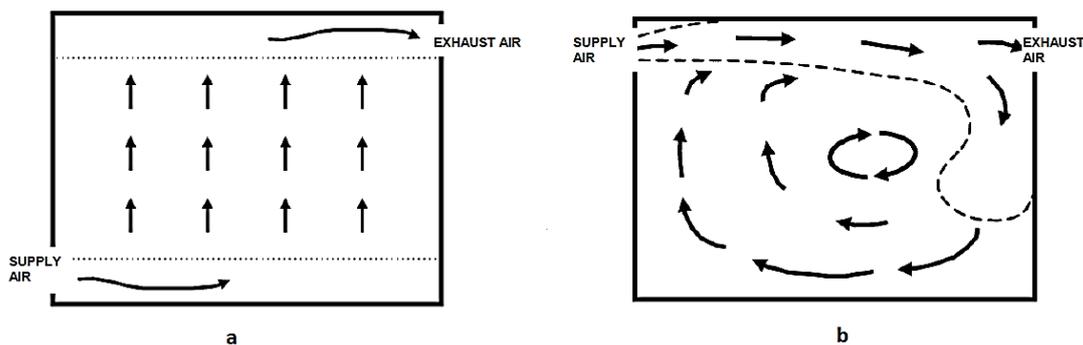


Figura 3.4 - a) Displacement ventilation; b) Mixing ventilation [6]

Confrontandoli si nota come nel caso di *displacement ventilation*, al contrario del sistema di *mixing ventilation*, la temperatura e la concentrazione di contaminanti non sia uniforme nel locale.

Analizzandoli singolarmente, il sistema di mescolamento genera bassi gradienti di temperatura, il pavimento non è occupato da dispositivi di ventilazione e ha la possibilità di funzionare in regime invernale oltre che in quello estivo, ma come limiti possono insorgere delle difficoltà nel movimentare grandi volumi di aria senza creare correnti, in regime estivo il consumo energetico è maggiore e possono esserci problemi di tipo acustico. Il sistema di displacement ha un rischio ridotto delle correnti d'aria per la bassa velocità di immissione, i diffusori possono essere posizionati in modo più flessibile e il fabbisogno energetico per il raffreddamento è minore. Un limite importante è che può

funzionare solo in regime estivo e possono esserci problemi nella collocazione dei diffusori ad altezza pavimento. [10]



Figura 3.5 - Terminale di diffusione a dislocamento [12]

3.1.3. Installazione *Rooftop*

Come definito dalla parola stessa è un'applicazione sul tetto di una struttura monoblocco in grado di trattare l'aria da immettere ed estrarre con riferimento all'ambiente interno. A differenza delle tradizionali UTA queste unità possono essere dotate di un generatore incorporato, solitamente rappresentato da una pompa di calore oppure un generatore di calore nel caso dovesse servire nel periodo di riscaldamento.

Con l'installazione sul tetto si evitano problemi di ingombro in quanto queste unità hanno dimensioni elevate, inoltre avendo meno problemi di spazi anche la manutenzione può risultare facilitata perchè non si rischia di lavorare in spazi ridotti.

Per gli aspetti riguardanti la distribuzione dell'aria è uguale a quelli descritti per l'UTA. Si deve porre particolare attenzione per il basamento sul quale posizionare l'unità poichè le caratteristiche strutturali devono essere adeguate.

3.2. Sistemi misti aria-acqua

I sistemi misti sono un compromesso tra un sistema a tutt'aria e uno esclusivamente ad acqua, quest'ultimo riesce a regolare adeguatamente la temperatura dell'aria, ma non l'umidità. In questo tipo di impianti sono presenti due fluidi termovettori l'aria (detta primaria) e l'acqua, l'aria assicura la qualità dell'ambiente interno, seguendo un sistema di distribuzione uguale agli impianti a tutt'aria, e l'acqua il grado termico attraverso lo scambio tra terminali e aria ambiente.

Terminali

Il sistema di emissione del calore è affidato a dei componenti generalmente chiamati terminali. Tali sistemi hanno il compito di cedere il calore dal fluido termovettore all'ambiente da climatizzare.

Un primo tipo di terminali sono i ventilconvettori che permettono lo scambio termico, invernale ed estivo, tra acqua e aria ambiente attraverso apposite batterie. Possono essere dotati di un ventilatore per garantire il transito dell'aria in caso non fosse presente un movimento naturale della stessa. La versione industriale dei ventilconvettori sono gli aerotermi nei quali è presente una batteria aria-acqua, in genere alettata, e un ventilatore che forza il passaggio dell'aria.



Figura 3.6 - Aerotermino [13]

Un secondo tipo di terminali possono essere le termostrisce radianti, usate per il riscaldamento di ambienti con altezze elevate, sfruttano la diffusione del calore per irraggiamento e sono costituiti da una tubazione metallica ad elevata temperatura e uno schermo riflettente sovrapposto per indirizzare il calore verso il basso.



Figura 3.7 - Termostrisce [13]

Un terzo tipo di terminali sono le barriere a lama d'aria, utili in casi di frequenti aperture di porte e portoni, quindi dove l'ingresso di aria calda o fredda è facilitato. Essi funzionano introducendo un getto di aria ad alta velocità lungo tutta l'apertura in modo da creare una barriera tra l'ambiente interno e quello esterno.

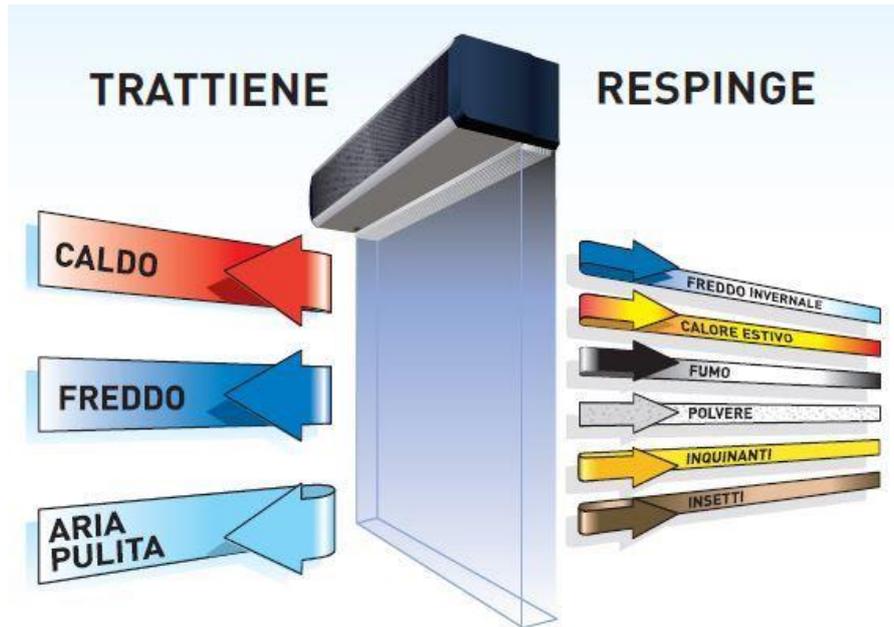


Figura 3.8 - Batteria a lama d'aria [14]

Un ultimo tipo di terminali sono i turbodiffusori che vengono installati a soffitto e sono indicati per ambienti con grandi altezze. L'apparecchio, montato sotto il soffitto, aspira l'aria ambiente, la riscalda tramite la batteria termica e l'immette nuovamente nel locale tramite il diffusore ad alta induzione. La geometria del flusso d'aria è variabile per arrivare ad ottimi risultati sia nel caso invernale che in quello estivo. Una peculiarità di questi terminali è la presenza dei filtri che permettono una pulizia dell'aria interna e quindi ne garantiscono una migliore qualità. [15]



Figura 3.9 - Turbodiffusore [16]

3.3. Generatori di fluido termovettore caldo

Per la stagione invernale serve generare un fluido caldo per trasferire la temperatura all'aria circolante nell'ambiente interno. In seguito, verranno descritte possibili soluzioni.

Caldaia a condensazione

Le caldaie a condensazione sono generatori di calore che sfruttano il calore latente di condensazione dell'acqua presente nei fumi di scarico, riducendo notevolmente i consumi e le emissioni, con relativo aumento dei rendimenti. Un loro limite di funzionamento è che la temperatura dell'acqua di ritorno in caldaia non deve essere superiore ai 56°C poichè si ridurrebbe notevolmente la condensazione dell'acqua nei fumi di scarico.

Come si vede nella Figura 3.10 a seguito della combustione, i fumi presentano acqua sotto forma di vapore dovuta alla reazione di combustione stessa. Tali prodotti vengono fatti passare in un apposito scambiatore di calore (fumi-acqua dell'impianto) dove, raffreddandosi e condensando il vapore acqueo, cedono calore al fluido termovettore.

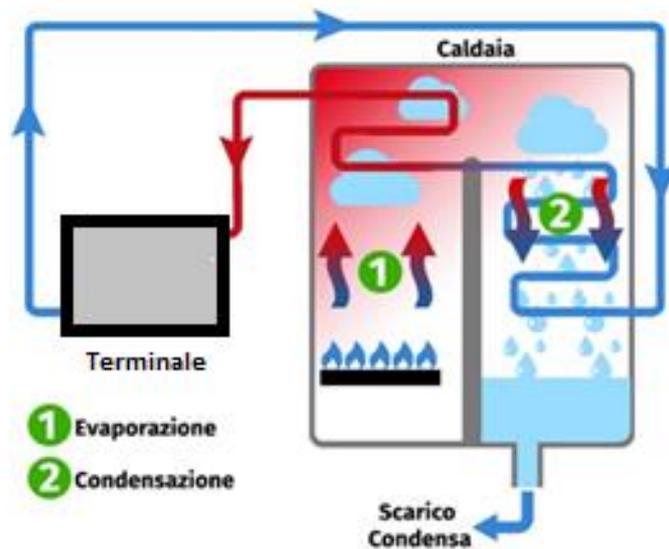


Figura 3.10 - Schema funzionamento caldaia a condensazione [17]

Pompa di calore

Il principio di base della pompa di calore è lo scambio termico tra flussi a diversa temperatura. In inverno, per esempio negli impianti ad aria, può essere usata per preriscaldare l'aria prelevata dall'esterno. Sfrutta l'energia termica presente in natura, come acqua o suolo, per scambiare calore con i fluidi termovettori. Il terreno è una buona fonte termica in quanto da circa 15 metri di profondità la temperatura può essere considerata costante durante tutto l'arco dell'anno.

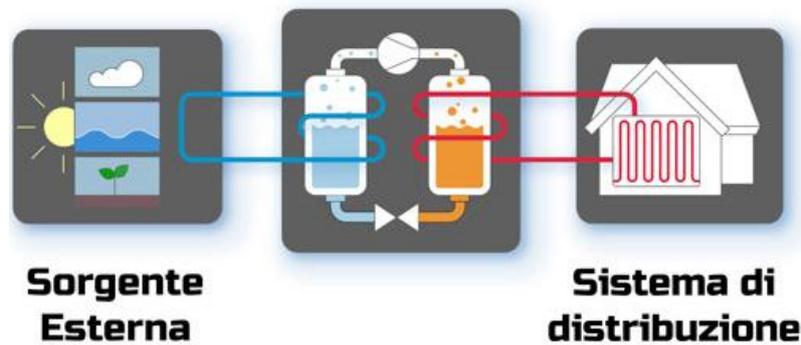


Figura 3.11 - Schema pompa di calore [18]

Solare termico

Questi tipi di impianti riescono a scaldare i fluidi attraverso l'energia solare incidente sui pannelli, detti collettori, nei quali passa il fluido termovettore che accumula l'energia trasferita dal sole. Questo tipo di soluzione è spesso utilizzata per impianti di acqua calda sanitaria che hanno un circuito di acqua separato rispetto all'impianto di riscaldamento.

3.4. Generatori di fluido termovettore freddo

Per la stagione estiva serve generare una fonte di calore fredda in modo da diminuire la temperatura dell'aria immessa nell'ambiente interno. In seguito, verranno descritte possibili soluzioni.

Gruppi frigoriferi

Sfruttano la compressione e l'espansione di gas particolari, definiti frigoriferi, per sottrarre calore ad un altro fluido. Sono costituiti da un compressore, un evaporatore e un condensatore i quali riescono, attraverso un ciclo chiuso, a ridurre la temperatura del secondo fluido, prelevando del calore dalla sorgente più fredda e rilasciandolo in un ambiente a temperatura più elevata, questo avviene attraverso la somministrazione di energia fornita dall'esterno. La refrigerazione può avvenire attraverso scambiatori di calore ad acqua o ad aria, condensando un gas frigorifero. I secondi risultano essere più rumorosi ed energivori poiché l'aria presente va ventilata e movimentata, come aspetto positivo non richiedono consumo di acqua.

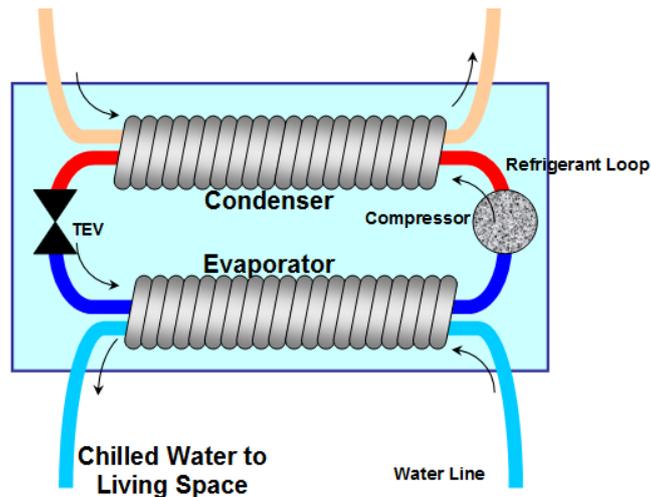


Figura 3.12 - Schema Chiller [19]

3.5. Miglioramenti dell'involucro edilizio

In aggiunta al progetto e al dimensionamento opportuno di un impianto di climatizzazione si potrebbe intervenire direttamente sulla struttura in modo da diminuire i carichi termici invernali ed estivi, attraverso delle migliorie dell'involucro edilizio, quali:

- Applicazione di un cappotto esterno per ridurre il valore delle trasmittanze termiche
- Installazione di nuove finestre a più elevate prestazioni
- Costruire un controsoffitto per diminuire il volume del locale
- *Green-roof* o aggiunta di uno strato di isolante termico per ridurre la trasmittanza e di conseguenza ridurre i carichi termici

La prima opzione può essere applicata sia internamente che esternamente, nel primo caso si avrebbe una riduzione dello spazio e nel secondo bisognerebbe verificare la possibilità di applicazione esterna, in entrambi i casi la soluzione non risulta essere economica a causa dei costi di manodopera per l'installazione.

La seconda opzione è facilmente attuabile, ma bisognerebbe fare un'analisi dei costi perchè può essere dispendiosa, in seguito sarà analizzata.

La terza opzione, come le precedenti, andrebbe a ridurre le richieste energetiche e creerebbe uno spazio dove eventualmente far passare i condotti dell'acqua e dell'aria, ma come aspetto negativo diminuirebbe la luce naturale proveniente dall'esterno. Per ovviare a questa problematica si potrebbero introdurre delle strutture di riflessione della luce che però risultano essere costose sia nell'acquisto sia nella manutenzione ordinaria.

La quarta opzione, ovvero l'installazione di piante sul tetto, permette di ridurre le temperature superficiali e aumentare la riflessività solare del tetto. Lo stesso risultato si potrebbe ottenere mediante l'installazione di uno strato aggiuntivo di isolante, ottenendo per entrambe le soluzioni una diminuzione del carico termico. Nel primo caso sarebbe

però necessaria una verifica strutturale della copertura per scongiurare eventuali problematiche dovute al carico aggiuntivo.

3.6. Considerazioni preliminari alla progettazione

Analizzando in maniera preliminare le soluzioni sopra descritte si può preannunciare che un sistema a tutt'aria, in un edificio nel quale è presente un'officina, risulta inappropriato poichè per avere sia riscaldamento che raffreddamento bisognerebbe progettare un sistema di *mixing ventilation* ma, essendo le altezze elevate e le sorgenti di calore a livello del pavimento, la soluzione più appropriata per la distribuzione dell'aria è il metodo di *displacement ventilation*, il quale però è utile solo per la stagione estiva, quindi dovrebbero esserci due impianti differenti per il periodo di riscaldamento e per il periodo di raffrescamento.

Pensando dunque ad un impianto misto aria-acqua, i possibili terminali, per il riscaldamento invernale, sono aerotermini o turbodiffusori. I primi sono già presenti nell'edificio, quindi anche i condotti di mandata e ritorno del fluido termovettore, per questo si analizzerà successivamente l'efficacia di entrambi per valutare la soluzione migliore.

Per i possibili miglioramenti dell'involucro edilizio è da escludere il controsoffitto poichè, come già preannunciato, andrebbe a ridurre notevolmente l'ingresso di luce naturale dai lucernari presenti.

L'idea di una coibentazione interna delle pareti verticali non è stata considerata in quanto andrebbe a ridurre lo spazio utile oltre ad essere un lavoro oneroso a causa di numerosi componenti interni già presenti in prossimità dei muri. Il cappotto esterno sarà preso in considerazione nelle pareti verso la proprietà dell'azienda.

4. Dimensionamento impianto allo stato attuale

4.1. Analisi impianto caso estivo

Di seguito verranno analizzati tre ipotetici casi per la climatizzazione estiva dell'ambiente in esame. I primi due casi saranno una soluzione con un impianto ad aria e il terzo con impianto ad acqua.

4.1.1. Caso 1: Unità trattamento aria

Per il dimensionamento dell'unità di trattamento aria sono stati definiti i capisaldi principali che caratterizzano l'ambiente interno ed esterno. Successivamente, utilizzando il diagramma *ASHRAE* per l'aria umida, sono stati valutati i valori intermedi come il punto di miscela tra aria interna estratta ed esterna estiva o le condizioni dopo il raffreddamento.

Considerando la destinazione d'uso del locale i ricambi d'aria necessari sono pari a $1h^{-1}$. La portata immessa nell'impianto è leggermente superiore rispetto quella estratta in modo da garantire una sovrappressione interna e quindi prevenire possibili infiltrazioni dall'esterno.

Valutazione capisaldi lato aria

I primi due capisaldi da considerare sono l'aria estratta dall'esterno e dall'interno, la prima con una temperatura massima pari a $31,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ e umidità al 48% e la seconda con temperatura pari a $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ e umidità 50% . Come estrazione interna è stato preso in considerazione il gradiente verticale di temperatura perchè i locali hanno un'altezza elevata e il metodo di distribuzione scelto è a dislocamento, quindi con introduzione dal basso ed estrazione dall'alto.

Considerando il ricircolo nell'impianto ad aria si deve valutare un nuovo punto che sarà quello caratteristico delle condizioni iniziali dell'aria da raffreddare. Per arrivare ad una soluzione è stata valutata la portata totale di ricambio e quella esterna necessaria, ottenendo quella di ricircolo dalla differenza delle due.

$$\dot{V}_{totale} = \frac{Q_{sensibile}}{1,23 * \Delta T} = 48,5 \frac{m^3}{s}$$

Equazione 4.1 - Portata d'aria totale

$$\dot{V}_{esterna} = Ricambi\ orari * Vol = 10,16 \frac{m^3}{s}$$

Equazione 4.2 - Portata d'aria esterna

$$\dot{V}_{ricircolo} = \dot{V}_{totale} - \dot{V}_{esterna} = 38,32 \frac{m^3}{s}$$

Equazione 4.3 - Portata d'aria di ricircolo

Attraverso un bilanciamento entalpico è stata valutata l'entalpia del punto di miscela tra aria interna estratta ed esterna, per poi andare a valutare i valori di temperatura e umidità dal diagramma *ASHRAE*. Il punto di miscela è stato indicato con la lettera 'M'.

$$\dot{V}_{ricircolo} * h_A + \dot{V}_{esterna} * h_E = \dot{V}_{totale} * h_M$$

Equazione 4.4 - Bilancio entalpico

$$h_M = \frac{\dot{V}_{ricircolo} * h_A + \dot{V}_{esterna} * h_E}{\dot{V}_{totale}} = 60 \frac{kJ}{kg}$$

Equazione 4.5 - Entalpia punto di miscela

Per valutare il punto di immissione 'I' si è definita la temperatura, pari a 22 °C e la retta di carico passante per le condizioni interne (26 °C, 50 % um.) valutata come rapporto tra carico sensibile e carico totale, pari a 0,9 ed evidenziata dal segmento *Amb-I* in Figura 4.1 - Diagramma *ASHRAE*, caso estivo.

Per determinare il punto 'B', ovvero lo stato dell'aria raggiunto dopo la batteria di raffreddamento si è ipotizzato di arrivare fino ad una temperatura di 12,5 °C, considerando che lato acqua le temperature sono 7-12 °C e aggiungendo un valore per lo scambio termico attraverso i tubi, questa retta (*M-C*) è stata intersecata con la retta isotitolo passante per il punto di immissione.

Riassumendo gli stati dell'aria si parte con l'aria estratta (*punto 'A'*), la quale è miscelata con l'aria esterna (*punto 'E'*), ottenendo il punto di miscela 'M', si prosegue raffreddandola fino al punto 'B', con titolo uguale al punto 'I', al quale si arriva riscaldando l'aria. Il punto 'I' rappresenta il punto di immissione dell'aria in ambiente.

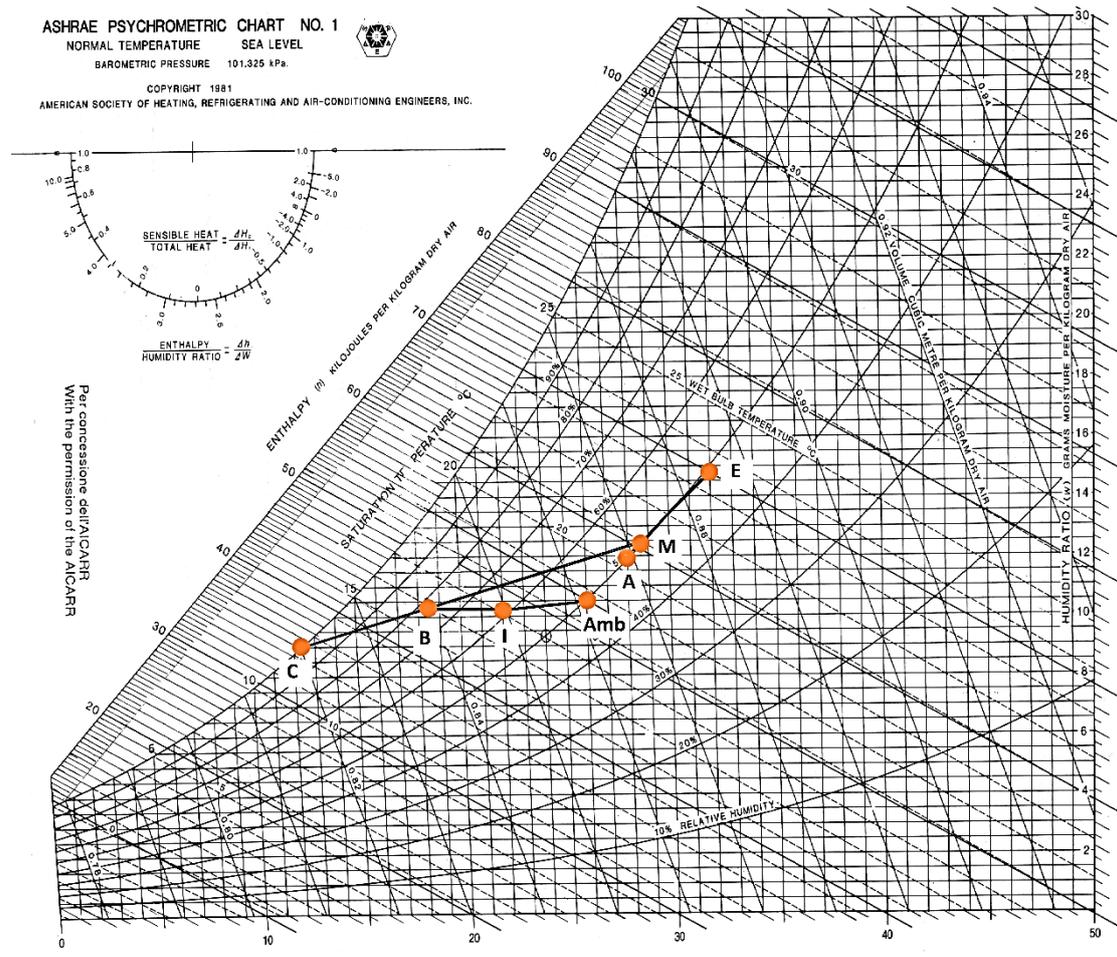


Figura 4.1 - Diagramma ASHRAE, caso estivo

Punti	Temperatura [°C]	Umidità relativa [%]	Titolo [-]	Entalpia [KJ/kg]
A	28	50	11,82	58
E	31,9	48	14,25	69
M	28,5	50	12,25	60
C	12,5	100	9	36
Amb	26	50	10,5	53
I	22	62	10,25	48
B	18,5	78	10,25	45

Tabella 4.1 - Capisaldi caso estivo

Avendo tutti i capisaldi si possono ottenere le potenze delle batterie di raffreddamento e riscaldamento.

$$Q_- = \dot{V}_{totale} * (h_M - h_B) \quad [kW]$$

Equazione 4.6 - Potenza batteria di raffreddamento

$$Q_+ = \dot{V}_{totale} * (h_I - h_B) \quad [kW]$$

Equazione 4.7 - Potenza batteria di riscaldamento

Dimensionamento delle batterie

Per il dimensionamento delle batterie è stato utilizzato un *software* fornito dall'azienda Sabiana [20], grazie al quale, inserendo le condizioni iniziali e finali, sono state definite le caratteristiche geometriche delle stesse.

In entrambi i casi il fluido termovettore considerato è acqua, per il raffreddamento da 12 a 7 °C, mentre per il riscaldamento da 35 a 50 °C. Le batterie sono costituite da file di tubi alettati, per aumentare lo scambio con l'aria, caratterizzati da ranghi e dimensione del tubo. Il *software* ha anche fornito le potenze necessarie rispettivamente per raffreddamento e riscaldamento dell'aria.

The screenshot shows the 'Batteria di raffreddamento' (Cooling Battery) configuration window. It includes the following data:

Parametro	Valore	Unità
Calcolo	Automatico	
Separatore	Separatore con telaio in lamiera zincata e lamelle PVC	
Aria Ingresso		
Temperatura	28.5	°C
Umidità relativa (%)	50	%
Temperatura uscita (°C)	18.5	°C
Aria Uscita		
Temperatura	18.5	°C
Umidità relativa	87.2	%
Velocità	5.60	m/s
Portata	172000	m³/h
Perdita carico	342.5	Pa
P. carico secca	277.0	Pa
Fluido		
Fluido	Acqua	
Etilenico in peso (%)	0	%
Fluido Ingresso		
Temperatura	7	°C
Temperatura uscita °C	12	°C
Fluido Uscita		
Temperatura	12.00	°C
Perdita di carico max (kPa)	35	kPa
Velocità	1.48	m/s
Portata	116559	l/h
Perdita carico	32.7	kPa
Sup. scambio	3361.6	m²
Potenza	679.41	kW
Sensibile su totale	0.86	

Additional details from the interface:
 - Battery model: Cu-Al-FeZn P40AR 4R-57I-3740A-2.5pa 114C 2x4"
 - NR 4 (9.9%)
 - Separator type: Separatore una piega (selected)
 - Separator type: Separatore con telaio in lamiera zincata e lamelle PVC (selected)

Figura 4.2 - Batteria di raffreddamento [20]

SABIANA S.p.A.

Solo predisposizione
 Con lampada germicida
 Con Master Stick

Calcolo:

Geometria: P60 Passo alette: 2.5 mm
Tipo tubo: 16.45 x 0.4 Rame Tipo aletta: 0.11 mm Alluminio
Materiale telaio: Acciaio zincato

Aria

Ingresso		Uscita		Velocità	m/s	5.60
Temperatura °C	18.5	Temperatura °C	22.0	Portata	m³/h	172000
Umidità relativa (%)	78	Umidità relativa %	62.8	Perdita carico	Pa	83.6
Temperatura uscita (°C)	22					

Fluido: Acqua

Etenico in peso %: 0

Ingresso		Uscita		Velocità	m/s	0.91
Temperatura °C	50	Temperatura °C	35.00	Portata	l/h	12016
Temperatura uscita °C	35	Perdita di carico max (kPa)	20	Perdita carico	kPa	16.4

Batteria: **Cu-Al-FeZn P60AC 2R-38T-3740A-2.5pa 19C 2"**
NR 2 (59.3%)

Sup. scambio	m²	748.7
Potenza	kW	206.82
Sensibile su totale		1.00

Figura 4.3 - Batteria di riscaldamento [20]

Dopo aver dimensionato le batterie ed aver ottenuto le potenze termiche per raffreddamento e riscaldamento si possono scegliere i generatori corrispettivi. Per la parte di raffreddamento un chiller e per la parte di riscaldamento una caldaia a condensazione che potrà essere usata anche in condizioni invernali. Si potrebbe anche ricorrere ad una pompa di calore la quale va correttamente dimensionata.

Considerazione finale

Nell'ipotesi di un impianto ad aria i carichi a cui far fronte sono molto elevati quindi di conseguenza si avranno potenze delle batterie e portate d'aria elevate, i condotti avranno grandi dimensioni rendendo difficoltosa l'installazione, quindi per un sistema del genere si può pensare ad interventi migliorativi della struttura in modo da ridurre i carichi termici e di conseguenza le portate di aria da immettere in ambiente per garantire comfort termico.

4.1.2. Caso 2: Installazione *rooftop* dell'unità trattamento aria

Nel caso di installazione *rooftop* si deve considerare l'impianto posizionato sul tetto dell'edificio adiacente (sempre proprietà dell'azienda) poichè è piano a differenza di quelli a volta caratteristici della struttura in esame.

Essendo un impianto ad aria i punti caratteristici risultano essere gli stessi del caso precedente, quindi l'aria di riferimento esterna è a $31,9^{\circ}\text{C}$ e 48% di umidità relativa e quella estratta a 28°C e 50% di umidità relativa.

Anche in questo caso si utilizzano in prossimità delle aperture delle barriere a lama d'aria. Una considerazione importante è quella di garantire sempre i ricambi minimi orari con aria esterna.

L'impianto con installazione *rooftop* è un complesso costituito da tutti i componenti necessari alla refrigerazione, con possibilità di aggiungere componenti come un recuperatore di calore che può essere una richiesta aggiuntiva ad un impianto base.

Per la refrigerazione dell'aria è presente una pompa di calore integrata che è posizionata sempre sul tetto, quindi non saranno necessari impianti aggiuntivi per portare l'aria nelle condizioni desiderate.

4.1.3. Terminali

In questo paragrafo verranno analizzati i possibili terminali per la struttura in esame.

Per dividere l'ambiente interno dall'esterno si è scelto l'utilizzo di barriere a lama d'aria in corrispondenza delle aperture, per il raffrescamento bocchette di mandata posizionate in basso e bocchette di estrazione in alto per permettere la ventilazione a dislocamento.

Le barriere a lama d'aria servono per limitare l'ingresso di aria calda dall'esterno verso l'interno, allo stesso modo in inverno riducono l'afflusso di aria fredda.

Gli impianti di diffusione per dislocamento posizionati in basso, sono diffusori dai quali esce aria fresca e pulita. Verranno posizionati vicino alle fonti di calore così da bilanciare gli apporti interni e abbassare la temperatura.

Per l'estrazione si sono considerate bocchette di estrazione in tubazioni poste sul soffitto in modo da prelevare l'aria calda e inquinata dall'ambiente interno.

Come precedentemente detto, questa disposizione favorisce una circolazione dell'aria dal basso verso l'alto, a causa del gradiente termico che si crea tra postazioni di lavoro e punto di estrazione dell'aria, garantendo una temperatura adeguata e concentrazioni di inquinanti ridotte.

Utilizzando la ventilazione a dislocamento uno degli aspetti negativi può essere lo spazio necessario per le tubazioni dell'aria e per le bocchette di immissione dell'aria, infatti utilizzando un numero di bocchette adeguato alla portata calcolata in precedenza, considerando anche di avere uno spessore delle stesse non troppo elevato per evitare di togliere spazio interno utile, le dimensioni dei condotti di mandata, e conseguentemente di ritorno, risultano elevati, con diametri dei condotti che possono raggiungere $1,5\text{ m}$, in base alla portata massima valutata per garantire comfort interno. Inoltre, il numero di diffusori risulta essere elevato e nell'officina non è disponibile lo spazio necessario per posizionarli nella maniera corretta ad altezza pavimento. Infatti, adottando diffusori in grado di erogare $4000\text{ m}^3/\text{h}$, con dimensioni di $1\text{ m} \times 0,3\text{ m}$ con altezza di $1,80\text{ m}$ [21], ne servirebbero 44, un'immagine dei diffusori si può vedere nella Figura 3.5.

4.1.4. Caso 3: Impianto ad acqua

Un'ultima alternativa può essere quella di un impianto ad acqua refrigerata con raffreddamento dell'aria attraverso aerotermini o turbodiffusori. Questi sono terminali ai quali arriva un fluido termovettore freddo e attraverso batterie di scambio l'aria ambiente viene raffreddata. Anche con questa soluzione è preferibile mantenere la presenza delle barriere a lame d'aria perchè riescono a garantire una diminuzione di apporti gratuiti dall'esterno e a migliorare il comfort termico delle postazioni di lavoro prossime alle aperture.

Il concetto di aerotermini o turbodiffusori come terminali verrà ripreso nel caso invernale poichè essi possono funzionare sia per il raffrescamento sia per il riscaldamento.

Terminali

Nell'analisi dei terminali verranno considerate due soluzioni:

- *Soluzione a*: aerotermini
- *Soluzione b*: turbodiffusori

In entrambi i casi nel laboratorio si installano dei ventilconvettori e in prossimità delle aperture delle barriere a lama d'aria.

Soluzione a

Considerando gli aerotermini della linea *Janus05*, prodotti da Sabiana [22], la potenza sensibile estiva massima erogata è $17,75 \text{ kW}$ per la temperatura dell'acqua circolante nelle batterie interne di $7-12 \text{ }^\circ\text{C}$, quindi per soddisfare il fabbisogno estivo ne servirebbero 19. Nel laboratorio si considerano i ventilconvettori della linea *Carisma CRC* [23], prodotti da Sabiana, con la potenza sensibile massima estiva $7,42 \text{ kW}$ per un salto di temperatura dell'acqua pari a $7-12 \text{ }^\circ\text{C}$, quindi per soddisfare il fabbisogno estivo ne servirebbero 3.

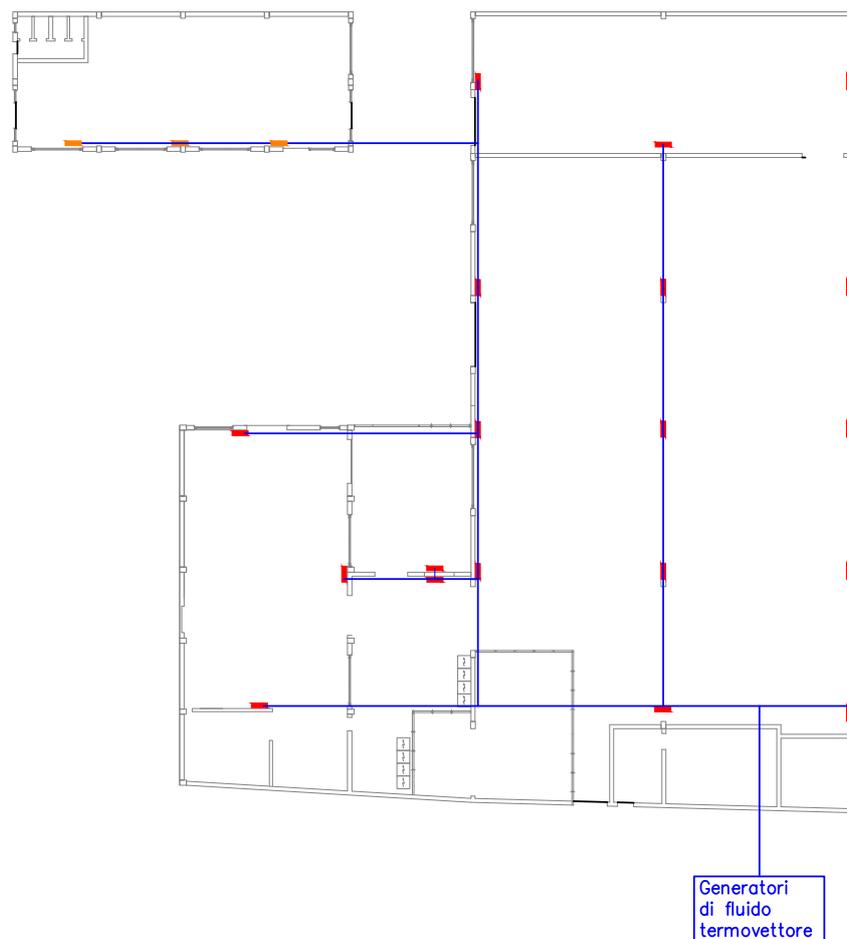


Figura 4.4 - Piantina con terminali (aerotermi) e condotti

Soluzione b

Un'alternativa agli aerotermi sono i turbodiffusori, in particolare si sono prese in considerazione le unità decentralizzate *Top Vent*, con scambio acqua aria prodotti da Hoval [16], che permettono, oltre ad ottenere un raffrescamento dell'aria, una pulizia della stessa poichè sono sistemi dotati di filtro attraverso cui l'aria è convogliata e poi immessa in ambiente grazie ad un *air injector*. Tale alternativa è una soluzione ibrida tra un impianto ad acqua ed uno misto aria-acqua in quanto permette il controllo della qualità attraverso i filtri ma allo stesso tempo non necessita di condotti aeraulici. Considerando un modello in grado di fornire $40,5 \text{ kW}_{\text{sensibili}}$, con salto di temperatura dell'acqua a $8-14 \text{ }^\circ\text{C}$, ne servono 8. Nel laboratorio si considerano i ventilconvettori della linea *Carisma CRC* [23], prodotti da Sabiana, con la potenza sensibile massima estiva $7,42 \text{ kW}$ per un salto di temperatura dell'acqua pari a $7-12 \text{ }^\circ\text{C}$, quindi per soddisfare il fabbisogno estivo ne servirebbero 3.

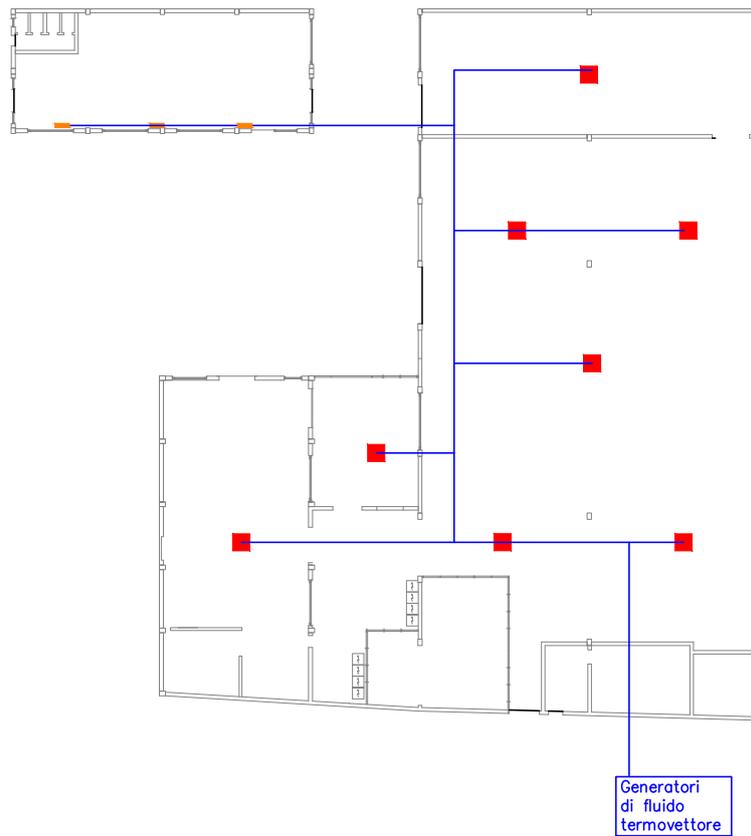


Figura 4.5 - Piantina con terminali (turbodiffusori) e condotti

Pompa di calore

Per generare fluido termovettore freddo è possibile ricorrere all'utilizzo di una pompa di calore che può essere posizionata sopra all'edificio vicino all'officina con copertura piana e sempre di proprietà dell'azienda. Dovrà poter raggiungere una potenza di circa 400 kW in modo da garantire il bilancio dei fabbisogni energetici estivi richiesti dalla struttura per una temperatura interna ottimale.

Consultando la documentazione tecnica di Aermec per le pompe di calore reversibili aria/acqua per installazione esterna [24], il modello *NRB 1800*, ad alte prestazioni e silenziato, risulta essere adeguato. È stata considerata una pompa di calore sovradimensionata in quanto le temperature massime reali monitorate in estate risultano essere maggiori rispetto quelle definite dalla norma quindi si avranno in alcuni momenti carichi maggiori da dover soddisfare.

NRB - HE		1800
12°C / 7°C	Potenza frigorifera	kW 488,7
	Potenza assorbita	kW 157,1
	EER	3,11
	ESEER	4,27
	ESEER HP flottante	
	Classe Eurovent a freddo	A
40°C / 45°C	Portata d'acqua	l/h 84092
	Perdite di carico	kPa 27,04
	Potenza termica	kW 521,7
	Potenza assorbita	kW 162,5
	COP	3,21
	Classe Eurovent a caldo	A
	Portata d'acqua	l/h 90498
	Perdite di carico	kPa 30,81

Figura 4.6 - Caratteristiche pompa di calore [24]

I dati sono riferiti per l'estate ad una temperatura di aria esterna pari a 35 °C e per l'inverno a 7 °C.

Pompa di circolazione

Per definire la taglia della pompa di circolazione sono state stimate le posizioni dei terminali e la lunghezza e dimensione dei condotti per valutarne le perdite di carico a cui la pompa deve far fronte.

Le perdite di carico sono state valutate considerando il caso di percorso peggiore che il fluido termovettore deve affrontare e sono date dalla somma delle perdite distribuite e concentrate, le prime rappresentano la resistenza che il fluido incontra all'interno di una tubazione rettilinea e a sezione costante, le seconde introducono le componenti di perdita dovute a cause localizzate come variazioni di sezione, diramazioni, curve o terminali.

$$\Delta P = \xi * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2} \quad [m C. a.]$$

Equazione 4.8 - Perdite distribuite

$$\Delta P = \beta * \frac{v^2}{2} \quad [m C. a.]$$

Equazione 4.9 - Perdite concentrate

$$\Delta P = \Delta P_{distribuite} + \Delta P_{concentrate} \quad [m C. a.]$$

Equazione 4.10 - Cadute di pressione

Soluzione a

Nella Figura 4.4 si può vedere la disposizione dei terminali.

Analizzando le perdite di carico distribuite lungo le tubazioni e quelle concentrate per diramazioni, curve e terminali, la somma risulta essere pari a circa $10,8 \text{ m C.a.}$

La prevalenza della pompa che verrà scelta dovrà bilanciare le cadute di pressione valutate e una portata pari a $88 \text{ m}^3/\text{h}$. È consigliabile installare una pompa elettronica in modo da poter variare le caratteristiche tra le due stagioni, inoltre non avendo variazioni di flusso si può scegliere una pompa a velocità fissa.

Soluzione b

Nella Figura 4.5 si può vedere la disposizione dei terminali.

Analizzando le perdite di carico distribuite lungo le tubazioni e quelle concentrate per diramazioni, curve e terminali, la somma risulta essere pari a circa $8,6 \text{ m C.a.}$

La prevalenza della pompa che verrà scelta dovrà bilanciare le cadute di pressione valutate e una portata pari a $87,5 \text{ m}^3/\text{h}$. È consigliabile installare una pompa elettronica in modo da poter variare le caratteristiche tra le due stagioni, inoltre non avendo variazioni di flusso si può scegliere una pompa a velocità fissa.

4.2. Analisi impianto caso invernale

Come per il dimensionamento dell'impianto nel caso estivo anche in quello invernale si sono considerate più casistiche. Il riscaldamento attraverso un impianto ad aria è stato escluso poichè è stata scelta una ventilazione a dislocamento che non permette l'uso per la stagione invernale, l'unica possibilità sarebbe quella di creare una circolazione dell'aria in modo da garantirne la qualità, per ottenere la circolazione all'interno dell'edificio l'aria deve essere immessa ad una temperatura pari a quella ambiente.

Per la stagione invernale si è considerato un impianto ad acqua, con relativo generatore di calore per rendere il fluido termovettore idoneo alle condizioni richieste.

Come scelta di terminali sono state considerate due possibilità, la prima con gli aerotermini e la seconda con l'installazione di turbodiffusori.

Nell'edificio è presente un generatore di aria calda interno all'officina e un impianto ad acqua collegato ad alcuni aerotermini.

In seguito, verranno analizzati i possibili sistemi di riscaldamento per il fluido termovettore.

4.2.1. Caso 1: Caldaia a condensazione

Una caldaia a condensazione permette di avere alti rendimenti come descritto nel paragrafo 3.3, sottoparagrafo *Caldaia a condensazione*.

Per una corretta progettazione, oltre a garantire la richiesta termica, bisogna considerare un locale tecnico separato, con accesso dall'esterno, dimensionare la canna fumaria e altre componenti regolamentate da normative. I componenti principali che necessitano di un dimensionamento adeguato oltre alla caldaia stessa sono:

- Camino
- Valvola di sicurezza
- Vaso di espansione
- Pompa di circolazione
- Valvole
- Strumentazione di controllo e misura
- Rete adduzione combustibile
- Impianto elettrico luce

Per il dimensionamento è stata considerata una caldaia a condensazione della Hoval da 350 kW [25].

Per il camino bisogna garantire un certo valore minimo di tiraggio in modo da assicurare la fuoriuscita dei fumi.

Il vaso di espansione è un componente che permette di compensare le dilatazioni del fluido termovettore dovute alle diverse temperature raggiunte senza indurre problemi al circuito di distribuzione, deve essere posizionato in un punto in cui l'avviamento e lo spegnimento della pompa di circolazione non eserciti alcun cambiamento al valore di pressione statica del fluido.

La pompa di circolazione va scelta in base alle perdite di carico che si hanno lungo il circuito e la portata necessaria per soddisfare i carichi termici.

La presenza di valvole di intercettazione risulta essere utile in caso di manutenzione o malfunzionamento dell'impianto per isolare determinati componenti.

All'interno del locale *centrale termica*, dove sono presenti tutti i componenti sopra citati, è buona norma posizionare sonde di temperatura, pressione e misuratori di portata lungo i condotti nei quali passa il fluido termovettore.

Segue un'analisi dettagliata riferita al modello di caldaia Hoval *UltraGas* da 350 kW [25].

Dimensionamento valvola di sicurezza

Potenza termica da considerare: 325 kW

Pressione massima di esercizio impianto: 6 bar

Pressione di funzionamento impianto: 1,50 bar

$$\text{Portata di scarico valvola [26]: } Q = \frac{P}{0,58} = \frac{325}{0,58} = 560,34 \frac{kg}{h}$$

In funzione della portata di scarico e della potenza termica in riscaldamento, si è deciso di prevedere una valvola di sicurezza qualificata INAIL tarata a 3,5 bar, diametro 1", portata di scarico 984,23 kg/h e potenza termica massima pari a 572,30 kW.

Vaso di espansione

Come vaso di espansione è stato scelto uno chiuso con diaframma in modo da separare la fase liquida, incomprimibile, da quella aeriforme, comprimibile. [27]

$$V = \frac{E}{1 - \frac{p_i}{p_f}}$$

Equazione 4.11 - Volume vaso di espansione chiuso

$$E = e * C$$

Equazione 4.12 - Volume occupato dall'acqua in caso di espansione

$$p_{iniziale} = p_{idrostatica} + p_{ambiente} + p_{precarica}$$

$$p_{finale} = p_{taratura} + p_{ambiente} \pm \text{battente idrostatico}$$

Equazione 4.13 - Pressione iniziale e finale in termini assoluti

Il primo valore da calcolare è il volume di acqua presente nell'impianto che può essere valutato noti i diametri e le lunghezze delle condotte del circuito secondario e la quantità di acqua presente nei terminali. Nel caso della struttura attuale, con installazione di aerotermini è:

$$C = 3000 \text{ l}$$

Equazione 4.14 - Litri acqua nell'impianto

Il secondo valore, 'e', è un coefficiente che tiene conto della dilatazione termica che subisce il fluido, pari circa a 0,04.

$$E = e * C = 0,04 * 3000 = 120 \text{ l}$$

La pressione idrostatica è dovuta ai metri di colonna d'acqua dell'impianto che si trovano al di sopra del vaso, ed è pari a 0,9 bar, la pressione di precarica è stata assunta pari 0,6 bar, quindi il valore della pressione iniziale risulta essere pari a 1,5 bar.

La pressione di taratura è quella a cui è impostata la valvola di sicurezza, pari a 3,5 bar, [28] il battente idrostatico del dislivello che intercorre tra vaso e valvola, positivo se la

valvola è più in alto e viceversa se la valvola è più in basso del vaso, pari a $0,05 \text{ bar}$, quindi la pressione finale risulta essere pari a $4,45 \text{ bar}$.

$$V = \frac{E}{1 - \frac{p_i}{p_f}} = 181 \text{ l}$$

Il vaso di espansione sarà quindi di 200 l, appoggiato sul pavimento e con attacco al circuito in basso.



Figura 4.7 - Vaso di espansione [28]

È importante notare che se fosse presente un accumulo termico il vaso di espansione deve essere dimensionato anche in base al contenuto di fluido dell'accumulo stesso.

Pompa di circolazione

Per la pompa di circolazione per il caso invernale è stata considerata quella dimensionata per il caso estivo poiché è elettronica e quindi si può adattare alla variazione di flusso che è presente tra le due stagioni.

4.2.2. Caso 2: Pompa di calore

Selezionata una pompa di calore con caratteristiche adeguate alla richiesta termica è necessario analizzare i punti di funzionamento, inoltre anche per la pompa di calore va definito un posto nel quale posizionarla.

Esistono tre differenti tipologie di pompa di calore:

- Quelle che effettuano uno scambio termico con il terreno (geotermiche)
- Quelle che effettuano uno scambio termico con l'acqua di falda
- Quelle che effettuano uno scambio termico con l'aria dell'ambiente esterno.

Essendo un edificio esistente e senza terreni liberi vicino, la pompa di calore geotermica è da escludere poiché si dovrebbe creare un pozzo verticale per posizionare i condotti di scambio termico, ma questo risulta essere molto oneroso ed inoltre bisognerebbe chiedere permessi comunali e regionali.

Per lo scambio con l'acqua di falda si deve valutare la presenza di una falda sfruttabile e le eventuali problematiche autorizzative e tecniche per il prelievo di tale acqua.

L'ultima tipologia di pompa di calore presa in considerazione è quella che utilizza come mezzo di scambio l'aria esterna. Per questa bisogna assicurarsi che possa funzionare a basse temperature perchè il problema principale è che in caso di temperature esterne minori di zero c'è il rischio di formazione di ghiaccio sullo scambiatore esterno andando a diminuire l'efficienza della macchina, non garantendo la richiesta termica necessaria a soddisfare le condizioni di comfort interno. Una soluzione potrebbe essere quella di accoppiare la pompa di calore, che presenta rendimenti elevati, ad una caldaia a condensazione in modo da far subentrare quest'ultima in caso di temperature rigide.

4.2.3. Caso 3: Caldaia attualmente presente

Per il riscaldamento invernale sono attualmente presenti degli aerotermini, marca Sabiana, alimentati da un generatore di calore, marca Riello, in grado di soddisfare i fabbisogni richiesti. Oltre ai terminali è presente un generatore di calore interno che rilascia aria calda direttamente in ambiente ma non garantisce una distribuzione uniforme della temperatura quindi l'ottimale sarebbe rimuoverlo e sostituire gli aerotermini presenti, ormai datati e non performanti, con nuovi più prestazionali.

4.3. Capitolato tecnico

Con il seguente capitolato tecnico si vuole redigere un documento formale del progetto di climatizzazione della struttura in esame nel caso di edificio attuale senza apportare modifiche di miglioramento dell'involucro edilizio.

4.3.1. Premessa

Il principio fondamentale della richiesta di un progetto di climatizzazione industriale è il miglioramento delle condizioni climatiche interne in modo da garantire maggior comfort ai dipendenti. Attualmente non è presente alcun impianto di refrigerazione, ma attraverso monitoraggi durante il periodo estivo della temperatura percepita, si sono confermate le condizioni spesso sfavorevoli in cui il personale deve lavorare.

L'installazione di un impianto di raffrescamento e un miglioramento di quello di riscaldamento, attualmente non ottimale, garantisce miglior comfort termico, portando conseguenze positive sulla salute umana e sulla produttività dei lavoratori.

4.3.2. Descrizione dell'intervento

Generalità della struttura

La struttura, come precedentemente analizzato nel paragrafo 2.2, è situata a Monza. È un edificio datato con relative trasmittanze dei componenti dell'involucro edilizio elevate.

Gli ambienti da climatizzare sono due:

- L'edificio nel quale è presente l'officina
- L'edificio separato, dove è presente un laboratorio per il test di macchine per separazione di fluidi

Tipologia dell'intervento

Con questo studio si vuole arrivare a definire la corretta modalità di installazione di una pompa di calore, pompe, terminali, linee di distribuzione e apparecchiature necessarie al completamento dell'installazione dell'impianto di raffrescamento estivo e al miglioramento di quello invernale attualmente presente. Vengono inoltre stabiliti i principi fondamentali che gli impianti meccanici devono possedere ai fini di una corretta progettazione ed esecuzione secondo criteri di sicurezza e di funzionalità, nel rispetto delle vigenti normative.

Leggi, decreti e norme UNI

Le opere descritte nel progetto sono finalizzate all'osservanza di tutte le leggi, decreti e norme attualmente in vigore.

- *CIRC N°203 del 27/10/1964* centrali termiche;
- *D.M.21/11/1972* norme per la costruzione di apparecchi a pressione;
- *UNICTI 7357-74* calcolo del fabbisogno termico;
- *UNICTI 5364-76* impianti di riscaldamento ad acqua calda;
- *DM 12/12/85* norme tecniche relative alle tubazioni e relative circolari di integrazione;
- *UNI 8364/84* Impianti di riscaldamento – controllo e manutenzione;
- *UNI 9317/89* Impianti di riscaldamento – conduzione e controllo;
- *UNI 9023* Misuratori di energia termica – Installazione, impiego, manutenzione;
- *UNI 9681-1990* Accessori per impianti di ventilazione;
- *LEGGE 05/03/90 N°46* norme per la sicurezza degli impianti;
- *LEGGE 09/01/1991 N°10* uso razionale dell'energia;
- *UNI 10339* Impianti di condizionamento dell'aria;
- *UNI EN 10255* Tubi saldati in acciaio serie normale, media, pesante;
- Regolamenti edilizi locali.

4.3.3. Prescrizioni e condizioni generali

In questo paragrafo dovrebbero essere elencati riferimenti per:

- Prescrizioni tecniche generali
- Modifiche al progetto
- Realizzazione delle opere
- Assicurazione e sicurezza sul lavoro
- Condotta dei lavori e responsabilità civili
- Responsabilità delle parti e prezzi pattuiti
- Oneri a carico dell'appaltatore e dell'azienda

Tuttavia, non saranno di seguito riportate in quanto esulano dallo scopo finale della tesi.

4.3.4. Descrizione delle opere e dei materiali

Demolizione di parte dell'attuale impianto termo idraulico

La ditta dovrà procedere alle seguenti attività:

- Smantellamento degli aerotermini presenti nella struttura
- Smantellamento dei generatori di aria calda interni
- Demolizione dell'attuale circuito secondario
- Allontanamento e smaltimento secondo normative vigenti di tutti i rottami derivanti
- Demolizione e smaltimento secondo normative vigenti dell'impianto elettrico rimosso durante lo smantellamento impianto

Verifica della centrale termica

La ditta dovrà procedere alle seguenti attività di verifica della centrale termica:

- Stato caldaie
- Valutazione condotti fumi
- Valutazione tubi idrici e connessioni
- Vasi di espansione
- Valvolame

Installazione pompa di calore

Il gruppo refrigeratore dovrà rispondere alle norme europee di sicurezza macchinari ed apparecchiature elettriche (EN 60204-1), alla direttiva compatibilità elettromagnetica (89/336/CEE), alle norme "Bassa Tensione" (73/23/CEE), alla direttiva macchine (89/392/CEE), dovrà essere marcato CE, nel rispetto della normativa PED per apparecchi a pressione. [29]

La ditta dovrà procedere all'installazione di una pompa di calore con raffreddamento ad aria sul tetto della struttura prossima all'officina. Dovrà essere ad alta efficienza, silenziata e in grado di soddisfare i fabbisogni estivi (400 kW), presentare un orologio programmatore per poter impostare delle fasce orarie, avere sistemi che permettano la termoregolazione.

Accumulo termico

La ditta dovrà procedere all'installazione di un accumulo termico per permettere di soddisfare i fabbisogni estivi nel caso l'impianto si dovesse spegnere per 2h. Dovrà essere dotato di un rivestimento esterno per essere posto all'esterno e avere strati di coibentazione per trattenere la temperatura ed evitare la condensa.

Il dimensionamento è ottenuto ipotizzando di voler soddisfare la richiesta energetica nel caso la pompa di calore rimanga spenta per 2h.

$$E = 420 * 3600 = 1512 \text{ MJ/giorno}$$

Equazione 4.15 – Energia richiesta in un giorno

$$V = \frac{E}{c_{p_acqua} * \rho * \Delta T} = \frac{1512 * 10^9}{4186 * 1000 * 5} = 72241 \text{ l}$$

Equazione 4.16 - Volume per soddisfare l'energia giornaliera richiesta

$$V = V/12 = 6020 \text{ l}$$

Equazione 4.17 - Volume per soddisfare due ore di richiesta

$$V_{\text{accumulo, aerotermini}} = V - V_{\text{impianto}} = 1459 \text{ l}$$

$$V_{\text{accumulo, turbodiffusori}} = V - V_{\text{impianto}} = 3000 \text{ l}$$

Equazione 4.18 - Volumi accumulo nei due casi

Componenti INAIL

L'impianto dovrà essere dotato di:

- Vaso di espansione
- Valvola di sicurezza
- Pressostato di minima
- Pressostato di massima
- Pozzetto termometrico
- Manometro flangia prova termometro
- Valvola di scarico termico

Quadro elettrico di potenza e controllo

Il quadro elettrico di potenza e di regolazione a bordo gruppo sarà costruito secondo le vigenti norme CEI, con accessibilità dall'esterno, completo di sezionatore di linea, trasformatore per correnti ausiliari e con protezione elettrica adeguata al tipo di impiego. La sezione elettrica si dovrà comunque attenere a quanto prescritto dalle norme CE 89/392/CEE (direttive macchine); 89/336/CEE (direttiva compatibilità elettromagnetica); 73/23/CEE (direttiva bassa tensione). [29]

Dimensionamento valvola di sicurezza

Potenza termica da considerare: 325 kW

Pressione massima di esercizio impianto: 6 bar

Pressione di funzionamento impianto: 1,50 bar

Portata di scarico valvola [26]: $Q = \frac{P}{0,58} = \frac{325}{0,58} = 560,34 \text{ kg/h}$

In funzione della portata di scarico e della potenza termica in riscaldamento, si è deciso di prevedere una valvola di sicurezza qualificata INAIL tarata a 3,5 bar, diametro 1", portata di scarico 984,23 kg/h e potenza termica massima pari a 572,30 kW.

Vaso di espansione circuito secondario

Caso a

C è il contenuto di acqua nell'impianto e nell'accumulo inerziale pari a 6061 l.

$$E = e * C = 0,04 * 6061 = 242 \text{ l}$$

La pressione idrostatica è dovuta ai metri di colonna d'acqua dell'impianto che si trovano al di sopra del vaso, ed è pari a 0,9 bar, la pressione di precarica è stata assunta pari 0,6 bar, quindi il valore della pressione iniziale risulta essere pari a 1,5 bar.

La pressione di taratura è quella a cui è impostata la valvola di sicurezza, pari a 3,50 bar, [28] il battente idrostatico del dislivello che intercorre tra vaso e valvola, positivo se la valvola è più in alto e viceversa se la valvola è più in basso del vaso, pari a 0,05 bar, quindi la pressione finale risulta essere pari a 4,45 bar.

$$V = \frac{E}{1 - \frac{p_i}{p_f}} = 365 \text{ l}$$

Caso b

C è il contenuto di acqua nell'impianto e nell'accumulo inerziale pari a 6016 l .

$$E = e * C = 0,04 * 6016 = 240 \text{ l}$$

La pressione idrostatica è dovuta ai metri di colonna d'acqua dell'impianto che si trovano al di sopra del vaso, ed è pari a $0,9 \text{ bar}$, la pressione di precarica è stata assunta pari $0,6 \text{ bar}$, quindi il valore della pressione iniziale risulta essere pari a $1,5 \text{ bar}$.

La pressione di taratura è quella a cui è impostata la valvola di sicurezza, pari a $3,5 \text{ bar}$, [28] il battente idrostatico del dislivello che intercorre tra vaso e valvola, positivo se la valvola è più in alto e viceversa se la valvola è più in basso del vaso, pari a $0,05 \text{ bar}$, quindi la pressione finale risulta essere pari a $4,45 \text{ bar}$.

$$V = \frac{E}{1 - \frac{p_i}{p_f}} = 362 \text{ l}$$

Installazione condotti acqua calda e fredda

Le tubazioni dovranno essere in acciaio e conformi alla norma UNI EN 10255, inoltre avranno una marcatura per individuare la serie di appartenenza.

Prima di essere posti in opera tutti i tubi dovranno essere accuratamente puliti ed inoltre in fase di montaggio le loro estremità libere dovranno essere protette per evitare l'intromissione accidentale di materiali che possano in seguito provocarne l'ostruzione.

Tutte le tubazioni dovranno essere contraddistinte da apposite targhette che indichino il circuito di appartenenza, la natura del fluido convogliato e la direzione del flusso. Diverse tonalità dello stesso colore dovranno indicare diverse temperature di uno stesso fluido. Il senso di flusso del fluido trasportato sarà indicato mediante una freccia situata in prossimità del colore distintivo di base.

Tutte le tubazioni dovranno essere adeguatamente coibentate, per evitare perdita di calore in inverno e assorbimento in estate, con guaine flessibili. [29]

Terminali

Caso a

Installazione di 19 aerotermini con le seguenti caratteristiche: a due tubi, con bacinella per raccolta condensa, potenza sensibile massima estiva $17,75 \text{ kW}$ per un salto di temperatura dell'acqua pari a $7-12 \text{ °C}$. Livello sonoro alla distanza di 5 m pari a 60 dB .

Installazione di 3 ventilconvettori con le seguenti caratteristiche: a due tubi, con bacinella per raccolta condensa, potenza sensibile massima estiva $7,42 \text{ kW}$ per un salto di temperatura dell'acqua pari a $7-12 \text{ }^\circ\text{C}$.

Caso b

Installazione di 8 turbodiffusori, capacità massima sensibile estiva pari a $40,5 \text{ kW}$ per una temperatura dell'acqua tra $8 \text{ e } 14 \text{ }^\circ\text{C}$. Livello sonoro alla distanza di 5 m pari a 59 dB .

Installazione di 3 ventilconvettori con le seguenti caratteristiche: a due tubi, con bacinella per raccolta condensa, potenza sensibile massima estiva $7,42 \text{ kW}$ per un salto di temperatura dell'acqua pari a $7-12 \text{ }^\circ\text{C}$.

Pompa di circolazione

La ditta dovrà installare una pompa di circolazione per garantire prevalenza e portata richiesta. Essa dovrà avere le seguenti caratteristiche: auto adattamento alla situazione presente, controllo della pressione proporzionale, controllo della pressione costante, controllo della temperatura costante, riduzione notturna di potenza, protezione termica integrata, ampio intervallo di temperature (temperatura liquido e temperatura ambiente sono gestite in maniera separata).

Caso con installazione degli aerotermi

La disposizione degli aerotermi si vede in Figura 4.8, nel caso estivo sono tutti utilizzati, mentre in quello invernale verrà chiusa la dorsale centrale e altri terminali non verranno azionati.

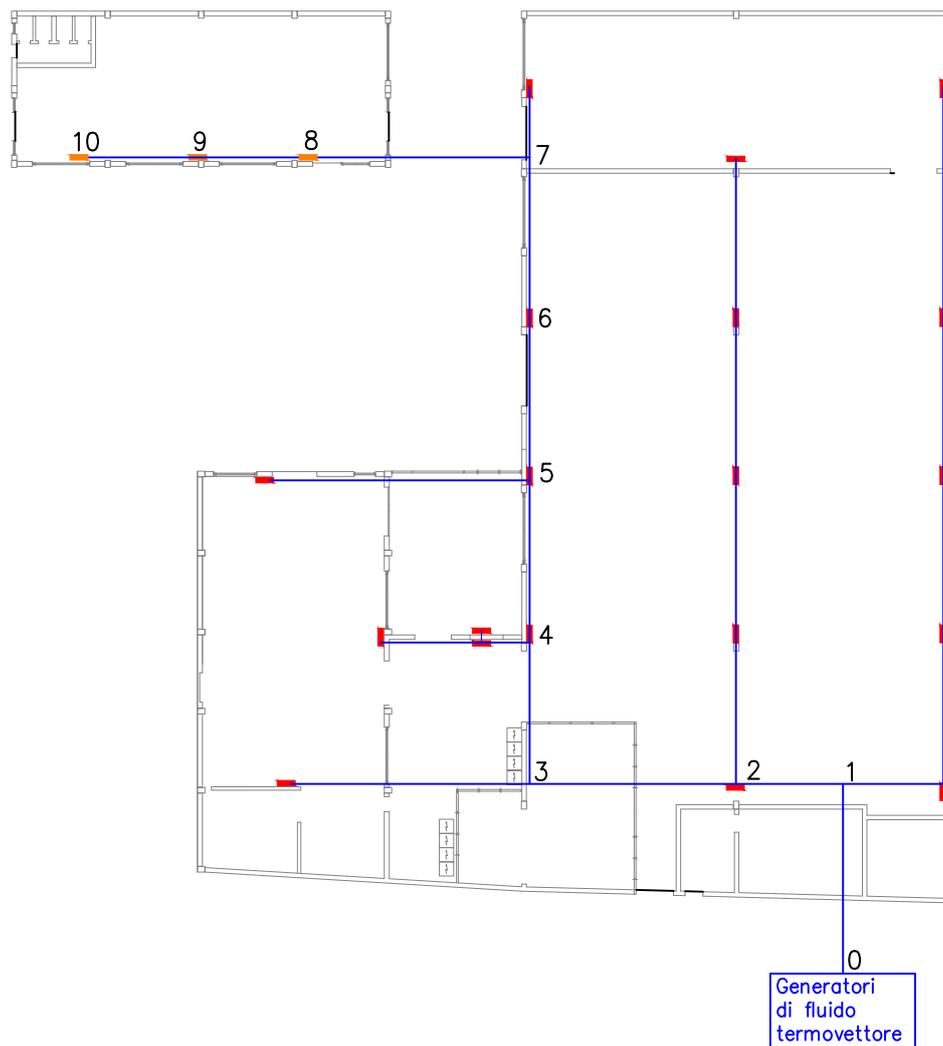


Figura 4.8 - Distribuzione aerotermi

DISTRIBUITE			
	L [m]	$\Delta P/L$ [Pa/m]	ΔP [Pa]
0--1	30	110	3300
1--2	6	150	897,9
2--3	11,5	200	2305,6
3--4	8	160	1273,6
4--5	9,1	400	3650,8
5--6	9,1	250	2282,25
6--7	9,1	160	1449,12
7--8	12,3	230	2829
8--9	6,3	400	2520
9--10	6,5	210	1371,72

Tabella 4.2 - Perdite di carico distribuite aerotermi, struttura esistente

CONCENTRATE				
Nodo	CURVA	Quantità	mm C.a.	Tot
0	Γ	3	100	300
1	T	1	100	100
2	T	2	100	200
3	T	1	73	73
4	T	2	130	260
5	T	2	100	200
6	T	1	100	100
7	T	2	73	146
8	T	1	100	100
9	T	1	100	100
10	Γ	1	100	100

Tabella 4.3 – Perdite di carico concentrate aerotermini, struttura esistente

Aggiungendo le perdite collegate ai terminali e alla valvola di bilanciamento e intercettazione, la somma complessiva è pari a $10,8 \text{ m C.a.}$ e una portata di $88 \text{ m}^3/\text{h}$.

Caso con installazione dei turbodiffusori

La disposizione dei terminali si vede in Figura 4.5, nel caso estivo sono tutti utilizzati, mentre in quello invernale alcuni terminali non verranno azionati.

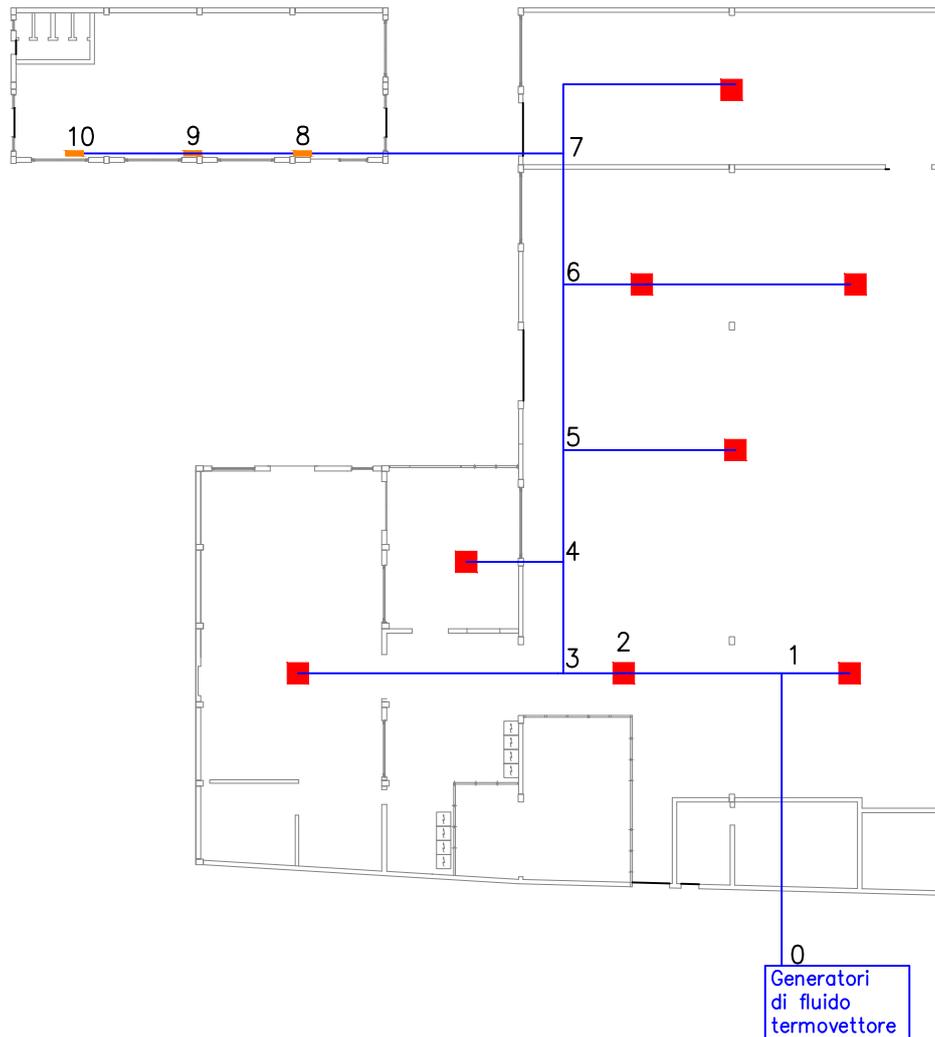


Figura 4.9 - Distribuzione turbodiffusori

DISTRIBUITE			
	L [m]	$\Delta P/L$ [Pa/m]	ΔP [Pa]
0--1	30	110	3300
1--2	8,8	190	1679,03
2--3	3,4	160	546,72
3--4	6,3	300	1891,2
4--5	6,3	240	1518
5--6	9,4	150	1405,5
6--7	7,4	140	1037,68
7--8	14,7	230	3382,38
8--9	6,2	400	2460,8
9--10	6,5	210	1375,08

Tabella 4.4 - Perdite di carico distribuite turbodiffusori, struttura esistente

CONCENTRATE				
Nodo	CURVA	Quantità	mm C.a.	Tot
0	Γ	3	100	300
1	T	1	100	100
2	T	1	100	100
3	T	1	100	100
4	T	1	100	100
5	T	1	100	100
6	T	1	100	100
7	T	1	100	100
8	T	1	100	100
9	T	1	100	100
10	Γ	1	100	100

Tabella 4.5 - Perdite di carico concentrate turbodiffusori, struttura esistente

Aggiungendo le perdite collegate ai terminali e alla valvola di bilanciamento e intercettazione, la somma complessiva è pari a $6,7 \text{ m C.a.}$ e una portata di $87,5 \text{ m}^3/\text{h}$.

Barriere a lame d'aria

La ditta dovrà installare delle barriere a lame d'aria con un lancio di almeno 5 m per contrastare l'ingresso o la fuoriuscita di aria dalle varie aperture presenti nell'edificio, caratterizzate da prestazioni elevate e possibilità di installazione orizzontale. La barriera a lame d'aria deve avere staffe di fissaggio in modo da garantire il corretto orientamento per contrastare al meglio l'entrata o l'uscita di aria.

Nell'Allegato 7 si può vedere la disposizione.

4.3.5. Allegati

- 1_Pianta edificio
- 2_Schema funzionale
- 3a_Condotti aerotermini
- 4a_Quote circuito aerotermini
- 5a_Condotti turbodiffusori
- 6a_Quote circuito turbodiffusori
- 7_Barriere a lame d'aria

4.3.6. Computo metrico estimativo

OPERE		DESCRIZIONE	#	LUNG
Opere di smantellamento	Aerotermi	Smantellamento + smaltimento secondo le normative vigenti		
	Generatori di aria calda	Smantellamento + smaltimento secondo le normative vigenti		
	Circuito distribuzione dell'acqua	Smantellamento + smaltimento secondo le normative vigenti		
Pompa di calore		<p>Pompa di calore reversibile da esterno per la produzione di acqua refrigerata / riscaldata con le seguenti caratteristiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> - compressori ad alta efficienza - ventilatori assiali - batterie esterne in rame con alette in alluminio - basamento e struttura trattati con soluzioni anticorrosive - valvola termostatica elettronica per funzionare a carichi parziali - orologio di programmazione - termoregolazione - regolazione continua dei ventilatori - potenza frigorifera richiesta 420 kW - salto termico 5°C - temperatura circuito freddo 7-12 °C - temperatura circuito caldo 40 - 45 °C 	1	
Giunto antivibrante		DN 150	2	
Gruppo INAIL		<ul style="list-style-type: none"> - Vaso di espansione + valvola di sicurezza - Pressostato di minima - Pressostato di massima - Pozzetto termometrico - Manometro flangia prova termometro - Valvola di scarico termico 	1	

Pompa di circolazione primaria		<p>Pompa di circolazione per circuito di refrigerazione con le seguenti caratteristiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> - prevalenza di 6 mCa - portata 90 m³ - auto adattamento al flusso - regolazione di pressione proporzionale - funzionamento a curva costante - sensore di pressione differenziale e temperatura 	2	
Pompa circolazione secondario	Aerotermi	<p>Pompa di circolazione per circuito di refrigerazione con le seguenti caratteristiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> - prevalenza di 10,8 mCa - portata 88 m³ - auto adattamento al flusso - regolazione di pressione proporzionale - funzionamento a curva costante - sensore di pressione differenziale e temperatura 	2	
	Turbodiffusori	<p>Pompa di circolazione per circuito di refrigerazione con le seguenti caratteristiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> - prevalenza di 6,7 mCa - portata 87,5 m³ - auto adattamento al flusso - regolazione di pressione proporzionale - funzionamento a curva costante - sensore di pressione differenziale e temperatura 	2	
Accumulo	Aerotermi	<p>Serbatoio inerziale per l'accumulo di acqua dell'impianto con le seguenti caratteristiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> - capacità pari a circa 1500 l - strati isolanti con elastomero anticondensa e asportabili - predisposti a poter usare sonde di misura 	1	
	Turbodiffusori	<p>Serbatoio inerziale per l'accumulo di acqua dell'impianto con le seguenti caratteristiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> - capacità pari a circa 3000 l - strati isolanti con elastomero anticondensa e asportabili - predisposti a poter usare sonde di misura 	1	
Vaso di espansione nel circuito secondario	Aerotermi	<ul style="list-style-type: none"> - 500l - valvola di sicurezza tarata a 4 bar 	1	

	Turbodiffusori	- 5001 - valvola di sicurezza tarata a 4 bar	1	
Quadro elettrico			1	
Terminali	Aerotermi	Aerotermi con predisposizione al condizionamento e al riscaldamento con le seguenti caratteristiche: - scarico condensa - potenza sensibile estiva pari a 18 kW con temperatura dell'acqua 7/12 °C - potenza invernale pari a 34,5 kW con temperatura dell'acqua 45/40 °C - altezza di azione 5 m - DN 1 1/4"	19	
	Turbodiffusori	Turbodiffusori con predisposizione al condizionamento e al riscaldamento con le seguenti caratteristiche: - scarico condensa - filtro per pulizia dell'aria interna - diffusione dell'aria con air injector - potenza sensibile estiva pari a 40,5 kW con temperatura dell'acqua 8/14 °C - potenza invernale pari a 75,1 kW con temperatura dell'acqua 45/40 °C - altezza di azione 5 m - DN 2"	7	
	Ventilconvettori	Ventilconvettori con predisposizione al condizionamento e al riscaldamento con le seguenti caratteristiche: - scarico condensa - potenza sensibile estiva pari a 5,87 kW con temperatura dell'acqua 7/12 °C - potenza invernale pari a 8,52 kW con temperatura dell'acqua 45/40 °C - DN 1/2"	3	
Barriere a lama d'aria		Barriere a lama d'aria per contrastare l'aria esterna con le seguenti caratteristiche: - lunghezza 2,5 m - altezza installazione 5 m - installazione orizzontale - senza riscaldamento	7	

Valvole di intercettazione e bilanciamento	Caso con aerotermi	- 1 per ogni terminale - per pompa di circolazione circuito primario	23	
	Caso con turbodiffusori	- 1 per ogni terminale - per pompa di circolazione circuito primario	11	
Valvole di intercettazione	Caso con aerotermi	- 1 per ogni terminale - per pompa di circolazione circuito primario - 1 per pompa di circolazione circuito secondario - 5 per accumulo inerziale	30	
	Caso con turbodiffusori	- 1 per ogni terminale - per pompa di circolazione circuito primario - 1 per pompa di circolazione circuito secondario - 5 per accumulo inerziale	17	
Sensore temperatura			8	
Tubi + isolante	Caso con aerotermi	DN 150 125 100 80 65 50 40 32 15		lunghezza 30,0 6,0 25,1 25,9 65,6 12,3 6,3 69,7 15,5
	Caso con turbodiffusori	DN 150 125 100 80 65 50 40 32 15		lunghezza 30,0 12,3 22,0 11,8 55,2 18,7 6,2 0,0 15,5

5. Analisi degli interventi migliorativi

Nel paragrafo 3.5 sono stati descritti alcuni interventi migliorativi, il seguente capitolo confronterà le varie soluzioni proposte mediante un'analisi economica ed energetica.

L'analisi dei dati verrà svolta considerando l'edificio allo stato attuale e l'impianto termico come descritto nel paragrafo 4.3.4.

5.1.1. Coibentazione superfici opache verticali verso l'esterno

L'installazione di una coibentazione delle pareti verticali opache (*cappotto esterno*) comporta la riduzione del fabbisogno energetico dello stabile poichè riduce i valori di trasmittanza delle superfici opache verticali che allo stato attuale risultano essere elevate. Le pareti sottoposte a questo tipo di miglioramento potranno essere solo quelle delimitanti zone interne all'azienda.

Si può ipotizzare di realizzare un cappotto composto da uno strato isolante di lana di vetro, intonacato esternamente per la copertura dello stesso. Introducendolo si varia la stratigrafia dei muri ottenendo così una trasmittanza pari a: $0,288 \frac{W}{m^2K}$.

La Tabella 5.1 riporta i valori di risparmio energetico ottenibili sia come potenza istantanea, nelle condizioni di progetto, sia come energia durante la stagione di climatizzazione considerata.

Servizio	Fabbisogno energetico di energia primaria [MWh/anno]		Riduzione del fabbisogno energetico di energia primaria [%]	Potenza di picco futura [kW]
	Attuale	Futuro		
Riscaldamento	254	225	11,4 %	305
Raffrescamento	36	36	0 %	398

Tabella 5.1 - Fabbisogni energia primaria e riduzioni %

5.1.2. Sostituzione dei serramenti

Di seguito si descrive la sostituzione di tutti i componenti finestrati mediante l'utilizzo di doppi vetri e telaio in alluminio, con opportune configurazioni per ridurre i ponti termici. I nuovi valori di trasmittanze ottenuti sono:

Descrizione	H [cm]	L [cm]	Uw [W/m ² K]	Agf [m ²]	Lgf [m]
Finestra 240x165	165,0	240,0	1,470	3,657	21,920
Finestra 120x65	65,0	120,0	1,419	0,708	3,540
Finestra 270x200	200,0	270,0	1,819	4,700	58,840
Finestra 80x40	40,0	80,0	1,592	0,274	2,240
Finestra 180x135	135,0	180,0	1,529	2,210	15,520
Finestra 200x150	150,0	200,0	1,385	2,803	12,600
Finestra soffitto 200x250	250,0	200,0	1,224	4,822	8,840
Finestra 400x360	360,0	400,0	1,463	13,446	79,240
Finestra soffitto 615x205	205,0	615,0	1,231	12,201	24,200
Finestra 300x100	100,0	300,0	1,365	2,803	11,600
Finestra 330x184	184,0	330,0	1,547	5,554	40,960
Finestra 700x150	150,0	700,0	1,602	9,520	79,600

Tabella 5.2 - Valori caratteristici serramenti sostitutivi

La Tabella 5.3 riporta i valori di risparmio energetico ottenibili sia come potenza istantanea nelle condizioni di progetto sia come energia durante la stagione di climatizzazione considerata.

Servizio	Fabbisogno energetico di energia primaria [MWh/anno]		Riduzione del fabbisogno energetico di energia primaria [%]	Potenza di picco futura [kW]
	Attuale	Futuro		
Riscaldamento	254	241	5,1 %	301
Raffrescamento	36	32	11,1 %	395

Tabella 5.3 - Fabbisogni energia primaria e riduzioni %

5.1.3. Coibentazione delle superfici opache orizzontali

La coibentazione delle superfici orizzontali opache (soffitto) deve essere divisa in due: una per la parte del laboratorio e una per la parte dell'officina poichè sono caratterizzati da coperture differenti. Il primo ha una copertura piana sulla quale si può installare uno strato di poliestere con relativa guaina impermeabilizzante. Per il tetto dell'officina la questione è più complicata in quanto la superficie è curva e bisogna valutare se convenga applicare la coibentazione dall'interno o dall'esterno. Nel primo caso basterebbe uno strato di poliestere, nel secondo bisognerebbe aggiungere l'impermeabilizzante. Per il calcolo è stata considerata la coibentazione esterna.

La Tabella 5.4 riporta i valori di risparmio energetico ottenibili sia come potenza istantanea nelle condizioni di progetto sia come energia durante la stagione di climatizzazione considerata:

Servizio	Fabbisogno energetico di energia primaria [MWh/anno]		Riduzione del fabbisogno energetico di energia primaria [%]	Potenza di picco futura [kW]
	Attuale	Futuro		
Riscaldamento	254	121	52,4 %	186
Raffrescamento	36	22	38,9 %	328

Tabella 5.4 - Fabbisogni energia primaria e riduzioni percentuali

5.1.4. Considerazioni finali sugli interventi migliorativi

Per definire quali miglioramenti siano efficaci da un punto di vista energetico-economico sono stati valutati i casi sopra descritti e combinazioni degli stessi:

1. Applicazione del cappotto esterno
2. Installazione nuovi serramenti
3. Coibentazione delle coperture
4. Applicazione del cappotto esterno e installazione di nuovi serramenti
5. Applicazione del cappotto esterno e coibentazione delle coperture
6. Coibentazione delle coperture e installazione di nuovi serramenti
7. Applicazione del cappotto esterno, installazione di nuovi serramenti e coibentazione delle coperture

Dopo aver creato sul *software* EC700 di EdilClima [1] gli scenari elencati, è stato possibile definire i fabbisogni energetici di energia primaria invernali ed estivi e quindi valutarne le riduzioni rispetto al caso reale ottenendo la Tabella 5.5.

		Fabbisogno [MWh/anno]		Risparmio [%]	
		Inverno	Estate	Inverno	Estate
1	Applicazione del cappotto esterno	225	36	11,4%	0%
2	Installazione nuovi serramenti	241	32	5,1%	11,1%
3	Coibentazione delle coperture	121	22	52,4%	38,9%
4	Applicazione del cappotto esterno e installazione di nuovi serramenti	213	33	16,1%	8,3%
5	Applicazione del cappotto esterno e coibentazione delle coperture	98	25	61,4%	30,6%
6	Coibentazione delle coperture e installazione di nuovi serramenti	106	21	58,3%	41,7%
7	Applicazione del cappotto esterno, installazione di nuovi serramenti e coibentazione delle coperture	86	22	66,1%	38,9%

Tabella 5.5 - Risparmi con possibili miglioramenti

L'analisi dei risultati ottenuti dimostra come la coibentazione della copertura, rispetto i primi tre casi, comporti la maggiore riduzione percentuale del fabbisogno di energia primaria da parte dello stabile.

Ovviamente per definire la convenienza o meno di una soluzione rispetto ad un'altra è stata svolta un'analisi economica, stimando i costi per la riqualificazione dello stabile [2].

	Costo intervento [€/m ²]	Superfici [m ²]	Materiale
Applicazione del cappotto esterno (con il ponteggio)	90	530	Lana di vetro
Installazione nuovi serramenti	250	220	Vetro doppio, telaio in alluminio
Coibentazione delle coperture	100	1754	Poliestere

Tabella 5.6 - Costi per unità di superficie degli interventi

		Costo intervento [€]
1	Applicazione del cappotto esterno	47700
2	Installazione nuovi serramenti	55000
3	Coibentazione delle coperture	175400
4	Applicazione del cappotto esterno e installazione di nuovi serramenti	102700
5	Applicazione del cappotto esterno e coibentazione delle coperture	223100
6	Coibentazione delle coperture e installazione di nuovi serramenti	230400
7	Applicazione del cappotto esterno, installazione di nuovi serramenti e coibentazione delle coperture	278100

Tabella 5.7 - Costi interventi migliorativi

Per valutare la convenienza economica degli investimenti relativi alla riduzione del fabbisogno energetico dello stabile, sono stati valutati indicatori economici specifici. Tutti i casi verranno analizzati considerando come indicatori economici il Valore attuale netto (VAN), il *Payback Time* semplice (PBT) ed il Tasso Interno di Rendimento (TIR) utilizzando le seguenti formule:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t}$$

Equazione 5.1 – VAN

Dove:

- V_t flusso di cassa nell'intervallo di tempo t (anni)
- I_0 investimento iniziale
- n numero periodi considerati (anni)
- k costo del capitale utilizzato
- i tasso di attualizzazione, composto da un tasso di interesse pari a 1,50 % ed un aumento dei costi del combustibile (metano e/o energia elettrica) pari a 0,50 %.

$$PBT = \frac{\text{Investimento}}{\text{Risparmio annuo}}$$

Equazione 5.2 – PBT

Il TIR si determina imponendo il VAN pari a zero.

$$TIR = -I_o + \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} = 0$$

Equazione 5.3 – TIR

Per la valutazione del Valore Attuale Netto (VAN) è stato considerato un tasso d'interesse pari al 1,50 % ed un aumento del costo dell'energia elettrica annuo pari a 0,50 % rispetto al costo odierno valutato pari a 240 €/MWh. La valutazione considera una vita tecnica pari a 15 anni.

La Tabella 5.8 riporta gli indicatori economici valutati per i casi sopra citati.

		PBT [anni]	TIR	VAN [anni]
1	Applicazione del cappotto esterno	7,12	10,64%	7,80
2	Installazione nuovi serramenti	---	-0,43%	---
3	Coibentazione delle coperture	5,21	16,91%	5,60
4	Applicazione del cappotto esterno e installazione di nuovi serramenti	10,05	4,96%	11,40
5	Applicazione del cappotto esterno e coibentazione delle coperture	5,81	14,58%	6,30
6	Coibentazione delle coperture e installazione di nuovi serramenti	6,16	13,38%	6,60
7	Applicazione del cappotto esterno, installazione di nuovi serramenti e coibentazione delle coperture	6,65	11,90%	7,20

Tabella 5.8 - Indicatori economici per i casi analizzati

Si evince come il caso della coibentazione delle coperture sia economicamente più conveniente, seguirà dunque un progetto per l'impianto di climatizzazione estiva ed invernale.

Per completezza di informazioni si riportano tabelle riassuntive ottenute dall'analisi dei vari casi.

Caso 1: Applicazione del cappotto esterno

Risparmio annuo	6.702,00	€/anno
Risparmio con detrazioni	0	€/anno
Costo intervento	35.775	€
Tempo di rientro (PBT)	5,34	anni
Tasso interno di rendimento (TIR)	16,38%	---
Valore attuale netto	5,8	anni

Tabella 5.9 - Indicatori economici caso 1

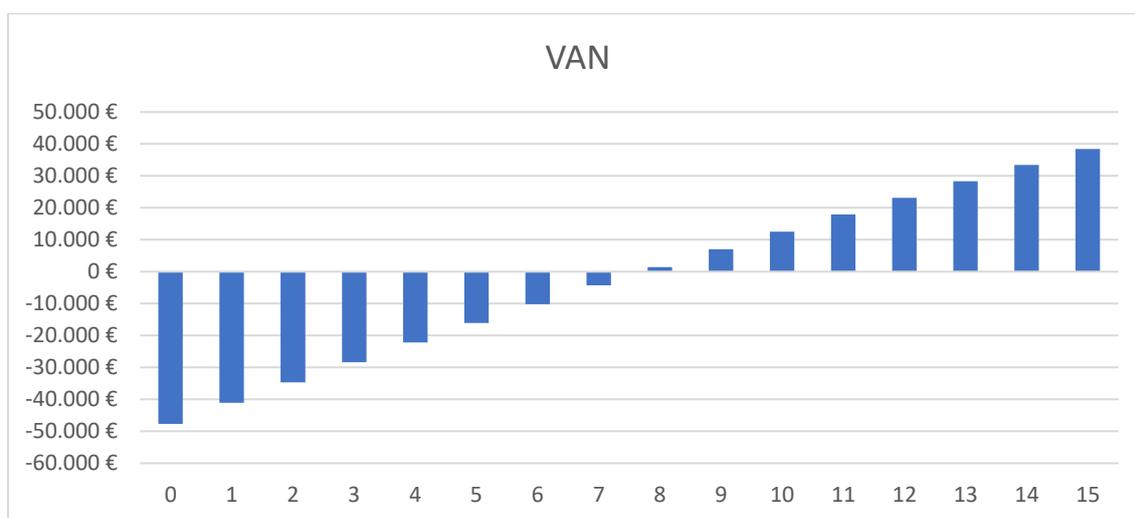


Figura 5.1 - VAN caso 1

Caso 2: Installazione nuovi serramenti

Risparmio annuo	3.687,00	€/anno
Risparmio con detrazioni	0	€/anno
Costo intervento	55.000	€
Tempo di rientro (PBT)	14,92	anni
Tasso interno di rendimento (TIR)	-0,43%	---
Valore attuale netto	---	anni

Tabella 5.10 - Indicatori economici caso 2

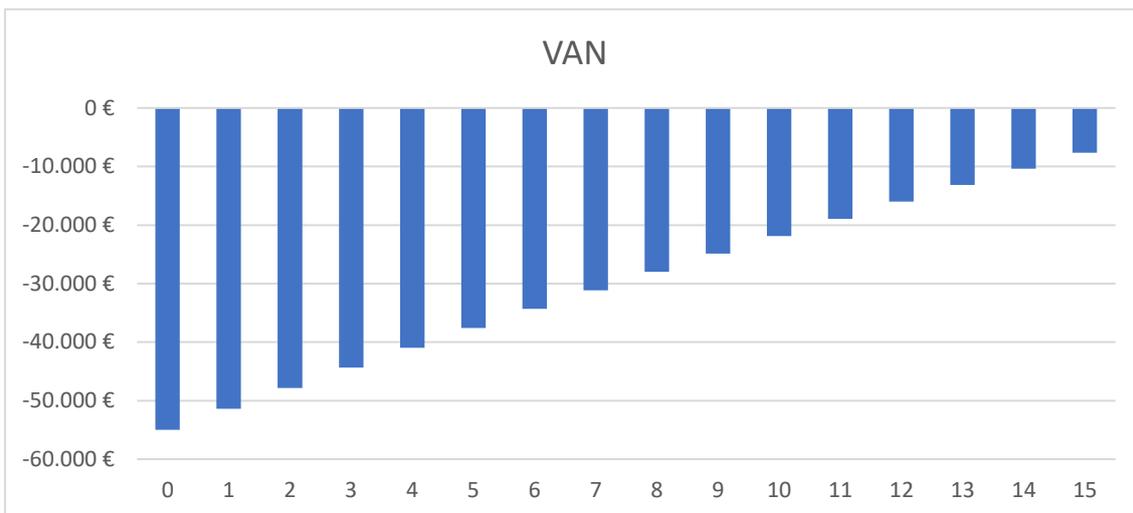


Figura 5.2 - VAN caso 2

Caso 3: Coibentazione delle coperture

Risparmio annuo	33.670,00	€/anno
Risparmio con detrazioni	0	€/anno
Costo intervento	175.400	€
Tempo di rientro (PBT)	5,21	anni
Tasso interno di rendimento (TIR)	16,91%	---
Valore attuale netto	5,6	anni

Tabella 5.11 - Indicatori economici caso 3

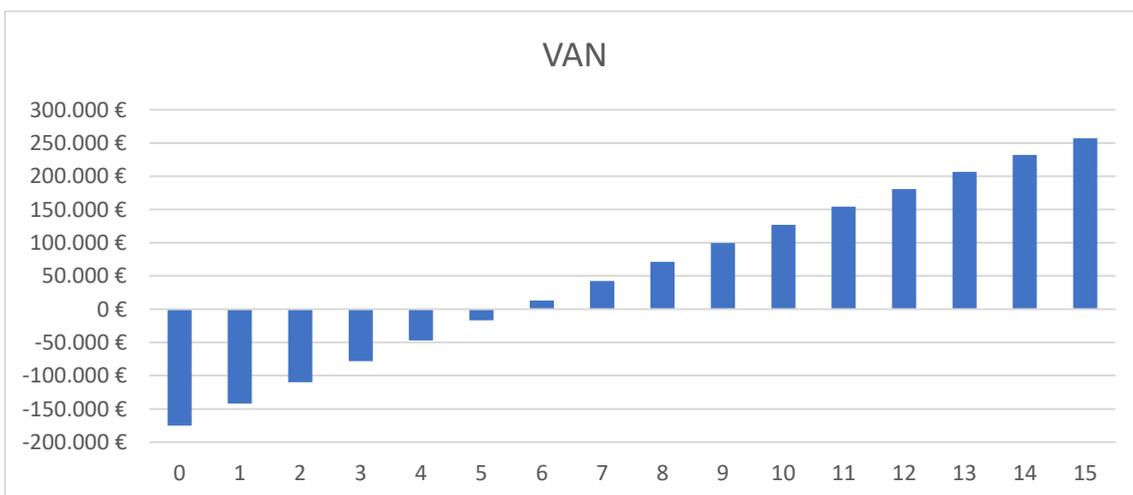


Figura 5.3 - VAN caso 3

Caso 4: Applicazione del cappotto esterno e installazione di nuovi serramenti

Risparmio annuo	10.221,00	€/anno
Risparmio con detrazioni	0	€/anno
Costo intervento	102.700	€
Tempo di rientro (PBT)	10,05	anni
Tasso interno di rendimento (TIR)	4,96%	---
Valore attuale netto	11,4	anni

Tabella 5.12 - Indicatori economici caso 4

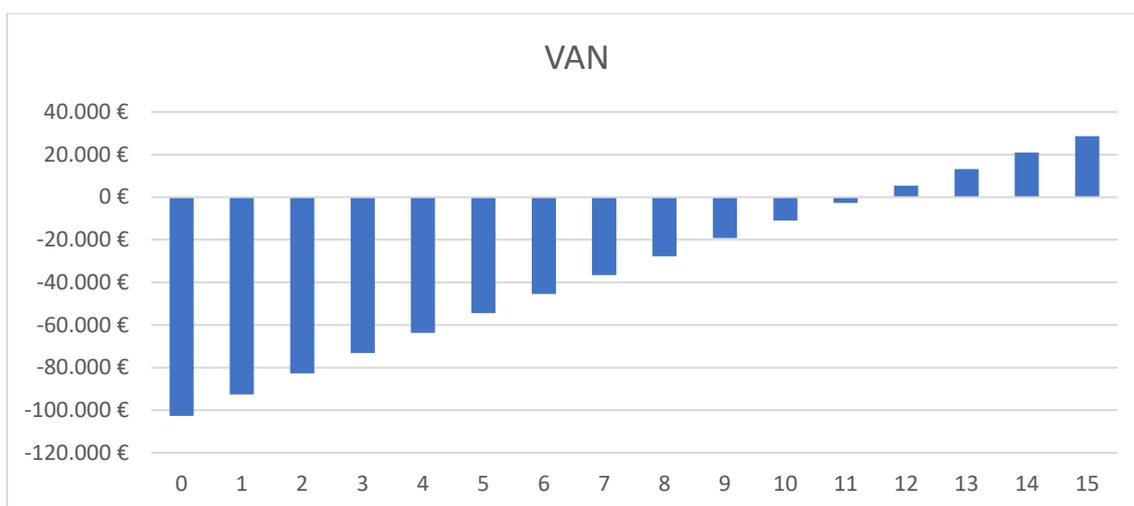


Figura 5.4 - VAN caso 4

Caso 5: Applicazione del cappotto esterno e coibentazione delle coperture

Risparmio annuo	38.421,00	€/anno
Risparmio con detrazioni	0	€/anno
Costo intervento	223.100	€
Tempo di rientro (PBT)	5,81	anni
Tasso interno di rendimento (TIR)	14,58%	---
Valore attuale netto	6,3	anni

Tabella 5.13 - Indicatori economici caso 5

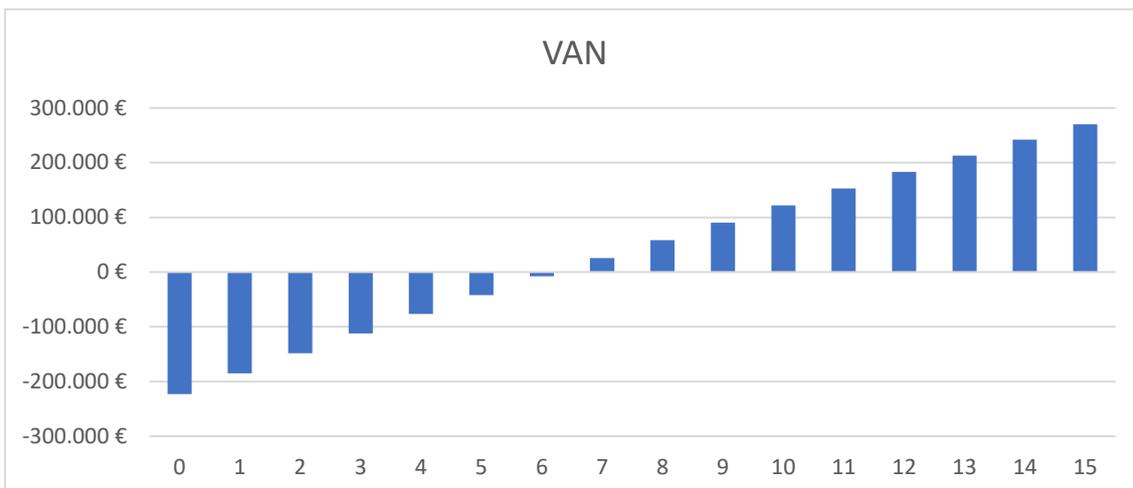


Figura 5.5 - VAN caso 5

Caso 6: Coibentazione delle coperture e installazione di nuovi serramenti

Risparmio annuo	37.383,00	€/anno
Risparmio con detrazioni	0	€/anno
Costo intervento	230.400	€
Tempo di rientro (PBT)	6,16	anni
Tasso interno di rendimento (TIR)	13,38%	---
Valore attuale netto	6,6	anni

Tabella 5.14 - Indicatori economici caso 6

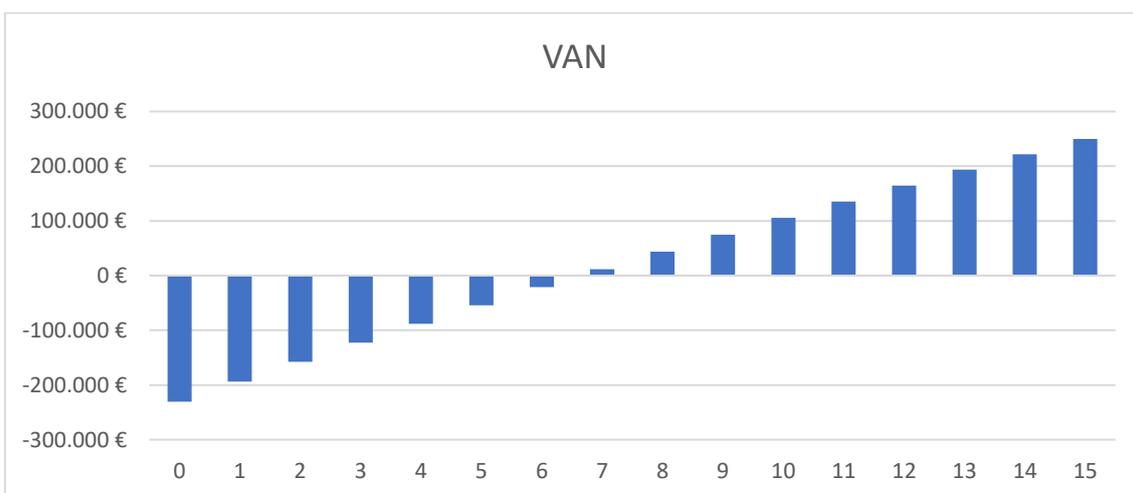


Figura 5.6 - VAN caso 6

Caso 7: Applicazione del cappotto esterno, installazione di nuovi serramenti e coibentazione delle coperture

Risparmio annuo	41.814,00	€/anno
Risparmio con detrazioni	0	€/anno
Costo intervento	278.100	€
Tempo di rientro (PBT)	6,65	anni
Tasso interno di rendimento (TIR)	11,90%	---
Valore attuale netto	7,2	anni

Tabella 5.15 - Indicatori economici caso 7

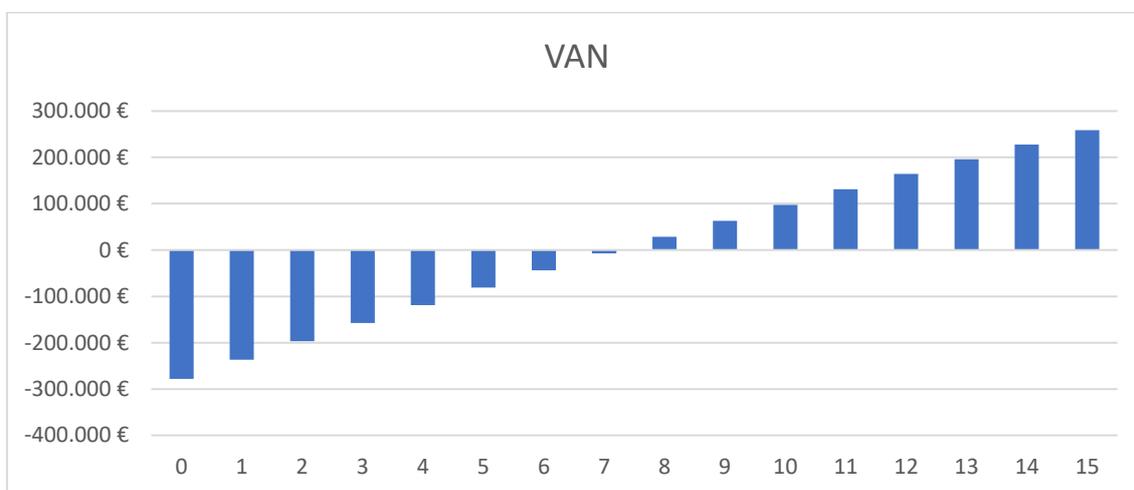


Figura 5.7 - VAN caso 7

Di seguito verranno progettati gli impianti in condizione invernale ed estiva per due diverse casistiche, in quanto il caso di struttura esistente senza interventi è stato valutato precedentemente:

- Coibentazione delle coperture, situazione con rendimento energetico-economico migliore
- Applicazione del cappotto esterno, installazione di nuovi serramenti e coibentazione delle coperture, situazione energeticamente migliore

6. Dimensionamento impianto con coibentazione delle coperture

Come detto precedentemente, la coibentazione delle coperture porta ad un miglioramento della trasmittanza termica delle stesse, garantendo una richiesta termica invernale ed estiva minore.

Le trasmittanze di tutti i componenti restanti sono pari a quelle descritte nel paragrafo 2.3, mentre quelle delle coperture risultano diminuite e pari a:

- Copertura inclinata $0,44 \frac{W}{m^2K}$
- Soffitto orizzontale $0,38 \frac{W}{m^2K}$

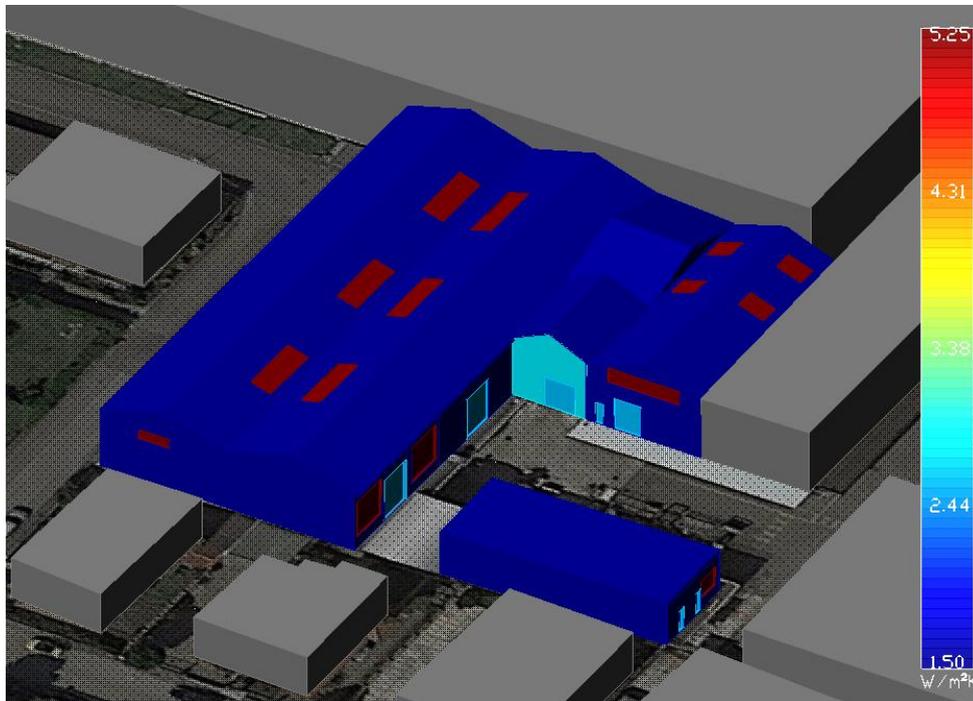


Figura 6.1 - Visualizzazione termografica migliorando le coperture

La potenza invernale totale è pari a 186 kW, nelle sue componenti si divide in:

- Potenza dispersa per trasmissione → 146 kW
- Potenza dispersa per ventilazione → 40 kW

La potenza estiva totale è pari a 328 kW, nelle sue componenti si divide in:

- Carico dovuto alla trasmissione → 35 kW
- Carico dovuto alla ventilazione → 58 kW
- Apporti solari → 57 kW
- Apporti interni → 178 kW

Il calore sensibile nel caso estivo è circa 287 kW, quindi nel caso di un impianto di climatizzazione ad aria con sistema di ventilazione a dislocamento la portata necessaria è circa 39 m³/s, che risulta essere ancora elevata per installare questa tipologia di impianto poichè i condotti dell'aria risulterebbero ancora troppo grandi e servirebbe un numero di diffusori elevato.

Il tipo di impianto da installare può essere paritetico a quello descritto nel paragrafo 4.3, con delle potenze inferiori ma con lo stesso principio di funzionamento e installazione, quindi con una pompa di calore installata sul tetto del locale adiacente all'officina e con aerotermini o turbodiffusori come terminali.

Il numero di terminali è minore e come conseguenza ci sarà una pompa con portata e prevalenza da gestire inferiore.

6.1. Capitolato tecnico

6.1.1. Premessa

Vedi paragrafo 4.3 Premessa

6.1.2. Descrizione dell'intervento

Vedi paragrafo 4.3 Descrizione dell'intervento

6.1.3. Prescrizioni e condizioni generali

Vedi paragrafo 4.3 Prescrizioni e condizioni generali

6.1.4. Descrizione delle opere e dei materiali

Demolizione di parte dell'attuale impianto termo idraulico

La ditta dovrà procedere alle seguenti attività:

- Smantellamento degli aerotermini presenti nella struttura
- Smantellamento dei generatori di aria calda interni
- Demolizione dell'attuale circuito secondario
- Allontanamento e smaltimento secondo normative vigenti di tutti i rottami derivanti
- Demolizione e smaltimento secondo normative vigenti dell'impianto elettrico rimosso durante lo smantellamento impianto

Verifica della centrale termica

La ditta dovrà procedere alle seguenti attività di verifica della centrale termica:

- Stato caldaie
- Valutazione condotti fumi
- Valutazione tubi idrici e connessioni
- Vasi di espansione
- Valvolame

Coibentazione delle superfici opache orizzontali

La ditta dovrà procedere alla coibentazione delle superfici opache orizzontali con le caratteristiche descritte nel paragrafo 5.1.3, seguendo le modalità di installazione definite nei protocolli *KlimaHouse*.

Installazione pompa di calore

Il gruppo refrigeratore dovrà rispondere alle norme europee di sicurezza macchinari ed apparecchiature elettriche (EN 60204-1), alla direttiva compatibilità elettromagnetica (89/336/CEE), alle norme “Bassa Tensione” (73/23/CEE), alla direttiva macchine (89/392/CEE), dovrà essere marcato CE, nel rispetto della normativa PED per apparecchi a pressione [29].

La ditta dovrà procedere all’installazione di una pompa di calore con raffreddamento ad aria sul tetto del laboratorio. Dovrà essere ad alta efficienza e silenziosa e in grado di soddisfare i fabbisogni estivi (328 kW), presentare un orologio programmatore in modo da poter impostare delle fasce orarie, avere sistemi che permettano la termoregolazione.

Accumulo termico

La ditta dovrà procedere all’installazione di un accumulo termico per permettere di soddisfare i fabbisogni estivi nel caso l’impianto si dovesse spegnere per 2h. Dovrà essere dotato di un rivestimento esterno per essere posto all’esterno e avere strati di coibentazione per trattenere la temperatura ed evitare la condensa.

Il dimensionamento è ottenuto ipotizzando di voler soddisfare la richiesta energetica nel caso la pompa di calore rimanga spenta per 2h.

$$E = 328 * 3600 = 1180 \text{ MJ/giorno}$$

Equazione 6.1 – Energia richiesta in un giorno

$$V = \frac{E}{c_{p_acqua} * \rho * \Delta T} = \frac{1180 * 10^9}{4186 * 1000 * 5} = 56378 \text{ l}$$

Equazione 6.2 - Volume per soddisfare l'energia giornaliera richiesta

$$V = V/12 = 4698 \text{ l}$$

Equazione 6.3 - Volume per soddisfare due ore di richiesta

$$V_{accumulo, \text{ aerotermi}} = V - V_{impianto} = 1066 \text{ l}$$

$$V_{accumulo, \text{ turbodiffusori}} = V - V_{impianto} = 2111 \text{ l}$$

Equazione 6.4 - Volumi accumulo nei due casi

Componenti INAIL

L'impianto dovrà essere dotato di:

- Vaso di espansione
- Valvola di sicurezza
- Pressostato di minima
- Pressostato di massima
- Pozzetto termometrico
- Manometro flangia prova termometro
- Valvola di scarico termico

Quadro elettrico di potenza e controllo

Il quadro elettrico di potenza e di regolazione a bordo gruppo sarà costruito secondo le vigenti norme CEI, con accessibilità dall'esterno, completo di sezionatore di linea, trasformatore per correnti ausiliari e con protezione elettrica adeguata al tipo di impiego. La sezione elettrica si dovrà comunque attenere a quanto prescritto dalle norme CE 89/392/CEE (direttive macchine); 89/336/CEE (direttiva compatibilità elettromagnetica); 73/23/CEE (direttiva bassa tensione) [29].

Dimensionamento valvola di sicurezza

Potenza termica da considerare: 186 kW

Pressione massima di esercizio impianto: 6 bar

Pressione di funzionamento impianto: 1,50 bar

Portata di scarico valvola [26]: $Q = \frac{P}{0,58} = \frac{186}{0,58} = 320,68 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$

In funzione della portata di scarico e della potenza termica in riscaldamento, si è deciso di prevedere una valvola di sicurezza qualificata INAIL tarata a 3,5 bar, diametro 3/4", portata di scarico 479,59 kg/h e potenza termica massima pari a 278,8 kW.

Vaso di espansione circuito secondario

Caso a

C è il contenuto di acqua nell'impianto e nell'accumulo inerziale pari a 4698 l.

$$E = e * C = 0,04 * 4698 = 187 \text{ l}$$

La pressione idrostatica è dovuta ai metri di colonna d'acqua dell'impianto che si trovano al di sopra del vaso, ed è pari a 0,9 bar, la pressione di precarica è stata assunta pari 0,6 bar, quindi il valore della pressione iniziale risulta essere pari a 1,5 bar.

La pressione di taratura è quella a cui è impostata la valvola di sicurezza, pari a 3,5 bar, [28] il battente idrostatico del dislivello che intercorre tra vaso e valvola, positivo se la valvola è più in alto e viceversa se la valvola è più in basso del vaso, pari a 0,05 bar, quindi la pressione finale risulta essere pari a 4,45 bar.

$$V = \frac{E}{1 - \frac{p_i}{p_f}} = 282 \text{ l}$$

Caso b

C è il contenuto di acqua nell'impianto e nell'accumulo inerziale pari a 4587 l.

$$E = e * C = 0,04 * 4587 = 183 \text{ l}$$

La pressione idrostatica è dovuta ai metri di colonna d'acqua dell'impianto che si trovano al di sopra del vaso, ed è pari a 0,9 bar, la pressione di precarica è stata assunta pari 0,6 bar, quindi il valore della pressione iniziale risulta essere pari a 1,5 bar.

La pressione di taratura è quella a cui è impostata la valvola di sicurezza, pari a 3,5 bar, [28] il battente idrostatico del dislivello che intercorre tra vaso e valvola, positivo se la valvola è più in alto e viceversa se la valvola è più in basso del vaso, pari a 0,05 bar, quindi la pressione finale risulta essere pari a 4,45 bar.

$$V = \frac{E}{1 - \frac{p_i}{p_f}} = 276 \text{ l}$$

Installazione condotti acqua calda e fredda

Le tubazioni dovranno essere in acciaio e conformi alla norma UNI EN 10255, inoltre avranno una marcatura per individuare la serie di appartenenza.

Prima di essere posti in opera tutti i tubi dovranno essere accuratamente puliti ed inoltre in fase di montaggio le loro estremità libere dovranno essere protette per evitare l'intromissione accidentale di materiali che possano in seguito provocarne l'ostruzione.

Tutte le tubazioni dovranno essere contraddistinte da apposite targhette che indichino il circuito di appartenenza, la natura del fluido convogliato e la direzione del flusso. Diverse tonalità dello stesso colore dovranno indicare diverse temperature di uno stesso fluido. Il senso di flusso del fluido trasportato sarà indicato mediante una freccia situata in prossimità del colore distintivo di base.

Tutte le tubazioni dovranno essere adeguatamente coibentate, per evitare perdita di calore in inverno e assorbimento in estate, con guaine flessibili [29].

Terminali

Caso a

Installazione di 15 aerotermini con le seguenti caratteristiche: a due tubi, con bacinella per raccolta condensa, potenza sensibile massima estiva 17,75 kW per una temperatura dell'acqua pari a 7-12 °C. Livello sonoro alla distanza di 5m pari a 60 dB.

Installazione di 3 ventilconvettori con le seguenti caratteristiche: a due tubi, con bacinella per raccolta condensa, potenza sensibile massima estiva 7,42 kW per un salto di temperatura dell'acqua pari a 7-12 °C.

Caso b

Installazione di 6 turbodiffusori, con capacità massima sensibile estiva pari a 40,5 kW per una temperatura dell'acqua tra 8 e 14 °C. Livello sonoro alla distanza di 5m pari a 59 dB.

Installazione di un aerotermino con le seguenti caratteristiche: a due tubi, con bacinella per raccolta condensa, potenza sensibile massima estiva 17,75 kW per una temperatura dell'acqua pari a 7-12 °C. Livello sonoro alla distanza di 5m pari a 60 dB.

Installazione di 3 ventilconvettori con le seguenti caratteristiche: a due tubi, con bacinella per raccolta condensa, potenza sensibile massima estiva 7,42 kW per un salto di temperatura dell'acqua pari a 7-12 °C.

Pompa di circolazione

La ditta dovrà installare una pompa di circolazione per garantire prevalenza e portata richiesta. Essa dovrà avere le seguenti caratteristiche: auto adattamento alla situazione presente, controllo della pressione proporzionale, controllo della pressione costante, controllo della temperatura costante, riduzione notturna di potenza, protezione termica integrata, ampio intervallo di temperature (temperatura liquido e temperatura ambiente sono gestite in maniera separata).

Caso con installazione degli aerotermi

La disposizione degli aerotermi si vede in Figura 6.2, nel caso estivo sono tutti utilizzati, mentre in quello invernale in parte utilizzati e altri terminali non verranno azionati.

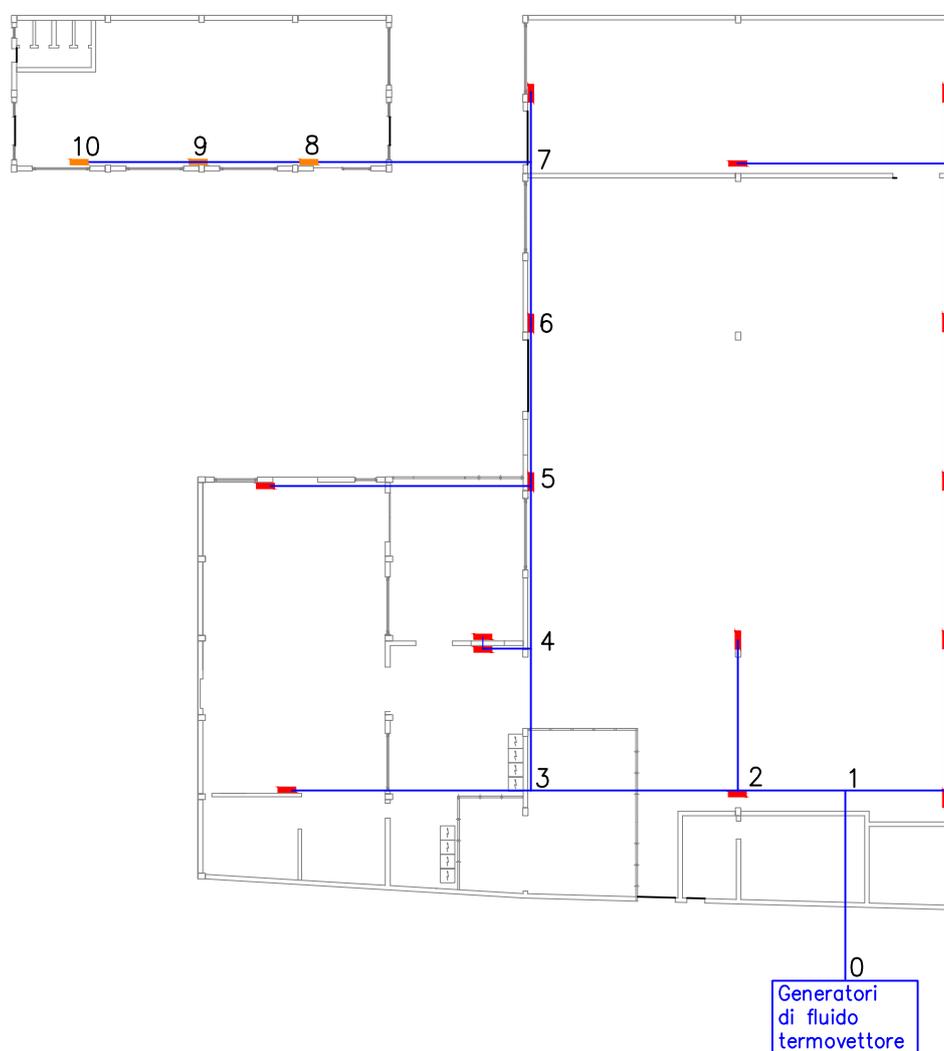


Figura 6.2 - Distribuzione aerotermi, primo miglioramento

DISTRIBUITE			
	L [m]	$\Delta P/L$ [Pa/m]	ΔP [Pa]
0--1	30,0	150	4500
1--2	6,0	50	299,3
2--3	11,5	130	1498,64
3--4	8,0	90	716,4
4--5	9,1	400	3650,8
5--6	9,1	270	2464,83
6--7	9,1	160	1449,12
7--8	12,3	230	2829
8--9	6,3	400	2520
9--10	6,5	210	1371,72

Tabella 6.1 - Perdite di carico distribuite aerotermini, primo miglioramento

CONCENTRATE				
Nodo	CURVA	Quantità	mm C.a.	Tot
0	Γ	3	100	300
1	T	1	100	100
2	T	2	100	200
3	T	1	73	73
4	T	2	130	260
5	T	2	100	200
6	T	1	100	100
7	T	2	73	146
8	T	1	100	100
9	T	1	100	100
10	Γ	1	100	100

Tabella 6.2 - Perdite di carico concentrate aerotermini, primo miglioramento

Aggiungendo le perdite collegate ai terminali, la somma complessiva è pari a 10,6 m C.a. e una portata di 75 m³/h.

Caso con installazione dei turbodiffusori

La disposizione degli aerotermini si vede in Figura 6.3, nel caso estivo sono tutti utilizzati, mentre in quello invernale in parte utilizzati e altri terminali non verranno azionati.

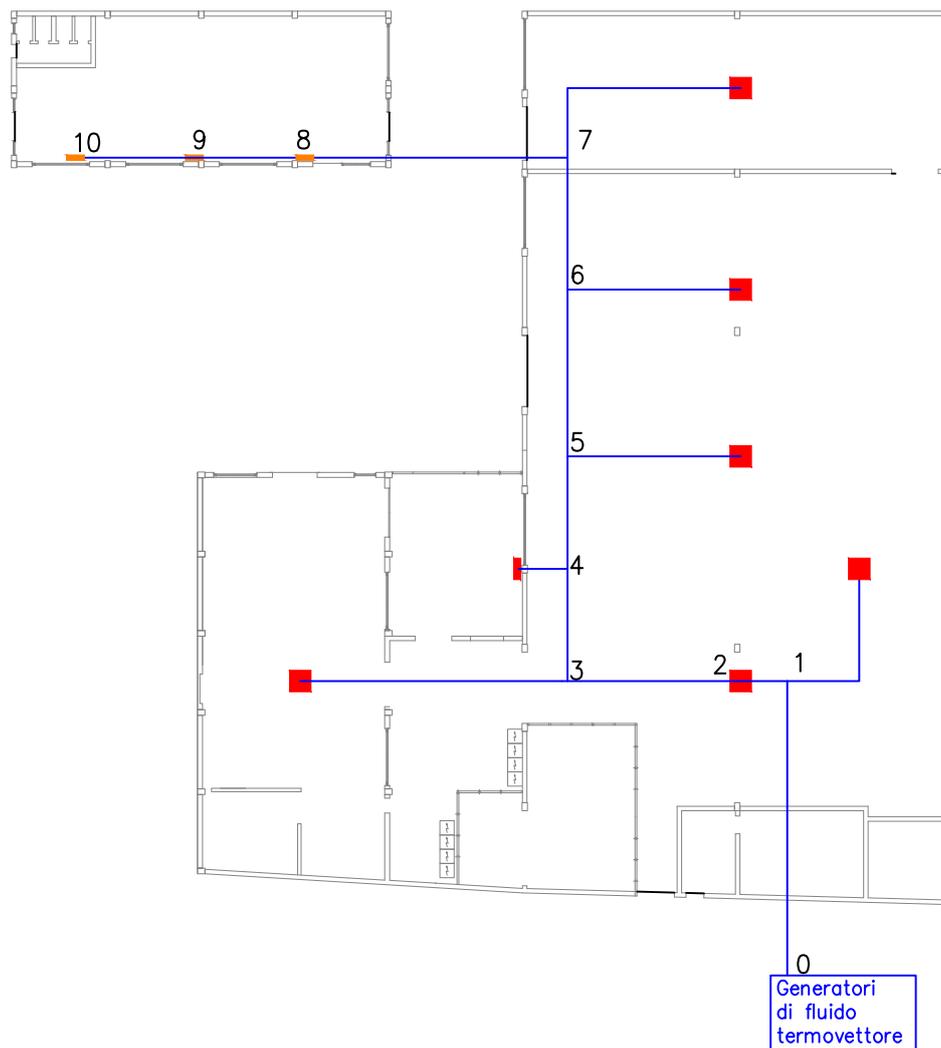


Figura 6.3 - Distribuzione turbodiffusori caso estivo, primo miglioramento

DISTRIBUITE			
	L [m]	$\Delta P/L$ [Pa/m]	ΔP [Pa]
0--1	30,0	130	3900
1--2	2,6	280	718,2
2--3	9,7	190	1841,1
3--4	6,3	150	945,6
4--5	6,3	320	2024
5--6	9,4	140	885,5
6--7	7,4	230	2155,1
7--8	14,7	350	2594,2
8--9	6,2	230	3382,38
9--10	6,5	210	1371,72

Tabella 6.3 - Perdite di carico distribuite turbodiffusori, caso estivo, primo miglioramento

CONCENTRATE				
Nodo	CURVA	Quantità	mm C.a.	Tot
0	Γ	3	100	300
1	T	1	100	100
2	T	1	100	100
3	T	1	100	100
4	T	1	100	100
5	T	1	100	100
6	T	1	100	100
7	T	1	100	100
8	T	1	100	100
9	T	1	100	100
10	Γ	1	100	100

Tabella 6.4 - Perdite di carico concentrate turbodiffusori, caso estivo, primo miglioramento

Aggiungendo le perdite collegate ai terminali, la somma complessiva è pari a 8,6 m C.a. e una portata di 72 m³/h.

Barriera a lame d'aria

La ditta dovrà installare delle barriere a lame d'aria con un lancio di almeno 5 m per contrastare l'ingresso o la fuoriuscita di aria dalle varie aperture presenti nell'edificio, caratterizzate da prestazioni elevate e possibilità di installazione orizzontale. Deve avere staffe di fissaggio in modo da garantire il corretto orientamento per contrastare al meglio l'entrata o l'uscita di aria.

Nell'Allegato 7 si può vedere la disposizione.

6.1.5. Allegati

- 1_Pianta edificio
- 2_Schema funzionale
- 3b_Condotti aerotermi
- 4b_Quote circuito aerotermi
- 5b_Condotti turbodiffusori
- 6b_Quote circuito turbodiffusori
- 7_Barriere a lame d'aria

6.1.6. Computo metrico estimativo

OPERE		DESCRIZIONE	#	LUNGH.
Opere di smantellamento	Aerotermi	Smantellamento + smaltimento secondo le normative vigenti		
	Generatori di aria calda	Smantellamento + smaltimento secondo le normative vigenti		
	Circuito distribuzione dell'acqua	Smantellamento + smaltimento secondo le normative vigenti		
Pompa di calore		<p>Pompa di calore reversibile da esterno per la produzione di acqua refrigerata / riscaldata con le seguenti caratteristiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> - compressori ad alta efficienza - ventilatori assiali - batterie esterne in rame con alette in alluminio - basamento e struttura trattati con soluzioni anticorrosive - valvola termostatica elettronica per funzionare a carichi parziali - orologio di programmazione - termoregolazione - regolazione continua dei ventilatori - potenza frigorifera richiesta 330 kW - salto termico 5°C - temperatura circuito freddo 7-12 °C - temperatura circuito caldo 40 - 45 °C 	1	
Giunto antivibrante		DN 150	2	
Gruppo INAIL		<ul style="list-style-type: none"> - Vaso di espansione + valvola di sicurezza - Pressostato di minima - Pressostato di massima - Pozzetto termometrico - Manometro flangia prova termometro - Valvola di scarico termico 	1	
Pompa di circolazione primario		<p>Pompa di circolazione per circuito di refrigerazione con le seguenti caratteristiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> - prevalenza di 5 mCa - portata 80 m3 - auto adattamento al flusso - regolazione di pressione proporzionale - funzionamento a curva costante - sensore di pressione differenziale e temperatura 	2	

Pompa circolazione secondario	Aerotermi	Pompa di circolazione per circuito di refrigerazione con le seguenti caratteristiche: - prevalenza di 10,6 mCa - portata 75 m3 - auto adattamento al flusso - regolazione di pressione proporzionale - funzionamento a curva costante - sensore di pressione differenziale e temperatura	2	
	Turbodiffusori	Pompa di circolazione per circuito di refrigerazione con le seguenti caratteristiche: - prevalenza di 8,6 mCa - portata 72 m3 - auto adattamento al flusso - regolazione di pressione proporzionale - funzionamento a curva costante - sensore di pressione differenziale e temperatura	2	
Accumulo	Aerotermi	Serbatoio inerziale per l'accumulo di acqua dell'impianto con le seguenti caratteristiche: - capacità pari a circa 1000 l - strati isolanti con elastomero anticondensa e asportabili - predisposti a poter usare sonde di misura	1	
	Turbodiffusori	Serbatoio inerziale per l'accumulo di acqua dell'impianto con le seguenti caratteristiche: - capacità pari a circa 2000 l - strati isolanti con elastomero anticondensa e asportabili - predisposti a poter usare sonde di misura	1	
Vaso di espansione nel circuito secondario	Aerotermi	- 400l - valvola di sicurezza tarata a 4 bar	1	
	Turbodiffusori	- 400l - valvola di sicurezza tarata a 4 bar	1	
Quadro elettrico			1	

Terminali	Aerotermi	<p>Aerotermi con predisposizione al condizionamento e al riscaldamento con le seguenti caratteristiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> - scarico condensa - potenza sensibile estiva pari a 18 kW con temperatura dell'acqua 7/12 °C - potenza invernale pari a 34,5 kW con temperatura dell'acqua 45/40 °C - altezza di azione 5 m - DN 1 1/4" 	15	
	Turbodiffusori	<p>Turbodiffusori con predisposizione al condizionamento e al riscaldamento con le seguenti caratteristiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> - scarico condensa - filtro per pulizia dell'aria interna - diffusione dell'aria con air injector - potenza sensibile estiva pari a 40,5 kW con temperatura dell'acqua 8/14 °C - potenza invernale pari a 75,1 kW con temperatura dell'acqua 45/40 °C - altezza di azione 5 m - DN 2" 	6	
	Ventilconvettori	<p>Aerotermi con predisposizione al condizionamento e al riscaldamento con le seguenti caratteristiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> - scarico condensa - potenza sensibile estiva pari a 5,87 kW con temperatura dell'acqua 7/12 °C - potenza invernale pari a 8,52 kW con temperatura dell'acqua 45/40 °C - DN 1/2" 	3	
Barriere a lama d'aria		<p>Barriere a lama d'aria per contrastare l'aria esterna con le seguenti caratteristiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> - lunghezza 2,5 m - altezza installazione 5 m - installazione orizzontale - senza riscaldamento 	7	
Valvole di intercettazione e bilanciamento	Caso con aerotermi	<ul style="list-style-type: none"> - 1 per ogni terminale - per pompa di circolazione circuito primario 	19	
	Caso con turbodiffusori	<ul style="list-style-type: none"> - 1 per ogni terminale - per pompa di circolazione circuito primario 	10	
Valvole di intercettazione	Caso con aerotermi	<ul style="list-style-type: none"> - 1 per ogni terminale - per pompa di circolazione circuito primario - 1 per pompa di circolazione circuito secondario - 5 per accumulo inerziale 	25	

	Caso con turbodiffusori	- 1 per ogni terminale - per pompa di circolazione circuito primario - 1 per pompa di circolazione circuito secondario - 5 per accumulo inerziale	15	
Sensore temperatura			8	
Tubi + isolante	Caso con aerotermini	DN 125 100 80 65 50 40 32 15		lunghezza 36,0 19,5 26,4 27,1 24,1 6,3 59,5 15,5
	Caso con turbodiffusori	DN 125 100 80 65 50 40 32 15		lunghezza 30,0 24,9 16,8 58,1 17,7 6,2 3,2 15,5
Coibentazione delle coperture			1	

7. Dimensionamento impianto con applicazione del cappotto esterno, installazione di nuovi serramenti e coibentazione delle coperture

I miglioramenti con applicazione del cappotto esterno, installazione di nuovi serramenti e coibentazione delle coperture rappresentano la condizione nella quale si ottiene una maggior diminuzione dei carichi termici richiesti nella stagione invernale ed estiva, diminuendo le trasmittanze delle coperture, dei componenti vetrati e delle pareti verticali, come analizzato nel paragrafo 5.

Come detto precedentemente le trasmittanze delle coperture sono pari a:

- Copertura inclinata $0,44 \frac{W}{m^2K}$
- Soffitto orizzontale $0,38 \frac{W}{m^2K}$

Le trasmittanze dei componenti vetrati sono riportate nella Tabella 5.2.

Le trasmittanze delle pareti verticali sono diminuite arrivando al valore di $0,288 \frac{W}{m^2K}$.

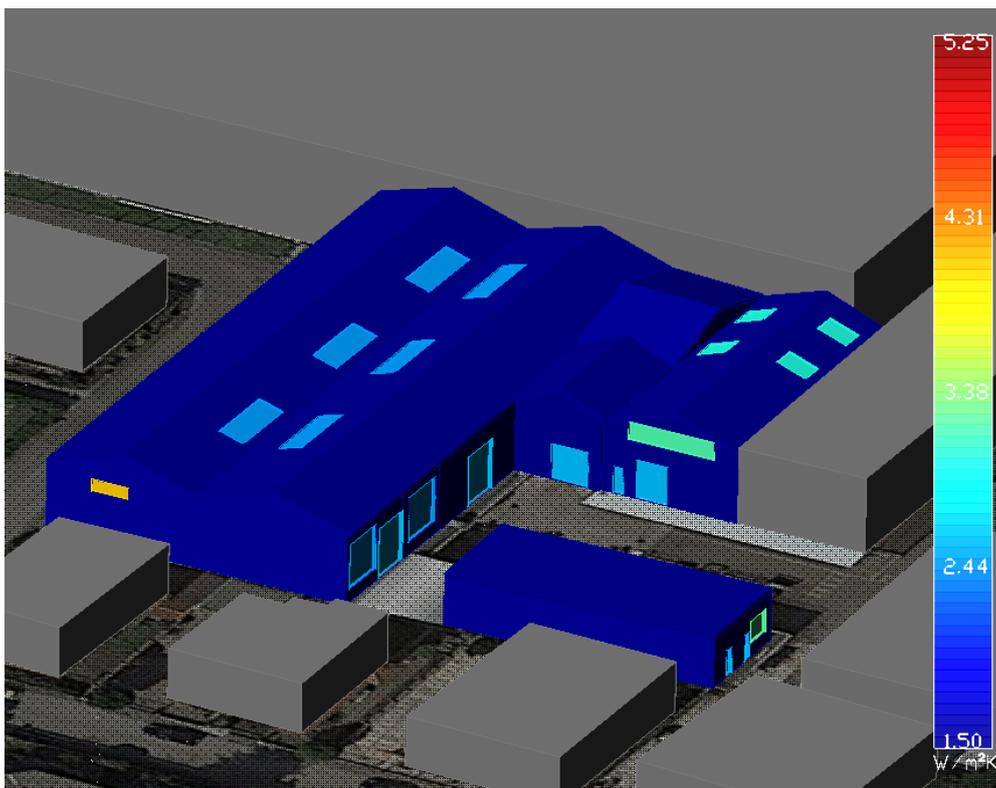


Figura 7.1 - Visualizzazione termografica con miglioramenti sulle coperture, componenti vetrati e pareti verticali

La potenza invernale totale è pari a 140 kW, nelle sue componenti si divide in:

- Potenza dispersa per trasmissione → 100 kW
- Potenza dispersa per ventilazione → 40 kW

La potenza estiva totale è pari a 320 kW, nelle sue componenti si divide in:

- Carico dovuto alla trasmissione → 28 kW
- Carico dovuto alla ventilazione → 58 kW
- Apporti solari → 56 kW
- Apporti interni → 178 kW

Il calore sensibile nel caso estivo è circa 278 kW, quindi, come nei casi precedenti, nell'ipotesi di un impianto di climatizzazione estiva ad aria, sarebbero necessari condotti di grandi dimensioni e molti diffusori.

La tipologia di impianto scelta rimane la stessa analizzata in precedenza ma con diverse caratteristiche dei componenti.

7.1. Capitolato tecnico

7.1.1. Premessa

Vedi paragrafo 4.3 Premessa

7.1.2. Descrizione dell'intervento

Vedi paragrafo 4.3 Descrizione dell'intervento

7.1.3. Prescrizioni e condizioni generali

Vedi paragrafo 4.3 Prescrizioni e condizioni generali

7.1.4. Descrizione delle opere e dei materiali

Demolizione di parte dell'attuale impianto termo idraulico

La ditta dovrà procedere alle seguenti attività:

- Smantellamento degli aerotermini presenti nella struttura
- Smantellamento dei generatori di aria calda interni
- Demolizione dell'attuale circuito secondario

- Allontanamento e smaltimento secondo normative vigenti di tutti i rottami derivanti
- Demolizione e smaltimento secondo normative vigenti dell'impianto elettrico rimosso durante lo smantellamento impianto

Verifica della centrale termica

La ditta dovrà procedere alle seguenti attività di verifica della centrale termica:

- Stato caldaie
- Valutazione condotti fumi
- Valutazione tubi idrici e connessioni
- Vasi di espansione
- Valvolame

Installazione pompa di calore

Il gruppo refrigeratore dovrà rispondere alle norme europee di sicurezza macchinari ed apparecchiature elettriche (EN 60204-1), alla direttiva compatibilità elettromagnetica (89/336/CEE), alle norme "Bassa Tensione" (73/23/CEE), alla direttiva macchine (89/392/CEE), dovrà essere marcato CE, nel rispetto della normativa PED per apparecchi a pressione [29].

La ditta dovrà procedere all'installazione di una pompa di calore con raffreddamento ad aria sul tetto del laboratorio. Dovrà essere ad alta efficienza e silenziosa e in grado di soddisfare i fabbisogni estivi (320 kW), presentare un orologio programmatore in modo da poter impostare delle fasce orarie, avere sistemi che permettano la termoregolazione.

Migliorie sulla struttura esistente

La ditta dovrà procedere alle seguenti opere di riqualificazione strutturale:

- Coibentazione delle superfici opache verticali con le caratteristiche descritte nel paragrafo 5.1.1
- Sostituzione dei serramenti con le caratteristiche descritte nel paragrafo 5.1.2
- Coibentazione delle superfici opache orizzontali con le caratteristiche descritte nel paragrafo 5.1.3

Seguendo le modalità di installazione definite nei protocolli *KlimaHouse*.

Accumulo termico

La ditta dovrà procedere all'installazione di un accumulo termico per permettere di soddisfare i fabbisogni estivi nel caso l'impianto si dovesse spegnere per 2h. Dovrà essere

dotato di un rivestimento esterno per essere posto all'esterno e avere strati di coibentazione per trattenere la temperatura ed evitare la condensa.

Il dimensionamento è ottenuto ipotizzando di voler soddisfare la richiesta energetica nel caso la pompa di calore rimanga spenta per 2h.

$$E = 320 * 3600 = 1152 \text{ MJ/giorno}$$

Equazione 7.1 – Energia richiesta in un giorno

$$V = \frac{E}{c_{p_acqua} * \rho * \Delta T} = \frac{1152 * 10^9}{4186 * 1000 * 5} = 55040 \text{ l}$$

Equazione 7.2 - Volume per soddisfare l'energia giornaliera richiesta

$$V = V/12 = 4586 \text{ l}$$

Equazione 7.3 - Volume per soddisfare due ore di richiesta

$$V_{\text{accumulo, aerotermi}} = V - V_{\text{impianto}} = 954 \text{ l}$$

$$V_{\text{accumulo, turbodiffusori}} = V - V_{\text{impianto}} = 1850 \text{ l}$$

Equazione 7.4 - Volumi accumulo nei due casi

Componenti INAIL

L'impianto dovrà essere dotato di:

- Vaso di espansione
- Valvola di sicurezza
- Pressostato di minima
- Pressostato di massima
- Pozzetto termometrico
- Manometro flangia prova termometro
- Valvola di scarico termico

Quadro elettrico di potenza e controllo

Il quadro elettrico di potenza e di regolazione a bordo gruppo sarà costruito secondo le vigenti norme CEI, con accessibilità dall'esterno, completo di sezionatore di linea, trasformatore per correnti ausiliari e con protezione elettrica adeguata al tipo di impiego. La sezione elettrica si dovrà comunque attenere a quanto prescritto dalle norme CE 89/392/CEE (direttive macchine); 89/336/CEE (direttiva compatibilità elettromagnetica); 73/23/CEE (direttiva bassa tensione) [29].

Dimensionamento valvola di sicurezza

Potenza termica da considerare: 140 kW

Pressione massima di esercizio impianto: 6 bar

Pressione di funzionamento impianto: 1,50 bar

$$\text{Portata di scarico valvola [26]: } Q = \frac{P}{0,58} = \frac{140}{0,58} = 241,38 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

In funzione della portata di scarico e della potenza termica in riscaldamento, si è deciso di prevedere una valvola di sicurezza qualificata INAIL tarata a 3,5 bar, diametro 1/2", portata di scarico 318,09 kg/h e potenza termica massima pari a 184,9 kW.

Vaso di espansione circuito secondario

Caso a

C è il contenuto di acqua nell'impianto e nell'accumulo inerziale pari a 4632 l.

$$E = e * C = 0,04 * 4632 = 185 \text{ l}$$

La pressione idrostatica è dovuta ai metri di colonna d'acqua dell'impianto che si trovano al di sopra del vaso, ed è pari a 0,9 bar, la pressione di precarica è stata assunta pari 0,6 bar, quindi il valore della pressione iniziale risulta essere pari a 1,5 bar.

La pressione di taratura è quella a cui è impostata la valvola di sicurezza, pari a 3,5 bar, [28] il battente idrostatico del dislivello che intercorre tra vaso e valvola, positivo se la valvola è più in alto e viceversa se la valvola è più in basso del vaso, pari a 0,05 bar, quindi la pressione finale risulta essere pari a 4,45 bar.

$$V = \frac{E}{1 - \frac{p_i}{p_f}} = 280 \text{ l}$$

Caso b

C è il contenuto di acqua nell'impianto e nell'accumulo inerziale pari a 4736 l.

$$E = e * C = 0,04 * 4736 = 189 \text{ l}$$

La pressione idrostatica è dovuta ai metri di colonna d'acqua dell'impianto che si trovano al di sopra del vaso, ed è pari a 0,9 bar, la pressione di precarica è stata assunta pari 0,6 bar, quindi il valore della pressione iniziale risulta essere pari a 1,5 bar.

La pressione di taratura è quella a cui è impostata la valvola di sicurezza, pari a 3,5 bar, [28] il battente idrostatico del dislivello che intercorre tra vaso e valvola, positivo se la valvola è più in alto e viceversa se la valvola è più in basso del vaso, pari a 0,05 bar, quindi la pressione finale risulta essere pari a 4,45 bar.

$$V = \frac{E}{1 - \frac{p_i}{p_f}} = 285 \text{ l}$$

Installazione condotti acqua calda e fredda

Le tubazioni dovranno essere in acciaio e conformi alla norma UNI EN 10255, inoltre avranno una marcatura per individuare la serie di appartenenza.

Prima di essere posti in opera tutti i tubi dovranno essere accuratamente puliti ed inoltre in fase di montaggio le loro estremità libere dovranno essere protette per evitare l'intromissione accidentale di materiali che possano in seguito provocarne l'ostruzione.

Tutte le tubazioni dovranno essere contraddistinte da apposite targhette che indichino il circuito di appartenenza, la natura del fluido convogliato e la direzione del flusso. Diverse tonalità dello stesso colore dovranno indicare diverse temperature di uno stesso fluido. Il senso di flusso del fluido trasportato sarà indicato mediante una freccia situata in prossimità del colore distintivo di base.

Tutte le tubazioni dovranno essere adeguatamente coibentate, per evitare perdita di calore in inverno e assorbimento in estate, con guaine flessibili [29].

Terminali

Caso a

Installazione di 15 aerotermini con le seguenti caratteristiche: a due tubi, con bacinella per raccolta condensa, potenza sensibile massima estiva 17,75 kW per una temperatura dell'acqua pari a 7-12 °C. Livello sonoro alla distanza di 5m pari a 60 dB.

Installazione di 3 ventilconvettori con le seguenti caratteristiche: a due tubi, con bacinella per raccolta condensa, potenza sensibile massima estiva 7,42 kW per un salto di temperatura dell'acqua pari a 7-12 °C.

Caso b

Installazione di 7 turbodiffusori, con capacità massima sensibile estiva pari a 35,1 kW per una temperatura dell'acqua tra 8 e 14 °C. Livello sonoro alla distanza di 5m pari a 59 dB.

Installazione di un aerotermino con le seguenti caratteristiche: a due tubi, con bacinella per raccolta condensa, potenza sensibile massima estiva 17,75 kW per una temperatura dell'acqua pari a 7-12 °C. Livello sonoro alla distanza di 5m pari a 60 dB. Installazione di 3 ventilconvettori con le seguenti caratteristiche: a due tubi, con bacinella per raccolta

condensa, potenza sensibile massima estiva 7,42 kW per un salto di temperatura dell'acqua pari a 7-12 °C.

Pompa di circolazione

La ditta dovrà installare una pompa di circolazione per garantire prevalenza e portata richiesta. Essa dovrà avere le seguenti caratteristiche: auto adattamento alla situazione presente, controllo della pressione proporzionale, controllo della pressione costante, controllo della temperatura costante, riduzione notturna di potenza, protezione termica integrata, ampio intervallo di temperature (temperatura liquido e temperatura ambiente sono gestite in maniera separata).

Caso con installazione degli aerotermi

La disposizione degli aerotermi si vede in Figura 7.2, nel caso estivo sono tutti utilizzati, mentre in quello invernale in parte utilizzati e altri terminali non verranno azionati.

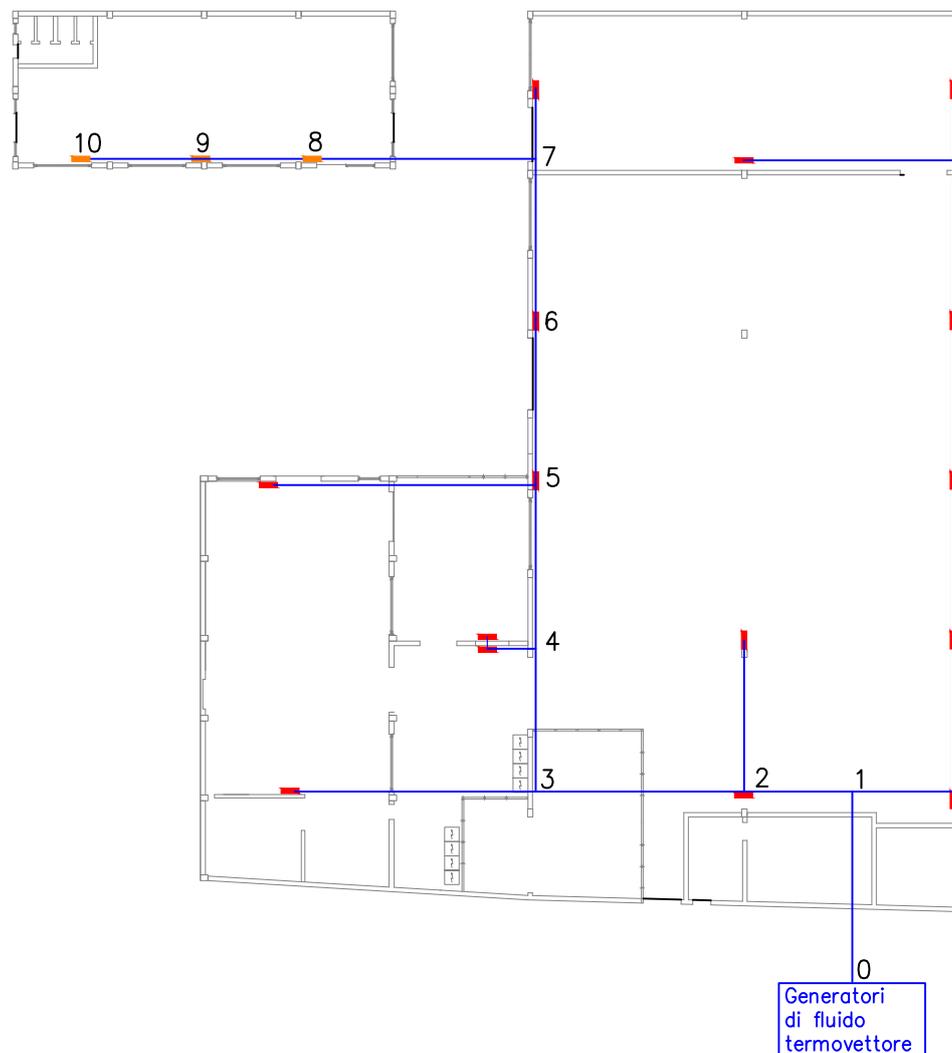


Figura 7.2 - Distribuzione aerotermi, secondo miglioramento

DISTRIBUITE			
	L [m]	$\Delta P/L$ [Pa/m]	ΔP [Pa]
0--1	30,0	150	4500
1--2	6,0	50	299,3
2--3	11,5	130	1498,64
3--4	8,0	90	716,4
4--5	9,1	400	3650,8
5--6	9,1	270	2464,83
6--7	9,1	160	1449,12
7--8	12,3	230	2829
8--9	6,3	400	2520
9--10	6,5	210	1371,72

Tabella 7.1 - Perdite di carico distribuite aerotermini, secondo miglioramento

CONCENTRATE				
Nodo	CURVA	Quantità	mm C.a.	Tot
0	Γ	3	100	300
1	T	1	100	100
2	T	2	100	200
3	T	1	73	73
4	T	2	130	260
5	T	2	100	200
6	T	1	100	100
7	T	2	73	146
8	T	1	100	100
9	T	1	100	100
10	Γ	1	100	100

Tabella 7.2 - Perdite di carico concentrate aerotermini, secondo miglioramento

Aggiungendo le perdite collegate ai terminali, la somma complessiva è pari a 10,6 m C.a. e una portata di 75 m³/h.

Caso con installazione dei turbodiffusori

La disposizione degli aerotermini si vede in Figura 7.3, nel caso estivo sono tutti utilizzati, mentre in quello invernale in parte utilizzati e altri terminali non verranno azionati.

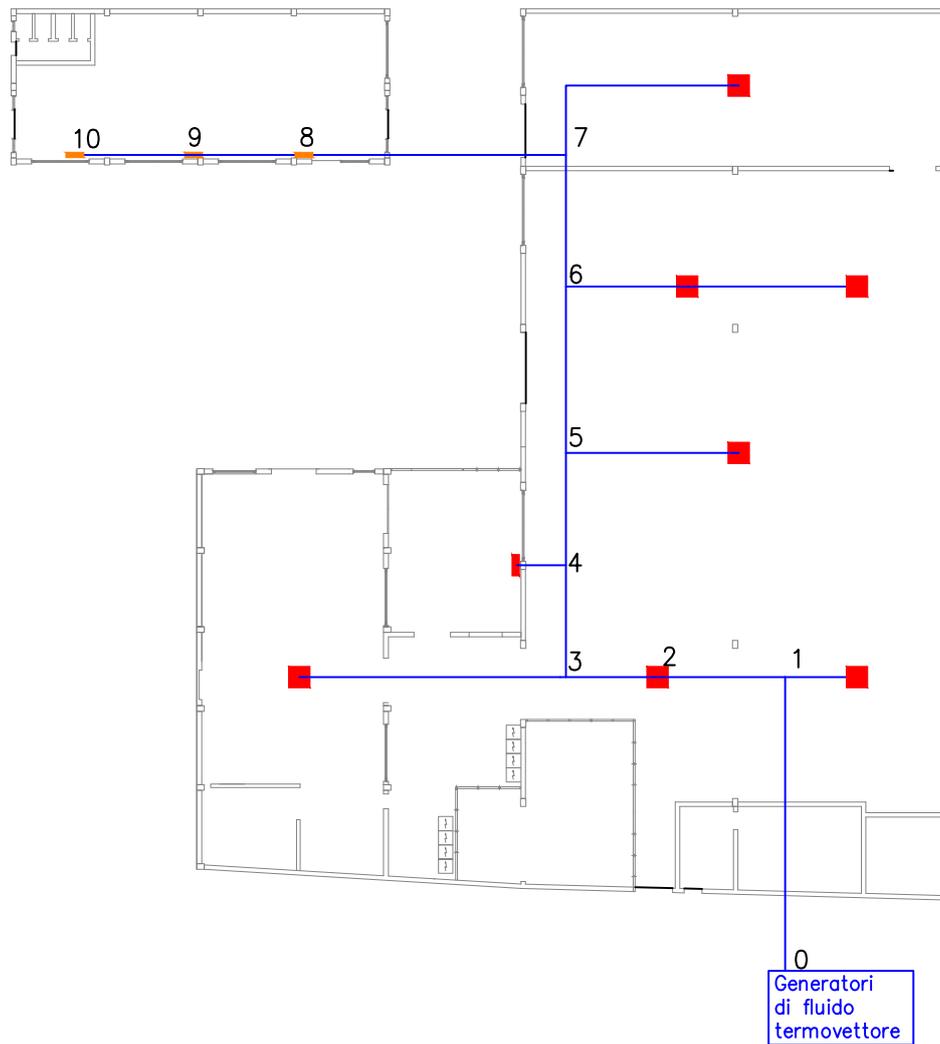


Figura 7.3 - Distribuzione turbodiffusori, secondo miglioramento

DISTRIBUITE			
	L [m]	$\Delta P/L$ [Pa/m]	ΔP [Pa]
0--1	30,0	130	3900
1--2	2,6	350	897,75
2--3	9,7	300	2907
3--4	6,3	230	1449,92
4--5	6,3	180	1138,5
5--6	9,4	120	759
6--7	7,4	120	1124,4
7--8	14,7	350	2594,2
8--9	6,2	230	3382,38
9--10	6,5	210	1371,72

Tabella 7.3 - Perdite di carico ditribuite turbodiffusori, primo miglioramento

CONCENTRATE				
Nodo	CURVA	Quantità	mm C.a.	Tot
0	Γ	3	100	300
1	T	1	100	100
2	T	1	100	100
3	T	1	100	100
4	T	1	100	100
5	T	1	100	100
6	T	1	100	100
7	T	1	100	100
8	T	1	100	100
9	T	1	100	100
10	Γ	1	100	100

Tabella 7.4 - Perdite di carico concentrate turbodiffusori, primo miglioramento

Aggiungendo le perdite collegate ai terminali, la somma complessiva è pari a $8,5 \text{ m C.a.}$ e una portata di $71,5 \text{ m}^3/\text{h}$.

Barriere a lame d'aria

La ditta dovrà installare delle barriere a lame d'aria con un lancio di almeno 5 m per contrastare l'ingresso o la fuoriuscita di aria dalle varie aperture presenti nell'edificio, caratterizzate da prestazioni elevate e possibilità di installazione orizzontale. Deve avere staffe di fissaggio in modo da garantire il corretto orientamento per contrastare al meglio l'entrata o l'uscita di aria.

Nell'Allegato 7 si può vedere la disposizione.

7.1.5. Allegati

- 1_Pianta edificio
- 2_Schema funzionale
- 3c_Condotti aerotermini
- 4c_Quote circuito aerotermini
- 5c_Condotti turbodiffusori
- 6c_Quote circuito turbodiffusori
- 7_Barriere a lame d'aria

7.1.6. Computo metrico estimativo

OPERE		DESCRIZIONE	#	LUNG
Opere di smantellamento	Aerotermi	Smantellamento + smaltimento secondo le normative vigenti		
	Generatori di aria calda	Smantellamento + smaltimento secondo le normative vigenti		
	Circuito distribuzione dell'acqua	Smantellamento + smaltimento secondo le normative vigenti		
Pompa di calore		<p>Pompa di calore reversibile da esterno per la produzione di acqua refrigerata / riscaldata con le seguenti caratteristiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> - compressori ad alta efficienza - ventilatori assiali - batterie esterne in rame con alette in alluminio - basamento e struttura trattati con soluzioni anticorrosive - valvola termostatica elettronica per funzionare a carichi parziali - orologio di programmazione - termoregolazione - regolazione continua dei ventilatori - potenza frigorifera richiesta 330 kW - salto termico 5°C - temperatura circuito freddo 7-12 °C - temperatura circuito caldo 40 - 45 °C 	1	
Giunto antivibrante		DN 150	2	
Gruppo INAIL		<ul style="list-style-type: none"> - Vaso di espansione + valvola di sicurezza - Pressostato di minima - Pressostato di massima - Pozzetto termometrico - Manometro flangia prova termometro - Valvola di scarico termico 	1	
Pompa di circolazione primario		<p>Pompa di circolazione per circuito di refrigerazione con le seguenti caratteristiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> - prevalenza di 5 mCa - portata 80 m3 - auto adattamento al flusso - regolazione di pressione proporzionale - funzionamento a curva costante - sensore di pressione differenziale e temperatura 	2	

Pompa circolazione secondario	Aerotermi	Pompa di circolazione per circuito di refrigerazione con le seguenti caratteristiche: - prevalenza di 10,6 mCa - portata 75 m3 - auto adattamento al flusso - regolazione di pressione proporzionale - funzionamento a curva costante - sensore di pressione differenziale e temperatura	2	
	Turbodiffusori	Pompa di circolazione per circuito di refrigerazione con le seguenti caratteristiche: - prevalenza di 8,5 mCa - portata 71,5 m3 - auto adattamento al flusso - regolazione di pressione proporzionale - funzionamento a curva costante - sensore di pressione differenziale e temperatura	2	
Accumulo	Aerotermi	Serbatoio inerziale per l'accumulo di acqua dell'impianto con le seguenti caratteristiche: - capacità pari a circa 1000 l - strati isolanti con elastomero anticondensa e asportabili - predisposti a poter usare sonde di misura	1	
	Turbodiffusori	Serbatoio inerziale per l'accumulo di acqua dell'impianto con le seguenti caratteristiche: - capacità pari a circa 2000 l - strati isolanti con elastomero anticondensa e asportabili - predisposti a poter usare sonde di misura	1	
Vaso di espansione nel circuito secondario	Aerotermi	- 400l - valvola di sicurezza tarata a 4 bar	1	
	Turbodiffusori	- 400l - valvola di sicurezza tarata a 4 bar	1	
Quadro elettrico			1	

Terminali	Aerotermi	<p>Aerotermi con predisposizione al condizionamento e al riscaldamento con le seguenti caratteristiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> - scarico condensa - potenza sensibile estiva pari a 18 kW con temperatura dell'acqua 7/12 °C - potenza invernale pari a 34,5 kW con temperatura dell'acqua 45/40 °C - altezza di azione 5 m - DN 1 1/4" 	1 5	
	Turbodiffusori	<p>Turbodiffusori con predisposizione al condizionamento e al riscaldamento con le seguenti caratteristiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> - scarico condensa - filtro per pulizia dell'aria interna - diffusione dell'aria con air injector - potenza sensibile estiva pari a 35,1 kW con temperatura dell'acqua 8/14 °C - potenza invernale pari a 61 kW con temperatura dell'acqua 45/40 °C - altezza di azione 5 m - DN 1 1/2" 	6	
	Ventilconvettori	<p>Aerotermi con predisposizione al condizionamento e al riscaldamento con le seguenti caratteristiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> - scarico condensa - potenza sensibile estiva pari a 5,87 kW con temperatura dell'acqua 7/12 °C - potenza invernale pari a 8,52 kW con temperatura dell'acqua 45/40 °C - DN 1/2" 	3	
Barriere a lama d'aria		<p>Barriere a lama d'aria per contrastare l'aria esterna con le seguenti caratteristiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> - lunghezza 2,5 m - altezza installazione 5 m - installazione orizzontale - senza riscaldamento 	7	
Valvole di intercettazione e bilanciamento	Caso con aerotermi	<ul style="list-style-type: none"> - 1 per ogni terminale - per pompa di circolazione circuito primario 	1 9	
	Caso con turbodiffusori	<ul style="list-style-type: none"> - 1 per ogni terminale - per pompa di circolazione circuito primario 	1 2	

Valvole di intercettazione	Caso con aerotermi	- 1 per ogni terminale - per pompa di circolazione circuito primario - 1 per pompa di circolazione circuito secondario - 5 per accumulo inerziale	2 5	
	Caso con turbodiffusori	- 1 per ogni terminale - per pompa di circolazione circuito primario - 1 per pompa di circolazione circuito secondario - 5 per accumulo inerziale	1 8	
Sensore temperatura			8	
Tubi	Caso con aerotermi	DN 125 100 80 65 50 40 32 15		lunghezza 36,0 19,5 26,4 27,1 24,1 6,3 59,5 15,5
	Caso con turbodiffusori	DN 125 100 80 65 50 40 32 15		lunghezza 30,0 34,3 14,3 51,6 14,7 9,7 3,2 15,5
Coibentazione superfici opache orizzontali			1	
Coibentazione superfici opache verticali			1	
Sostituzione dei serramenti			1	

8. Valutazione economica

In questo capitolo verrà affrontata una valutazione economica degli investimenti proposti verificando la fattibilità degli stessi e traendo alcune conclusioni per facilitare il procedimento di scelta.

Purtroppo, l'analisi economica, relativa al periodo invernale, non può basarsi su dati rilevati in azienda poiché non sono presenti sistemi di monitoraggio dei consumi esclusivi per la parte in esame. Per ovviare a questo problema l'analisi si baserà su una stagione di riferimento *standard* definita dalle leggi in vigore e dalle norme UNI 11300.

Per il caso estivo, non essendoci attualmente un impianto di raffrescamento, il confronto è stato svolto sul costo che deve sostenere l'azienda per le maggiori pause lavorative dovute ad un discomfort ambientale portato dalle elevate temperature. Infatti, durante l'estate 2018 si è provveduto alla registrazione delle temperature medie all'interno dell'officina rilevando circa 30 giorni di superamento rispetto alle condizioni tollerabili dai lavoratori.

Tale superamento ha comportato pause aggiuntive, con un costo maggiore per l'azienda quantificabile in circa 20.000 €. Questo importo verrà considerato come spesa per verificare la convenienza dell'impianto di climatizzazione.

Tutti i casi verranno analizzati considerando come indicatori economici il Valore attuale netto (VAN), il *Payback Time* (PBT) ed il Tasso interno di rendimento (TIR) utilizzando le formule riportate nel paragrafo 5.1.4.

La valutazione tiene conto dei turbodiffusori come sistemi di erogazione del calore poiché presentano un rendimento maggiore e migliorano il comfort ambientale tuttavia, nel caso in cui l'azienda optasse per gli areotermini, i tempi di rientro dell'investimento si ridurrebbero poiché l'esborso iniziale sarebbe inferiore.

I costi energetici considerati sono i seguenti:

Gas Metano [€/Sm ³]	0,70
Energia Elettrica [€/kWh]	0,20

Tabella 8.1 - Costi gas metano ed energia elettrica

8.1. Caso 1: struttura attualmente esistente

Il primo caso si pone l'obiettivo di verificare i risparmi ottenibili esclusivamente sostituendo l'attuale impianto con generatori di aria calda, con un impianto a pompa di calore come descritto nel paragrafo 4.3.4. Il costo totale per il rifacimento impianto è stato stimato pari a circa 200.000 € [2], di cui il 70% sono stati imputati alla parte invernale ed il restante 30% alla climatizzazione estiva.

Si è scelto di utilizzare queste percentuali poiché l'impianto di climatizzazione verrà utilizzato maggiormente durante il periodo invernale, comportandone un'usura maggiore.

Riepilogo dei dati di risparmio

	Stato attuale		Stato futuro		Risparmio / anno [€/y]
	Fabbisogno termico di metano [Nm ³]	Costo [€]	Fabbisogno termico di energia primaria [kWh]	Costo [€]	
Riscaldamento	58362	40.853 €	138282	27.656 €	13.197 €
Raffrescamento	--	20.000 €	35734	7.147 €	12.853 €
TOTALE		60.853 €		34.803 €	26.050 €

Tabella 8.2 - Risparmio / annuo caso 1

Di seguito riportati gli indicatori economici per il caso invernale, estivo e complessivo.

Caso Invernale

Tempo di rientro (PBT)	10,61	anni
Tasso interno di rendimento (TIR)	4,16%	---
Valore attuale netto	12,1	anni

Tabella 8.3 – Indicatori economici, caso 1, invernale

Caso Estivo

Tempo di rientro (PBT)	4,67	anni
Tasso interno di rendimento (TIR)	19,46%	---
Valore attuale netto	4,9	anni

Tabella 8.4 – Indicatori economici, caso 1, estivo

Caso Invernale + Estivo

Tempo di rientro (PBT)	7,68	anni
Tasso interno di rendimento (TIR)	9,30%	---
Valore attuale netto	8,4	anni

Tabella 8.5 – Indicatori economici, caso 1, invernale + estivo

Graficamente si riporta il confronto dei VAN

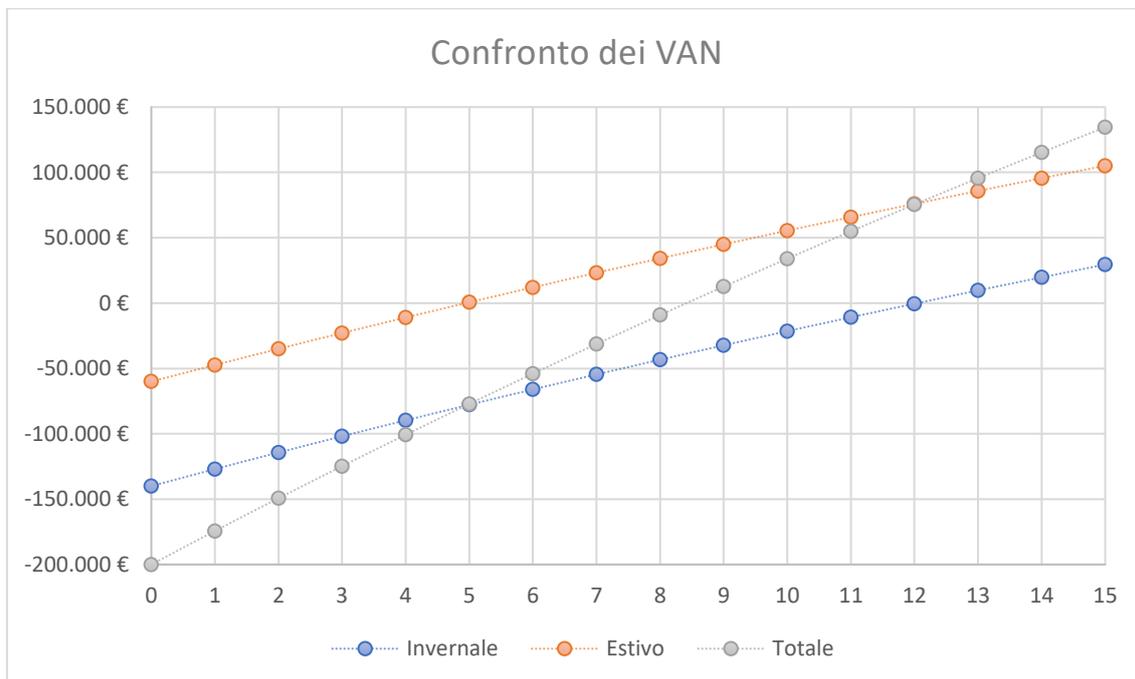


Figura 8.1 - Confronto VAN caso 1

8.2. Caso 2: struttura con miglioramento della copertura

Il secondo caso si pone l'obiettivo di verificare i risparmi ottenibili in due diverse situazioni:

- Caso 2.1: confronto tra l'edificio attuale con l'impianto invernale di generazione di aria calda e assenza di impianto di raffrescamento estivo e l'edificio riqualificato energeticamente con nuovo impianto di climatizzazione
- Caso 2.2: confronto tra l'edificio esistente con l'impianto con pompa di calore e l'edificio riqualificato energeticamente, con installazione della pompa di calore dimensionata in funzione della potenza termica necessaria in seguito agli interventi di riqualificazione

Come nel paragrafo precedente, il costo totale per il rifacimento impianto è stato stimato pari a circa 150.000 € [2], di cui il 70% sono stati imputati alla parte invernale ed il restante 30% alla climatizzazione estiva. Inoltre, è da aggiungere il costo per l'intervento di riqualificazione della struttura analizzato nel paragrafo 5.1.4.

8.2.1. Caso 2.1

Riepilogo dei dati di risparmio

	Stato attuale		Stato futuro		Risparmio / anno [€/y]
	Fabbisogno termico di metano [Nm ³]	Costo [€]	Fabbisogno termico di energia primaria [kWh]	Costo [€]	
Riscaldamento	58362	40.853 €	71121	14.224 €	26.629 €
Raffrescamento	--	20.000 €	22621	4.524 €	15.476 €
TOTALE		60.853 €		18.748 €	42.105 €

Tabella 8.6 - Risparmio / annuo caso 2.1

Di seguito riportati gli indicatori economici per il caso invernale, estivo e complessivo.

Caso Invernale

Tempo di rientro (PBT)	8,55	anni
Tasso interno di rendimento (TIR)	7,48%	---
Valore attuale netto	9,5	anni

Tabella 8.7 – Indicatori economici, caso 2.1, invernale

Caso Estivo

Tempo di rientro (PBT)	6,31	anni
Tasso interno di rendimento (TIR)	12,92%	---
Valore attuale netto	6,8	anni

Tabella 8.8 – Indicatori economici, caso 2.1, estivo

Caso Invernale + Estivo

Tempo di rientro (PBT)	7,73	anni
Tasso interno di rendimento (TIR)	9,18%	---
Valore attuale netto	8,5	anni

Tabella 8.9 – Indicatori economici, caso 2.1, invernale + estivo

Graficamente si riporta il confronto dei VAN

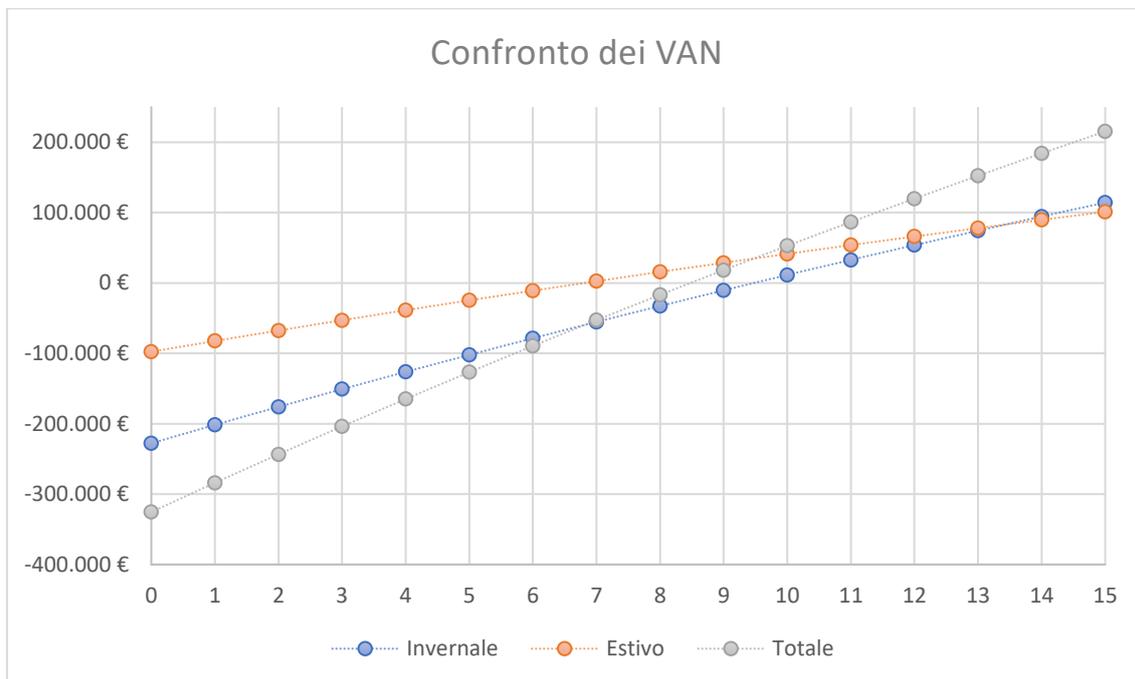


Figura 8.2 - Confronto VAN caso 2.1

8.2.2. Caso 2.2

Riepilogo dei dati di risparmio

	Stato attuale		Stato futuro		Risparmio / anno [€/y]
	Fabbisogno termico di energia primaria [kWh]	Costo [€]	Fabbisogno termico di energia primaria [kWh]	Costo [€]	
Riscaldamento	254373	50.875 €	96768	19.354 €	31.521 €
Raffrescamento	35734	7.147 €	22621	4.524 €	2.623 €
TOTALE		58.021 €		23.878 €	34.144 €

Tabella 8.10 - Risparmio / annuo caso 2.2

Di seguito sono riportati gli indicatori economici per il caso invernale, estivo e complessivo.

Caso Invernale

Tempo di rientro (PBT)	7,23	anni
Tasso interno di rendimento (TIR)	10,37%	---
Valore attuale netto	7,8	anni

Tabella 8.11 – Indicatori economici, caso 2.2, invernale

Caso Estivo

Tempo di rientro (PBT)	37,22	anni
Tasso interno di rendimento (TIR)	-10,13%	---
Valore attuale netto	> 15	anni

Tabella 8.12 – Indicatori economici, caso 2.2, estivo

Caso Invernale + Estivo

Tempo di rientro (PBT)	9,53	anni
Tasso interno di rendimento (TIR)	5,77%	---
Valore attuale netto	10,7	anni

Tabella 8.13 – Indicatori economici, caso 2.2, invernale + estivo

Graficamente si riporta il confronto dei VAN

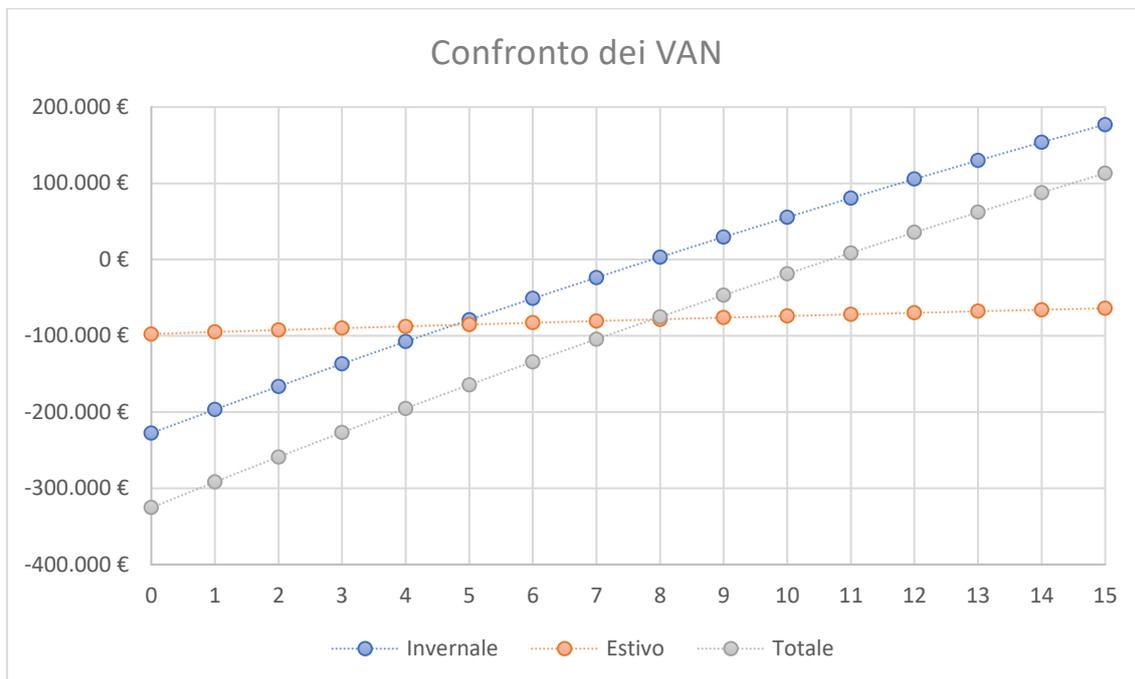


Figura 8.3 - Confronto VAN caso 2.2

8.3. Caso 3: struttura con miglioramenti sui serramenti, sui componenti opachi orizzontali e verticali

Il terzo caso, come nel secondo, si pone l'obiettivo di verificare i risparmi ottenibili in due diverse situazioni:

- Caso 3.1: confronto tra l'edificio attuale con l'impianto invernale di generazione di aria calda e assenza di impianto di raffrescamento estivo e l'edificio riqualificato energeticamente con nuovo impianto di climatizzazione
- Caso 3.2: confronto tra l'edificio esistente con l'impianto con pompa di calore e l'edificio riqualificato energeticamente, con installazione della pompa di calore dimensionata in funzione della potenza termica necessaria in seguito agli interventi di riqualificazione

Come nel paragrafo precedente, il costo totale per il rifacimento impianto è stato stimato pari a circa 150.000 € [2], di cui il 70% sono stati imputati alla parte invernale ed il restante 30% alla climatizzazione estiva. Inoltre, è da aggiungere il costo per l'intervento di riqualificazione della struttura analizzato nel paragrafo 5.1.4.

8.3.1. Caso 3.1

Riepilogo dei dati di risparmio

	Stato attuale		Stato futuro		Risparmio / anno [€/y]
	Fabbisogno termico di metano [Nm ³]	Costo [€]	Fabbisogno termico di energia primaria [kWh]	Costo [€]	
Riscaldamento	58362	40.853 €	49872	9.974 €	30.879 €
Raffrescamento	--	20.000 €	22104	4.421 €	15.579 €
TOTALE		60.853 €		14.395 €	46.458 €

Tabella 8.14 - Risparmio / annuo caso 3.1

Di seguito sono riportati gli indicatori economici per il caso invernale, estivo e complessivo.

Caso Invernale

Tempo di rientro (PBT)	9,70	anni
Tasso interno di rendimento (TIR)	5,49%	---
Valore attuale netto	10,9	anni

Tabella 8.15 – Indicatori economici, caso 3.1, invernale

Caso Estivo

Tempo di rientro (PBT)	8,24	anni
Tasso interno di rendimento (TIR)	8,09%	---
Valore attuale netto	9,2	anni

Tabella 8.16 – Indicatori economici, caso 3.1, estivo

Caso Invernale + Estivo

Tempo di rientro (PBT)	9,21	anni
Tasso interno di rendimento (TIR)	6,29%	---
Valore attuale netto	10,5	anni

Tabella 8.17 – Indicatori economici, caso 3.1, invernale + estivo

Graficamente si riporta il confronto dei VAN

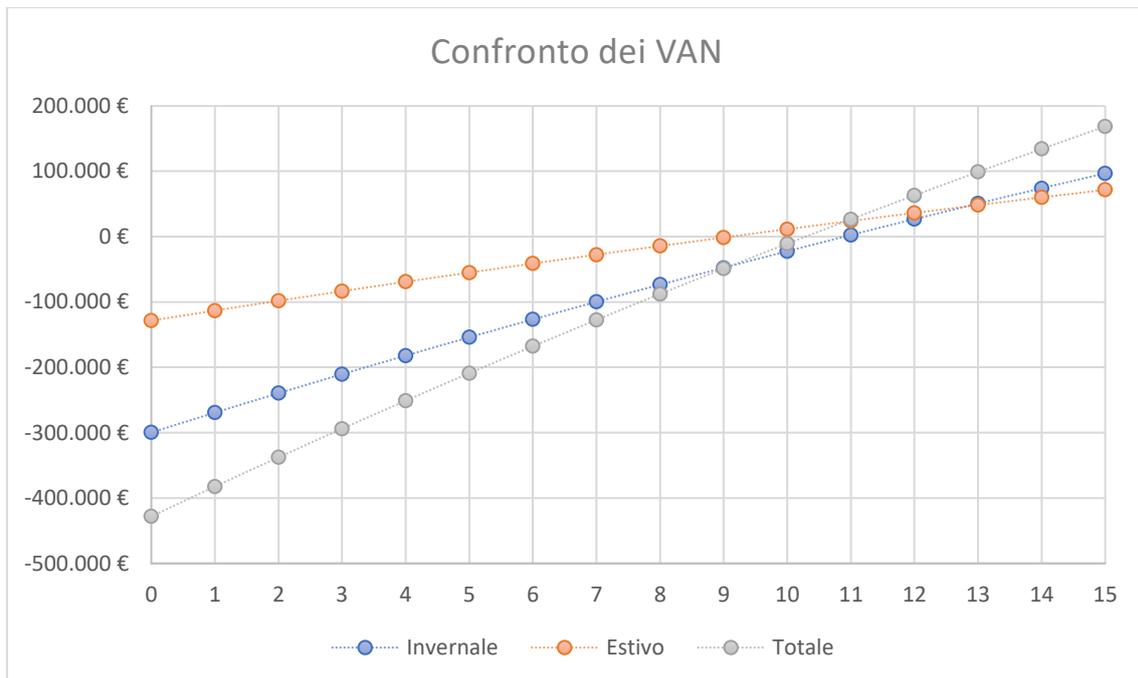


Figura 8.4 - Confronto VAN caso 3.1

8.3.2. Caso 3.2

Riepilogo dei dati di risparmio

	Stato attuale		Stato futuro		Risparmio / anno [€/y]
	Fabbisogno termico di energia primaria [kWh]	Costo [€]	Fabbisogno termico di energia primaria [kWh]	Costo [€]	
Riscaldamento	254373	50.875 €	68846	13.769 €	37.105 €
Raffrescamento	35734	7.147 €	22104	4.421 €	2.726 €
TOTALE		58.021 €		18.190 €	39.831 €

Tabella 8.18 - Risparmio / annuo caso 3.2

Di seguito riportati gli indicatori economici per il caso invernale, estivo e complessivo.

Caso Invernale

Tempo di rientro (PBT)	8,08	anni
Tasso interno di rendimento (TIR)	8,43%	---
Valore attuale netto	8,8	anni

Tabella 8.19 – Indicatori economici, caso 3.2, invernale

Caso Estivo

Tempo di rientro (PBT)	47,11	anni
Tasso interno di rendimento (TIR)	-12,21%	---
Valore attuale netto	> 15	anni

Tabella 8.20 – Indicatori economici, caso 3.2, estivo

Caso Invernale + Estivo

Tempo di rientro (PBT)	10,75	anni
Tasso interno di rendimento (TIR)	3,97%	---
Valore attuale netto	12,3	anni

Tabella 8.21 – Indicatori economici, caso 3.2, invernale + estivo

Graficamente si riporta il confronto dei VAN

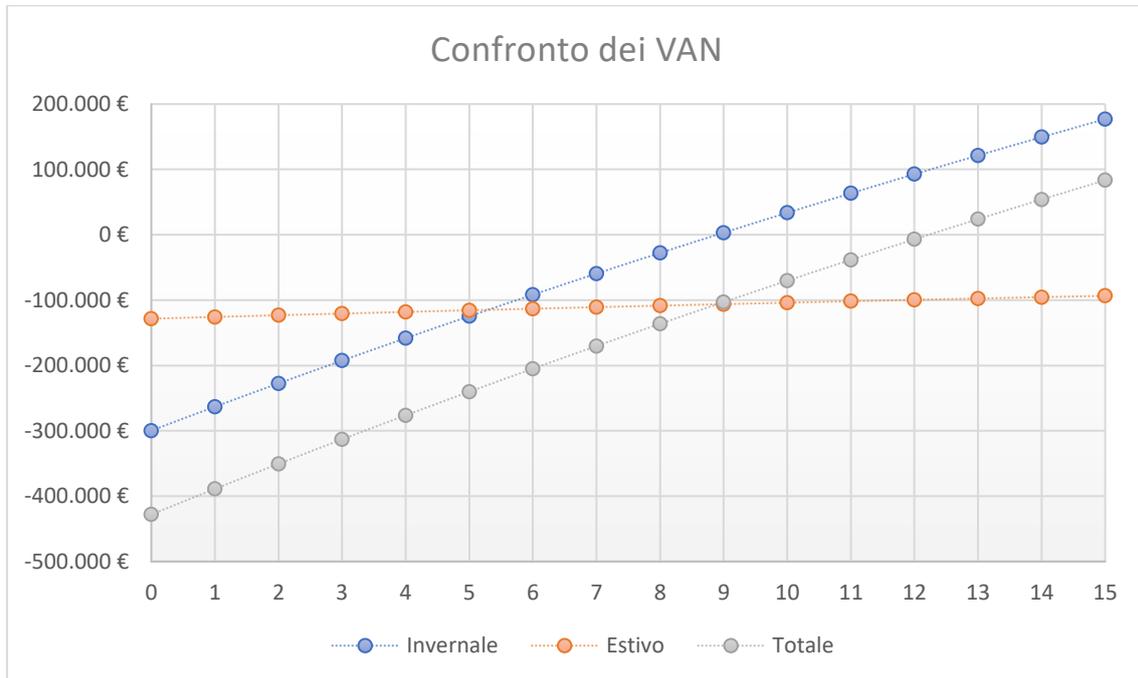


Figura 8.5 - Confronto VAN caso 3.2

9. Conclusioni

Il progetto di riqualificazione energetica e dell'impianto di climatizzazione in un ambiente industriale è stato portato avanti poiché attualmente l'ambiente lavorativo della struttura in esame non risulta confortevole soprattutto durante il periodo estivo.

Al fine di migliorare le condizioni di comfort interno è stato redatto un progetto che prevede l'installazione di una pompa di calore aria-acqua in grado di soddisfare i fabbisogni energetici richiesti.

Poiché non erano disponibili dati di consumo reali per il periodo invernale, con lo scopo di ottenere dei valori di dispendio energetico di confronto, è stato simulato l'edificio ed i relativi impianti, sul *software* EC700 [1], basandosi sulla stagione invernale di riferimento [9].

I terminali scelti sono i turbodiffusori poiché, nonostante l'esborso iniziale superiore, presentano rendimenti maggiori e garantiscono una migliore qualità dell'aria ambiente dovuta ai sistemi di filtrazione interni.

Successivamente le varie casistiche, comprensive di riqualificazione edilizia e progettazione degli impianti, sono state simulate ed infine si sono confrontati i consumi per ottenere un'analisi energetica.

Per una corretta analisi finanziaria e per supportare la direzione aziendale nelle scelte da attuare sono stati considerati principalmente due indicatori economici, cioè il Valore Attuale Netto (VAN) ed il Tasso Interno di Rendimento (TIR).

Considerando l'edificio allo stato attuale, i risultati ottenuti sono i seguenti:

- Caso 1: sostituzione impianto di climatizzazione
- Caso 2.1: sostituzione impianto di climatizzazione e coibentazione delle superfici opache orizzontali
- Caso 3.1: sostituzione impianto di climatizzazione e opere di miglioria su tutto l'edificio

	TIR	VAN
CASO 1	9,30%	8,4
CASO 2.1	9,18%	8,5
CASO 3.1	6,29%	10,5

Tabella 9.1 - Indici economici complessivi, riferimento edificio attuale

Dai risultati ottenuti si evince che il caso 1 e 2.1 siano i migliori, quindi garantirebbero il maggior risparmio energetico ed economico possibile. Una considerazione aggiuntiva relativa al Tasso Interno di Rendimento è che calcolandolo su un intervallo di tempo maggiore, come per esempio 20 anni, si otterrebbe un valore più elevato per il caso 2.1, pari al 10,91% in relazione al 10,25% del caso 1, rendendolo così più conveniente.

Considerando invece un edificio ipotetico, con la struttura pari a quella esistente e con una pompa di calore in grado di soddisfarne i fabbisogni, i risultati ottenuti con opere di riqualificazione energetica sono:

- Caso 2.2: sostituzione impianto di climatizzazione e coibentazione delle superfici opache orizzontali
- Caso 3.2: sostituzione impianto di climatizzazione e opere di coibentazione su tutto l'edificio

	TIR	VAN
CASO 2.2	5,77%	10,7
CASO 3.2	3,97%	12,3

Tabella 9.2 - Indici economici complessivi, riferimento edificio con pompa di calore

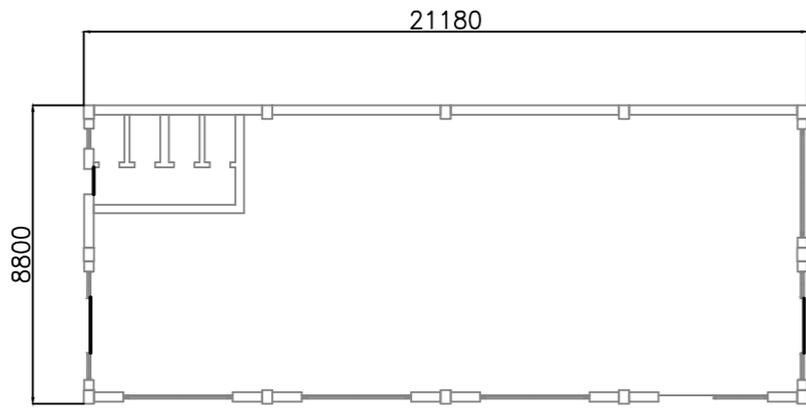
Anche in questo caso si ha un'ulteriore dimostrazione di quanto affermato nel paragrafo 5.1.4. Come presumibile la soluzione di coibentazione delle coperture rispetto alla riqualificazione globale di tutta la struttura comporta tempi di ritorno dell'investimento inferiori rispetto alla riqualificazione globale dello stabile.

Infine, è importante evidenziare che nei calcoli svolti non sono state considerate possibili detrazioni fiscali poiché non si è a conoscenza di quando e se questo intervento verrà effettuato. Se si considerassero possibili detrazioni (50% - 65%) si avrebbe una maggior convenienza nell'investire il capitale nella riqualificazione energetica poiché i tempi economici di ritorno sarebbero notevolmente ridotti.

10. Bibliografia

- [1] EdilClima, EC700 - Prestazioni termiche dell'edificio.
- [2] Camera di Commercio di Milano, Prezziario.
- [3] W. J. Fisk, «Review of Health and Productivity Gains From Better IEQ,» Indoor Environment Department, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley.
- [4] «Alfa Laval,» [Online]. Available: <https://www.alfalaval.com/about-us/our-company/>.
- [5] P. Calderone, «Le agevolazioni fiscali per il risparmio energetico,» Agenzia delle Entrate, 2019, p. 43.
- [6] P. Tronville, *IAQ and ventilation*, Torino: Slide del corso "Energy savings and comfort in buildings", 2016-17; 2017-18.
- [7] Aicarr, Manuale d'ausilio alla progettazione termotecnica, 2010.
- [8] ASHRAE, Comfort termoigrometrico, 2004.
- [9] *Norma UNI/TS 11300 - "Prestazioni energetiche degli edifici"*, 2016.
- [10] M. Bo, *Sistemi innovativi di climatizzazione*, Torino: Prodim srl.
- [11] F. Miccoli, «WIKa,» [Online]. Available: <https://blog.wika.it/applicazioni/perch-importante-la-strumentazione-di-monitoraggio-sulle-centrali-trattamento-aria-cta/>.
- [12] LINDAB, *Diffusori a dislocamento*.
- [13] Sabiana, *Catalogo prodotti*.
- [14] S. S. Energy. [Online]. Available: <https://www.shardana-smart-energy.com/prodotto/porte-lama-aria-thermoscreens/>.
- [15] «Casa e clima,» [Online]. Available: https://www.casaclima.com/ar_37141__Come-azienda-produttiva-sostituito-impianto-aerotermini.html.
- [16] Hoval, *Topvent*.
- [17] «Energie Rinnovabili,» [Online]. Available: <https://www.abbassalebollette.it>.
- [18] «Gruppo Fondiario Italia,» Luglio 2018. [Online]. Available: <https://www.gruppofondiarioitalia.it/pompa-di-calore-funzionamento-e-costi/>.
- [19] K. J. North, *Diagram showing the components of a water cooled chiller*, 2016.
- [20] Sabiana, *Software Vulcan Euro Pro*.
- [21] Tecno-ventil, *Diffusori a dislocamento*.
- [22] Sabiana, *Aerotermini*.
- [23] Sabiana, *Ventilconvettori, Carisma*.

- [24] Aermec, *Pompe di calore reversibili aria/acqua per installazione esterna.*
- [25] Hoval, *Caldaia a condensazione UltraGas.*
- [26] INAIL, *Raccolta dimensionamento valvole di sicurezza.*
- [27] Caleffi, *Raccolta R.*
- [28] Caleffi, *Vasi di espansione.*
- [29] *Capitolato speciale d'appalto, Casa della salute.*
- [30] Hoval, *Guida tecnica.*
- [31] N. Rossi, *Manuale del termotecnico, Hoepli, 2009.*
- [32] *Progetto definitivo impianti meccanici, Casa della salute.*

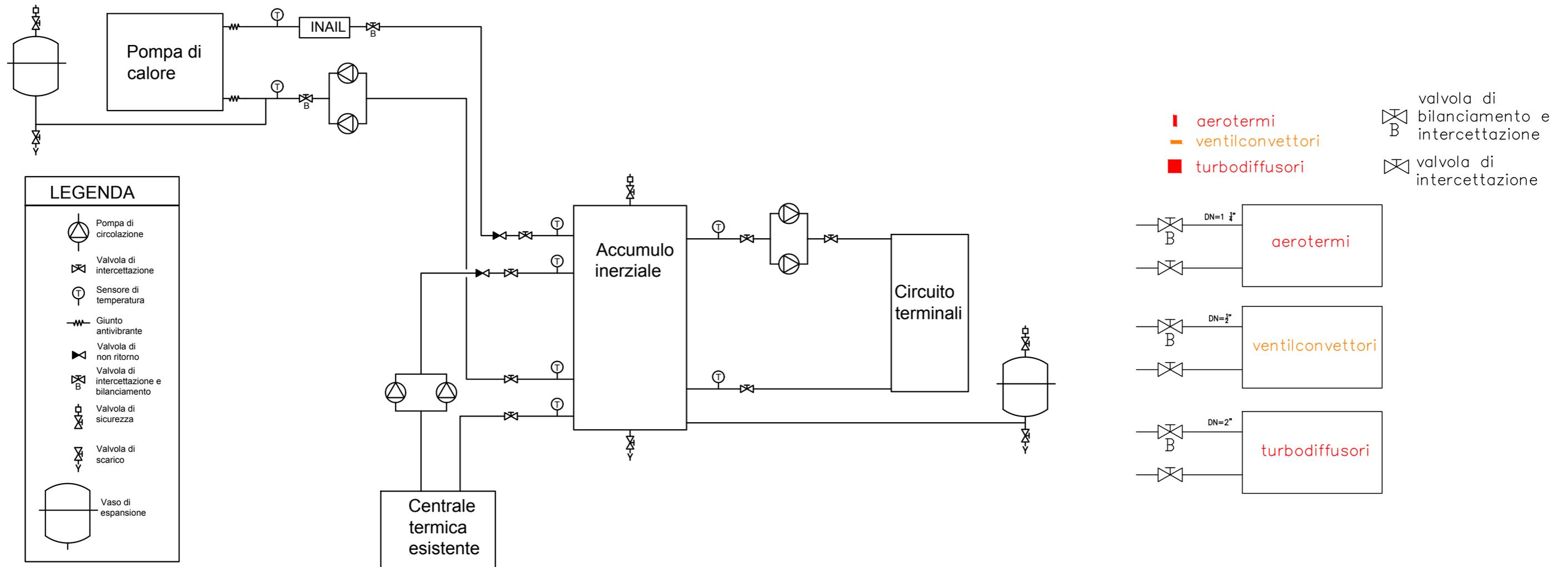


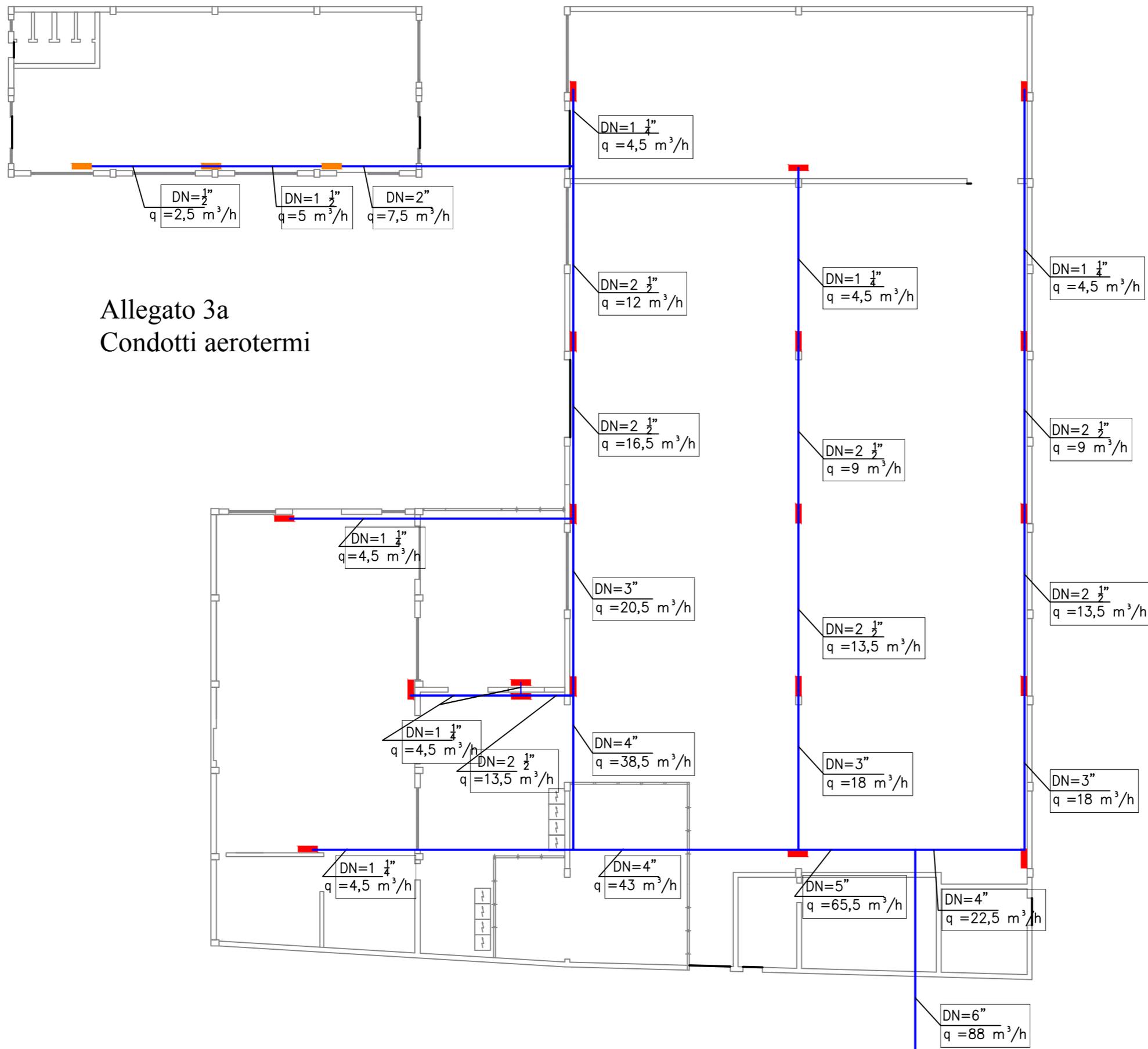
Allegato 1
Pianta edificio



NORD

Allegato 2 Schema funzionale





Allegato 3a
Condotti aerotermi

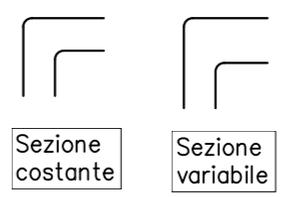
Connessioni

Diramazioni

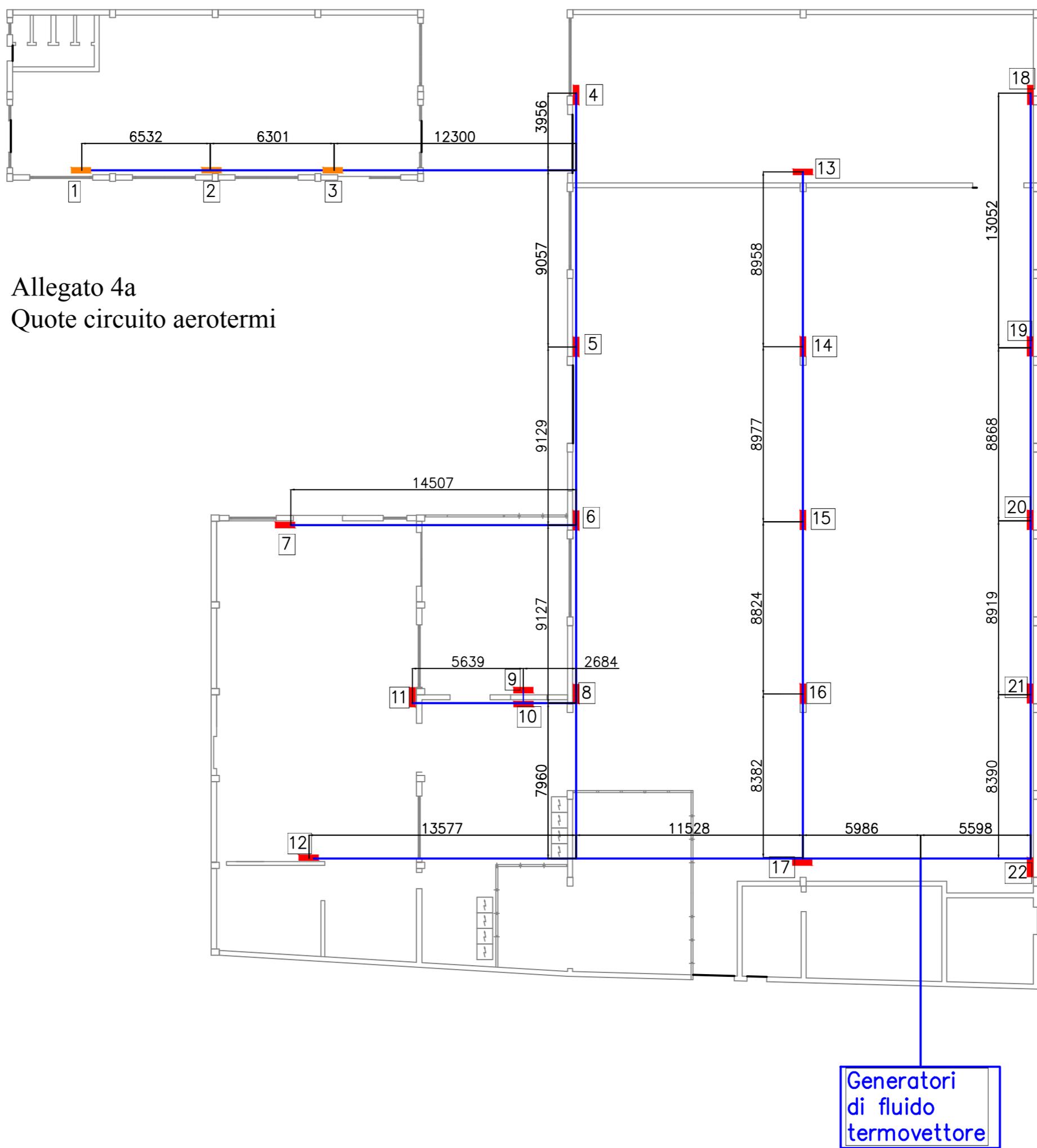
Direzione del flusso

$\phi = 1 \frac{1}{4}$ " per aerotermi
 $\phi = 2$ " per turbodiffusori
 $\phi = \frac{1}{2}$ " per ventilconvettori
 connessione verso il terminale

Raccordi

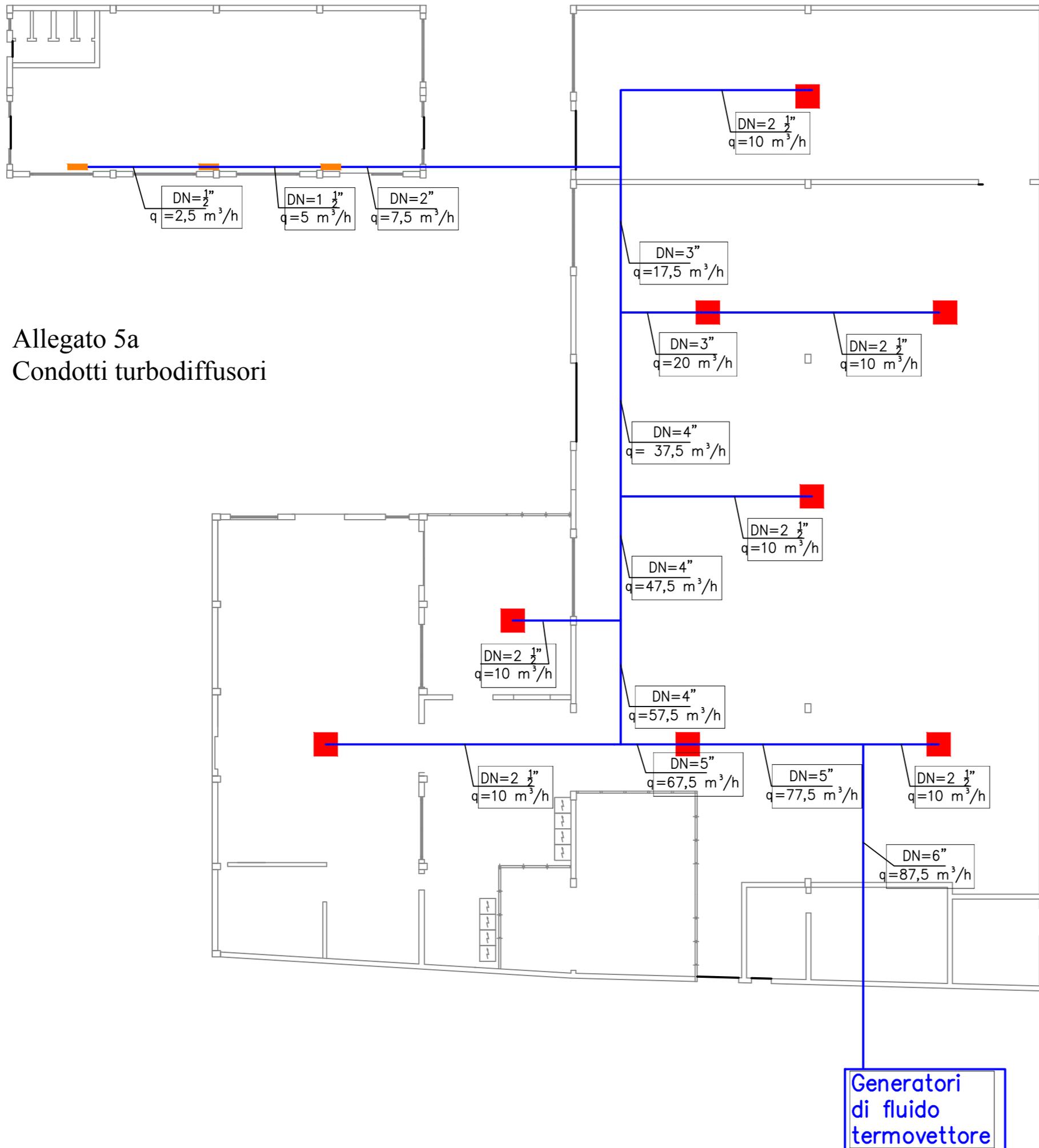


Sono rappresentati i condotti di mandata, il ritorno è in parallelo alla mandata



Allegato 4a
 Quote circuito aerotermi

Generatori
 di fluido
 termovettore



Allegato 5a
Condotti turbodiffusori

Conessioni

Diramazioni

Direzione
del flusso

$\phi = 1 \frac{1}{4}$ " per aerotermini
 $\phi = 2$ " per turbodiffusori
 $\phi = \frac{1}{2}$ " per ventilconvettori
 connessione verso il terminale

Raccordi



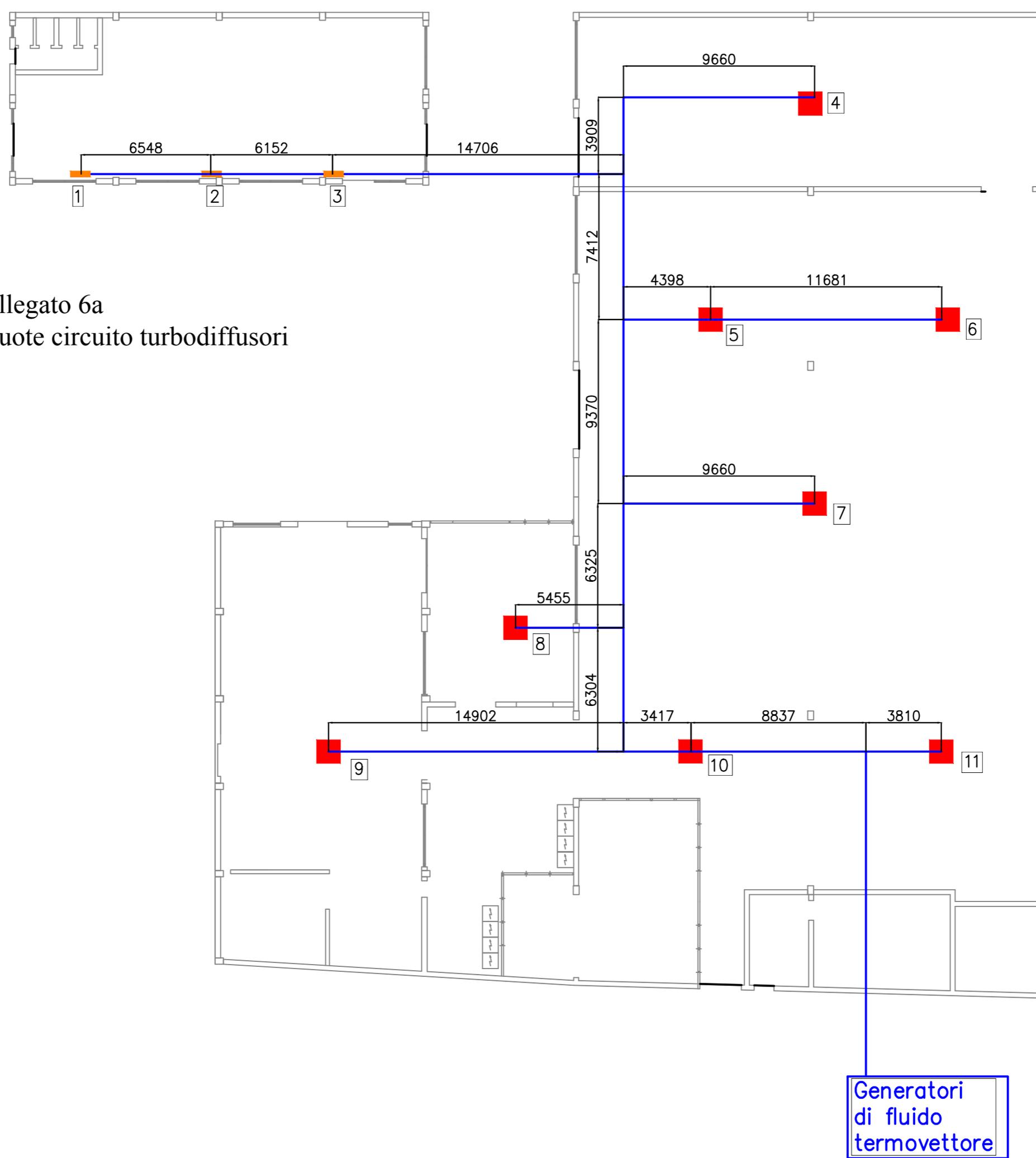
Sezione
costante

Sezione
variabile

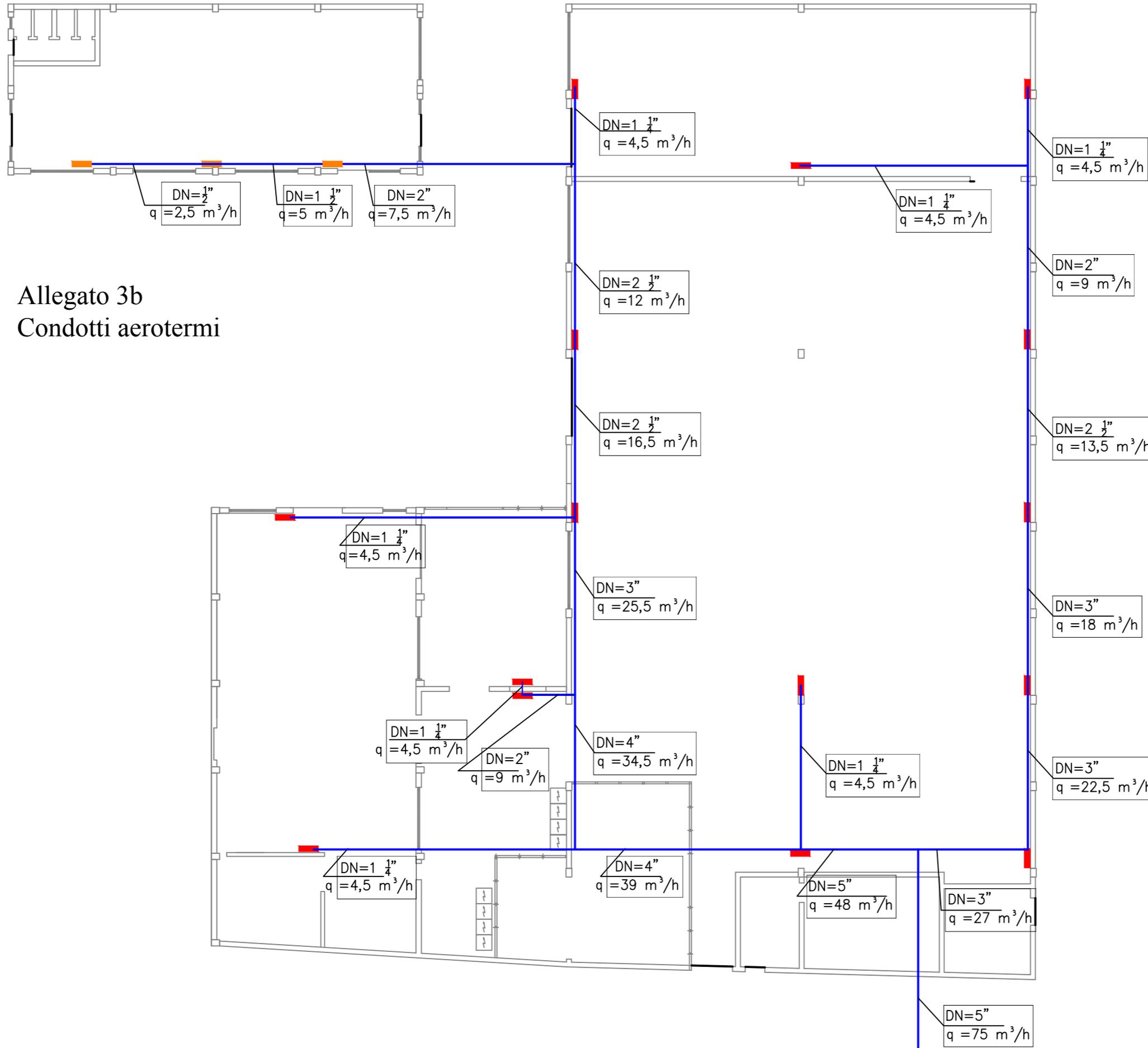
Sono rappresentati i condotti di mandata, il ritorno è in parallelo alla mandata

Generatori
di fluido
termovettore

Allegato 6a
Quote circuito turbodiffusori



Allegato 3b
Condotti aerotermi



Conessioni

Diramazioni

Direzione del flusso

$\phi = 1 \frac{1}{4}$ " per aerotermi
 $\phi = 2$ " per turbodiffusori
 $\phi = \frac{1}{2}$ " per ventilconvettori
 connessione verso il terminale

Raccordi



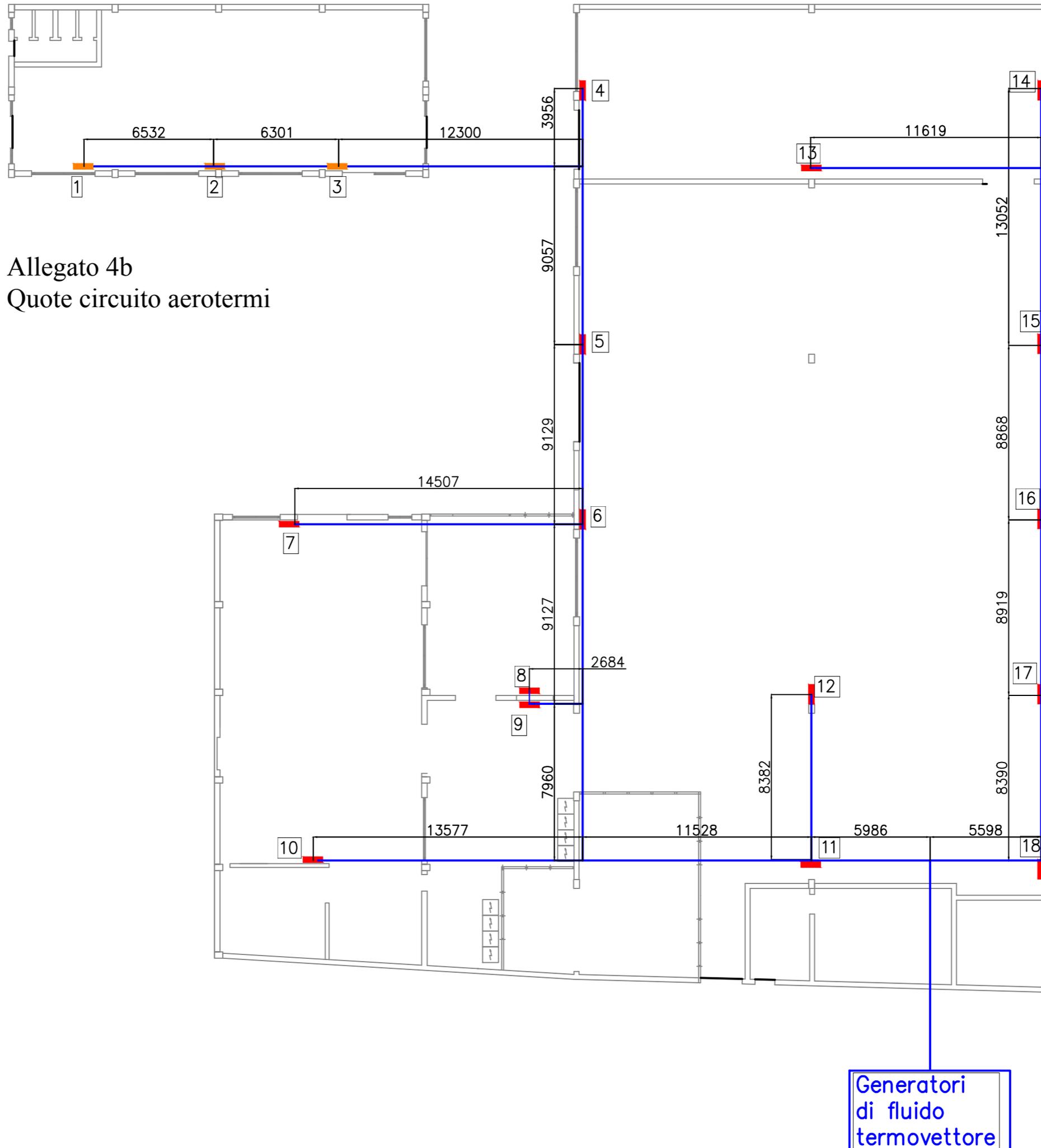
Sezione costante



Sezione variabile

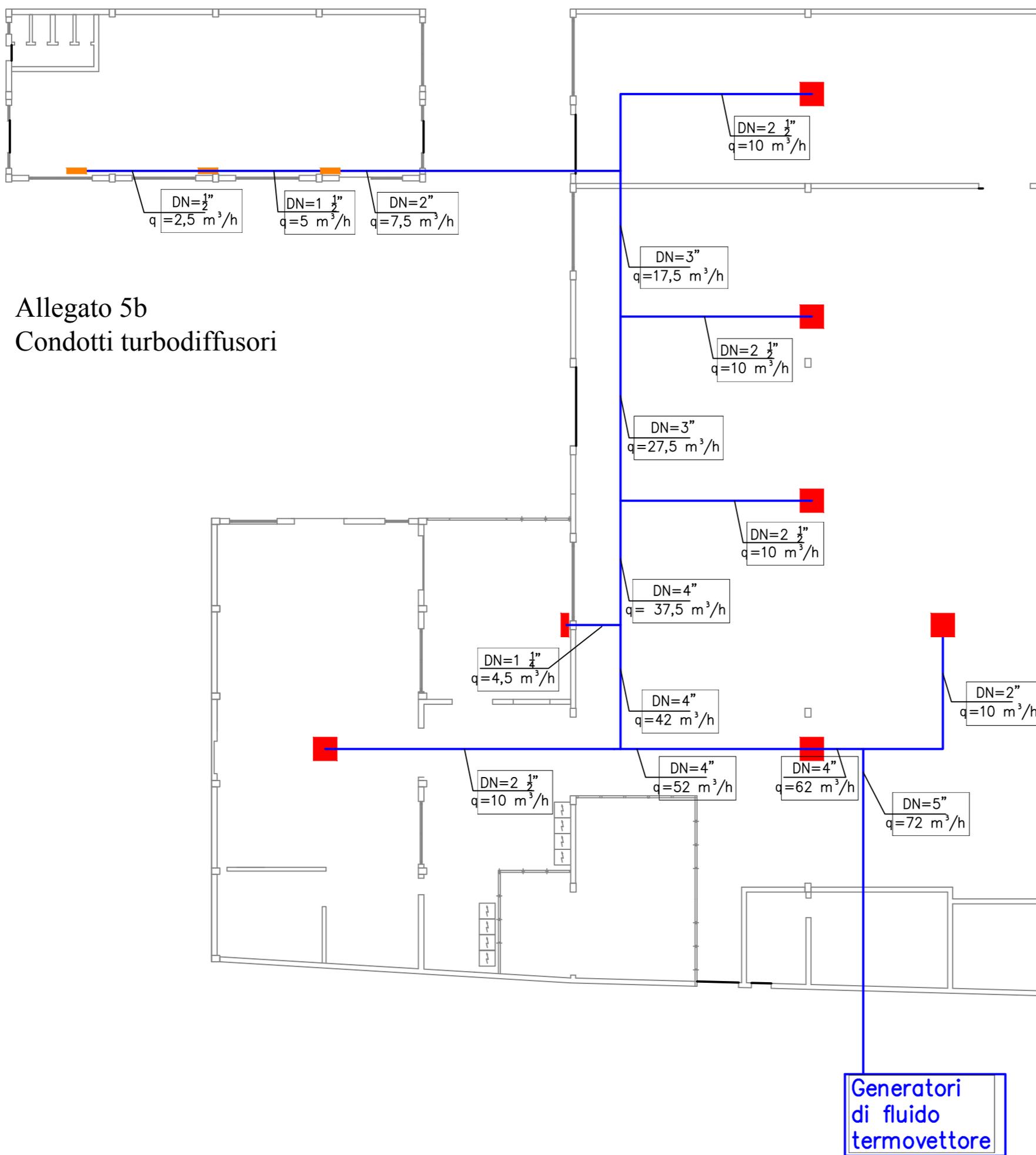
Sono rappresentati i condotti di mandata, il ritorno è in parallelo alla mandata

Generatori di fluido termovettore



Allegato 4b
Quote circuito aerotermi

Generatori
di fluido
termovettore



Allegato 5b
Condotti turbodiffusori

Conessioni

Diramazioni

Direzione del flusso

$\phi = 1 \frac{1}{4}$ " per aerotermini
 $\phi = 2$ " per turbodiffusori
 $\phi = \frac{1}{2}$ " per ventilconvettori
 connessione verso il terminale

Raccordi

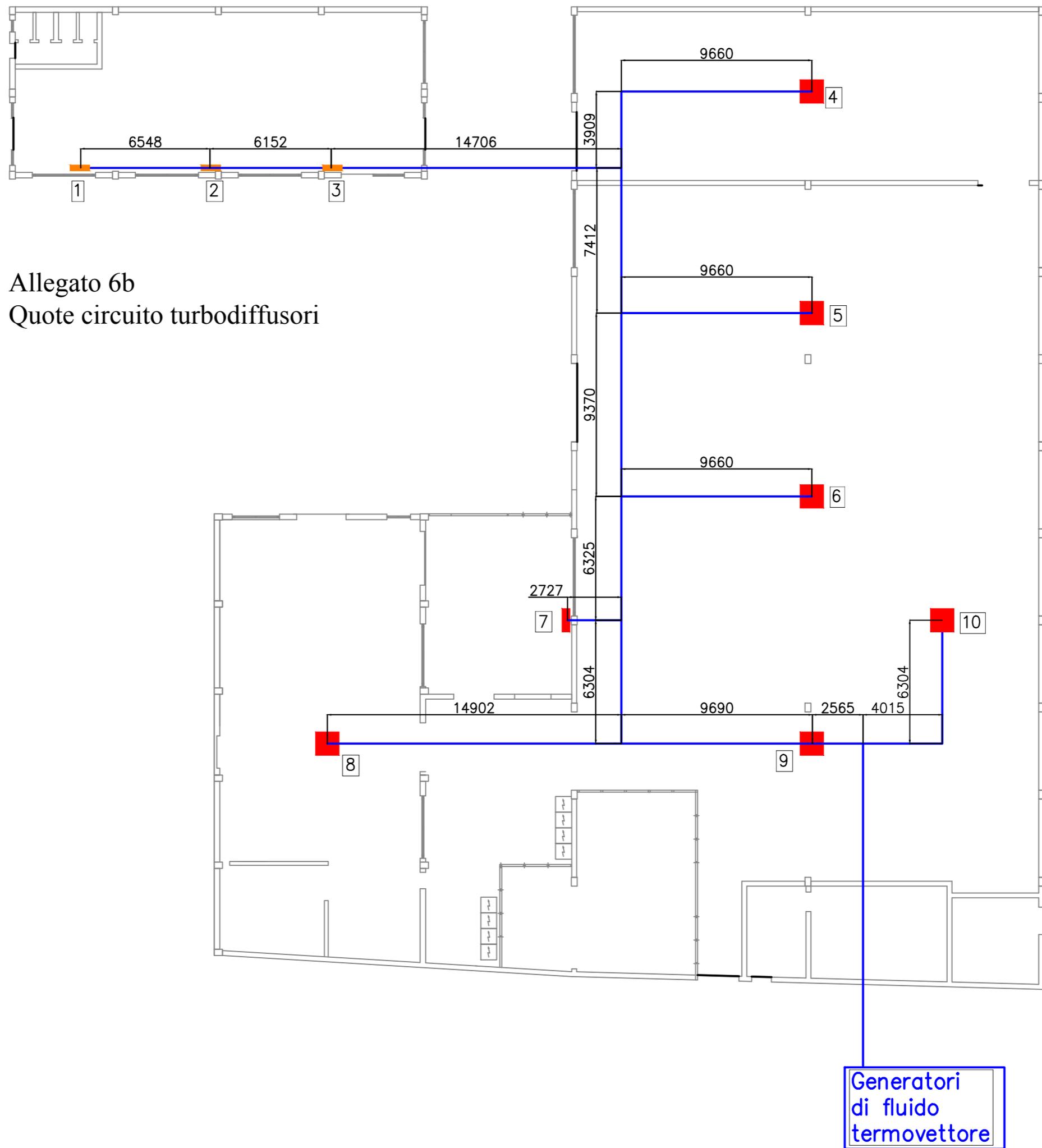


Sezione costante



Sezione variabile

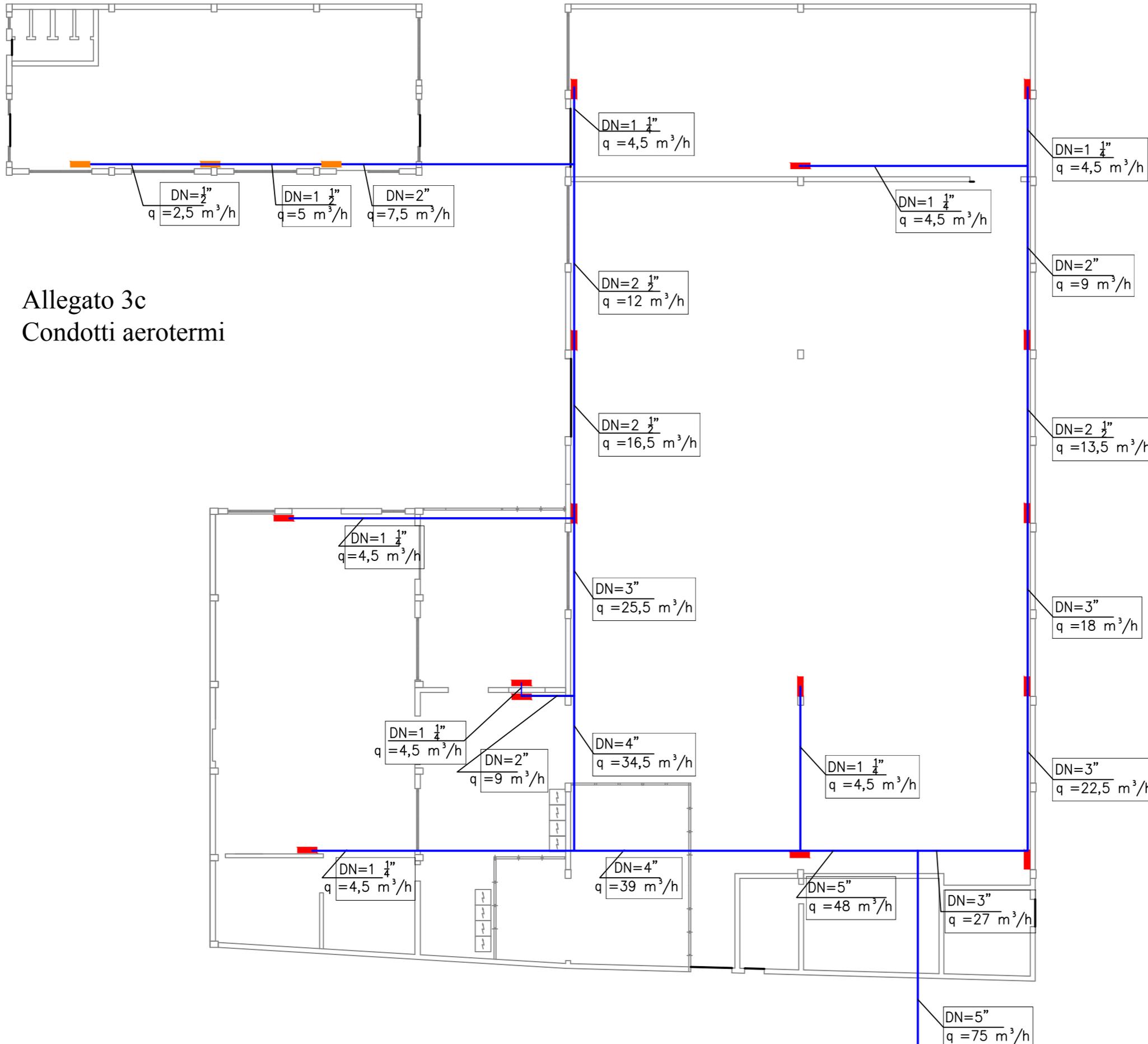
Sono rappresentati i condotti di mandata, il ritorno è in parallelo alla mandata



Allegato 6b
 Quote circuito turbodiffusori

Generatori
 di fluido
 termovettore

Allegato 3c Condotti aerotermi



Conessioni

Diramazioni

Direzione del flusso

Ø = 1 1/4" per aerotermi
Ø = 2" per turbodiffusori
Ø = 1/2" per ventilconvettori
connessione verso il terminale

Raccordi



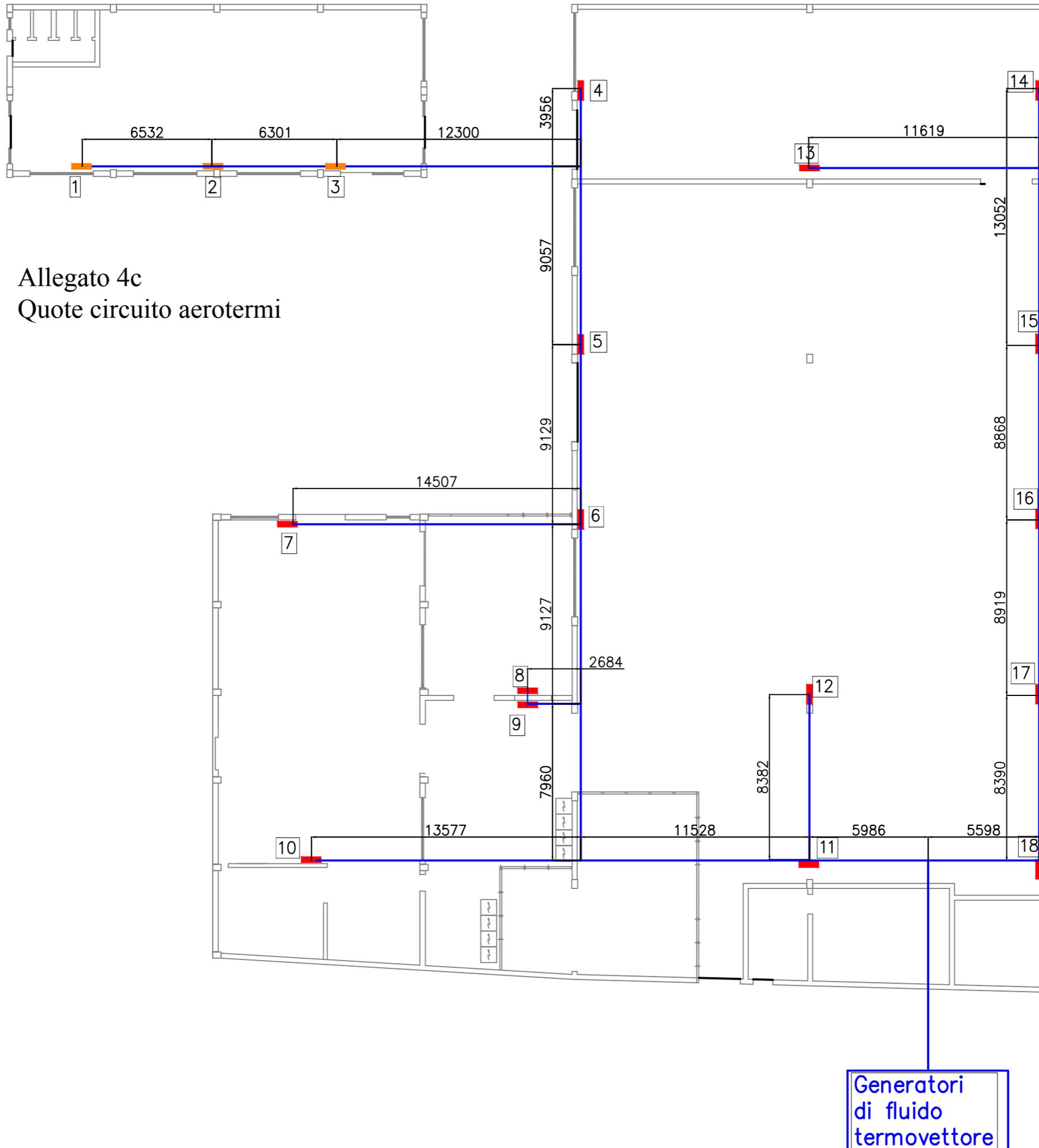
Sezione costante



Sezione variabile

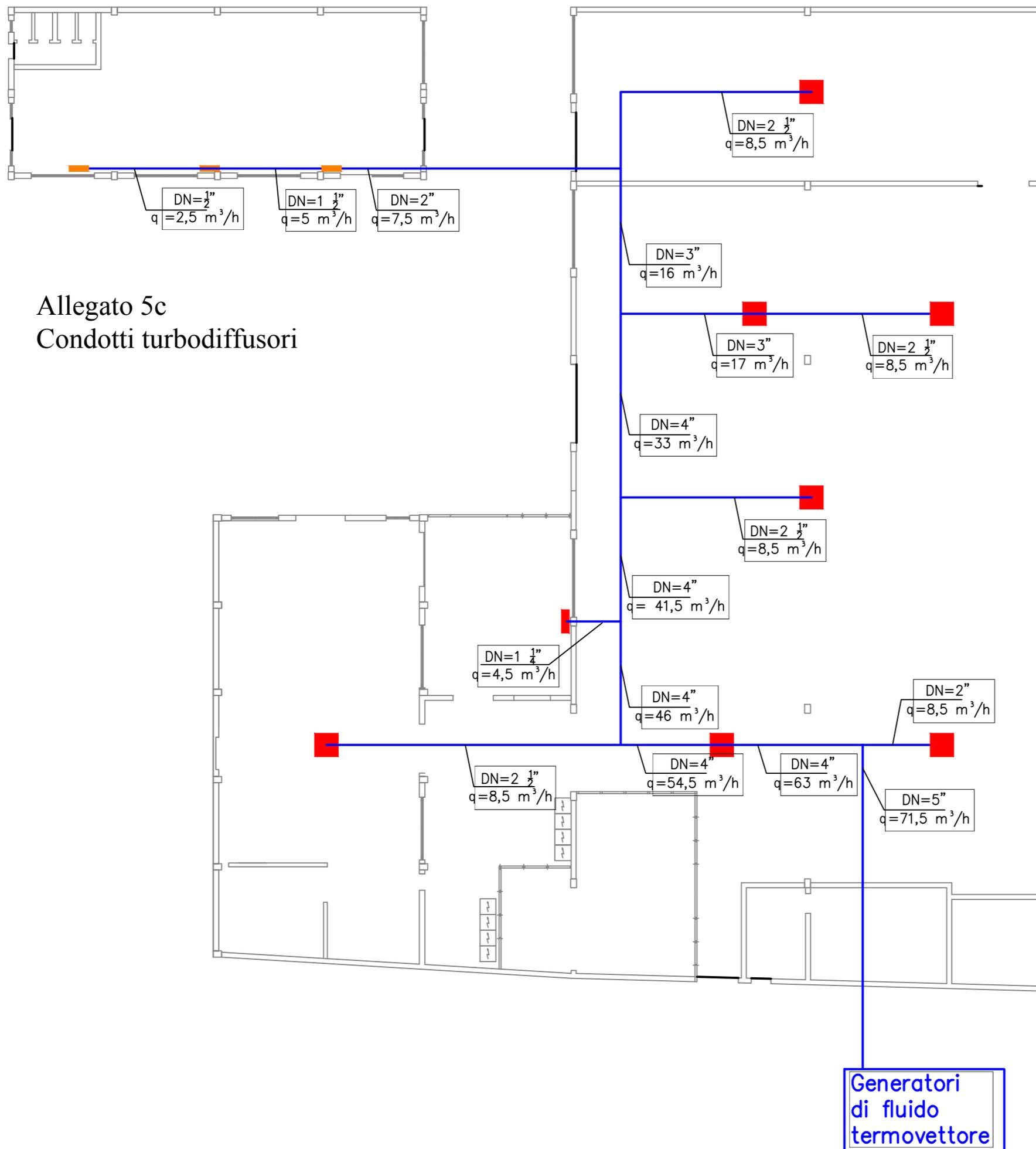
Sono rappresentati i condotti di mandata, il ritorno è in parallelo alla mandata

Generatori di fluido termovettore



Allegato 4c
Quote circuito aerotermi

Generatori
di fluido
termovettore



Allegato 5c
Condotti turbodiffusori

Conessioni

Diramazioni

Direzione
del flusso

$\phi = 1 \frac{1}{4}$ " per aerotermi
 $\phi = 2$ " per turbodiffusori
 $\phi = \frac{1}{2}$ " per ventilconvettori
 connessione verso il terminale

Raccordi



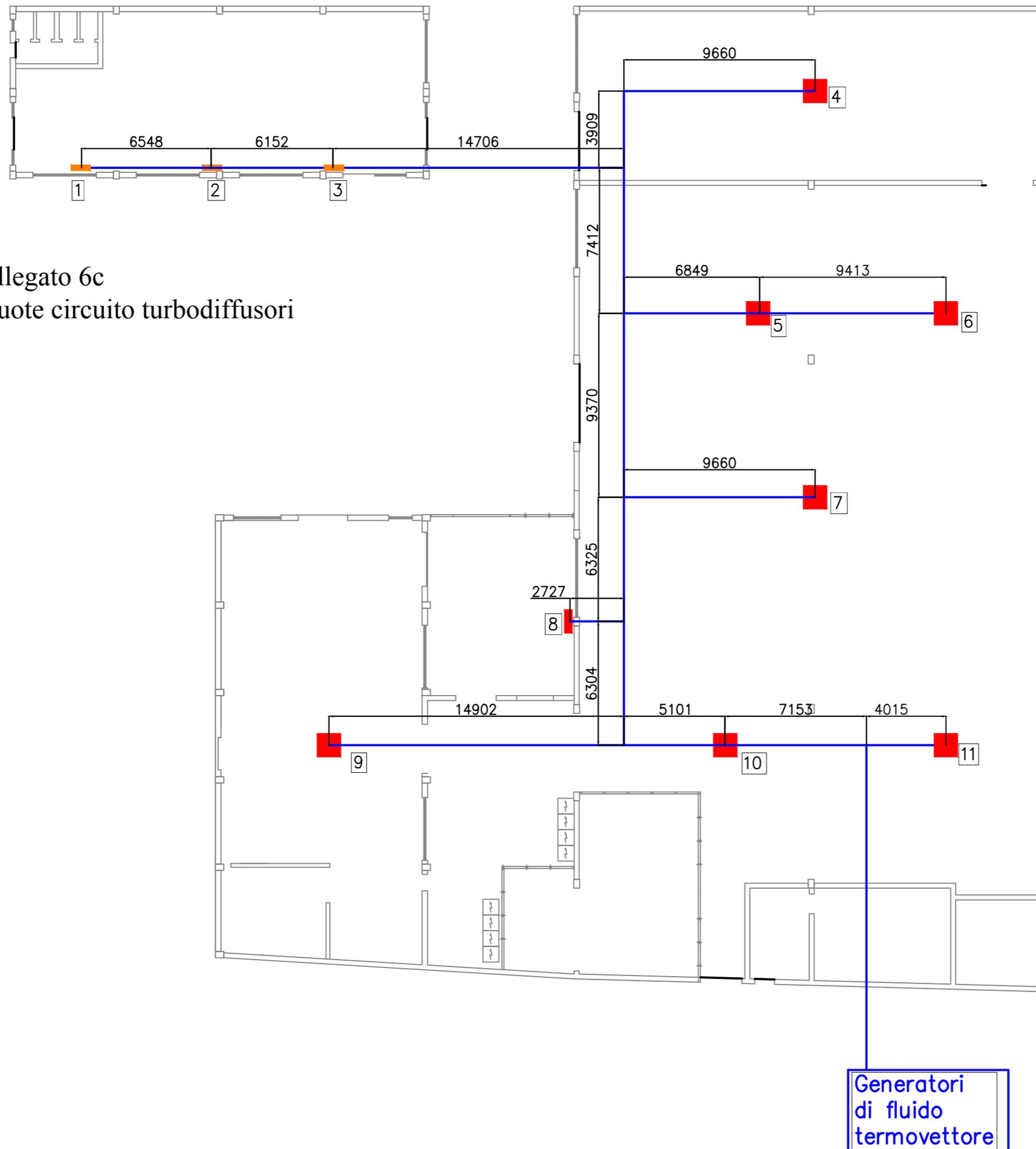
Sezione
costante

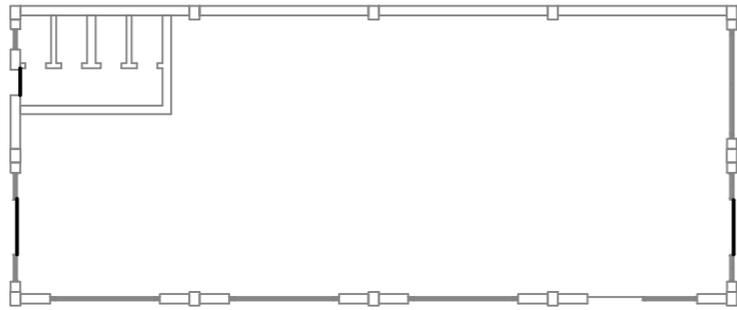


Sezione
variabile

Sono rappresentati i
condotti di mandata,
il ritorno è in parallelo
alla mandata

Allegato 6c
Quote circuito turbodiffusori





Allegato 7
Barriere a lame d'aria



Barriere a lame d'aria

