



POLITECNICO
MILANO 1863

**SCUOLA DI INGEGNERIA INDUSTRIALE E
DELL'INFORMAZIONE**

Laurea In Ingegneria Meccanica

Dimensionamento e analisi del sistema impiantistico di riscaldamento

Tutor accademico: Ing. Matteo ZAGO

Tutor aziendale: Ing. Michael METZGER

Francesco Pio FALCONE

987710

Anno accademico 2025/2026

Ai miei genitori

INDICE

Introduzione	4
Elenco degli Acronimi e Simboli	4
Obiettivo progetto e Struttura relazione	8
1. Situazione iniziale	9
1.1 Descrizione della villa	9
1.2 Impianto preesistente	10
2. Impianto di riscaldamento	11
2.1 Configurazione 1: caloriferi esistenti	11
2.2 Configurazione 2: pavimento radiante	12
2.3 Configurazione 3: pavimento radiante + ventilconvettore	13
3. Dimensionamento	15
3.1 Generatore	15
3.2 Ventilconvettore	17
3.3 Collettori di distribuzione	18
3.3.1 Verifica fluidodinamica degli stacchi	20
3.3.2 Verifica salto termico ΔT	21
3.4 Linee elettriche	22
3.4.1 Verifica protezione cortocircuiti	25
3.4.2 Verifica caduta di tensione	27
3.5 Colonne montanti ACS/AFS	29
4. Analisi dei flussi	31
4.1 Metodo di calcolo	31
4.2 Risultati numerici	32
5. Impianto nuovo	34
Conclusione	37
Riferimenti normativi	38

Acronimo	Descrizione
ACS	Acqua calda sanitaria
AFS	Acqua fredda sanitaria
COP	Coefficiente di prestazione
DN	Diametro nominale
EPR	Gomma etilenpropilenica
IPE	Indice di prestazione energetica
L10	Legge 10
P-1	Piano seminterrato
P1	Primo piano
P2	Secondo piano
PdC	Pompa di calore
PT	Piano terra
PVC	Polivinilcloruro
QE	Quadro generale
UC	Unità di carico
VMC	Ventilazione meccanica controllata

Simboli	Descrizione	Unità di misura
A	Superficie radiante	[m ²]
A_{collettore}	Area della sezione del collettore	[mm ²]
A_{int}	Sezione interna netta minima	[mm ²]
A_{min}	Sezione minima calcolata	[mm ²]
A_{teorica}	Sezione teorica del tubo imposta	[mm ²]
A_{tot}	Area della sezione totale	[mm ²]
c	Capacità termica specifica dell'acqua (calore specifico)	[Wh/ (kg *°C)]
c_s	Fattore di sicurezza	[-]
D_{collettore}	Diametro interno collettore	[mm]
D_{int}	Diametro interno minimo	[mm]
D_{stacco}	Diametro commerciale scelto	[mm]
D_{teorico}	Diametro tubo in uscita imposto	[mm]
f_c	Fattore correttivo	[-]
I	Corrente massima di progetto	[A]
I²t	Integrale di Joule lasciato passare dal dispositivo per la durata del corto circuito	[A ² s]
I_b	Corrente di impiego	[A]
I_{cc}	Corrente di cortocircuito della rete	[A]
I_{cn}	Potere di interruzione nominale	[A]
I_n	Corrente nominale	[A]
I_z	Portata del cavo	[A]
I_{z0}	Portata nominale del cavo	[A]
K	coefficiente dipendente dal materiale conduttore e isolante	[A*s ^{1/2} /mm ²]
k₁	Fattore di correzione per temperatura ambiente	[-]
k₂	Fattore di correzione per raggruppamento di più cavi	[-]
L	Lunghezza della linea elettrica	[m]
L_%	Lunghezza della linea elettrica maggiorata di un 10%	[m]
N_{el}	Numero di elementi del radiatore	[-]
P_{60%}	Potenza termica al 60% del ventilconvettore	[W]

P_{cald}	Potenza caldaia	[W]
P_{disp}	Potenza termica dispersa dal locale	[W]
P_e	Potenza emessa effettiva	[W]
P_{el}	Potenza nominale del singolo elemento	[W]
P_{fornita}	Potenza termica del pavimento radiante	[W]
P_{gen}	Potenza termica del generatore	[W]
P_{max}	Potenza termica massima trasportabile dal fluido	[W]
P_{max,v}	Potenza termica massima ventilconvettore	[W]
P_p	Potenza al primario	[W]
P_{PdC}	Potenza pompa di calore	[W]
P_{rad}	Potenza termica erogata	[W]
P_{residua}	Potenza termica residua	[W]
P_s	Potenza al secondario	[W]
P_{s,rad}	Potenza del radiante al secondario	[W]
P_{s,ven}	Potenza del ventilconvettore al secondario	[W]
q	Potenza specifica radiante	[W/m ²]
S	Sezione del conduttore	[mm ²]
u	Caduta di tensione unitaria	[mV/(A*m)]
v	Velocità del fluido all'interno del tubo	[m/s]
v_{eff}	Velocità effettiva del fluido all'interno del tubo	[m/s]
v_{efflusso}	Velocità di efflusso imposta	[m/s]
v_{reale}	Velocità di efflusso reale	[m/s]
V_n	Tensione nominale	[V]
ΔP	Differenza di potenza	[W]
ΔT	Salto termico tra mandata e ritorno	[°C]
ΔT_n	Differenza tra la temperatura media del calorifero e la temperatura ambiente di progetto	[°C]
ΔT_{reale}	Salto termico effettivo	[°C]
ΔV	Caduta di tensione assoluta	[V]
ΔV%	Caduta di tensione percentuale rispetto alla tensione nominale	[V]

η_1	Rendimento tra generatore e primario	[-]
η_2	Rendimento tra primario e secondario	[-]
η_3	Rendimento tra secondario e terminali	[-]
$\eta_{d,rad}$	Rendimento di distribuzione radiante	[-]
$\eta_{d,ven}$	Rendimento di distribuzione ventilconvettore	[-]
$\eta_{e,rad}$	Rendimento di emissione radiante	[-]
$\eta_{e,ven}$	Rendimento di emissione ventilconvettore	[-]
$\eta_{r,rad}$	Rendimento di regolazione radiante	[-]
$\eta_{r,ven}$	Rendimento di regolazione ventilconvettore	[-]
η_{tot}	Rendimento totale	[-]
Φ_{rh}	Carico termico di ripresa	[W]
Φ_t	Carico termico per trasmissione	[W]
Φ_{tot}	Fabbisogno termico totale stazionario	[W]
Φ_v	Carico termico per ventilazione	[W]
$\dot{V}$	Portata volumetrica del fluido all'interno del tubo	[l/h]
$\dot{V}_{cald1}$	Portata volumetrica caldaia 1	[l/s]
$\dot{V}_{imp}$	Portata del tubo imposta	[l/min]
$\dot{V}_{PdC}$	Portata volumetrica pompa di calore	[l/s]
$\dot{V}_{prog}$	Portata di progetto	[l/s]
$\dot{V}_{s,rad}$	Portata volumetrica al secondario radiante	[l/s]
$\dot{V}_{s,ven}$	Portata volumetrica al secondario ventilconvettore	[l/s]

OBIETTIVO PROGETTO

Il seguente progetto ha come obiettivo quello di selezionare e dimensionare il sistema impiantistico di riscaldamento ottimale per un immobile di tipo villa. La progettazione si sviluppa sulla base dei dati di dispersione e carichi termici forniti dalla Legge 10 (L10) e nel rispetto delle restrizioni normative vigenti. Al fine di validare le scelte impiantistiche e valutare la variazione di rendimento, si è condotta l'analisi dei flussi, indispensabile per verificare la corretta trasmissione di calore tra generatore e terminali di emissione.

STRUTTURA RELAZIONE

La presente relazione tecnica di progetto è divisa in 5 capitoli:

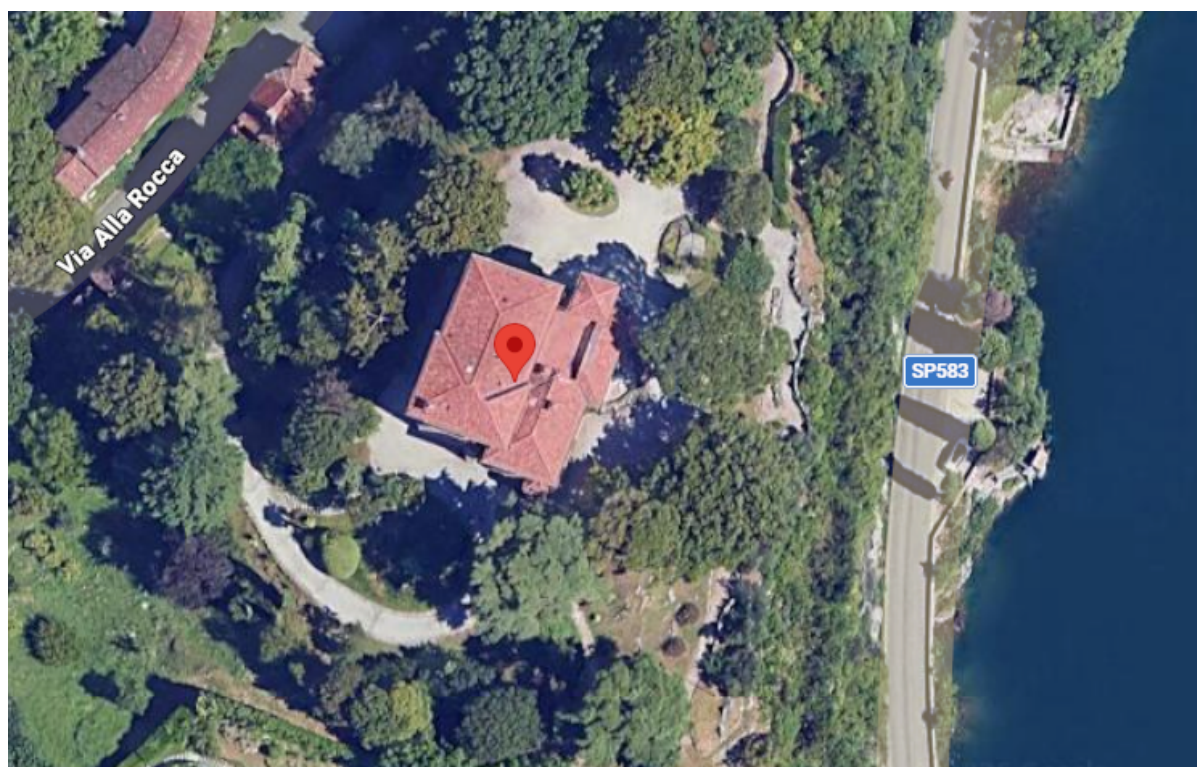
- **Capitolo 1:** descrive l'edificio in analisi e il sistema impiantistico preesistente;
- **Capitolo 2:** presenta un confronto tra tre configurazioni alternative di impianti di riscaldamento;
- **Capitolo 3:** è dedicato al dimensionamento dei generatori termici, dei ventilconvettori/fancoil, dei collettori di distribuzione, delle linee elettriche del generatore e le montanti idrico-sanitari per acqua calda e fredda (ACS/AFS);
- **Capitolo 4:** valida la soluzione scelta del sistema di riscaldamento tramite l'analisi dei flussi, verificando la variazione di rendimento del sistema.
- **Capitolo 5:** descrive la nuova configurazione dell'impianto con la relativa conclusione di progetto, integrando i riferimenti normativi presenti.

1. SITUAZIONE INIZIALE

1.1 Descrizione villa

Villa antica oggetto della relazione è situata in via alla Rocca 12, a Valmadrera (LC). La villa è fuori dal centro abitato, in posizione dominante; è una storica proprietà del 1914 composta dalla villa principale e una dependance/portineria entrambe immerse in un parco secolare di oltre 8800 mq dotato di piccoli camminamenti e terrazze a picco sul lago. Essendo una proprietà privata d'epoca tutelata dalle Belle Arti, Villa Eremo ha mantenuto nel tempo le sue finiture storiche, ma è stata predisposta per il frazionamento (attualmente è divisa in due unità abitative). Qualsiasi rifacimento o ammodernamento degli impianti termoidraulici o di riscaldamento deve sottostare ai severi vincoli di restauro conservativo per non intaccare gli affreschi e i pavimenti originali.

Si riporta per completezza anche una foto estratta dalla vista satellitare



1.2 Impianto preesistente

La villa presentava due caldaie alimentate a gas metano di rete:

- **Caldaia per il riscaldamento:** posta nel piano interrato con potenza nominale di 66kW che riscaldava tutta la villa
- **Caldaia per l'acqua calda sanitaria (ACS):** installata nel secondo piano ed adibita solamente per la produzione idrico-sanitaria

A integrazione di questi sistemi, erano presenti quattro camini e una stufa a pellet. La regolazione termica dell'edificio prevedeva una divisione dell'impianto in tre zone distinte, ognuna gestita in modo indipendente da un termostato.

A livello energetico a causa delle ampie volumetrie e delle murature d'epoca non isolate, la villa presenta forti dispersioni termiche. La diagnosi energetica attesta una Classe Energetica G con un Indice di Prestazione Energetica (IPE) pari a 312,45 kWh/m² anno.



2. IMPIANTO DI RISCALDAMENTO

Al fine di scegliere il miglior impianto di riscaldamento sono state considerate le seguenti opzioni:

- Usare i caloriferi già esistenti
- Pavimento radiante
- Pavimento radiante + ventilconvettore

(NOTA: L'ipotesi di adottare un impianto composto esclusivamente da ventilconvettori è stata scartata poiché avrebbe richiesto l'installazione di un numero elevato di terminali con conseguente incremento critico del rumore).

Per valutare se un impianto sia efficace in un locale, la potenza fornita deve superare la potenza dispersa, che è stata fornita dall'architetto tramite la L10.

Per analizzare l'efficacia delle tre casistiche si sono prese come esempio tre stanze del piano terra (PT) della villa:

- ingresso → dispersione di 1019 W;
- hall → dispersione 6688 W;
- salotto → dispersione 6356 W.

2.1 Configurazione 1: Caloriferi esistenti

I caloriferi originariamente installati nella villa sono in ghisa, degli anni 1970/1980. La potenza termica nominale è calcolata con un $\Delta T_n = 50^\circ\text{C}$ (differenza tra la temperatura media del calorifero e la temperatura ambiente di progetto, $T_{\text{calorifero}} - T_{\text{amb}}$). Per ricavare l'effettiva potenza termica è necessario moltiplicare la potenza nominale per il fattore correttivo, che si calcola come:

$$\text{Fattore correttivo}(f_c) = \left[\frac{T_{\text{man}} - T_{\text{amb}}}{\Delta T_n} \right]^n \quad \text{Formula 2.1}$$

Dove n è l'esponente caratteristico del radiatore. Da cui l'effettiva potenza termica:

$$P_{\text{rad}} = P_{\text{el}} \cdot f_c \cdot N_{\text{el}} \quad \text{Formula 2.2}$$

Si considererà solo la condizione più critica del radiatore ovvero quello alla temperatura del fluido più bassa ($T_w=40^\circ\text{C}$). Una volta verificata questa condizione limite, anche a temperature più alte sarà in grado di sopperire alle dispersioni.

Tabella 2.1: *Verifica delle prestazioni termiche dei caloriferi*

Parametro	simbolo	ingresso	hall	salotto
Potenza nominale elemento $\Delta T=50^\circ\text{C}$	P_{el}	130 W	130 W	130 W
Potenza dispersa	P_{disp}	1019 W	6688 W	6356 W
Numero elementi	N_{el}	23	150	140
Potenza erogata a $T_w=40^\circ\text{C}$	P_{rad}	1059 W	6906 W	6445 W
Differenza di potenza	ΔP	+40 W	+218 W	+89 W

Dai calcoli eseguiti si evince che per riuscire a scaldare le stanze più grandi, la hall e il salone, sarebbe necessario un numero eccessivo di elementi radianti. Considerando che al massimo un calorifero ha 20 elementi, queste stanze necessiterebbero di un numero elevato di caloriferi, ciò rende questa opzione non fisicamente percorribile.

2.2 Configurazione 2: Pavimento radiante

Questa opzione prevede un riscaldamento tramite pavimento radiante posto nel massetto. La potenza erogata viene calcolata come prodotto tra superficie utile della stanza da ricoprire e la potenza specifica del pannello radiante al metro quadro [W/m^2]:

$$P_{fornita} = A \cdot q \quad \textbf{Formula 2.3}$$

Il valore della potenza specifica (q , espressa in [W/m^2]) dipende da molteplici fattori termofisici intrinseci al sistema (tra cui il passo dei tubi, lo spessore e la conducibilità del massetto, la resistenza termica del rivestimento superficiale e le temperature di mandata e ritorno del fluido). Tale parametro è stato assunto come dato di progetto precalcolato a monte sulla base della stratigrafia prevista.

Tabella 2.2: *Verifica delle prestazioni termiche del pavimento radiante*

Parametro	simbolo	ingresso	hall	salotto
Potenza dispersa	P_{disp}	1019 W	6688 W	6356 W
Superficie radiante	A	14,4 m ²	29 m ²	0 m ²
Potenza specifica radiante	q	83 W/m ²	83 W/m ²	0 W/m ²
Potenza pavimento radiante	$P_{fornita}$	1195,5 W	2407 W	0 W
Differenza di potenza	ΔP	+176 W	-4281 W	-6356 W

Dalla differenza di potenza data da $P_{rad} - P_{disp}$ si nota che:

- **Ingresso:** la potenza termica erogata è sufficiente a coprire le dispersioni;
- **Hall:** la potenza del pavimento radiante non è sufficiente a coprire il fabbisogno;
- **Salone:** non è stato possibile considerare la soluzione del pavimento radiante a causa della pavimentazione che è stata considerata pregiata.

Conclusione: opzione 2 non è applicabile per tutte e tre le stanze, quindi non percorribile.

2.3 Configurazione 3: Pavimento radiante + ventilconvettore

L'ultimo caso prevede un sistema ibrido, oltre al pavimento radiante, sono stati aggiunti dei ventilconvettori in modo tale da colmare la potenza dispersa rimasta dal pavimento radiante. La scelta dimensionale e il numero dei ventilconvettori dipendono, oltre che dalla potenza termica residua richiesta, anche dalle dimensioni e dagli spazi disponibili nella stanza. Per garantire il comfort acustico, la potenza dei ventilconvettori è stata ridotta al 60% della potenza massima dichiarata a catalogo.

Tabella 2.3: *Verifica delle prestazioni termiche del pavimento radiante + ventilconvettore*

Parametro	Simbolo	Ingresso	Hall	Salotto
Modello	-	CRSL-ECM-14	CRSL- ECM-44+CRC- ECM-24	CRC- ECM-64
Quantità	-	1	1+1	2
Potenza max ventil.	$P_{\max,v}$	3850 W	9380 W	9020 W
Potenza ventil 60%	$P_{60\%}$	2310 W	5628 W	5412 W
Dispersione residua	P_{residua}	+176 W	-4281 W	-6356 W
Differenza di potenza	ΔP	+2486,2 W	+1347 W	-944 W

Dalla tabella 2.3 si evince che:

- **Ingresso:** mostra un ampio esubero di potenza (+2486,2). È stato installato un ventilconvettore più piccolo, nonostante il pavimento radiante copra già le dispersioni, per garantire il raffrescamento.
- **Hall:** per ottimizzare lo spazio della stanza, si è optato per l'installazione di due ventilconvettori più piccoli in sostituzione di un'unica macchina di grandi dimensioni. L'azione combinata di pavimento radiante e ventilconvettori copre con un buon margine il fabbisogno (+1347 W).
- **Salone:** locale in cui non si arriva alla copertura della dispersione (-944W). Questo è dovuto al fatto che non c'è il pavimento radiante e non c'è lo spazio per consentire di installare più di due ventilconvettori. Questo deficit viene compensato dall'apporto termico dei locali vicini, che sono sovradimensionati e hanno un esubero di potenza rispetto alla dispersione.

Conclusione dello studio: l'opzione 3 nonostante la carenza presente nel salone, dovuta a vincoli normativi, si dimostra la soluzione più efficace, perché oltre a coprire il fabbisogno termico della maggior parte degli ambienti, predispone anche l'impianto al condizionamento, grazie ai ventilconvettori.

3. DIMENSIONAMENTO

3.1 Generatore

Il dimensionamento del generatore della villa si basa sul fabbisogno termico di picco in condizioni stazionarie ($T_{int}=20\text{ °C}$, $T_{est}=-5\text{ °C}$, $\Delta T_{staz}=25\text{ °C}$) calcolate tramite L10 secondo la normativa UNI EN 12831. Tale valore definisce la potenza minima che si deve erogare nelle condizioni più critiche.

Dalla L10 si estraggono i fabbisogni termici di picco della villa:

- **Carico termico per trasmissione (Φ_t)**
- **Carico termico per ventilazione (Φ_v)**
- **Carico termico di ripresa (Φ_{rh})**

Dalla somma dei tre contributi ottengo il fabbisogno termico totale stazionario:

$$\Phi_{tot} = \Phi_t + \Phi_v + \Phi_{rh} \quad \textbf{Formula 3.1}$$

Applicando a questo un fattore di sicurezza c_s , si ottiene la dispersione totale dell'edificio:

$$P_{disp} = \Phi_{tot} \cdot c_s \quad \textbf{Formula 3.2}$$

Di conseguenza la potenza del generatore deve coprire tali dispersioni anche nelle condizioni più critiche:

$$P_{gen} \geq P_{disp} \quad \textbf{Formula 3.3}$$

Applicazione del modello di calcolo

I dati estrapolati dalla L10 sono stati elaborati e riportati nella tabella seguente.

Tabella 3.1: *Carichi termici*

Parametro	simbolo	valore
Carico termico per trasmissione	Φ_t	42891,7 W
Carico termico per ventilazione	Φ_v	8419,3 W
Carico termico di ripresa	Φ_{rh}	4964,6 W
Fabbisogno termico totale stazionario	Φ_{tot}	58566,4 W
Fattore di sicurezza	c_s	10%
Dispersione	P_{disp}	64424 W

Dalla tabella 3.1 si ricava che il sistema di generazione deve fornire una potenza minima di:

$$P_{gen} \geq 64,424 \text{ kW}$$

Si specifica che tale valore tiene conto solo del carico termico dovuto alla climatizzazione invernale dell'interno della villa.

Per soddisfare questo fabbisogno, si è optato per un sistema ibrido centralizzato composto da tre generatori distinti:

- **Pompa di calore (55,1 kW):** copre il carico termico di base;
- **Prima caldaia a condensazione (32 kW):** interviene in parallelo sul circuito primario, per coprire i picchi di carico nel periodo invernale e serve per la produzione di acqua calda sanitaria;
- **Seconda caldaia a condensazione (32 kW):** produzione di acqua calda sanitaria (ACS) ed è predisposta per il supporto al riscaldamento in condizioni di emergenza o di picco estremo.

Con una potenza complessiva installata a servizio pari a $55,1 + 32 = 87,1 \text{ kW}$ soddisfacendo ampiamente il vincolo di progetto ($P_{gen} \geq 64,424 \text{ kW}$).

Si è optato per un sistema ibrido, piuttosto che un sistema con una singola pompa di calore, perché dimensionare una singola pompa di calore per il fabbisogno di 64,42 kW comporterebbe un enorme sovradimensionamento per la maggior parte dell'anno, mentre il sistema ibrido permette alla pompa di lavorare sempre ad alti coefficienti di prestazione (COP), lasciando i picchi invernali alla caldaia. Inoltre, affidare l'impianto ad un unico generatore espone l'edificio al blocco totale in caso di guasto.

3.2 Ventilconvettori

Conoscendo la potenza dispersa da ogni locale si può attuare il dimensionamento del ventilconvettore, ricavando la portata d'acqua richiesta dal fabbisogno termico o frigorifero di picco dell'ambiente e dal salto termico (ΔT) ideale del terminale scelto, applicando la capacità termica specifica dell'acqua ($c = 1,163 \text{ Wh/ (kg} \cdot ^\circ\text{C))}$):

$$\dot{V} = \frac{P_{disp,locale}}{c \cdot \Delta T} \quad \text{Formula 3.4}$$

Imponendo una certa velocità per ridurre il rumore e le perdite localizzate, si ricava la sezione netta interna minima:

$$A_{int} = \frac{\dot{V}}{v} \quad \text{Formula 3.5}$$

Dalla formula inversa ottengo il diametro interno minimo:

$$D_{int} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{int}}{\pi}} \quad \text{Formula 3.6}$$

Dal D_{int} si sceglie il tubo normato adeguato.

Applicazione del modello di calcolo

Per applicare questo modello si riprendono come esempi le stanze usate precedentemente, tenendo presente che in hall e salone sono presenti due ventilconvettori, che coprono rispettivamente parte della dispersione.

In particolare, la divisione risulta sproporzionata nella hall per la diversa grandezza dei terminali installati. Viene imposto un salto termico di $\Delta T = 5^\circ\text{C}$ e una velocità di fluido pari a $v = 1 \text{ m/s}$. I risultati sono riportati nella tabella seguente.

Tabella 3.2: Parametri di dimensionamento ventilconvettore

Locale	P_{disp} [W]	$\dot{v}$ [l/h]	A_{int} [mm ²]	D_{int} [mm]	D_{int} scelto [mm]
Ingresso	1019	175,52	48,76	7,88	14,2
Hall 1	4458,7	768	213,33	16,49	17,6
Hall 2	2229,3	384	106,67	11,66	14,2
Salone 1	3178	547,41	152,06	13,92	14,2
Salone 2	3178	547,41	152,06	13,92	14,2

A partire dalle portate e le geometrie calcolate, si selezionano da catalogo i ventilconvettori in modo tale che la loro potenza ridotta al 60% soddisfi il vincolo di progetto:

$$P_{60\%} \geq P_{disp} \quad \text{Formula 3.7}$$

Si considera la potenza la 60% sempre per garantire il comfort acustico.

3.3 Collettori

Il dimensionamento del collettore viene eseguito con il Metodo Geometrico della Somma delle Sezioni, volto ad azzerare le interferenze idrauliche tra i circuiti derivati riducendo la velocità del fluido nel corpo del collettore.

Per ciascun circuito termico (radiatori, ventilconvettori, unità ventilazione meccanica controllata (VMC)) si è calcolato, con il metodo illustrato precedentemente, il diametro interno reale dal quale si può ricavare l'area interna reale (A_{tot}). Il criterio di calcolo prevede di sommare le aree interne reali delle derivazioni uscenti e moltiplicarle per una maggiorazione del 1,6 per garantire la compensazione idraulica.

$$A_{collettore} = A_{tot} \cdot 1,6 \quad \text{Formula 3.8}$$

Usando la formula inversa si ricava il diametro minimo del collettore, il quale viene arrotondato per eccesso alla misura nominale commerciale standard immediatamente superiore disponibile sul mercato (es. (DN50), (DN65), ecc.), garantendo così una velocità di transito interna al collettore estremamente bassa e cautelativa.

$$D_{collettore} = \sqrt{\frac{A_{collettore} \cdot 4}{\pi}} \quad \text{Formula 3.9}$$

Applicazione del modello di calcolo centrale termica

Si analizza nello specifico quello in centrale termica caratterizzato da 3 circuiti, 1 per ogni mandata (radiante, ventilconvettore e VMC). Per ciascun circuito è stata imposta una potenza richiesta dall'ambiente in base alle dispersioni dell'ambiente, un salto termico di 5 °C e una velocità imposta di 1 m/s. I risultati ottenuti sono stati riportati nella tabella.

Tabella 3.3: Parametri di dimensionamento del collettore

Montante	P _{disp} [W]	$\dot{V}$ [l/min]	D _{int} [mm]	D _{int} scelto [mm]	A _{int} effettiva [mm ²]
VENTIL	55000	157,89	57,9	48,8	1869,43
RAD	30000	86,12	42,76	38,8	1181,77
VMC	10000	28,71	24,69	31	754,39

Si nota che sono stati scelti dei diametri più piccoli di quelli imposti soprattutto per la montante del ventilconvettore, questo per due motivi principali:

- I tubi con diametro 48,8 mm più facili da gestire mentre quelli da 58,8 mm sono più difficile da piegare;
- Costo, isolamento più complicato

Tramite i dati della tabella 3.3 si ricava l'area totale delle derivazioni uscenti:

$$A_{tot} = 3805,59 \text{ mm}^2$$

Da cui si determina l'area del collettore dalla formula 3.8:

$$A_{collettore} = 3805,59 \text{ mm}^2 \cdot 1,6 = 6088,94 \text{ mm}^2$$

Dalla formula 3.9 si ricava il diametro minimo teorico del collettore:

$$D_{collettore} = \sqrt{\frac{4 \cdot 6088,94}{\pi}} = 88,1 \text{ mm}$$

Da questo si seleziona un tubo normato con diametro interno superiore più vicino, in questo caso un tubo con diametro interno di 100 mm.

Dei collettori della villa non tutti sono stati dimensionati, quelli del pavimento radiante sono stati dati dai fornitori. Per completezza si riporta i risultati dei diametri degli altri collettori dimensionati presenti in villa.

Tabella 3.4: *Riassunto dati collettori villa*

	A_{collettore} [mm²]	D_{collettore} [mm]	D_{collettore} scelto [mm]
Collettore ventil. P-1.1.	2161,88	52,48	58,2
Collettore ventil P-1.2	1402,1	42,26	58,2
Collettore ventil. P1	3039,12	62,22	58,2
Collettore ventil. P2	1655,36	45,92	58,2

3.3.1 Verifica fluidodinamica degli stacchi del collettore

A valle del dimensionamento teorico del collettore viene eseguita la verifica fluidodinamica sulla tubazione di stacco del collettore.

Mantenendo la velocità imposta a $v=1$ m/s ricaviamo la sezione del tubo in uscita come somma delle sezioni dei circuiti, secondo il modello di calcolo precedente. Moltiplicandola per la velocità otteniamo la portata imposta di progetto. Con la formula inversa, otteniamo il diametro del tubo a velocità imposta.

$$D_{teorico} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{teorica}}{\pi}} \quad \textbf{Formula 3.10}$$

Successivamente una volta scelto un tubo con diametro normato adeguato si procede nella verifica fluidodinamica calcolando la velocità effettiva come:

$$v_{eff} = \frac{\dot{V}_{imp}}{A_{eff}} \quad \textbf{Formula 3.11}$$

Applicazione del modello di verifica

Usiamo come esempio sempre il collettore della centrale termica

Tabella 3.5: Parametri per verifica fluidodinamica

Parametri	Simbolo	Valore	Unità di misura
Sezione tubo imposta	$A_{teorica}$	0,3806	dm ²
Diametro tubo in uscita imposto	$D_{teorico}$	69,6	mm
Portata tubo imposta	$\dot{V}_{imp}$	228,3	l/min
Diametro scelto	D_{stacco}	58,2	mm
Velocità effettiva	v_{eff}	1,431	m/s

Con la scelta di un diametro di 58,2 mm, risulta una velocità effettiva di 1,431 m/s. Tale valore si trova sotto di 0,069 m/s dalla velocità limite consigliata dalle normative italiane (UNI 9182), il che è accettabile; pertanto, la scelta progettuale dello stacco è verificata.

3.3.2 Verifica salto termico ΔT

Avendo imposto un ΔT e conoscendo la potenza richiesta dall'ambiente, data da L10, si può procedere alla verifica termica.

Conoscendo la sezione netta interna reale si ricava la portata reale del fluido, sempre a velocità imposta, dalla quale si ottiene il ΔT_{reale} effettivo come:

$$\Delta T_{reale} = \frac{P}{c \cdot \dot{V}} \quad \text{Formula 3.12}$$

Moltiplicando la portata, il ΔT teorico (5°C) la capacità termica dell'acqua si ottiene la potenza massima trasportabile dal fluido dalla sezione ricavata:

$$P_{max} = \Delta T_{reale} \cdot \dot{V} \cdot c \quad \text{Formula 3.13}$$

Si deve verificare che questa sia maggiore della P_{disp} per tutti i locali analizzati.

Applicazione modello di verifica

Consideriamo sempre il collettore della centrale termica

Tabella 3.6: Parametri per verifica ΔT collettore centrale termica

Montante	A_{int} effettiva [mm ²]	$\dot{V}$ [l/h]	ΔT_{reale} [°C]	P_{max} [W]	P_{disp} [W]
VENTIL	1869,43	6729,95	7,0	39071,1	55000
RAD	1181,77	4254,37	6,1	24699	30000
VMC	754,39	2715,79	3,2	15766,6	10000

Il ΔT_{reale} è minore rispetto a quello imposto solo per la montante VMC. Per gli altri due stacchi risulta maggiore perché hanno il diametro scelto minore rispetto a quello teorico, il che è normale visto che il ΔT_{reale} dipende dalla portata che varia in base alla sezione. Visto che è stata una scelta dettata da condizioni di progetto e che un $\Delta T=7^{\circ}\text{C}$ rientra nel range accettabile di alto termico (tipicamente 5-10°C), la verifica ΔT è superata.

3.4 Linee elettriche pompe di calore

Il dimensionamento delle linee elettriche della pompa di calore richiede la determinazione della sezione dei cavi, che si ricava conoscendo la portata dei cavi in rame (I_z) calcolata in conformità con la norma CEI-UNEL 35024/1.

Abbiamo due coefficienti di correzione:

- **Fattore di correzione per temperatura ambiente (k_1):** considerato per $T_{amb}=40^{\circ}\text{C}$;
- **Fattore di correzione per raggruppamento di più cavi (k_2):** che tiene conto del riscaldamento reciproco dei cavi.

Il processo di dimensionamento prevede la scelta del rivestimento isolante del rame:

- **PVC:** temperatura massima di esercizio a 70°C ;
- **EPR (gomma etilenpropilenica):** temperatura di esercizio a 90°C .

Successivamente, si sceglie la tipologia di cavo:

- 3 cavi unipolari;
- 1 cavo tripolare.

La portata del cavo (I_z) si ottiene moltiplicando la portata nominale in condizioni standard (I_{z0}), ricavata da tabelle normative, per i fattori correttivi:

$$I_z = I_{z0} \cdot k_1 \cdot k_2 \quad \textbf{Formula 3.14}$$

Per ricavare la I_z si parte dalla portata di impiego (I_b) della pompa di calore, data dal fornitore. Sulla base di questo valore si definisce la corrente nominale (I_n) dell'interruttore, scegliendo una misura commerciale che rispetti la prima relazione di sicurezza:

$$I_b \leq I_n \quad \textbf{Formula 3.15}$$

La sezione minima viene definita consultando le tabelle della norma CEI-UNEL, trovando il primo valore che soddisfi la doppia disuguaglianza di sicurezza obbligatoria (CEI 64-8):

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad \textbf{Formula 3.16}$$

Applicazione del modello di calcolo

Per l'impianto in esame si è scelto un isolamento in EPR, poiché garantisce elevate prestazioni termiche e la posa interrata dei tubi.

Considerando i fattori correttivi del progetto, $k_1=0,91$ e $k_2=0,8$; si applica la formula 3.14 per ricavare la portata dei cavi.

Applicando questa formula alle tabelle della norma CEI-UNEL 35024/1, si ottiene la seguente tabella delle portate reali in funzione della sezione:

Tabella 3.7: *Portata dei cavi di rame in base alla sezione*

Sezione S [mm ²]	I _z [A] EPR 3 cavi unipolari	I _z [A] EPR 1 cavo tripolare
1,5	10	14,196
2,5	24,024	18,928
4	32,76	25,48
6	42,224	32,032
10	58,24	43,68
16	77,896	58,24
25	98,28	76,44
35	123,032	93,184
50	150,696	112,112
70	195,104	141,232

Partendo da una portata di impiego della pompa di calore di $I_b=45,5$ A, si sceglie la corrente nominale tra quelle commerciali immediatamente superiore, ovvero $I_n= 50$ A. Questa scelta soddisfa la prima condizione di sicurezza:

$$I_b \leq I_n \rightarrow 45,5 \text{ A} \leq 50 \text{ A}$$

Per soddisfare la seconda condizione di sicurezza ($I_n \leq I_z$), l'analisi della Tabella 3.7 offre due possibilità:

- **Configurazione unipolare:** S=10 mm² con 3 cavi unipolari ($I_z=58,24$);
- **Configurazione tripolare:** S=16 mm² con 1 cavo tripolare ($I_z=58,24$).

Per entrambe le opzioni il confronto di sicurezza risulta verificato:

$$45,5 \text{ A} \leq 50 \text{ A} \leq 58,24 \text{ A}$$

Si sceglie la configurazione con 1 cavo tripolare di sezione S=16 mm². Nonostante abbia una sezione maggiore, questa configurazione risulta la più vantaggiosa per una posa interrata perché, oltre ad avere un costo economico minore, garantisce una resistenza meccanica superiore e una migliore protezione contro gli stress ambientali.

3.4.1 Verifica protezione cortocircuiti

La protezione contro i cortocircuiti deve essere garantita lungo tutta la linea elettrica. Secondo le direttive della norma CEI 64-8, la verifica termica deve garantire la seguente relazione di sicurezza:

$$(I^2t) \leq K^2 \cdot S^2 \quad \textbf{Formula 3.17}$$

Dove:

- **I²t**: integrale di Joule lasciato passare dal dispositivo per la durata del corto circuito [A²s];
- **K**: coefficiente dipendente dal materiale conduttore e isolante [A*s^{1/2}/mm²];
- **S**: sezione del conduttore [mm²].

Il potere di interruzione nominale (I_{cn}) dell'interruttore scelto deve essere inoltre maggiore o uguale alla corrente di cortocircuito della rete (I_{cc}).

$$I_{cc} \leq I_{cn} \quad \textbf{Formula 3.18}$$

Applicazione del modello di verifica per via grafica

La verifica di protezione contro i cortocircuiti può avvenire per via grafica, analizzando il diagramma delle caratteristiche di limitazione dell'energia specifica passante (I^2t) fornito dal costruttore per la serie di interruttori scelto. Si è scelto un interruttore con potere di interruzione nominale di 15 kA (taglia 50A, curva di intervento C).

I parametri di rete del progetto sono riportati nella tabella seguente:

Tabella 3.8: *Parametri verifica contro i cortocircuiti*

Parametri	Simboli	Valori	Unità di misura
Coefficienti per cavi in rame isolati in EPR	K	143	A*s ^{1/2} /mm ²
Sezione del conduttore	S	16	mm ²
Corrente di cortocircuito della rete	I_{cc}	10	kA
Corrente nominale dell'interruttore	I_n	50	A
Potere di interruzione nominale	I_{cn}	15	kA

Dai parametri della tabella 3.8, si calcola l'energia massima ammissibile dal conduttore elettrico:

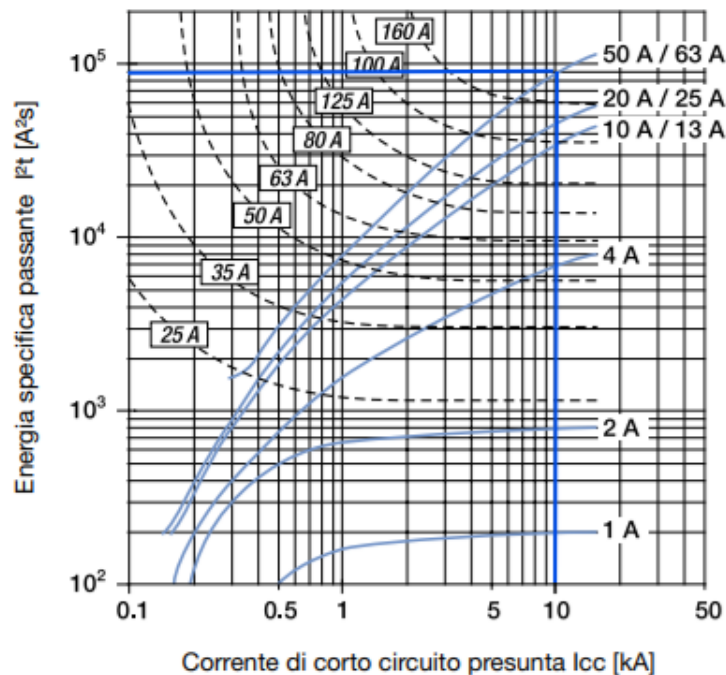
$$K^2 S^2 = 143^2 \cdot 16^2 = 20.449 \cdot 256 = 5.234.944 \quad [\text{A}^2\text{s}]$$

La verifica grafica avviene sul diagramma bilogarithmico dell'interruttore scelto (ABB S200 / S200 M, caratteristica C) tracciando:

1. **Linea verticale:** in corrispondenza del valore della corrente di cortocircuito;
2. **Punto di funzionamento:** intersezione della linea verticale con la curva del grafico della dimensione commerciale di interesse 50/63 A;
3. **Linea orizzontale:** dal punto di intersezione si traccia una linea orizzontale verso le ordinate, per ricavare l'energia specifica passante reale:

$$(I^2t)_{\text{interruttore}} \approx 8,5 \cdot 10^4 \quad [\text{A}^2\text{s}]$$

Figura 3.1: Diagramma di limitazione energetica per interruttore scelto



Sia dalla figura 3.1 che dal riscontro numerico si evidenzia il rispetto della relazione di sicurezza (formula 3.17):

$$(I^2t)_{\text{interruttore}} \leq K^2 S^2 \quad (8,5 \cdot 10^4 \text{ A}^2\text{s} \leq 5,23 \cdot 10^6 \text{ A}^2\text{s})$$

Nel grafico la posizione della retta limite è ben al di sopra del limite superiore del diagramma ($10^5 \text{ A}^2\text{s}$). L'energia specifica passante risulta inferiore di quasi 2 ordini di grandezza rispetto a quello limite.

La protezione contro i cortocircuiti risulta ampiamente verificata, garantendo la totale sicurezza per il cavo tripolare da 16 mm^2 .

3.4.2 Verifica caduta di tensione

La conduttura elettrica deve essere dimensionata in modo tale che la caduta di tensione tra il quadro generale (Q.E.) e la pompa di calore non superi i limiti raccomandati dalla norma CEI 64-8 (4%).

Per il calcolo si applica il metodo della caduta di tensione unitaria ($u \text{ [mV/(A}\cdot\text{m)]}$). La caduta di tensione assoluta (ΔV) per una linea trifase si ricava come:

$$\Delta V = \frac{u \cdot I \cdot L}{1000} \quad \textbf{Formula 3.19}$$

Dove:

- **L**: lunghezza della linea [m], aumentata di un 10% per un margine di sicurezza;
- **u**: caduta di tensione unitaria [$\text{mV}/(\text{A}\cdot\text{m})$];
- **I**: corrente massima di progetto [A].

Successivamente si ricava la caduta di tensione percentuale rispetto alla tensione nominale del sistema (per sistemi trifase, $V_n=400 \text{ V}$) grazie alla relazione:

$$\Delta V \% = \frac{\Delta V}{V_n} \cdot 100 \quad \textbf{Formula 3.20}$$

Infine, si deve controllare che il valore ottenuto rispetti la condizione di verifica:

$$\Delta V \% \leq 4 \% \quad \textbf{Formula 3.21}$$

Applicazione modello di verifica

I parametri di progetto per la verifica di tensione sono riassunti nella tabella seguente:

Tabella 3.9: *Parametri per verifica caduta di tensione*

Parametri	Simboli	Valore	Unità di misura
Caduta di tensione unitaria (cavo trifase, S=16mm²)	u	2,48	mV/(A*m)
Lunghezza della linea	L	45	m
Lunghezza della linea maggiorata di un 10%	L _%	49,5	m
Corrente massima di progetto	I	50	A
Tensione nominale	V _n	400	V

Sostituendo i valori della tabella 3.9 alla formula 3.19, si ottiene una caduta di tensione di:

$$\Delta V = \frac{2.48 \cdot 50.0 \cdot 49.5}{1000} = 6.14 \text{ V}$$

Si ottiene, tramite la tensione nominale, il valore percentuale:

$$\Delta V \% = \frac{6.14}{400} \cdot 100 = 1.53 \%$$

Il confronto con i limiti raccomandati dalla norma CEI 64-8 del 4% conferma il superamento della verifica.

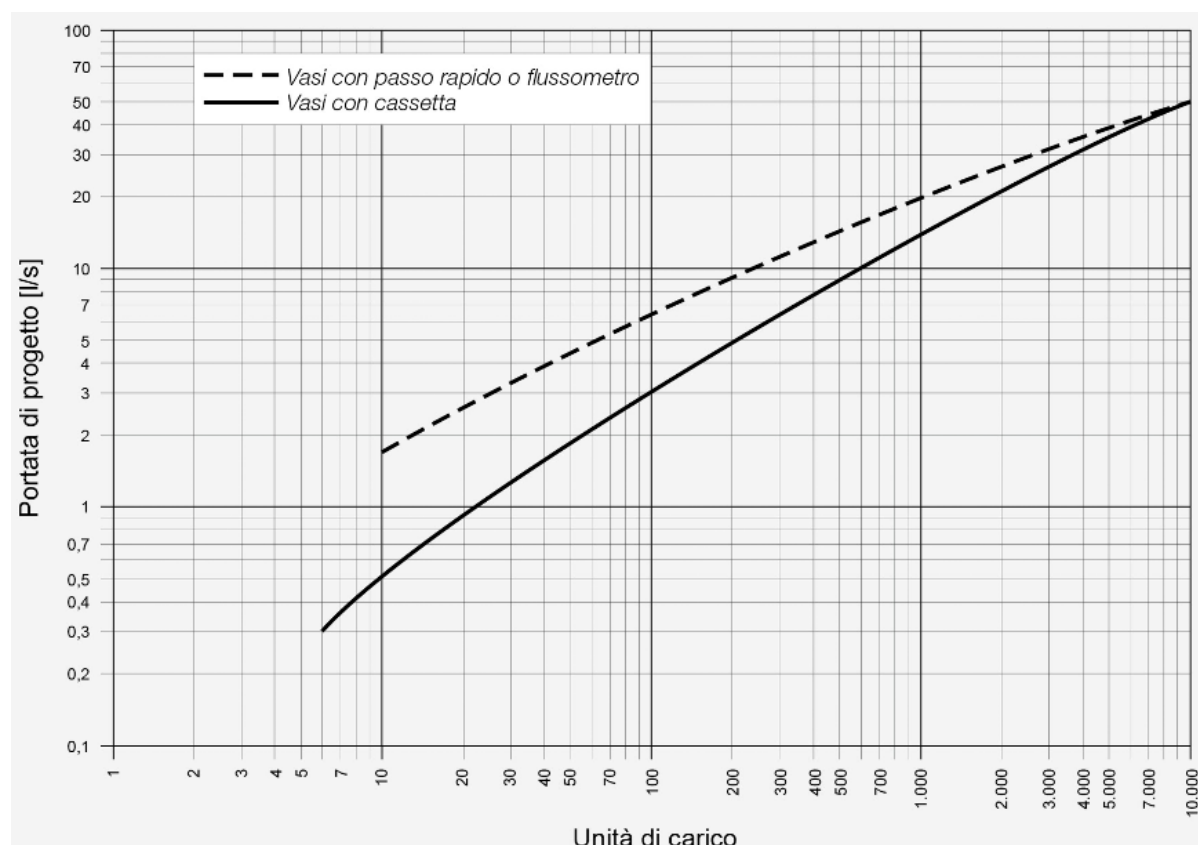
La sezione scelta di 16 mm² per cavo tripolare risulta pertanto idonea, garantendo una piccola caduta di tensione.

3.5 Montanti acs/afs

Il dimensionamento e la verifica delle colonne montanti (ACS e AFS) vengono eseguiti secondo il Metodo delle Unità di Carico (UC), in conformità alle prescrizioni delle normative tecniche vigenti.

Si calcola la somma delle unità di carico, consumo statistico di un apparecchio sanitario, delle utenze alimentate dalla montante. Tramite le curve di contemporaneità della norma (UNI 9182) trasformo le UC in portata di progetto in litri al secondo.

Figura 3.2: Portate di progetto in funzione delle UC per abitazioni private



Grazie alla velocità di efflusso del progetto data e la portata del progetto ricaviamo il diametro minimo delle tubazioni. Si sceglie il diametro normato più adatto dal quale si ricava la velocità di efflusso reale e si verifica che questa rientra nei valori di sicurezza in base alle norme (UNI 9182 e UNI EN 806-3).

Applicazione del modello di calcolo

La villa è predisposta per tre colonne d'acqua, in questa relazione verrà riportato più nello specifico il dimensionamento e la verifica della montante 3 (bagno 1.2, cucina 0.1, locale 4, bagno 2.1).

A partire dai totali delle unità di carico e le portate di progetto ricavate dal grafico secondo la norma UNI 9182, si è attuato il dimensionamento e la verifica della velocità della montante.

Tabella 3.10: Parametri di dimensionamento e verifica della Montante 3

Parametro	Simbolo	Montante AFS	Montante ACS
Unità di carico totali	UC	16,25	8,25
Portata di progetto	$\dot{V}_{prog}$	0,7 l/s	0,4 l/s
Velocità di efflusso imposta	$v_{efflusso}$	1,2 m/s	1,2 m/s
Sezione minima calcolata	A_{min}	583,3 mm ²	333,3 mm ²
Diametro interno minimo	D_{int}	27,26 mm	20,61 mm
Diametro interno scelto	D_{stacco}	32 mm	22,6 mm
Velocità di efflusso reale	v_{reale}	0,87 m/s	1 m/s
Verifica normativa (UNI EN 806-3)	-	$\leq 2,00$ m/s	$\leq 2,00$ m/s

Per completezza si riportano anche i risultati delle altre 2 montanti:

→ Montante 1:

- ❖ AFS: $D_{int}=22,6$ mm, $v_{reale}=1,5$ m/s;
- ❖ ACS: $D_{int}=22,6$ mm, $v_{reale}=0,75$ m/s;

→ Montante 2:

- ❖ AFS: $D_{int}=32$ mm, $v_{reale}=1,12$ m/s;
- ❖ ACS: $D_{int}=22,6$ mm, $v_{reale}=1$ m/s;

Tutte le montanti hanno una velocità conforme con le norme (UNI 9182 e UNI EN 806-3).

4. ANALISI DEI FLUSSI

Successivamente alla scelta dell'impianto di riscaldamento, pompa di calore e due caldaie, è stata sviluppata un'analisi dei flussi termoidraulici al fine di valutare la variazione di rendimento dell'impianto e verificarne l'efficacia.

4.1 Definizioni

I rendimenti in questione sono:

- Tra generatori termici (P_{gen}) e primario (P_p) $\rightarrow \eta_1 = \frac{P_p}{P_{gen}}$ **Formula 4.1**

- Tra primario e secondario (P_s) $\rightarrow \eta_2 = \frac{P_s}{P_p}$ **Formula 4.2**

- Tra secondario e pavimento radiante + ventilconvettore $\rightarrow \eta_3 = \frac{P_s}{P_e}$ **Formula 4.3**

Le varie potenze si calcolano come:

- **Potenza del generatore:** considerato solamente pompa di calore e prima caldaia:

$$P_{gen} = P_{pdc} + P_{cald} \quad \text{Formula 4.4}$$

- **Potenza al primario,** calcolata come somma dei contributi della pompa di calore e della prima caldaia:

$$P_p = [(T_{m,PdC} - T_{r,PdC}) \cdot \dot{V}_{PdC} \cdot c] + [(T_{m,Cald1} - T_{r,Cald1}) \cdot \dot{V}_{Cald1} \cdot c] \quad \text{Formula 4.5}$$

- **Potenza secondario,** data dalla somma dei due sottosistemi di distribuzione (ventilconvettore e pavimento radiante):

$$P_s = P_{s,ven} + P_{s,rad} \quad \text{Formula 4.6}$$

- **potenza inviata al radiante:**

$$P_{s,rad} = (T_{m,rad} - T_{r,rad}) \cdot \dot{V}_{rad} \cdot c \quad \text{Formula 4.7}$$

- **potenza inviata al ventilconvettore:**

$$P_{s,ven} = (T_{m,ven} - T_{r,ven}) \cdot \dot{V}_{ven} \cdot c \quad \text{Formula 4.8}$$

- **Potenza emessa effettiva**, viene calcolata moltiplicando le potenze al secondario per i vari rendimenti di distribuzione (η_d), di emissione (η_e) e regolazione (η_r):

$$P_e = (P_{s,rad} \cdot \eta_{d,rad} \cdot \eta_{e,rad} \cdot \eta_{r,rad}) + (P_{s,ven} \cdot \eta_{d,ven} \cdot \eta_{e,ven} \cdot \eta_{r,ven}) \quad \text{Formula 4.9}$$

4.2 Risultati

La differenza di temperatura tra mandata e ritorno è uguale per tutti (5°C) tranne che per la caldaia che opera con un ΔT di 10 °C. I vari parametri sono riportati nella tabella sottostante.

Tabella 4.1: Parametri per l'impianto di riscaldamento al primario.

	simbolo	valore	Unità di misura
Potenza PdC	P_{PdC}	55,1	kW
Portata PdC	$\dot{V}_{PdC}$	2,63	l/s
Potenza caldaia	$P_{caldaia}$	32	kW
Portata caldaia	$\dot{V}_{cald1}$	0,76	l/s
Calore specifico acqua	c	4,186	MJ/°C·m ³

Applicando le formule 4.4 e 4.5 con i dati estrapolati dalla tabella 4.1 otteniamo la potenza dei generatori termici e del primario:

$$P_{gen} = 87,1 \text{ kW} \quad P_p = 86,9 \text{ kW}$$

Da cui:

$$\eta_1 = \frac{P_p}{P_{gen}} = 0,997$$

Tabella 4.2: Parametri per l'impianto di riscaldamento al secondario

Parametri	radiante	ventilconvettore	Unità di misura
Portata al secondario	1,6	2,41	l/s
Rendimento di emissione	0,98	0,94	-
Rendimento di distribuzione	0,96	0,96	-
Rendimento di regolazione	0,97	0,96	-

Otteniamo dalle formule 4.7 e 4.8:

$$P_{s,\text{rad}} = 33,5 \text{ kW} \quad P_{s,\text{ven}} = 50,5 \text{ kW}$$

Dalla somma si ricava la potenza al secondario:

$$P_s = 84,0 \text{ kW}$$

Ora abbiamo tutto per calcolare i rendimenti dell'impianto:

$$\eta_2 = \frac{P_s}{P_p} = 0,967 \quad \eta_3 = \frac{P_e}{P_s} = 0,885$$

Dal prodotto di tutti i rendimenti:

$$\eta_{tot} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 = 0,853$$

In totale le perdite complessive risultano del 14,7%. Dall'analisi si evince che la maggior parte di esse è dovuta al passaggio dal secondario all'emissione in ambiente (η_3), ciò è dovuto all'elevata resistenza termica e delle ampie volumetrie della villa d'epoca, che penalizzano i terminali di emissione.

5. IMPIANTO NUOVO

Il nuovo sistema termo-idraulico di villa Eremo a Valmadrera (LC) prevede un sistema misto con pavimento radiante e ventilconvettori, alimentato da un generatore ibrido centralizzato, configurato in modo tale da ottimizzare la resa energetica e garantire un servizio termico continuo.

Il sistema di generazione è posto nel piano interrato ed è dimensionato per coprire il picco invernale di dispersione di 64,42 kW. La centrale termica è gestita da un sistema a priorità a cascata, detto step-control, regolata da una centralina termica che agisce in base alla temperatura esterna e al fabbisogno termico dell'edificio. Gli step sono:

- **Fase 1, carichi medio-bassi: la pompa di calore (55,1 kW)** lavora come unico generatore. Sfruttando un ciclo termodinamico a compressione di vapore con un coefficiente di prestazione, $COP = 4.05$, la macchina riesce a coprire da sola il fabbisogno termico;
- **Fase 2, picco termico:** al di sotto di una data temperatura esterna, punto di cut-off, la pompa di calore non riesce fisicamente a sopprimere al carico termico necessario. A questo punto la centralina attiva in parallelo **la prima caldaia a condensazione (32 kW)**, che serve anche per il riscaldamento dell'acqua sanitaria (ACS).

La seconda **caldaia a condensazione (32 kW)**:

- **Servizio ACS:** la caldaia ha il compito di mantenimento termico dell'accumulo che garantisce acqua calda sanitaria istantanea;
- **Predisposta per la funzione di back-up:** la seconda caldaia, se in futuro si vorrà, potrà attivare il sistema di emergenza garantendo alla villa un continuo riscaldamento degli ambienti, in caso di avaria o manutenzione della pompa o della prima caldaia.

Il flusso d'acqua dalla pompa di calore e dalle caldaie viene deviato, tramite una valvola deviatrice a tre vie, verso 3 accumuli (puffer) da 500 litri ciascuno, ognuno con una funzione diversa:

- **Primo puffer:** è destinato al recupero termico del circuito primario;
- **Secondo puffer:** serve per la produzione istantanea di ACS, è dotato di uno scambiatore interno a serpentina alettata in rame. Questo sistema preleva l'acqua

fredda dall'acquedotto e la riscalda istantaneamente durante il passaggio, azzerando i ristagni idrici e prevenendo i rischi di legionella;

- **Terzo puffer:** è un accumulo inerziale dedicato alla compensazione idraulica e alla distribuzione.

La distribuzione nelle varie zone dell'abitazione avviene tramite un collettore di centrale termica (DN100) composta da tre mandate che permette di separare le zone termiche. In mandata al collettore è posta una pompa di rilancio per ciascuna partenza. La pompa preleva acqua dal puffer di impianto e la distribuisce nella zona corrispondente.

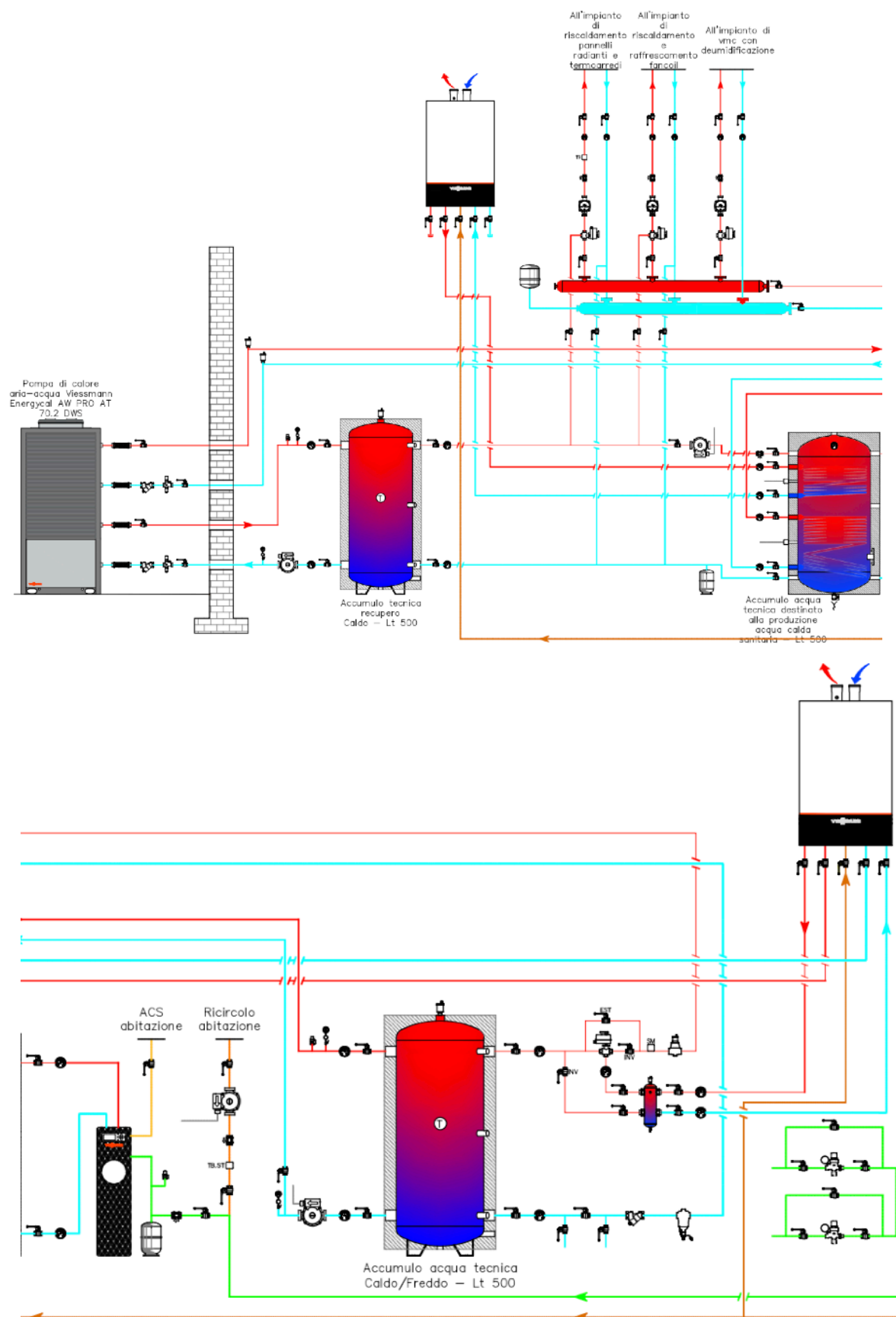
Sono state installate tutte le sicurezze per la sovra-temperatura e sovrappressione dell'impianto.

A valle del dimensionamento, l'efficacia termodinamica dell'impianto è stata validata dall'analisi dei flussi e dei rendimenti:

- Un **rendimento del circuito primario** ($\eta_1 = 0,997$) → assenza di dispersioni nel circuito primario;
- Un **rendimento del primario/secondario** ($\eta_2 = 0,967$) → corretto bilanciamento delle portate;
- Un **rendimento d'emissione** ($\eta_3 = 0,885$) → coerente con la natura mista del circuito secondario.

Il rendimento globale del sistema è del 85,3%.

Figura 5.1: *Schema impiantistico*



CONCLUSIONE

Gli obiettivi inizialmente prefissati in questa relazione sono stati raggiunti pienamente attraverso il dimensionamento e l'analisi di un sistema di riscaldamento efficiente. Tramite lo studio della potenza dispersa sono state valutate tre configurazioni di impianti di riscaldamento, dai valori ottenuti la configurazione pavimento radiante + ventilconvettore, si dimostra la soluzione più efficace nonostante alcune criticità.

Il successivo calcolo del generatore ha portato alla scelta di una configurazione ibrida che garantisce, nonostante i vincoli normativi, di coprire le dispersioni termiche determinate secondo Legge 10:

$$P_{gen} > P_{disp} \implies 87,1 \text{ kW} > 64,42 \text{ kW}$$

Sulla base dei carichi termici dei vari ambienti si sono dimensionati ventilconvettori e collettori; le successive verifiche su velocità del fluido e salto termico sono state superate nonostante alcune scelte progettuali si discostano da quelle teoriche.

Per il corretto funzionamento della pompa di calore si sono dimensionate le linee elettriche, tenendo conto della doppia disuguaglianza di sicurezza:

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

Infine, sono state dimensionate anche le montanti dell'acqua calda e fredda sanitaria (ACS/AFS) che sono state calcolate con il metodo dell'unità di carico, garantendo una velocità di efflusso conforme ai limiti di sicurezza imposti dalla norma UNI EN 806-3 ($\leq 2,00 \text{ m/s}$).

La validazione finale del sistema tramite l'analisi dei flussi ha confermato la correttezza delle scelte dimensionali adottate. Il raggiungimento di un rendimento globale dell'85,3%, garantisce un ottimo bilanciamento idraulico e una mancanza di criticità nella trasmissione di calore da generatore ai terminali (pavimento radiante e ventilconvettore).

RIFERIMENTI NORMATIVI

La progettazione di villa Eremo è stata attuata seguendo le normative attuali:

- **UNI EN 12831:** standard europeo di riferimento per il calcolo del carico termico di progetto. Essa definisce i metodi per calcolare le dispersioni termiche degli edifici e dimensionare correttamente gli impianti di riscaldamento;
- **UNI 9182:** è il riferimento tecnico italiano per la progettazione, l'installazione e il collaudo degli impianti di alimentazione e distribuzione di acqua fredda e calda sanitaria;
- **UNI EN 806-3:** definisce il metodo di calcolo semplificato per dimensionare le tubazioni degli impianti di distribuzione dell'acqua potabile all'interno degli edifici. Essa utilizza le **Unità di Carico (LU)** per calcolare le portate di progetto e determinare i diametri corretti, tenendo conto della contemporaneità d'uso;
- **CEI-UNEL 35024/1:** definisce le portate di corrente in regime e le relative tabelle per la posa di cavi elettrici in rame o alluminio;
- **CEI 64-8:** corpo normativo nazionale di riferimento, che stabilisce i requisiti fondamentali per la sicurezza delle persone, la protezione delle condutture contro i sovraccarichi e i cortocircuiti, e i limiti della caduta di tensione.