

POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Energetica

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare

Tesi di Laurea Magistrale

**Progettazione di un intervento di riqualificazione
energetica ed impiantistica di un collegio**



Relatore: Prof. Marco Carlo Masoero

Tutor aziendale: Ing. Andrea De Zan

Candidato: Marcello Lastella

A.A 2020/2021

Abstract

Questo lavoro di tesi verte sull'analisi dei metodi adottati in un progetto di riqualificazione di un edificio ad uso abitativo. Viene analizzato il rinnovamento della parte strutturale ed impiantistica del fabbricato. Vengono messi in evidenza i motivi delle scelte progettuali e i passi da effettuare prima di procedere alla cantierizzazione del progetto.

L'obiettivo della tesi è quello di analizzare le scelte impiantistiche effettuate per realizzare un ammodernamento degli impianti con un'estensione del volume climatizzato, analizzare ulteriori proposte tecniche e verificare il rispetto delle normative.

Inizialmente si analizza il contesto nel quale si sta operando, ricavando i dati di input del progetto.

Successivamente si procede con la fase progettuale analizzando la parte strutturale, gli impianti di climatizzazione aeraulici ed idraulici e l'impianto idrico-sanitario. Si analizza, quindi, una proposta migliorativa ricevuta da un'azienda esterna per verificarne la fattibilità. In ultima istanza si procede con le verifiche normative del progetto.

Nella parte finale si analizzano future implementazioni per migliorare ulteriormente le performance energetiche del fabbricato

Le analisi energetiche sul fabbricato sono state effettuate utilizzando un software di calcolo per la progettazione energetica degli edifici.

Il fabbricato ha ottenuto diversi vantaggi grazie a questi interventi: un allargamento della zona abitabile, una maggiore efficienza energetica e un maggior comfort termoigrometrico degli occupanti soprattutto nelle aree di maggiore affollamento.

Sommario

1. Introduzione	6
2. Contesto.....	9
2.1. Dati climatici e geografici	9
2.2. Struttura.....	10
2.3. Impianto termico esistente	15
3. Progetto	18
3.1 Quadro riassuntivo	18
3.1.1 Modifiche impianto idronico.....	18
3.1.2 Ventilazione meccanica.....	23
3.1.3 Modifiche all'involucro edilizio.....	24
3.1.4 Modello	25
3.2 Idrico-sanitario	26
3.2.1 Dimensionamento scarichi	26
3.2.2 Dimensionamento adduzioni.....	30
3.2.3 Confronto normative	34
3.3 UTA e rete aeraulica	36
3.3.1 Canali	36
3.3.2 Perdite di carico.....	38
3.3.3 Ventilatori.....	41
3.3.4 Bilanciamento rete.....	45
3.3.5 Batterie e umidificatore	46
3.4 Impianto idronico	50
3.4.1 Terminali di emissione	50

3.4.2 Dimensionamento rete di distribuzione.....	52
3.4.3 Pompe.....	58
3.4.4 Acqua calda sanitaria	61
3.4.5 Generatori di calore	62
3.5 Verifiche normative.....	66
3.5.1 Verifica progetto originale	66
3.5.2 Verifica intervento migliorativo	71
4. Analisi energetica e futuri sviluppi	74
4.1 Analisi energetica	74
4.1.1 Analisi edificio originale	74
4.1.2 Analisi edificio post operam	76
4.2 Futuri sviluppi	77
4.2.1 Isolamento in intercapedine.....	77
4.2.2 Impianto fotovoltaico	80
4.2.3 Confronto interventi	84
5. Conclusioni.....	87
Bibliografia.....	88

1. Introduzione

Il tema dell'energia ha assunto un'importanza via via crescente negli ultimi decenni. Il secolo scorso ha visto una sempre crescente domanda energetica, soddisfatta per lo più da fonti fossili, responsabili dell'inquinamento atmosferico.

Negli ultimi due decenni ci si è posti, con più vigore, il problema delle emissioni inquinanti, responsabili del fenomeno del riscaldamento globale e nocive per la salute dell'uomo.

Il settore residenziale assume un ruolo non trascurabile nel contributo alle emissioni inquinanti. Questo è dovuto, principalmente, ad una quota elevata di consumi finali come mostrato in *figura 1.1*

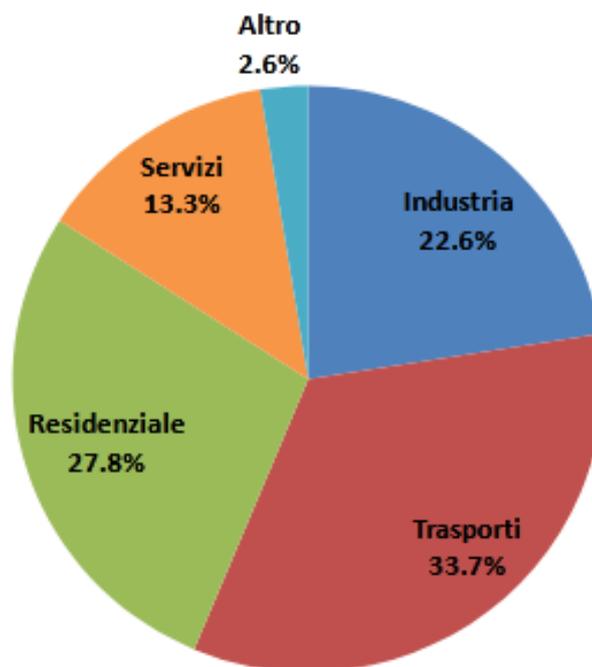


Figura 1.1: Quota dei consumi finali di energia nei diversi settori, in Italia (2016) [1]

Le soluzioni principali a questi problemi sono due: miglioramento dell'efficienza energetica e utilizzo di fonti rinnovabili, in sostituzione di quelle fossili.

Analizziamo nelle figure seguenti l'effetto di queste soluzioni sulle emissioni. (Fig. 1.2; 1.3)

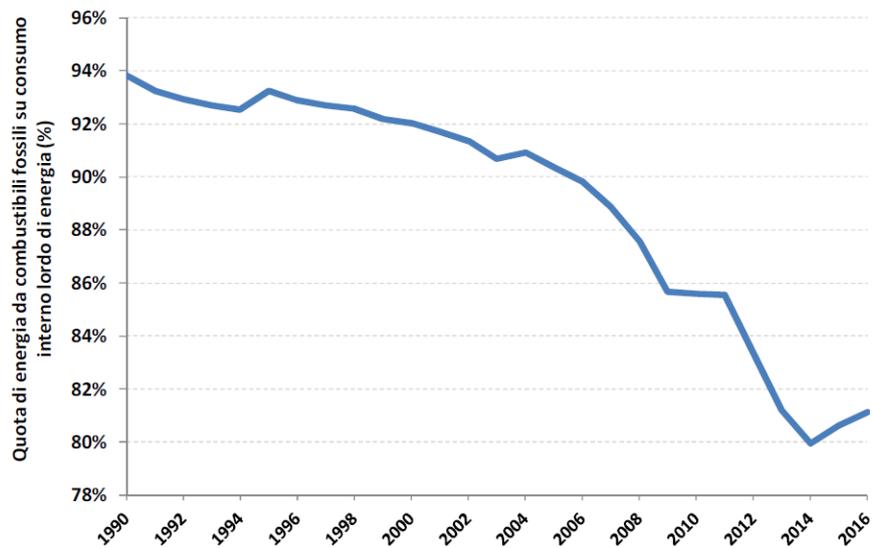


Figura 1.2: Andamento quota di energia da combustibili fossili, in Italia (2016) [1]

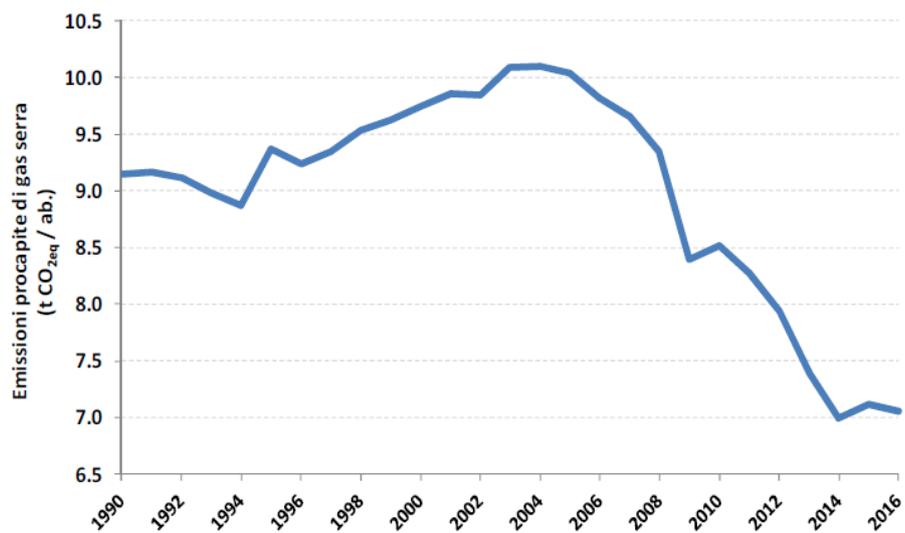


Figura 1.3: Andamento emissioni pro-capite di gas serra, in Italia (2016) [1]

Come si può notare da queste figure, riducendo l'uso di fonti fossili, si riducono le emissioni di gas climalteranti.

Nel settore residenziale si può ridurre l'uso di fonti fossili utilizzando tre soluzioni principali:

- Coibentazione dell'involucro edilizio: con questo intervento si riduce l'energia richiesta
- Miglioramento dell'impianto termico: aumentando il rendimento si riduce l'energia richiesta
- Utilizzo di fonti di energia rinnovabile: si riduce l'uso dei combustibili fossili

In questa trattazione saranno affrontati i metodi progettuali per procedere con la riqualificazione energetica ed impiantistica di un collegio universitario, analizzando gli effetti delle diverse soluzioni adottate. Questi interventi consentono non solo di ridurre le emissioni di gas climalteranti ma anche di ridurre i costi ed aumentare il comfort degli occupanti.

2. Contesto

La struttura in analisi è un collegio universitario, una struttura ad uso abitativo continuativo situata nella città di Torino in contesto urbano.

2.1. Dati climatici e geografici

A seguire, la tabella dei dati climatici e geografici per la città di Torino. Questi dati sono utili per i calcoli del progetto termotecnico.

Caratteristiche geografiche e climatiche (DPR 26 Agosto 1993, n.412) [2]

- Località *Torino*
- Provincia *Torino*
- Gradi giorno *2617*
- Zona climatica *E*

Caratteristiche del vento (UNI 10349:1994) [3]

- Regione di vento: A
- Direzione prevalente *Nord-Est*
- Velocità media del vento *0,8* m/s

Dati invernali (UNI EN 12831 – allegato nazionale) [4]

- Temperatura esterna di progetto *-8,0* °C
- Stagione di riscaldamento convenzionale dal *15 ottobre* al *15 aprile*

Dati estivi (UNI 10339 – appendice D) [5]

- Temperatura esterna bulbo asciutto (*) 32 °C
- Umidità relativa 50,0 %
- Escursione termica giornaliera 11 °C

*corretta per tener conto dell'effetto "isola di calore" nel complesso urbano

2.2. Struttura

La struttura in esame è un edificio composto da quattro piani, il piano seminterrato, il piano rialzato e il sottotetto.



Figura 2.1: Vista 3D della struttura

Il **piano seminterrato** rappresenta la zona adibita ai servizi quali: lavanderia, sala studio, sale per lo sport, depositi, auditorium e sale counseling.

La parte con campitura ad ovest rappresenta una zona adiacente appartenente ad un altro ente, adibita a mensa.

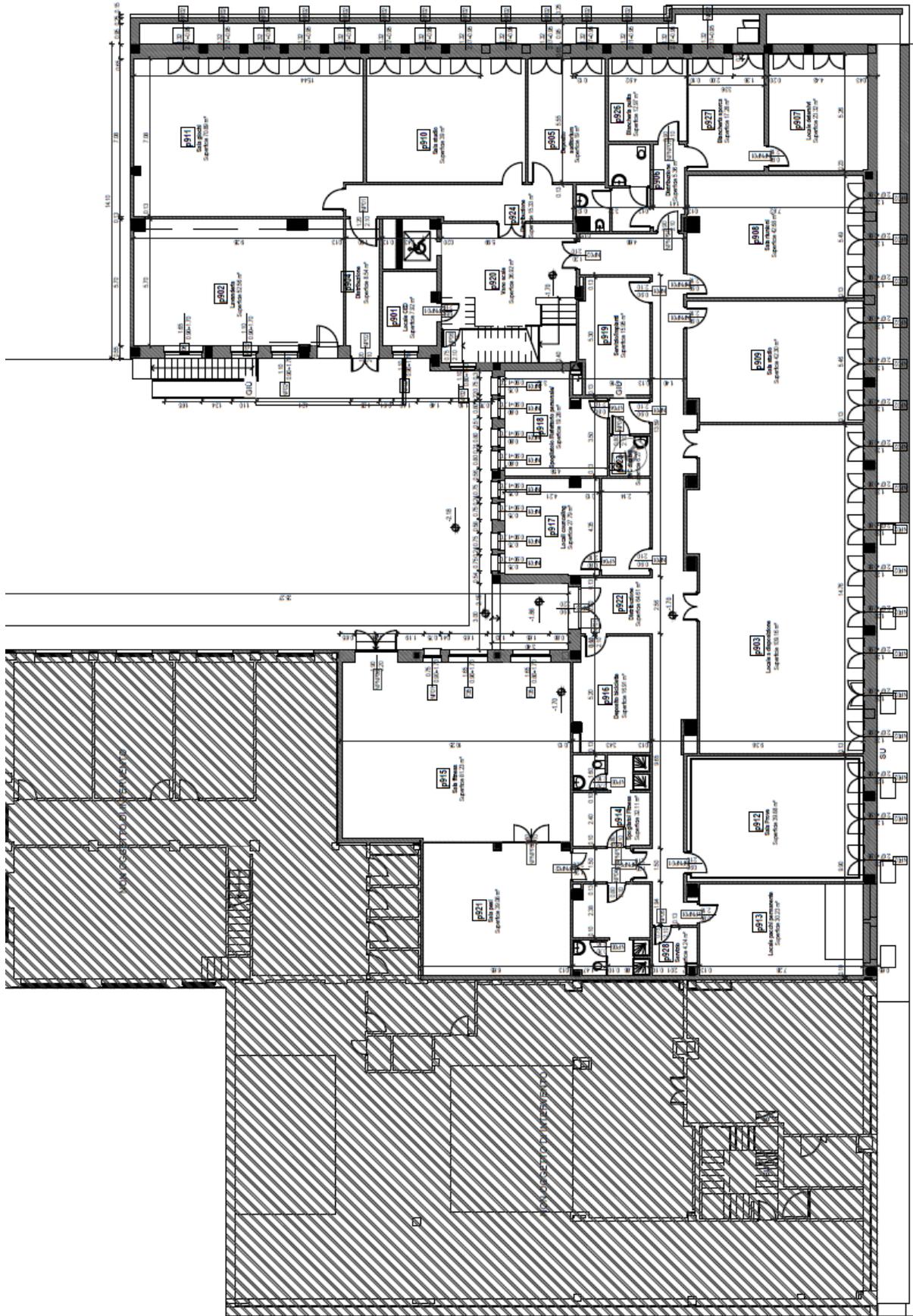


Figura 2.2: Pianta piano seminterrato

I piani 1-4 sono tutti molto simili sono composti principalmente dalle camere degli studenti. Al piano 1 sono disponibili meno camere per studenti rispetto ai piani 2-4.

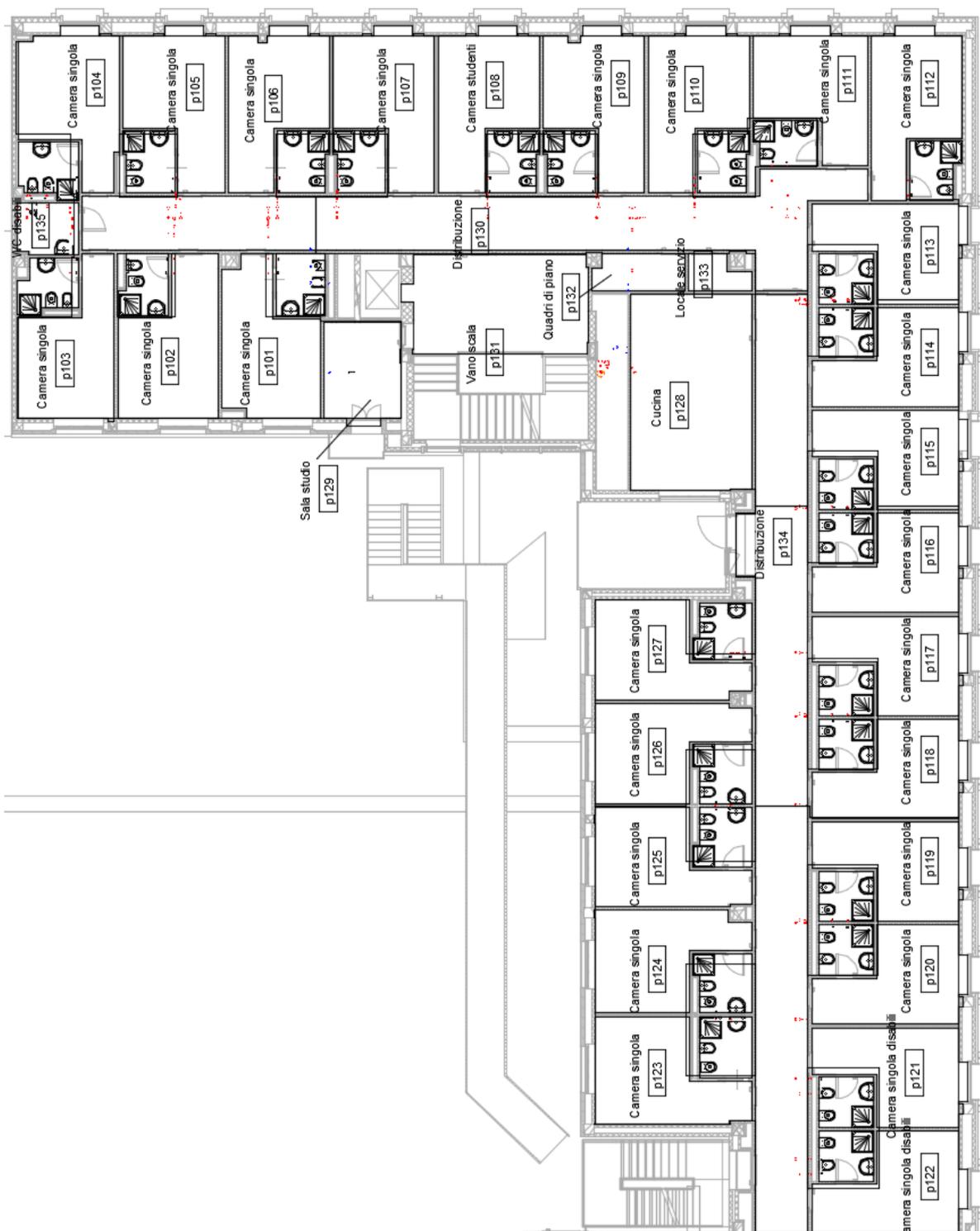


Figura 2.3: Pianta piani intermedi (1-4)

Il **piano rialzato** comprende la reception e alcune camere. La parte est è proprietà di un altro ente.

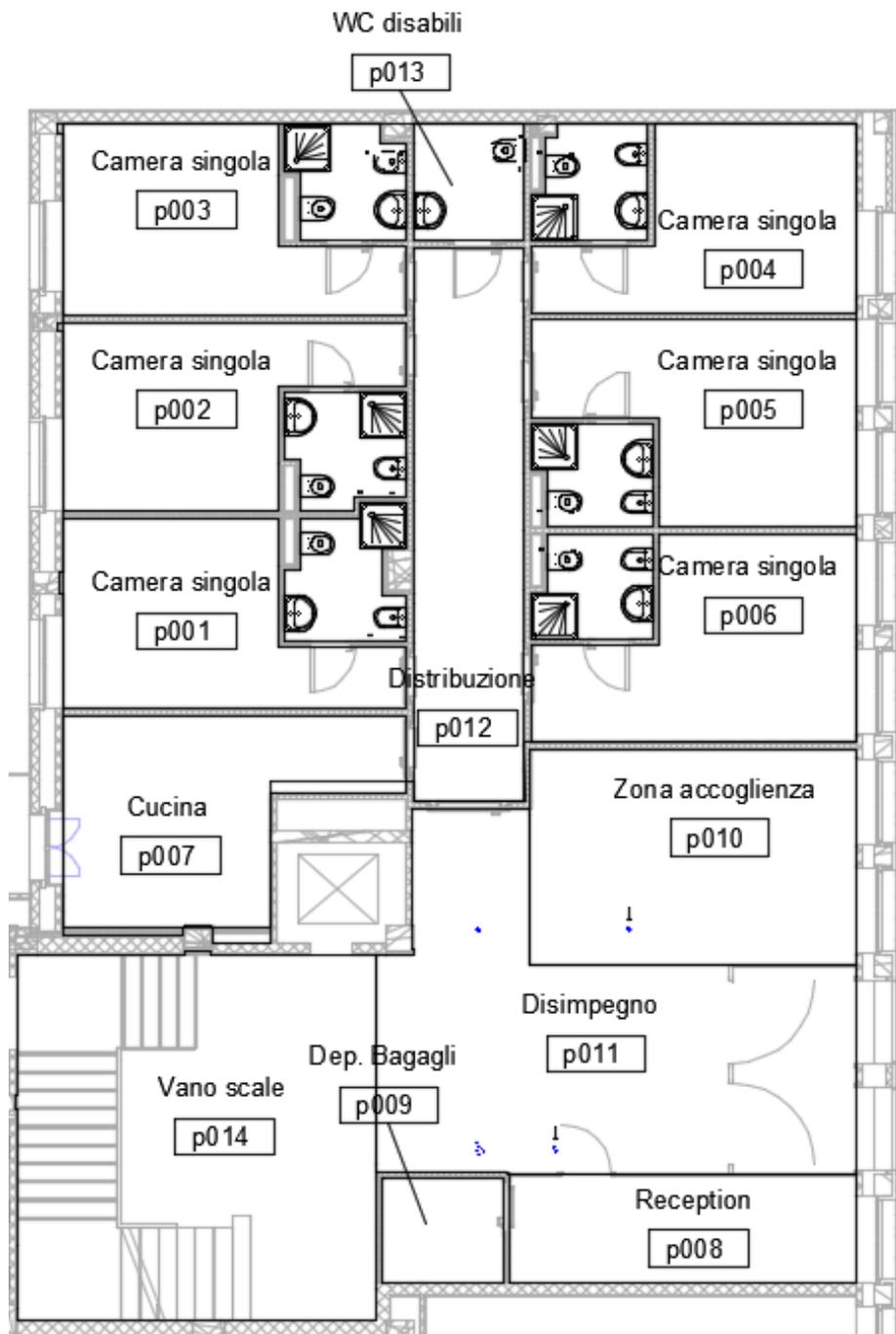


Figura 2.4: Pianta piano rialzato (solo ala ovest)

Il piano **sottotetto** è riservato al pernottto degli ospiti esterni alla struttura e dei custodi.

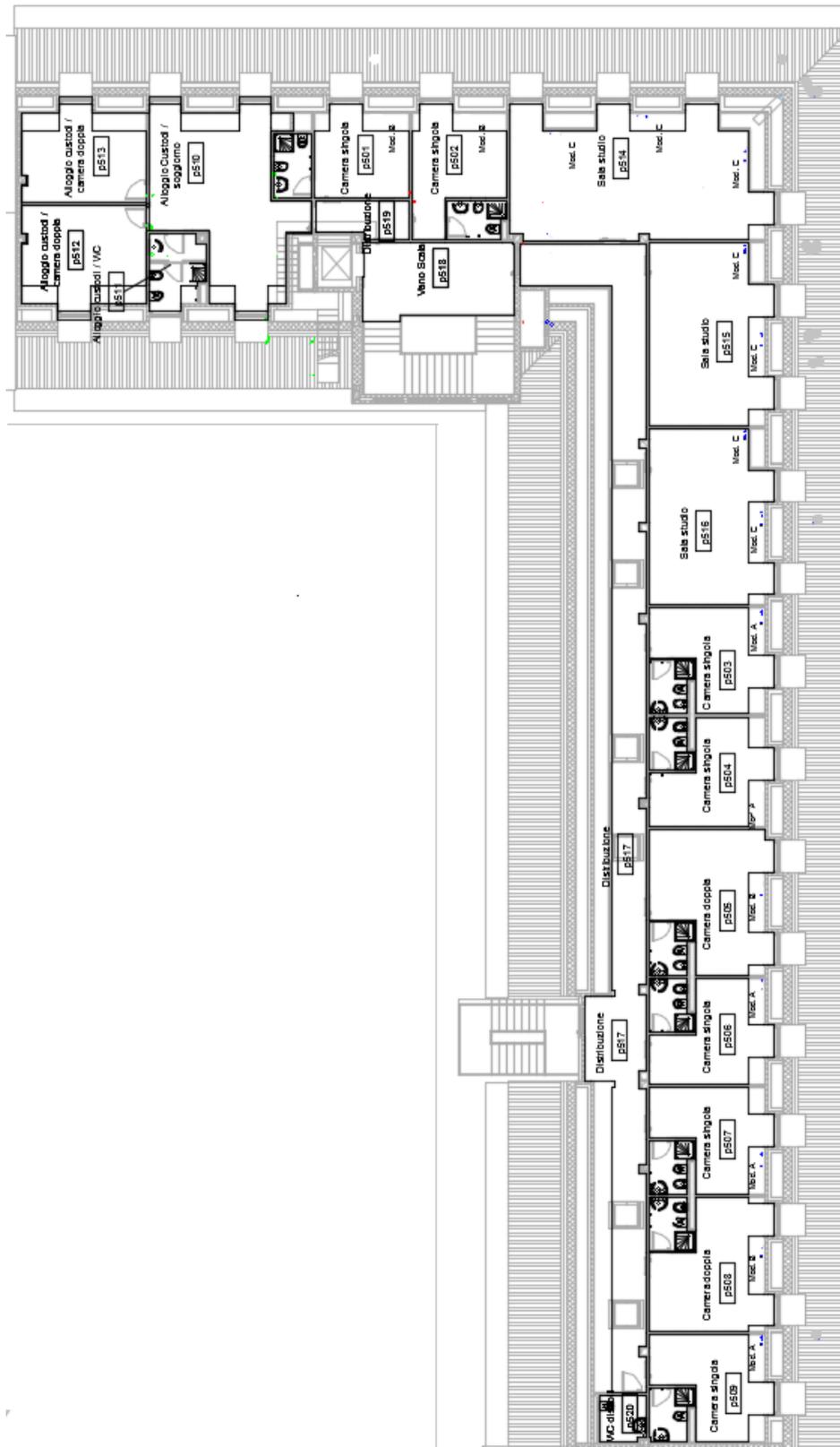


Figura 2.5: Pianta piano sottotetto

2.3. Impianto termico esistente

Nello stato ante operam, la struttura presenta un impianto di solo riscaldamento ad acqua. L'impianto è composto da radiatori e pavimenti radianti.

Il raffrescamento è presente solo nella zona di ingresso al piano rialzato ed è realizzato mediante unità split.

L'acqua calda sanitaria (ACS) è prodotta mediante l'uso di pannelli solari termici e del generatore di calore nel caso in cui la potenza sia insufficiente (funzione di backup).

Centrale termica

L'impianto esistente presenta una centrale termica a servizio di due sezioni distaccate, appartenenti allo stesso fabbricato.

Sono presenti tre generatori di calore a metano tradizionali che servono entrambe le sezioni:

-Generatori 1 e 2: Alimentano il circuito dei pannelli radianti e dei radiatori dell'intero fabbricato. Alimentano le batterie di riscaldamento delle UTA a servizio della sezione adiacente.

-Generatore 3: Alimenta il dormitorio dei custodi e produce l'acqua calda sanitaria per tutto il fabbricato

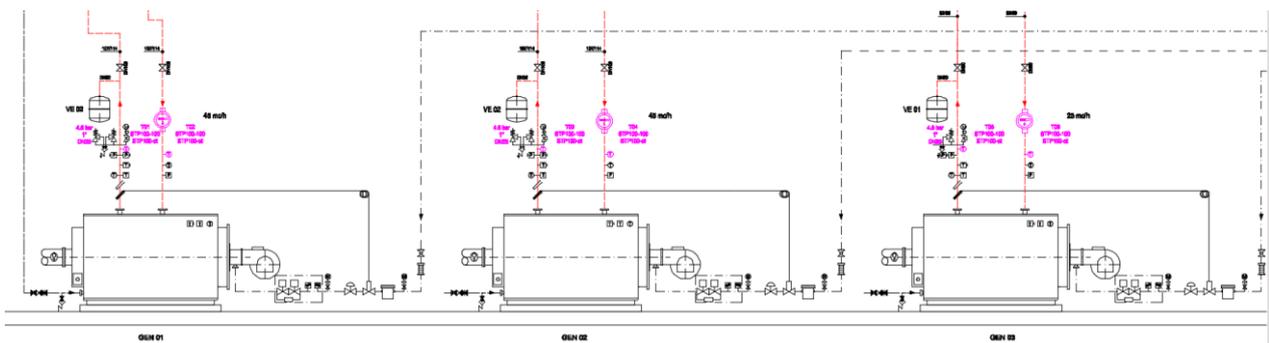


Figura 2.6: Generatori di calore (ante operam)

È presente una pompa di calore acqua-acqua con pozzo di prelievo di acqua di falda. Questa unità serve le unità di trattamento aria e i circuiti pannelli radianti a servizio della sezione adiacente. È

presente anche una predisposizione per una seconda pompa di calore. L'acqua di pozzo è trattata mediante l'uso di filtri ciclonici e il circuito è separato da quello della pompa di calore mediante l'uso di uno scambiatore di calore.

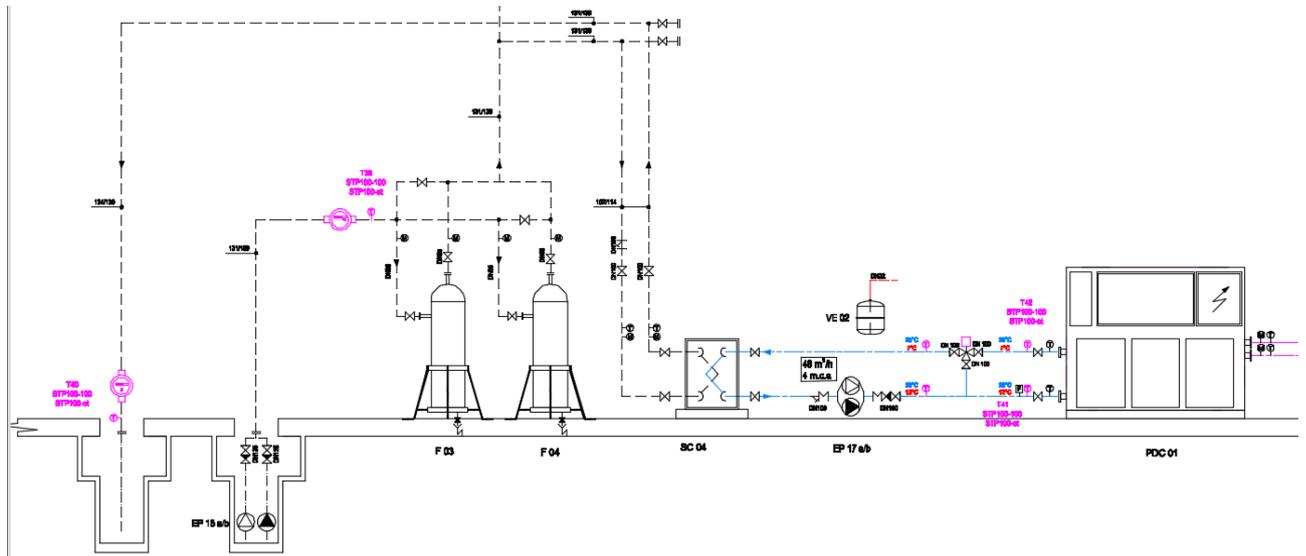


Figura 2.7: Pompa di calore geotermica (parte adiacente)

Sono presenti due serbatoi di accumulo per acqua calda sanitaria collegati ai collettori solari e al generatore 3. Il generatore viene impiegato con funzioni di backup e come fonte di calore per il trattamento anti-legionella.

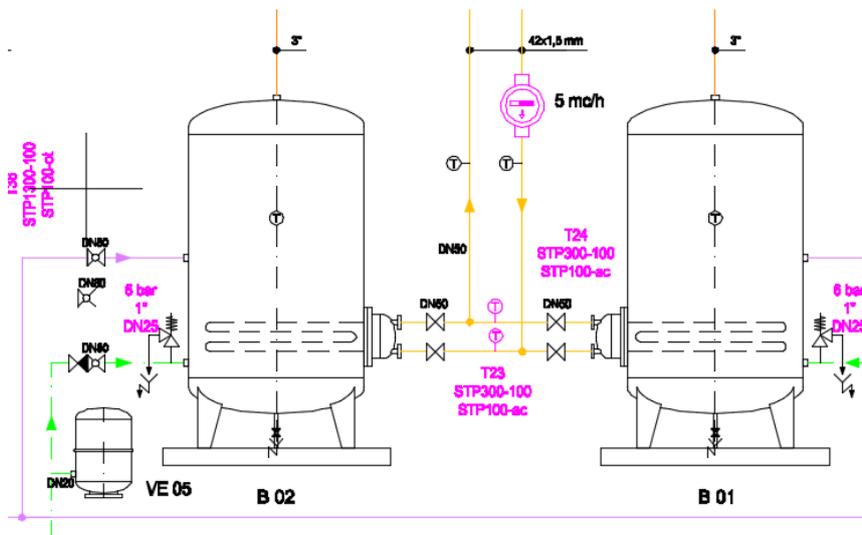


Figura 2.8: Puffer di accumulo per acqua calda sanitaria (ACS)

L'acqua potabile viene trattata dal gruppo di trattamento acqua presente in centrale. Gli elementi di cui è composto il gruppo sono i seguenti:

- STD: stazione di dosaggio di ipoclorito di sodio per la purificazione
- F05: filtro deferrizzatore
- F01/F02: filtro dissabbiatore
- S01/S02: serbatoi di accumulo dell'acqua trattata
- ADD: addolcitore, utilizzato per ridurre la concentrazione di sali in acqua

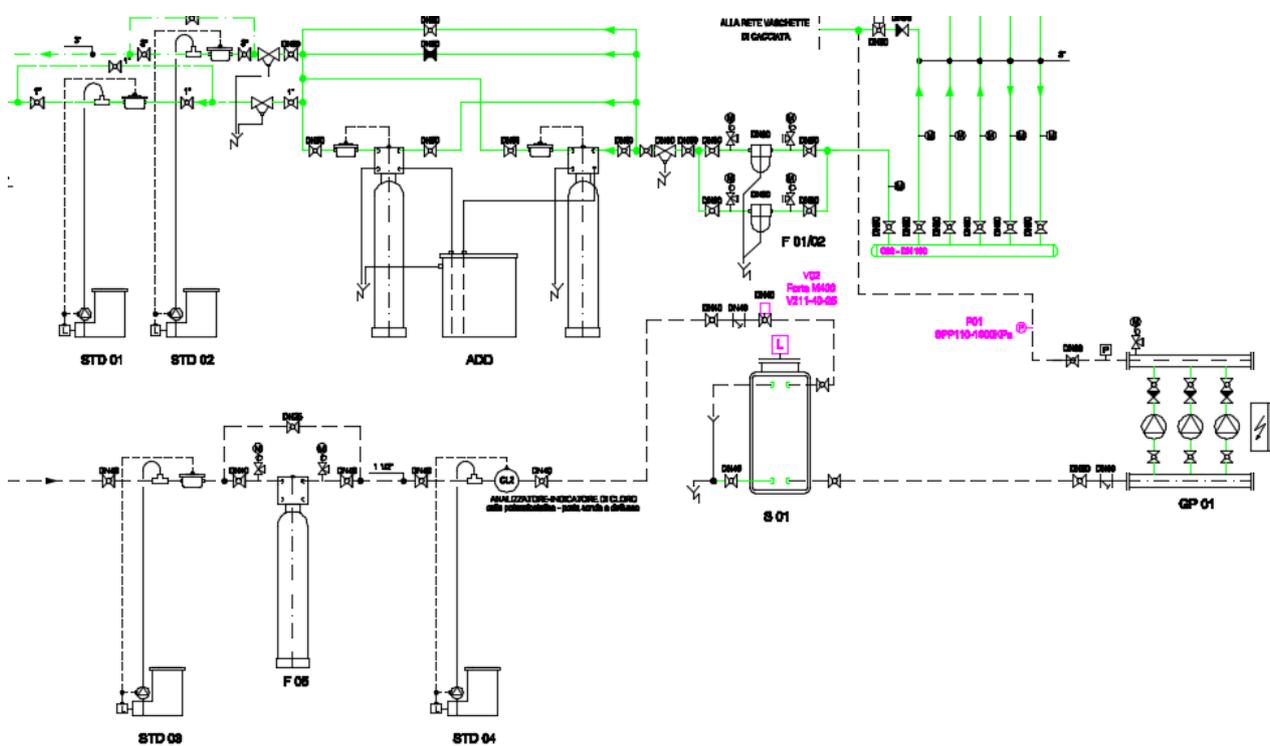


Figura 2.9: Gruppo di trattamento acqua

3. Progetto

In questo capitolo vengono analizzate le modifiche previste in fase progettuale. Il progetto prevede una ristrutturazione dell'involucro edilizio e dell'impianto.

3.1 Quadro riassuntivo

3.1.1 Modifiche impianto idronico

Le modifiche sugli impianti prevedono una serie di interventi di rimozione e di installazione.

Gli interventi di rimozione hanno interessato le seguenti porzioni impiantistiche:

- Generatori di calore esistenti
- Collettori di distribuzione primaria
- Tubazioni di distribuzione primaria
- Impianti a radiatori presenti ove non presente l'impianto radiante
- Impianti split per la produzione del freddo nei locali attualmente climatizzati (reception e locali adiacenti)
- Tubazione di distribuzione secondaria al piano sottotetto
- Tubazione di adduzione acqua fredda sanitaria, acqua calda sanitaria e acqua di ricircolo, dalle partenze in centrale termica agli utilizzatori
- Tubazioni di scarico acque nere dagli apparecchi utilizzatori fino al punto di innesto verso la pubblica fognatura presente nel cunicolo a piano interrato. Tale tubazione è parzialmente utilizzata dai servizi igienici della mensa a piano rialzato, pertanto dovranno essere mantenute le dorsali provenienti da tali impianti

Modifiche ai terminali di emissione idronici

Le camere degli studenti e dei custodi, i corridoi e le cucine saranno provvisti di un impianto di riscaldamento a pavimento radiante. I collettori secondari di distribuzione saranno installati nei corridoi e provvisti di misuratori di portata, valvole di sfiato manuale detentori di regolazione per i singoli circuiti. I pavimenti radianti saranno serviti da tubazioni in polietilene, isolate in polistirolo. La scelta del riscaldamento a pavimento radiante consente l'alimentazione a bassa temperatura ed è l'ideale per ambienti ad uso continuativo. I diversi circuiti a servizio di una camera o di una determinata zona termica sono collegati ad un collettore di zona per pavimenti radianti.



Figura 3.1: Esempio pavimenti radianti [6]

Al piano sottotetto, è previsto un allargamento della zona termica. Le camere saranno provviste di un nuovo impianto di ventilconvettori a 2 tubi. Questi consentono sia il riscaldamento nella stagione invernale che il raffrescamento nella stagione estiva. Una sonda ambiente controlla la velocità delle ventole e la temperatura, in modo da adeguare il funzionamento dei terminali alla richiesta termica del singolo ambiente. La scelta dei ventilconvettori come terminali di emissione è ottimale per consentire un rapido riscaldamento della stanza da servire. Questa opzione è adeguata all'utilizzo occasionale delle camere nel piano sottotetto e consente anche il raffrescamento degli ambienti.



Figura 3.2: Esempio ventilconvettori [7]

I servizi igienici saranno tutti serviti da radiatori scaldasalviette in acciaio, dotati di valvola termostatica, detentore e sfiato.



Figura 3.3: Esempio scaldasalviette idronico [8]

I locali comuni di tutti i piani, escluse le cucine e i bagni, sono serviti da ventilconvettori a soffitto a 2 tubi. Il loro funzionamento, la dotazione e la logica sono molto simili ai ventilconvettori tradizionali installati nelle camere al piano sottotetto.

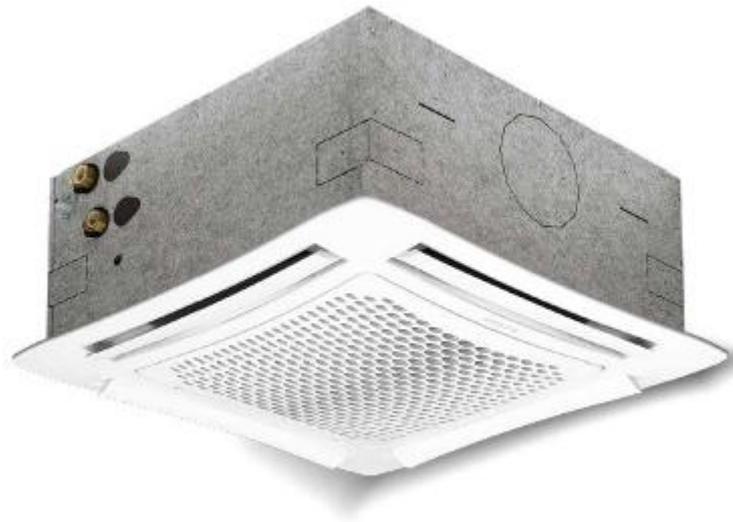


Figura 3.4: Esempio ventilconvettori a soffitto [7]

Modifiche in centrale termica

In centrale termica saranno installati nuovi impianti per la produzione di calore.

Verrà installata una nuova pompa di calore condensata ad acqua di pozzo, collegata ai pozzi di prelievo esistenti. Questa unità, in quanto reversibile, alimenterà i circuiti caldo e freddo in base alla stagione. Insieme ad essa saranno installate 2 pompe gemellari per il lato scambiatore e il lato utenza



Figura 3.5: Esempio pompa di calore acqua-acqua [9]

Le vecchie caldaie saranno sostituite da due nuove unità a condensazione:

- Generatore 1 (GEN01): Generatore di calore, con funzione di backup, usato nella produzione di acqua calda per l'alimentazione dei terminali idronici.
- Generatore 2 (GEN02): Generatore di calore usato per l'alimentazione degli alloggi dei custodi al piano sottotetto e in funzione di backup per la produzione di ACS. È utilizzato inoltre per il trattamento anti-legionella ad alta temperatura.



Figura 3.6: Esempio generatore di calore a condensazione [10]

3.1.2 Ventilazione meccanica

Per garantire il corretto ricambio d'aria sarà installata un'UTA a servizio dei locali comuni al piano seminterrato. Un sistema di ventilazione meccanica è indispensabile nei locali ad elevato affollamento.

In questi locali è previsto un impianto misto (aria + acqua) con UTA ad aria primaria.

Per il calcolo delle portate minime di ventilazione necessaria nei singoli ambienti, si ricorre all'uso della norma UNI 10339 [5]. A seguire, la tabella riassuntiva della ventilazione al piano seminterrato.

N.	Locale	Superficie m ²	Indice occup. p/m ²	Occupazione p	Indice portata m ³ /h/p	Portata IMM m ³ /h	Estrazioni m ³ /h
901	Locale CED	8		0			0
902	Lavanderia	52,5	0,2	11	0	0	500
903	Locale a disposizione	109,2		0	0	0	200
904	Distribuzione	8,5					
905	Deposito auditorium	19		0		0	50
906	Distribuzione	5,36					
907	Locale detersivi	23,32		0		0	50
908	Sala riunioni	42,68	0,6	27	25,2	660	460
909	Sala studio	42,3	0,6	26	25,2	660	460
910	Sala studio	39	0,6	26	25,2	600	460
911	Sala giochi	70,9	0,6	43	25,2	1200	760
912	Sala prove	39,88	0,5	23	25,2	510	410
913	Locale pacchi permanente	30,23		0		0	100
914	Spogliatoi fitness	31,95		0		0	230
915	Sala fitness	83,58	0,2	17	58,68	1000	700
916	Deposito biciclette	16,91		0		0	100
917	Locali counseling	27,79	0,12	4	40	160	
918	Spogliatoio/refettorio p.	19,28		0		225	
919	Servizio/impianti	15,95		0		0	50
920	Vano scale	36,92		0		0	
921	Sala pesi	39,08	0,2	9	58,68	480	370
922	Distribuzione	64,61		0		0	
923	WC disabili	6,27		0		0	70
924	Distribuzione	15,3	0	0	0	0	
926	Biancheria pulita	13				200	0
927	Biancheria sporca	17,3					100
928	Servizio	4,24					
929	WC auditorium						100
TOTALE				186		5595	5170

Tabella 3.1: Portate di ventilazione

3.1.3 Modifiche all'involucro edilizio

Nel progetto si prevede un aggiornamento dell'involucro edilizio. In particolare, saranno sostituiti tutti i componenti trasparenti dell'edificio sotto esame.

L'installazione di nuovi componenti trasparenti consente di ottenere un risparmio energetico sull'energia termica e di adeguare il rapporto aeroilluminante della struttura alle normative. Un corretto rapporto aeroilluminante permette di risparmiare sulla spesa elettrica per l'illuminazione durante le ore diurne e garantisce un adeguato comfort visivo.



Figura 3.7: Esempio finestra PVC [11]

I nuovi componenti vetriati sono caratterizzati un telaio in PVC e vetrocamera basso emissivo riempito in argon. La trasmittanza dell'intero componente è pari a $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Un altro intervento da svolgersi è la ristrutturazione del piano sottotetto con modifica della rete idronica di climatizzazione.

Oltre a questi intervento, si prevede di valutare una proposta tecnica migliorativa consistente in coibentazione dell'involucro opaco usando la tecnica di isolamento dall'interno. Questa tecnica consente di avere un costo economico limitato rispetto alle altre ma è necessario verificarne il rispetto dei requisiti di legge e l'eventuale instaurarsi di problemi di condensa nei ponti termici.

3.1.4 Modello

La modellizzazione del sistema edificio-impianto è importante per ottenere una più rapida e precisa verifica delle norme di legge e per il calcolo del fabbisogno termico dell'edificio. La costruzione del modello consiste nella riproduzione della situazione progettuale sul software Edilclima [12].

I calcoli sono effettuati utilizzando i metodi delle norme UNI EN 12831 [4], UNI EN ISO 13790 [13] e UNI TS 11300-1 [14].

I dati principali da inserire sono:

- Dati climatici
- Stratigrafia dei componenti d'involucro
- Geometria della struttura
- Tipologia di impianto
- Dati tecnici di impianto

Dopo aver inserito questi dati, posso ottenere dal software diversi output tra i quali:

- APE (Attestazione di prestazione energetica)
- Verifica normativa, sia nazionale che regionale
- Potenza richiesta dall'impianto
- Fabbisogno di energia primaria

Tutti i dati sono inseriti nel software in modo da ottenere un calcolo conservativo ed essere certi di verificare i requisiti di legge.

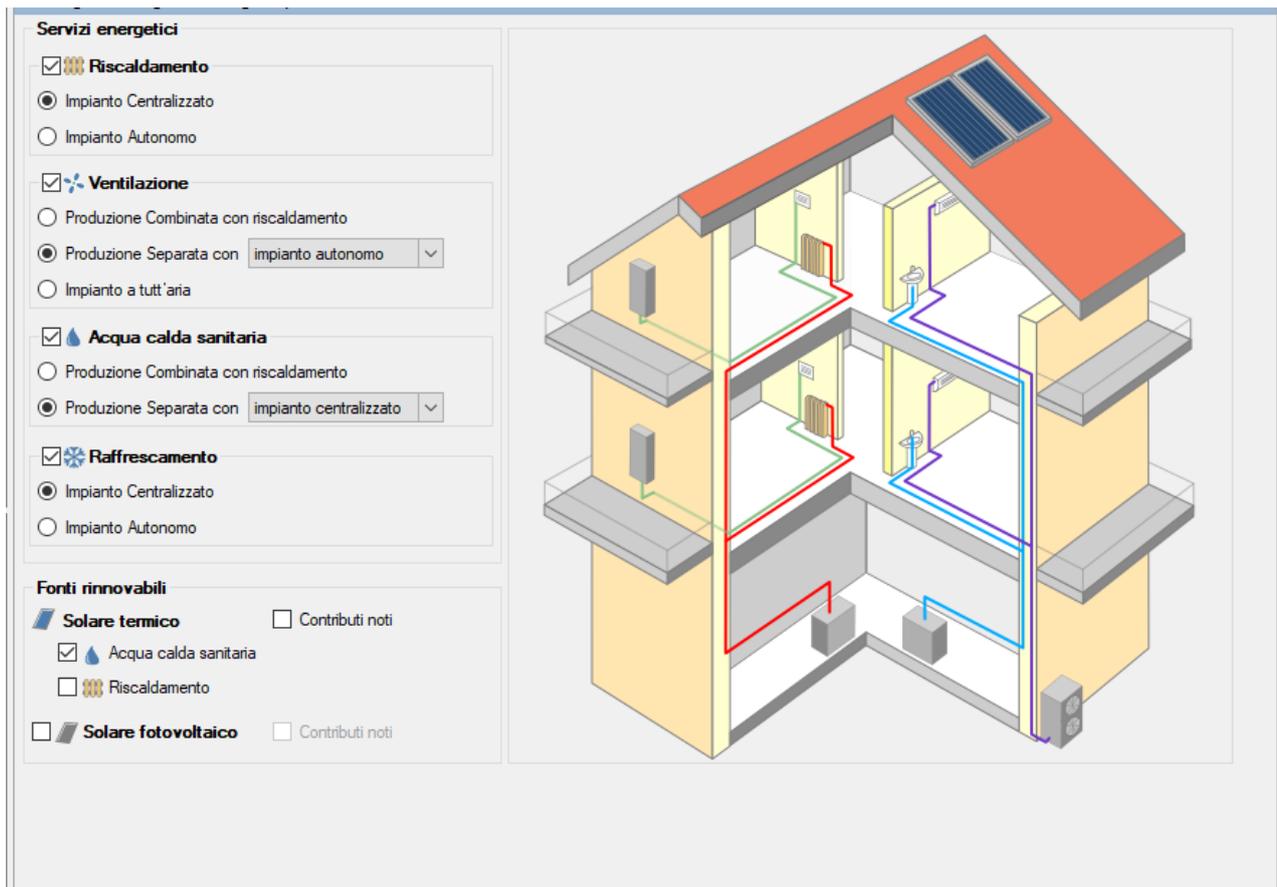


Figura 3.8: Esempio di schermata Edilelima relativa agli impianti [12]

3.2 Idrico-sanitario

In questo paragrafo viene analizzata la progettazione utile al rifacimento dell'impianto idrico sanitario.

L'impianto è composto da una rete di adduzione ed una di scarico. La rete di adduzione permette di condurre l'acqua potabile agli utilizzatori mentre la rete di scarico raccoglie le acque reflue dell'edificio e le scarica nella rete fognaria.

3.2.1 Dimensionamento scarichi

La rete di scarico raccoglie le acque reflue dell'intero edificio per scaricarle nella rete fognaria.

Il movimento del fluido all' interno delle tubazioni è consentito grazie alla quota geodetica assunta dai fluidi. Nell'evacuazione dei fluidi reflui, questa quota geodetica si trasforma in quota cinetica la quale deve vincere le perdite di carico all'interno delle tubazioni.

Viene impostata nel progetto una pendenza dei tratti principali delle tubazioni dell'1%.

Il dimensionamento della rete di scarico si basa sulla determinazione dei diametri adeguati alle portate da sostenere lungo i vari tratti.

La norma utilizzata nel calcolo è la UNI EN 12056-2 [15]

La norma prevede di assegnare una portata media di scarico, detta unità di scarico (DU), per ciascun apparecchio presente. Riguardo al fabbricato in esame sono presenti le seguenti tipologie di utilizzatori:

- Lavabo(L): 0,5 l/s
- Lavello da cucina (LC): 0,8 l/s
- Lavastoviglie (LS): 0,8 l/s
- Bidet(B): 0,5 l/s
- Doccia (D): 0,6 l/s
- WC: 2,5 l/s
- Lavatrice (LT): 1,5 l/s

La determinazione delle portate va fatta tenendo conto di un fattore di contemporaneità K, definito dalla norma in base alla destinazione d'uso della struttura in esame. Per la struttura in esame, il valore di K è fissato 0,5.

Il calcolo della portata di acque reflue in un tratto viene eseguito usando la seguente formula:

$$Q_{ww} = K \sqrt{\sum DU} \quad (3.1)$$

Per ogni tratto individuo l'apparecchio con numero di unità di scarico più grande.

La portata di progetto di quel tratto sarà la massima tra la portata calcolata Q_{ww} e la portata dell'apparecchio più grande.

Le colonne di scarico sono dotate di ventilazione primaria, ovvero un sistema di sfiato collegato all'esterno per consentire la fuoriuscita dei gas reflui. L'allacciamento dei vari tratti alle colonne di scarico è fatto utilizzando una braga a squadra, un allacciamento con angolo di circa 90 gradi che consente di ridurre la velocità e quindi contenere i livelli di rumore.

In base a queste informazioni posso ricavare, dalle tabelle della norma, il diametro delle tubazioni da utilizzare.

Qmax l/s	DN mm
0	60
0,50001	70
1,5	80
2,0001	90
2,70001	100
4,0001	125
5,80001	150
9,50001	200
16,0001	> 200

Tabella 3.2: Diametro tubazioni in relazione alla portata massima

Alla base delle colonne sono presenti dei collettori di scarico che le collegano alla fogna esterna. In base alla portata massima calcolata per un singolo tratto e imponendo un grado di riempimento del 50%, si ricavano dalle tabelle i diametri dei collettori.

DN mm	Qmax l/s
100	2,5
125	4,1
150	7,7
200	14,2
225	22,5
250	26,9
300	48,3

Tabella 3.3: Diametro collettori in relazione alla portata massima

Nella figura seguente vengono individuate le varie colonne dell'impianto di scarico

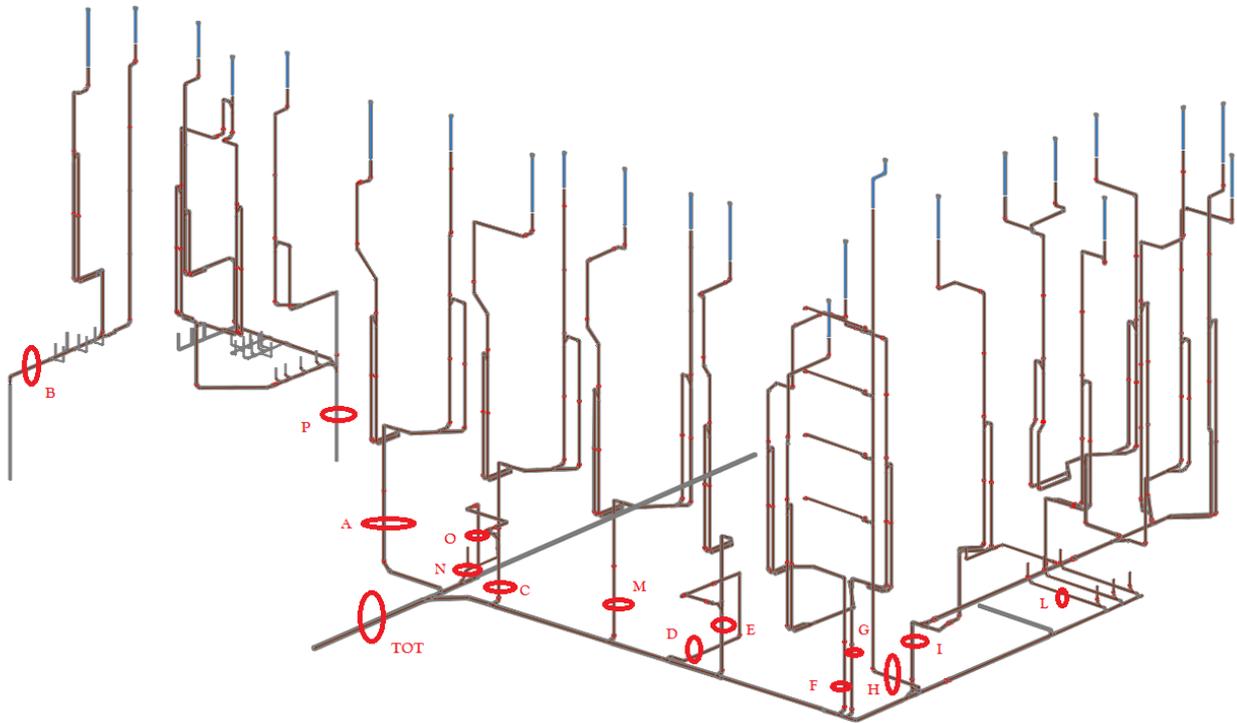


Figura 3.9: Schema impianto acque reflue

Dopo aver individuato graficamente le colonne, è possibile analizzare il numero e la tipologia di utenze ad essa collegate e procedere al calcolo dei diametri.

Il quadro riassuntivo del dimensionamento è disponibile in *tabella 3.4*

P.to	Tipo	L	LC	LS	LT	B	D	WC	TOT	Qww [l/s]	Qmax [l/s]	Diame tro colonn e	Diametro collettore
	Unità di scarico DU (l/s)	0,5	0,8	0,8	1,5	0,5	0,6	2,5					
B		11				7	7	11	40,7	3,19	3,19	100	125
P		26				20	20	23	92,5	4,81	4,81	125	150
A		18				18	18	18	73,8	4,30	4,30	125	150
C		18				18	18	18	73,8	4,30	4,30	125	150
M		12				12	12	12	49,2	3,51	3,51	100	125
O							2	1	3,7	0,96	2,50	90	100
N		1					2		1,7	0,65	0,65	70	100
D		1						1	3	0,87	2,50	90	100
E		8				8	8	8	32,8	2,86	2,86	100	125
F		7				7	7	7	28,7	2,68	2,68	90	125
G		12				12	12	12	49,2	3,51	3,51	100	125
H			8	8					12,8	1,79	1,79	80	100
I		52	2	1		45	45	52	207,9	7,21	7,21	150	150
L					2				3	0,87	1,50	70	100

Tratti di collettore

TOT	TOT	129	10	9	6	120	122	128	991,9	15,75	15,75		225
	TOT2								455,4	10,67	10,67		200
	TOT3								383,6	9,79	9,79		200
	TOT4								307,6	8,77	8,77		200
	TOT5								9	1,50	1,50		100
	TOT6 (esistente)								450	10,61	10,61		200

Tabella 3.4: Dati di dimensionamento del sistema di acque reflue

3.2.2 Dimensionamento adduzioni

Le tubazioni di adduzione permettono di distribuire l'acqua calda e l'acqua fredda sanitaria all'intero edificio.

Il dimensionamento si basa sulla determinazione dei diametri delle tubazioni ottimali per il trasporto di determinate portate d'acqua.

Il dimensionamento è effettuato utilizzando le “Norme idrosanitarie italiane” compilate dall’ASSISTAL [16].

La norma prevede di assegnare una portata media (Q) per ciascun apparecchio presente. Riguardo al fabbricato in esame sono presenti le seguenti tipologie di utilizzatori:

- Lavabo: 0,1 l/s
- Lavello da cucina: 0,2 l/s
- Lavastoviglie: 0,1 l/s
- Bidet: 0,1 l/s
- Doccia: 0,15 l/s
- WC: 0,1 l/s
- Lavatrice: 0,1 l/s

La distribuzione dell’acqua fredda sanitaria avviene per tutte le utenze mentre l’acqua calda viene distribuita a tutte le utenze eccetto le cassette WC.

Dopo aver determinato le portate in ciascun tratto, si procede con la determinazione della percentuale di contemporaneità. Il grado di contemporaneità è funzione del numero di apparecchi serviti in un determinato tratto e viene ricavato dai grafici della norma. I calcoli sono effettuati usando la curva ad alta contemporaneità.

Una volta determinata la contemporaneità, si ricava la portata contemporanea, utile per ottenere il diametro delle tubazioni.

$$Q_c = Q_{tot} * \tau \quad (3.2)$$

Dove:

- Q_c : Portata contemporanea [l/s]

- Q_{tot} : Portata totale [l/s]

- τ : Fattore di contemporaneità [-]

Dai grafici della norma si ricava il diametro delle tubazioni.

Il quadro riassuntivo dell'impianto di adduzione idrico sanitario viene di seguito presentato.

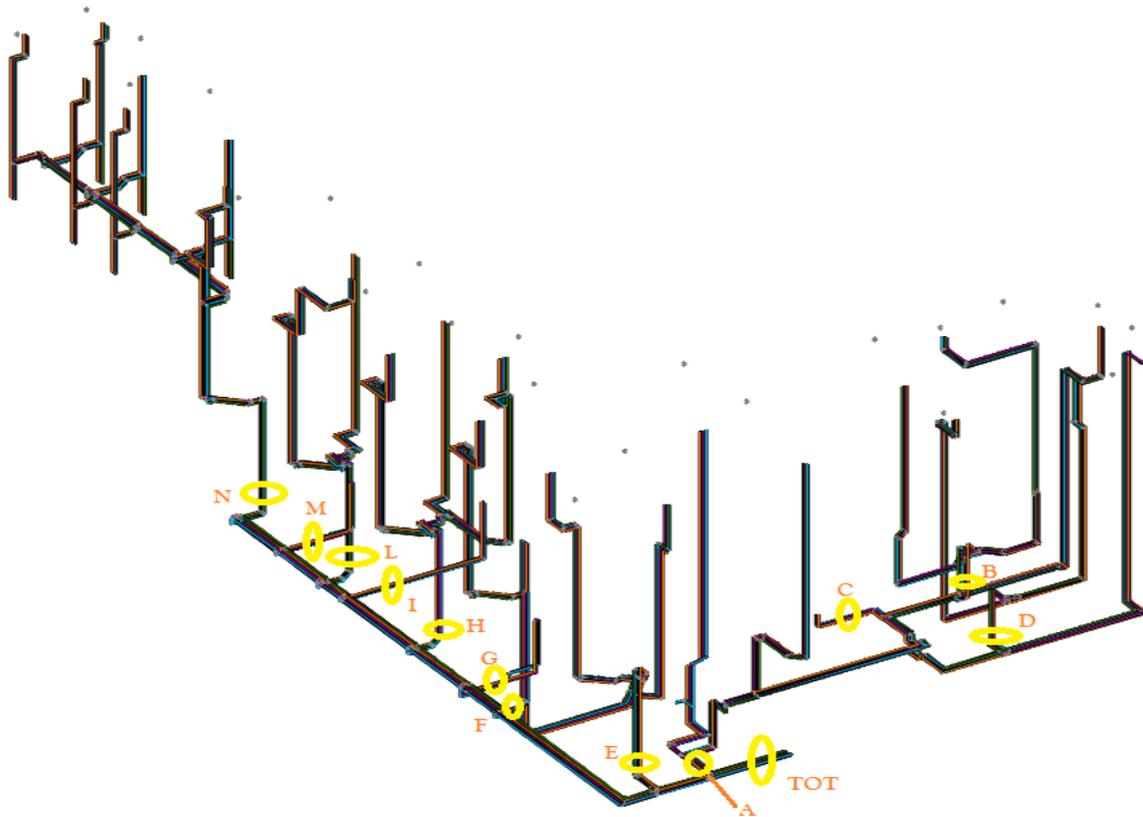


Figura 3.10: Schema impianto idrico adduzioni

È possibile quindi procedere con il calcolo dei diametri dei vari tratti dell'impianto, riassunti nella *tabella 3.5*

Codice tubazione	Utenze normali									Portata utenze normali	Contemporaneità	ACQUA FREDDA		ACQUA CALDA	
	WC	Lavabi	Bidet	Docce	Vasche da bagno	Lavelli da cucina	Lavatrici	Lavastoviglie	TOTALE utenze normali			PORTATA CONTEMPORANEA TOTALE	DIAMETRO	PORTATA CONTEMPORANEA TOTALE	DIAMETRO
	n°	n°	n°	n°	n°	n°	n°	n°	n°			l/s	%	l/s	l/s
A-AVW	52	0	0	0	0	0	0	0	52	5,2	25,6	1,3	1" 1/2	0	0
B-AVW	11	0	0	0	0	0	0	0	11	1,1	48,75	0,5	1"	0	0
D-AVW	15	0	0	0	0	0	0	0	15	1,5	43,75	0,7	1"	0	0
E-AVW	19	0	0	0	0	0	0	0	19	1,9	38,75	0,7	1" 1/4	0	0
F-AVW	8	0	0	0	0	0	0	0	8	0,8	63,75	0,5	1"	0	0
G-AVW	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0,1	100	0,1	1/2"	0	0
H-AVW	20	0	0	0	0	0	0	0	20	2	37,5	0,8	1" 1/4	0	0
L-AVW	18	0	0	0	0	0	0	0	18	1,8	40	0,7	1" 1/4	0	0
M-AVW	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0,1	100	0,1	1/2"	0	0
N-AVW	41	0	0	0	0	0	0	0	41	4,1	27,8	1,1	1" 1/4	0	0
TOT-AVW	186	0	0	0	0	0	0	0	186	18,6	17,78	3,3	2" 1/2	0	0
A	0	52	45	45	0	9	0	9	160	19,15	18,3	3,5	2" 1/2	3,5	2" 1/2
B	0	11	11	11	0	0	0	0	33	3,85	30,8	1,2	1" 1/4	1,2	1" 1/4
C	0	0	0	0	0	1	0	1	2	0,3	100	0,3	3/4"	0,3	1/2"
D	0	15	15	15	0	0	0	0	45	5,25	27	1,4	1" 1/2	1,4	1" 1/2
E	0	19	19	19	0	0	0	0	57	6,65	24,6	1,6	1" 1/2	1,6	1" 1/2
F	0	8	8	8	0	0	0	0	24	2,8	35	1	1" 1/4	1	1" 1/4
G	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0,1	100	0,1	1/2"	0,1	1/2"
H	0	20	20	20	0	0	0	0	60	7	24	1,7	1" 1/2	1,7	1" 1/2
I	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0,3	100	0,3	3/4"	0,300	3/4"
L	0	18	18	18	0	0	0	0	54	6,3	25,2	1,6	1" 1/2	1,6	1" 1/2
M	0	1	0	2	0	0	0	0	3	0,4	80	0,3	3/4"	0,3	3/4"
N	0	41	36	37	0	0	0	0	114	13,25	20,3	2,7	2"	2,7	2"
TOT	0	159	146	151	0	9	0	9	474	55,85	15,6	8,7	3"	8,7	3"

Tabella 3.5: Dati di dimensionamento del sistema di acque reflue

L'impianto è composto da due circuiti distinti: il circuito a servizio delle vaschette WC (denominato AVW) e il circuito per tutte le altre utenze.

3.2.3 Confronto normative

Il metodo di dimensionamento adduzioni ASSISTAL è stato soppiantato nel corso degli anni da altre normative. La normativa di riferimento attualmente in vigore è la UNI EN 806-3 [17].

L'obiettivo di questo paragrafo è quello di analizzare le differenze tra i due approcci.

La norma UNI EN 806-3 definisce per ciascun utilizzatore un numero di unità di carico (load units, LU):

- Lavabo: 1 LU
- Lavello da cucina non domestico: 8 LU
- Lavastoviglie: 2 LU
- Bidet: 1 LU
- Doccia: 2 LU
- WC: 1 LU
- Lavatrice: 2 LU

Su ciascun tratto di tubazione bisogna sommare il numero di unità di carico. Usando il metodo semplificato, definito dalla norma, si determinano i diametri usando delle tabelle, in base alla sommatoria delle unità di carico e al tipo di tubazione. Per le tubazioni in acciaio zincato, utilizzate nel progetto, si utilizza la seguente tabella.

Acciaio zincato	
Carico massimo LU	DN mm
6	15
16	20
40	25
160	32
300	40
600	50
1600	65

Tabella 3.6: Dimensionamento diametro adduzioni con normativa UNI EN 806-3

Dopo aver determinato il diametro delle tubazioni con la normativa attuale, si possono analizzare le differenze con le norme ASSISTAL.

In questa disamina viene analizzato solo il circuito dedicato a tutte le utenze escluse le vaschette dei WC.

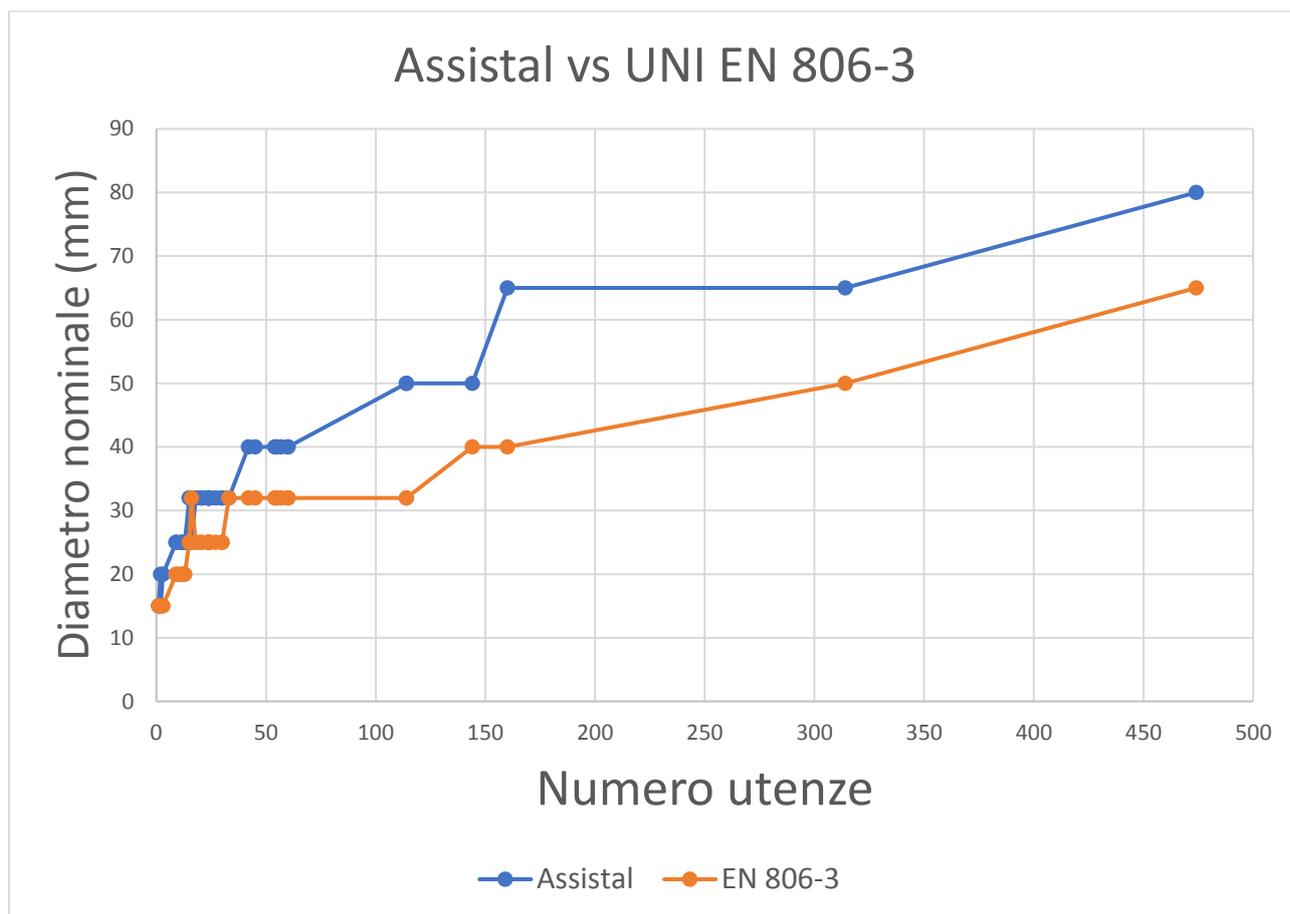


Figura 3.11: Confronto norme ASSISTAL e UNI EN 806-3

Dal grafico risultante si possono trarre le seguenti conclusioni:

- Basso numero di utenze: le due norme presentano dimensionamenti simili e la norma ASSISTAL è spesso leggermente conservativa.
- Alto numero di utenze: la norma ASSISTAL è sempre la più conservativa.

In generale, quindi, la norma ASSISTAL definisce diametri delle tubazioni maggiori o uguali a quelli della UNI EN 806-3 risultando più conservativa nella maggior parte dei casi.

3.3 UTA e rete aeraulica

Per permettere la distribuzione dell'aria, è necessario disporre di una rete aeraulica.

Una rete aeraulica è composta da diversi componenti: UTA, canali di distribuzione, accessori.

L'ordine di dimensionamento di questi componenti è il seguente:

- 1) Dimensionamento geometrico dei canali
- 2) Calcolo delle perdite di carico
- 3) Dimensionamento ventilatori
- 4) Bilanciamento rete
- 5) Dimensionamento batterie UTA

3.3.1 Canali

Il dimensionamento dei canali viene effettuato in modo da garantire la distribuzione dell'aria a velocità tra 2-4 m/s. Questo consente un buon equilibrio tra perdite di carico e grandezza dei canali. Una distribuzione a velocità maggiore di 4 m/s, infatti, provocherebbe la comparsa di eccessive perdite di carico ed aumenterebbe quindi i consumi energetici dei ventilatori. Una distribuzione a velocità minore di 2 m/s, invece, richiederebbe dei canali troppo grandi e quindi costosi ed ingombranti.

Un altro problema riscontrato in caso di velocità eccessivamente elevate è quello del rumore provocato dal movimento di aria nei canali. Il dimensionamento corretto è quindi necessario per evitare problemi di tipo progettuale, economici e di comfort.

A seguire viene presentato un esempio di calcolo riguardo al tratto a nord-est del circuito di mandata.

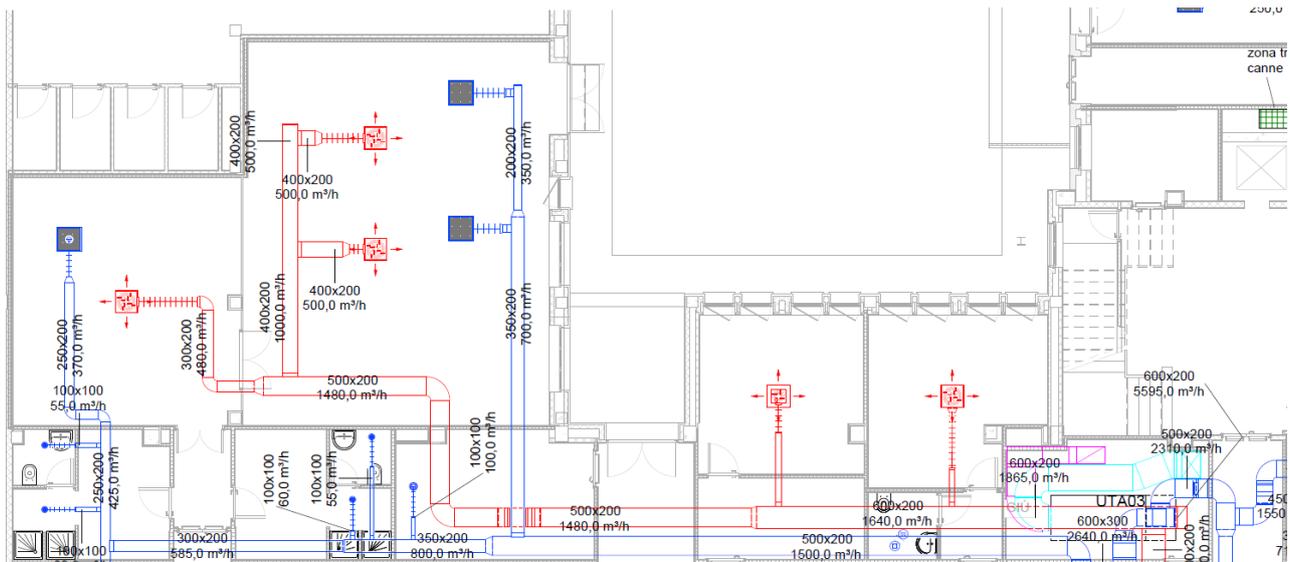


Figura 3.12: Rappresentazione della rete aeraulica di mandata (rosso) nel tratto nord-est

Tratto canale - Locale	Portata aria		Dimensione canale			Velocità	
			Diametro (o a)	b	D _{eq}	Deq	Media
-	m³/h	l/s	mm	mm	mm	m/s	m/s
<u>Diramazione 2 (nord est)</u>	1.865	518	600	200	365	4,94	4,32
spogliatoio/ref. personale p918	225	63	200	100	152	3,43	3,13
spogliatoio/ref. personale p918 - flex	225	63	150		150	3,54	
dopo spogliatoio	1.640	456	600	200	365	4,35	3,80
locali counseling p917	160	44	200	100	152	2,44	2,22
locali counceing p917 - flex	160	44	150		150	2,52	
dopo locali counseling	1.480	411	600	200	365	3,92	3,43
sala fitness p915 diramazione	1.000	278	400	200	305	3,81	3,47
sala fitness 1	500	139	350	200	286	2,16	1,98
sala fitness 1 flex	500	139	300		300	1,96	
sala fitness 2	500	139	350	200	286	2,16	1,98
sala fitness 2 flex	500	139	300		300	1,96	
sala pesi p921 (diramazione)	480	133	300	200	266	2,39	2,22
sala pesi p921 - flex	480	133	250		250	2,72	!

Tabella 3.7: Dimensionamento canali di mandata, tratto nord-est (esempio di calcolo)

3.3.2 Perdite di carico

Le perdite di carico sono fenomeni dovuti alla dissipazione di energia durante il movimento di un fluido in una condotta. Esistono due tipologie di perdite di carico: le perdite di carico distribuite e concentrate [18]. Per lo studio dell'argomento si possono utilizzare i Quaderni Caleffi [19].

Le perdite di carico **distribuite** si manifestano sui tratti continui dei canali e sono influenzate da diverse grandezze quali:

- la velocità del fluido nel condotto
- le proprietà fisiche del fluido (densità e viscosità)
- la rugosità e il diametro del condotto

$$r = \frac{F_a \cdot \rho \cdot v^2}{2 \cdot D} \quad (3.3)$$

r = perdita di carico continua unitaria, Pa/m
 F_a = fattore di attrito, adimensionale
 ρ = densità, kg/m³
 v = velocità, m/s
 D = diametro interno, m

Il fattore d'attrito può essere trovato graficamente mediante l'utilizzo di un diagramma di Moody oppure analiticamente utilizzando la relazione di Altshul-Tsal nel caso il flusso sia turbolento, come spesso accade.

$$F_a^* = 0,11 \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D} + 192,3 \cdot \frac{D \cdot \nu}{G} \right)^{0,25} \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned} \text{se } F_a^* \geq 0,018 & \quad F_a = F_a^* \\ \text{se } F_a^* < 0,018 & \quad F_a = 0,85 \cdot F_a^* + 0,0028 \end{aligned}$$

dove: F_a^* = fattore di attrito convenzionale, adimensionale
 F_a = fattore di attrito, adimensionale
 ε = rugosità, mm
 ν = viscosità cinematica dell'aria, m²/s
 G = portata, m³/h
 D = diametro interno, mm

A seguire, un esempio di calcolo delle perdite distribuite sul tratto nord-est del circuito di mandata.

Tratto canale - Locale	Portata aria		Dimensione canale			Velocità		Rugosità assoluta	$\Delta p_{DISTR} / L$	L	Δp_{DIST}
			Diametro (o a)	b		Deq	media				
	m ³ /h	l/s	mm	mm	mm	m/s	m/s	mm	Pa/m	m	Pa
<u>Diramazione 2 (nord est)</u>	1.865	518	600	200	365	4,94	4,32	0,09	0,73	2,55	1,9
spogliatoio/ref. personale p918	225	63	200	100	152	3,43	3,13	0,09	1,12	0,9	1,0
spogliatoio/ref. personale p918 - flex	225	63	150		150	3,54		3,00	2,08	1,2	2,5
dopo spogliatoio	1.640	456	600	200	365	4,35	3,80	0,09	0,58	4,45	2,6
locali counseling p917	160	44	200	100	152	2,44	2,22	0,09	0,61	1,85	1,1
locali counseling p917 - flex	160	44	150		150	2,52		3,00	1,06	0,65	0,7
dopo locali counseling	1.480	411	600	200	365	3,92	3,43	0,09	0,48	14,4	6,9
sala fitness p915 diramazione	1.000	278	400	200	305	3,81	3,47	0,09	0,57	3,1	1,8
sala fitness 1	500	139	350	200	286	2,16	1,98	0,09	0,22	1,1	0,2
sala fitness 1 flex	500	139	300		300	1,96		3,00	0,27	0,4	0,1
sala fitness 2	500	139	350	200	286	2,16	1,98	0,09	0,22	3,3	0,7
sala fitness 2 flex	500	139	300		300	1,96		3,00	0,27	1,1	0,3
sala pesi p921 (diramazione)	480	133	300	200	266	2,39	2,22	0,09	0,29	2,8	0,8
sala pesi p921 - flex	480	133	250		250	2,72		3,00	0,65	1,55	1,0

Tabella 3.8: Perdite di carico distribuite canali di mandata, tratto nord-est (esempio di calcolo)

Le perdite **localizzate**, invece, si manifestano nei singoli componenti particolari del circuito (es. curve, restrizioni, derivazioni) e sono influenzate dalle seguenti grandezze:

- tipologia di perdita localizzata
- velocità e densità del fluido

$$z = \xi \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \quad (3.5)$$

z = **perdite di carico localizzate, Pa**
 ξ = coefficiente di perdita localizzata, adimensionale
 ρ = densità, kg/m³
 v = velocità, m/s

Le perdite localizzate vanno trovate nei vari punti particolari del circuito (curve, diramazioni...). Il coefficiente di perdita ξ viene ricavato da tabelle in base alla tipologia

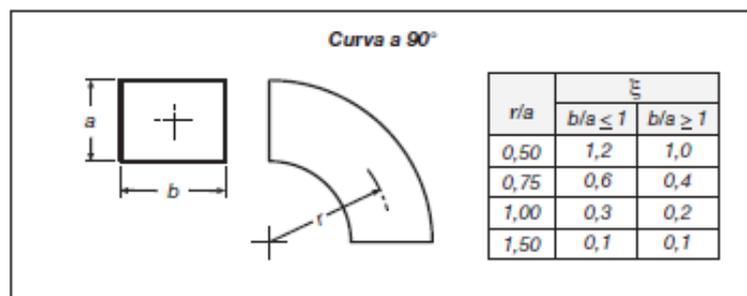


Figura 3.13: Esempio coefficiente di perdita localizzata per una curva [19]

Per ricavare le perdite di carico concentrate, si sommano tutti i coefficienti di perdita localizzata lungo quel tratto e si applica la *formula 3.5*. A seguire l'esempio di calcolo per il medesimo circuito utilizzato precedentemente.

Tratto canale - Locale	Velocità		PdC localizzate	
	Deq	Media	$\Sigma\xi$	Δp_{loc}
-	m/s	m/s	-	Pa
<u>Diramazione 2 (nord est)</u>	4,94	4,32	1	14,4
spogliatoio/ref. personale p918	3,43	3,13	0,5	3,5
spogliatoio/ref. personale p918 - flex	3,54			0,0
dopo spogliatoio	4,35	3,80	0,2	2,2
locali counseling p917	2,44	2,22	0,5	1,7
locali counseling p917 - flex	2,52			0,0
dopo locali counseling	3,92	3,43	1,4	12,7
sala fitness p915 diramazione	3,81	3,47	0,5	4,3
sala fitness 1	2,16	1,98	0,5	1,4
sala fitness 1 flex	1,96			0,0
sala fitness 2	2,16	1,98	0,9	2,5
sala fitness 2 flex	1,96			0,0
sala pesi p921 (diramazione)	2,39	2,22	1,4	4,7
sala pesi p921 - flex	2,72			0,0

Tabella 3.9: Perdite di carico concentrate canali di mandata, tratto nord-est (esempio di calcolo)

3.3.3 Ventilatori

Dopo aver calcolato le perdite di carico, è possibile identificare il tratto sfavorito in modo da dimensionare i ventilatori di mandata e ripresa.

Per il tratto di mandata, il circuito sfavorito presenta una perdita di carico di 91 Pa al quale vanno aggiunte le perdite del diffusore pari a 32 Pa. Per il tratto di ritorno, il circuito sfavorito presenta una perdita di carico di 139 Pa al quale vanno aggiunte le perdite della griglia di ripresa pari a 5 Pa. In entrambi i casi, il circuito sfavorito corrisponde al terminale posto nella sala p911.

Questi dati costituiscono le perdite di carico esterne, cioè quelle dovute al circuito aeraulico. Con questi dati, si ricerca un UTA adatta alla rete aeraulica progettata. Alle perdite di carico esterne, si aggiungono quelle interne all'UTA, causate da componenti quali: filtri, separatore di gocce, batterie di riscaldamento/raffreddamento, recuperatori di calore.

$$\Delta P_{tot} = \Delta P_{lineari,sfavorito} + \Delta P_{concentrate,sfavorito} + \Delta P_{terminale} + \Delta P_{UTA} \quad (3.6)$$

MANDATA		
ΔP distribuite+concentrate	96	Pa
Δp bocchetta	32	Pa
<u>Δp esterne</u>	<u>192</u>	<u>Pa</u>
ΔP filtro G4	83	Pa
ΔP filtro F6	250	Pa
ΔP recuperatore	80	Pa
Δp umidificatore	5	Pa
Δp separatore di gocce	19	Pa
ΔP batteria riscaldamento	49	Pa
ΔP batteria raffreddamento	162	Pa
ΔP batteria post-riscaldamento	23	Pa
<u>Δp UTA</u>	<u>671</u>	<u>Pa</u>
Δp TOT	863	Pa

Tabella 3.10: Perdite di carico totali circuito di mandata

RIPRESA		
ΔP distribuite	139	Pa
Δp griglia	5	Pa
<u>Δp esterne</u>	<u>216</u>	<u>Pa</u>
ΔP recuperatore	83	Pa
<u>Δp UTA</u>	<u>83</u>	<u>Pa</u>
Δp TOT	299	Pa

Tabella 3.11: Perdite di carico totali circuito di ripresa

Le perdite di carico esterne vengono moltiplicate per un coefficiente di 1,5 per garantire che i calcoli siano conservativi. Per i filtri, si considera la perdita di carico a fine ciclo di vita.

La potenza del ventilatore, si ricava con la seguente formula:

$$P = \frac{Q}{3600} * \Delta P * \frac{1}{\eta} \quad (3.7)$$

A seguire, il quadro riassuntivo dei due ventilatori

MANDATA

Portata (Q)	5595	m3/h
Prevalenza (ΔP)	863	Pa
Rendimento stimato (η)	0,7	-
Potenza (stimata)	1,9	kW
Potenza elettrica installata	2,1	kW

Tabella 3.12: Calcoli ventilatore di mandata

Ventilatore scelto: ZIEHL-ABEGG GR40C-ZID.DG.CR

Punto di funzionamento

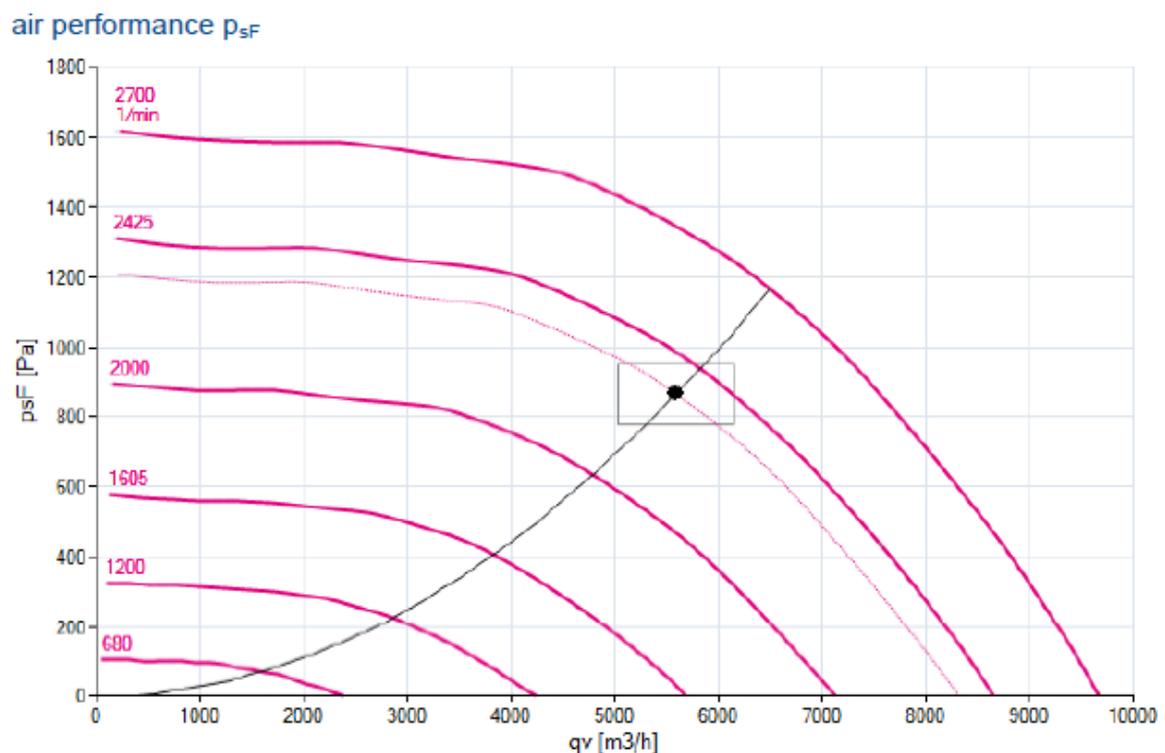


Figura 3.14: Curva caratteristica e punto di funzionamento del ventilatore di mandata [20]

RIPRESA

Portata (Q)	5170	m ³ /h
Prevalenza (ΔP)	299	Pa
Rendimento stimato (η)	0,7	-
Potenza (stimata)	0,6	kW
Potenza elettrica installata	0,7	kW

Tabella 3.13: Calcoli ventilatore di ripresa

Ventilatore scelto: ZIEHL-ABEGG GR45C-ZIK.DC.CR

Punto di funzionamento

air performance p_{sF}

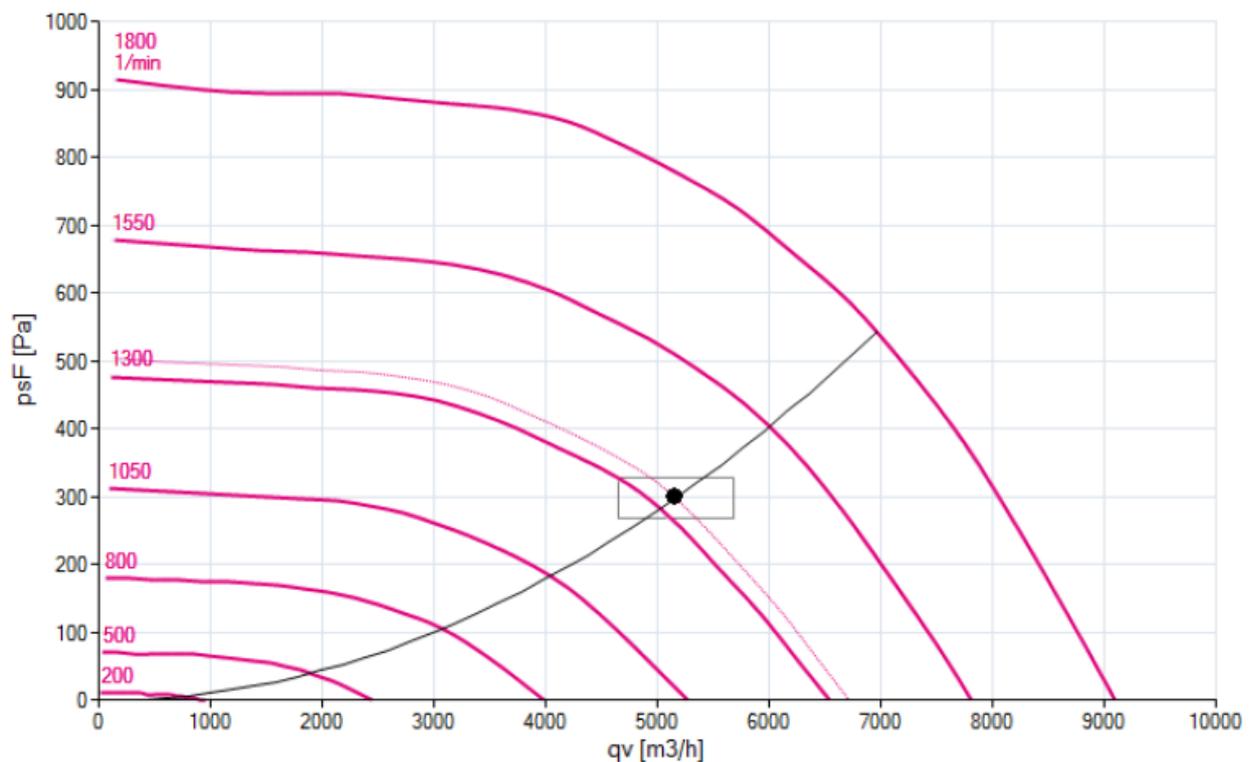


Figura 3.15: Curva caratteristica e punto di funzionamento del ventilatore di ritorno [20]

I ventilatori sono progettati in modo che il ventilatore di ripresa sia posizionato vicino all'espulsione e quello di mandata vicino al condotto di aria esterna pulita. Questo accorgimento consente di evitare che l'aria immessa venga contaminata da quella da espellere, accortezza utile per

far fronte alla pandemia da COVID 19. All'interno del recuperatore, l'aria da immettere risulta in sovrappressione mentre quella da espellere in depressione. Questo previene il passaggio di inquinanti dall'aria da espellere a quella da immettere.

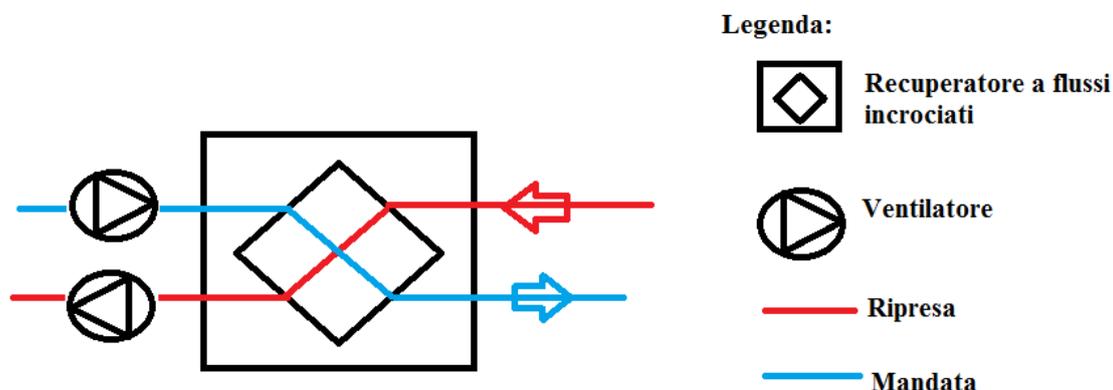


Figura 3.16: Schema UTA anticontaminazione COVID

3.3.4 Bilanciamento rete

Il bilanciamento della rete aeraulica è un'operazione utile a consentire il passaggio della corretta portata in tutti i tratti del circuito. Non fare questa operazione significherebbe ottenere il passaggio di una maggiore portata nei circuiti con minori perdite di carico e, viceversa, il passaggio di una minore portata nei circuiti a maggior perdita di carico.

L'operazione consiste nell' aumentare le perdite di carico nei circuiti favoriti in modo da portarli ad un ΔP simile a quello del circuito sfavorito (sala p911). Il procedimento adottato consiste nel regolare l'inclinazione delle alette delle serrande montate sui terminali. Una maggiore inclinazione produrrà maggiori perdite di carico in quel tratto del circuito.

Questa operazione può essere fatta in fase di collaudo dell'impianto, in modo da verificare in maniera strumentale che la portata in uscita dai diffusori sia corretta.



Figura 3.17: Serranda di regolazione [21]

3.3.5 Batterie e umidificatore

L'unità di trattamento aria scelta presenta, oltre ai ventilatori, le batterie di riscaldamento, di refrigerazione e l'umidificatore. Esse vanno dimensionate tenendo conto del calore scambiato nel recuperatore.

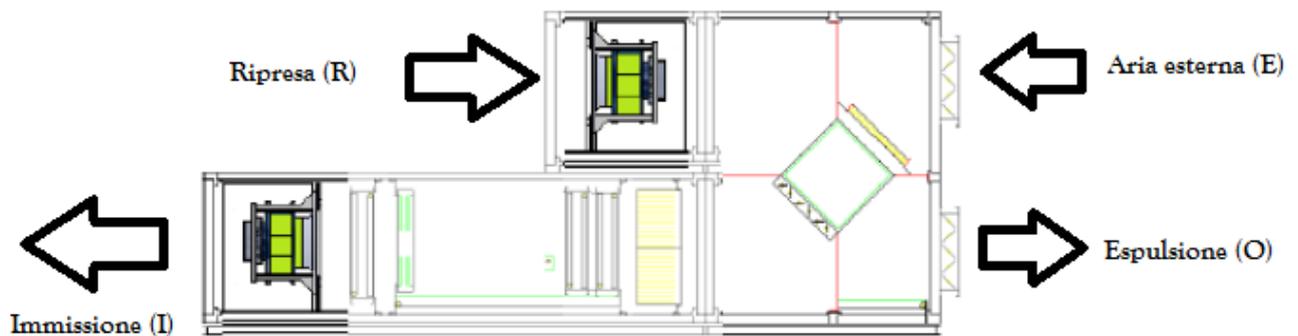


Figura 3.18: Esempio UTA

Le equazioni utilizzate nel calcolo sono:

- Equazione di calcolo per batterie termiche

$$P_{th} = \dot{m}_{mandata} \Delta h \quad (3.8)$$

Dove:

- P_{th} : Potenza termica [kW]
- $\dot{m}_{mandata}$: Portata aria di mandata [kg/s]
- Δh : Salto entalpico [kJ/kg]

- Equazione di calcolo per il recuperatore

$$T_I = \eta_{rec} (T_R - T_E) + T_E \quad (3.9)$$

Dove:

- T_I : Temperatura di immissione (°C)
- T_R : Temperatura di ripresa (°C)
- η_{rec} : Rendimento recuperatore

- Equazione di calcolo per l'umidificatore

$$\dot{m}_{\text{hum}} = 3,6 \Delta x \dot{m}_{\text{mandata}} \quad (3.10)$$

Dove:

- \dot{m}_{hum} : Portata di acqua all'umidificatore [kg/h]
- Δx : differenza di titolo dell'aria IN/OUT [g/kg]

Caso invernale

In questa modalità, l'UTA si occupa solo di garantire i requisiti di qualità dell'aria. Il carico termico viene bilanciato interamente dai terminali idronici.

Le trasformazioni sono:

- EB: Recupero di calore
- BC: Riscaldamento
- CD: Umidificazione
- DI: Post-riscaldamento

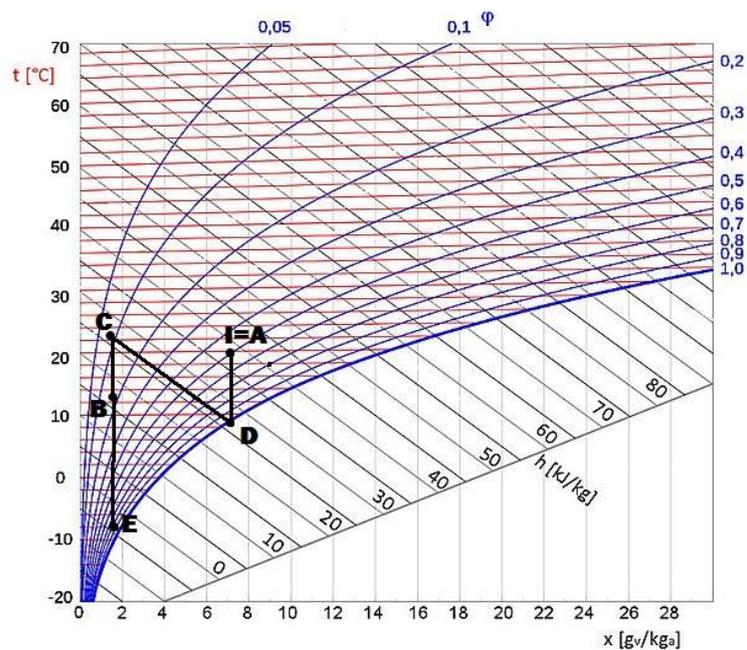


Figura 3.19: Diagramma Mollier caso invernale

CAPISALDI

	E:esterno	A:ambiente	B: Uscita recuperatore	C: uscita batteria riscaldamento	D: uscita umidificatore	I: immissione
T (°C)	-8	20	13	23	9	20
H [kJ/kg]	-4	38	17	27	27	38
φ [%]	80	50	17	10	100	50
x [g/kg]	1,7	7,3	1,7	1,7	7,3	7,3

Tabella 3.14: Capisaldi del ciclo nel caso invernale

Caso estivo

In questa modalità l'UTA garantisce ventilazione, bilanciamento dei carichi latenti e di parte del carico sensibile. Il bilanciamento dei carichi latenti risulta importante per il comfort termoigrometrico in regime estivo. Per fare ciò devo immettere aria con un'umidità assoluta minore

Il punto di immissione viene fissato a 18 °C per evitare situazioni di discomfort nei pressi delle zone di immissione. Questo consente anche di non sovradimensionare la batteria di post-riscaldamento.

Ipotizzo un valore di 0,8 per il coefficiente della retta di carico (la retta che individua tutti i possibili punti di immissione). Per semplicità viene trascurato il contributo del recuperatore (calcolo conservativo).

Le trasformazioni sono:

- EC: Raffreddamento e deumidificazione
- CI: Post-riscaldamento

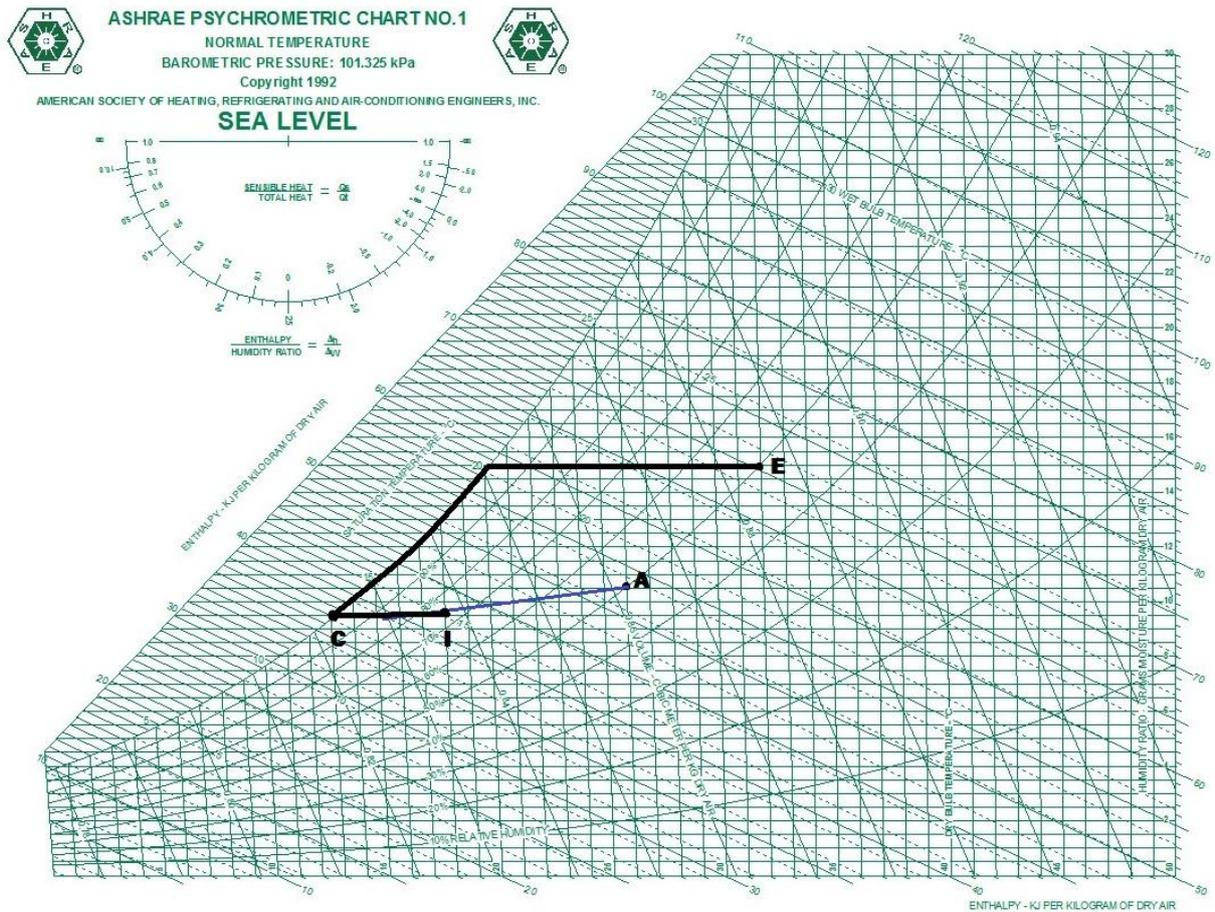


Figura 3.20: Diagramma ASHRAE caso estivo [22]

CAPISALDI

	E: esterno	A: ambiente	C: uscita batteria fredda	I: immissione
T (°C)	32	26	13	18
H [kJ/kg]	70	54	37	42
φ [%]	50	53	100	75
x [g/kg]	14,9	10,5	9,6	9,6

Tabella 3.15: Capisaldi del ciclo nel caso estivo

Riassunto dimensionamento componenti

<u>Componenti</u>		
	ΔH [kJ/kg]	P [kW]
Batteria raffreddamento e deumidificazione	33	61,5
Batteria post-riscaldamento (estate)	5	9,3
Batteria riscaldamento	10,0	18,7
Batteria post-riscaldamento (inverno)	11	20,5
	Δx [g/kg]	portata [kg/h]
Umidificatore	5,60	37,6

Tabella 3.16: Dimensionamento componenti idronici UTA

Per dimensionare la batteria di post-riscaldamento uso il caso invernale (più gravoso).

3.4 Impianto idronico

Questo paragrafo tratta il dimensionamento dei nuovi componenti dell'impianto di riscaldamento e raffrescamento ad acqua.

I componenti analizzati sono:

- Rete idronica
- Terminali
- Pompe
- Generatori di calore

Nei seguenti paragrafi viene analizzato il metodo di progettazione attuato per ciascun componente dell'impianto. Vengono utilizzati i concetti di fluidodinamica già introdotti nel paragrafo dedicato all'impianto di ventilazione.

3.4.1 Terminali di emissione

I terminali di emissione sono i componenti del circuito deputati a trasferire l'energia termica negli ambienti dell'edificio.

Il dimensionamento si basa sulle dispersioni dei singoli locali serviti dall'impianto, calcolati utilizzando il software Edilclima [12]. In particolare, la potenza termica dei terminali deve essere maggiore (o al limite uguale) alla potenza dispersa per trasmissione e ventilazione in ciascun locale. Nei locali serviti dall'unità di trattamento aria, i terminali idronici si occupano solo del bilanciamento della potenza dispersa per trasmissione. Nel determinare la quota di ventilazione da compensare, si tiene conto della potenza recuperata dai sistemi ventilanti con recupero di calore, presenti nelle cucine e nei bagni

Radiatori scaldasalviette

I radiatori saranno collocati in tutti i bagni. La temperatura di mandata è di 50°C mentre la temperatura di ritorno 45°C.

Ventilconvettori

I ventilconvettori sono dei sistemi che lavorano sia in stagione invernale che estiva. Questo tipo di terminali hanno bisogno di energia elettrica per alimentare i ventilatori. Sono ottimali per un rapido riscaldamento/raffrescamento dell'ambiente. Sono installati sia nella versione a mobiletto e sia a soffitto. Le temperature di mandata sono 45°C per l'invernale e 7°C per l'estivo. Il salto termico è di 5°C sia nel caso estivo che invernale.

Pavimenti radianti

I sistemi a pavimento radiante sono a lenta inerzia e sono utilizzati quindi nelle zone abitate in maniera permanente. Permettono un'alimentazione a bassa temperatura e quindi permettono l'utilizzo di pompe di calore. La temperatura di mandata è regolata utilizzando una valvola miscelatrice, in modo da mantenere una temperatura massima di 29°C sulla superficie del pavimento per evitare discomfort. I circuiti dei pavimenti radianti si dipartono dai collettori secondari dei pavimenti radianti. Le perdite di carico massime per ciascun circuito sono di 20 kPa. In caso di superamento di questo limite, si procede all'installazione di altri circuiti collegati al medesimo collettore.

Il quadro riassuntivo dei terminali utilizzati è esposto nella tabella seguente (tabella 3.17).

Tipologia	Prisc kW	Praff kW	Portata acqua l/h	Temp IN/OUT inverno °C	Temp IN/OUT estate °C	ΔP kPa
<u>Scaldasalviette</u>	0,5	\	90	50/45	\	30
<u>Ventilconvettori a soffitto</u>						
tipo A	1,8	1,6	275	45/40	7/12	7
tipo B	2,4	2,3	397	45/40	7/12	7,5
tipo C	3,3	3,3	568	45/40	7/12	13
<u>Ventilconvettori a mobiletto</u>						
tipo A	2,3	2,2	375	45/40	7/12	17
tipo B	3	2,9	504	45/40	7/12	11
<u>Pavimenti radianti</u>						
camere	1,1	\	190	31/26	\	20
cucine	4	\	1146	35/32	\	20
corridoi	4,3	\	740	28/23	\	20
custode	5,8	\	1000	34/29	\	20

Tabella 3.17: Riassunto terminali di emissione

3.4.2 Dimensionamento rete di distribuzione

La rete di distribuzione è responsabile del trasporto del fluido termovettore dai generatori ai terminali di emissione. Le tubazioni di trasporto sono in acciaio nero, coibentate esternamente per ridurre le perdite termiche. L'obiettivo del dimensionamento delle tubazioni è quello determinare i diametri mantenendo una velocità del fluido sufficientemente bassa, in modo da evitare grandi perdite di pressione lungo i tratti, che aumenterebbero la potenza richiesta dalle pompe.

Le velocità dell'acqua utilizzate in progetto sono indicate nella figura seguente.

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

Figura 3.21: Velocità consigliate per reti idroniche (Quaderni Caleffi) [23]

Mantenendo queste velocità si ha un valido compromesso tra ingombro delle tubazioni e perdite di carico lineari. In genere le perdite non dovrebbero superare i 200 Pa/m.

Le tubazioni descritte in figura si riconducono alle seguenti tipologie:

- Tubazioni principali: trasportano il fluido dai generatori ai collettori primari
- Tubazioni secondarie: trasportano il fluido dai collettori primari ai vari piani dell'edificio o ai collettori secondari
- Derivazioni ai corpi scaldanti: collegano i terminali di emissione alle tubazioni secondarie o ai collettori secondari.

La tipologia di circuito di distribuzione è a “rete magliata”, con due tubazioni separate che raccolgono mandate e ritorni del fluido termovettore. Per ciascuna tipologia di terminale è prevista una colonna montante che raggiunge i vari piani a partire dal collettore primario in centrale termica.

Le tubazioni sono tutte in acciaio nero. Si tiene conto, nel dimensionamento, della variazione di viscosità e densità del fluido al variare della temperatura. Per avere un calcolo più conservativo, si considera la minima temperatura tra mandata e ritorno. In questo modo si ottiene una maggiore viscosità del fluido quindi maggiori perdite di carico.

Il bilanciamento della rete avviene mediante l'utilizzo di detentori.



Figura 3.22: Esempio detentore [24]

A seguire le tabelle riassuntive di dimensionamento delle tubazioni.

Tubazioni principali

Tratto	Portata l/h	Temperatura minima °C	ΔP lineare Pa/m	Velocità m/s	Diametro mm (inch)
<u>Tubazioni principali</u>					
Sorgente pompa di calore	56800	7	308	1,82	125 (5")
Pompa di calore	43600	7	188	1,4	100 (4")
Caldaia 1	75000	50	161	1,57	125 (5")
Caldaia 2	38400	50	132	1,23	100 (4")
<u>Tubazioni secondarie</u>					
UTA refrigerazione	14100	7	187	1,05	65 (2 1/2")
Ventilconvettori	21428	7	183	1,16	80 (3")
Pav. Radianti custode	1000	29	128	0,478	25 (1")
Pav. Radianti custode adiacente	1000	29	128	0,478	25 (1")
Scaldasalviette	14100	45	166	1,05	65 (2 1/2")
Radiatori mensa adiacente	4500	50	232	0,911	40 (1 1/2")
Pavimenti radianti camere	34800	23	116	1,12	100 (4")
UTA riscaldamento	8778	40	254	1,11	50 (2")

Tabella 3.18: Dimensionamento tubazioni principali

Piano 1

Scaldasalviette

Tratto	Portata l/h	Temperatura minima °C	ΔP lineare Pa/m	Velocità m/s	Diametro mm (inch)
Tratto in comune	2430	45	158	0,67	32 (1 1/4")
Tratto nord	900	45	100	0,43	25 (1")
Tratto sud	1620	45	75	0,45	32 (1 1/4")
Derivazione	90	45	71	0,2	10 (3/8")

Ventilconvettori a soffitto

Tratto	Portata l/h	Temperatura minima °C	ΔP lineare Pa/m	Velocità m/s	Diametro mm (inch)
sala studio, tipo A	275	7	191	0,38	15 (1/2")

Pavimenti radianti

Tratto	Portata l/h	Temperatura minima °C	ΔP lineare Pa/m	Velocità m/s	Diametro mm (inch)
Tratto in comune	6826	23	166	0,86	50(2")
Tratto nord	2857	26	107	0,58	40(1 1/2")
Tratto sud	3970	23	198	0,8	40 (1 1/2")
Derivazione camere	190	26	88	0,26	15 (1/2")
Derivazione corridoi	740	23	77	0,35	25(1")
Derivazione cucina	1147	32	163	0,55	25(1")

Tabella 3.19: Dimensionamento tubazioni primo piano

Piani 2,3,4

Scaldasalviette

Tratto	Portata l/h	Temperatura minima °C	ΔP lineare Pa/m	Velocità m/s	Diametro mm (inch)
Tratto in comune	3330	45	133	0,67	40 (1 1/2")
Tratto nord	900	45	100	0,43	25 (1")
Tratto sud	2430	45	158	0,67	32 (1 1/4")
Derivazione	90	45	71	0,2	10 (3/8")

Ventilconvettori a soffitto

Tratto	Portata l/h	Temperatura minima °C	ΔP lineare Pa/m	Velocità m/s	Diametro mm (inch)
sala studio, tipo A	275	7	191	0,38	15 (1/2")

Pavimenti radianti

Tratto	Portata l/h	Temperatura minima °C	ΔP lineare Pa/m	Velocità m/s	Diametro mm (inch)
Tratto in comune	8536	23	69	0,64	65 (2 1/2")
Tratto nord	2857	26	107	0,58	40(1 1/2")
Tratto sud	5680	23	118	0,72	50(2")
Derivazione camere	190	26	88	0,26	15 (1/2")
Derivazione corridoi	740	23	77	0,35	25(1")
Derivazione cucina	1147	32	163	0,55	25(1")

Tabella 3.20: Dimensionamento tubazioni piani 2,3,4

Piano sottotetto

Scaldasalviette

Tratto	Portata l/h	Temperatura minima °C	ΔP lineare Pa/m	Velocità m/s	Diametro mm (inch)
Tratto in comune	990	45	119	0,47	25 (1")
Tratto nord	270	45	152	0,37	15 (1/2")
Tratto sud	720	45	208	0,55	25 (1")
Derivazione	90	45	71	0,2	10 (3/8")

Ventilconvettori a mobiletto

Tratto	Portata l/h	Temperatura minima °C	ΔP lineare Pa/m	Velocità m/s	Diametro mm (inch)
Tratto in comune	6644	7	170	0,84	50(2")
Tratto nord	1758	7	102	0,48	32(1 1/4")
Tratto sud	4887	7	97	0,62	50(2")
Derivazione tipo A	375	7	78	0,28	20(1/2")
Derivazione tipo B	504	7	130	0,38	20(1/2")

Pavimenti radianti

Tratto	Portata l/h	Temperatura minima °C	ΔP lineare Pa/m	Velocità m/s	Diametro mm (inch)
Collettore custode	1000	29	128	0,478	25(1")

Tabella 3.21: Dimensionamento tubazioni piano sottotetto

Piano rialzato

Scaldasalviette

Tratto	Portata l/h	Temperatura minima °C	ΔP lineare Pa/m	Velocità m/s	Diametro mm (inch)
Tratto in comune	630	45	162	0,48	20 (3/4")
Derivazione	90	45	71	0,2	10 (3/8")

Ventilconvettori a soffitto

Tratto	Portata l/h	Temperatura minima °C	ΔP lineare Pa/m	Velocità m/s	Diametro mm (inch)
Tratto in comune	1135	7	180	0,54	25(1")
Derivazione tipo C	568	7	161	0,43	20 (3/4")

Pavimenti radianti

Tratto	Portata l/h	Temperatura minima °C	ΔP lineare Pa/m	Velocità m/s	Diametro mm (inch)
Tratto in comune	2287	26	150	0,628	32 (1 1/4")
Derivazione camere	190	26	88	0,26	15 (1/2")
Derivazione cucina	1147	32	163	0,55	25(1")

Tabella 3.22: Dimensionamento tubazioni piano rialzato

Piano seminterrato

Ventilconvettori a soffitto

Tratto	Portata l/h	Temperatura minima °C	ΔP lineare Pa/m	Velocità m/s	Diametro mm (inch)
Tratto in comune	12549	7	151	0,94	65 (2 1/2")
Tratto nord est	2236	7	158	0,61	32 (1 1/4")
Tratto sud	6811	7	177	0,86	50(2")
Tratto nord ovest	3502	7	169	0,71	40 (1 1/2")
Derivazione tipo A	275	7	191	0,38	15 (1/2")
Derivazione tipo B	397	7	86	0,3	20 (3/4")
Derivazione tipo C	568	7	161	0,43	20 (3/4")

Tabella 3.23: Dimensionamento tubazioni piano seminterrato

3.4.3 Pompe

Il movimento del fluido è possibile grazie alla prevalenza impressa dalle pompe, macchine che utilizzano l'energia elettrica per aumentare la pressione del fluido. L'obiettivo delle pompe è quello di produrre una pressione sul fluido almeno pari alle perdite di carico del circuito più sfavorito.

Il dimensionamento delle pompe è basato sui concetti di perdite di carico distribuite e concentrate, trattati nel paragrafo 3.3.2. In particolare, nel caso della rete idronica, è necessario sommare le perdite di carico (sia distribuite che concentrate) dei circuiti di mandata e ritorno per ottenere la perdita di carico totale del circuito in analisi.

Il calcolo della prevalenza delle pompe è effettuato usando la seguente equazione:

$$\Delta P_{tot} = \Delta P_{lin,sfavorito} + \Delta P_{dist,sfavorito} + \Delta P_{terminale} + \Delta P_{collettore} \quad (3.11)$$

Il calcolo delle perdite di carico viene effettuato con una leggera sovrastima in modo da adottare un metodo progettuale sufficientemente conservativo.

Per la stima della potenza delle pompe, si utilizza la seguente relazione:

$$P = \frac{Q \cdot \rho \cdot g \cdot \Delta P_{tot}}{\eta_{tot} \cdot 3600} \quad (3.12)$$

Dove:

- P: Potenza elettrica [W]
- Q: Portata di mandata [l/h]
- ΔP_{tot} : Perdite di carico totali del circuito sfavorito [m]
- η_{tot} : Rendimento totale pompa (stimato 70%) [-]
- g: Accelerazione di gravità [m/s^2]
- ρ : Densità fluido [kg/l]

Tutte le pompe sono dotate di inverter che consente di regolare la portata nei vari circuiti in base alle esigenze.

Il quadro riassuntivo delle pompe è riportato di seguito. In grigio, le parti preesistenti.

Collettore C45 (Radiatori mensa adiacente, scaldasalviette e pavimenti radianti custodi)

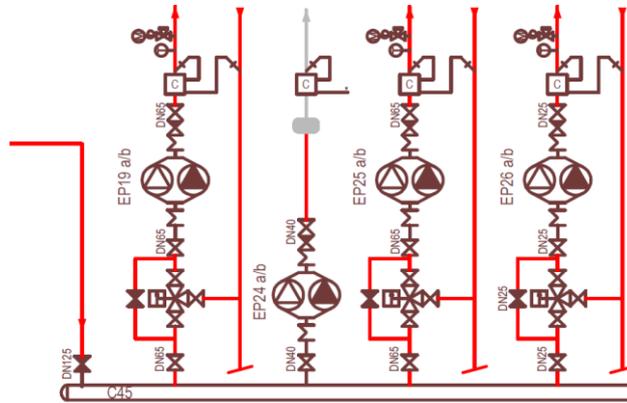


Figura 3.23: Sezione pompe collettore C45

Codice	Tipo	Utenza	DN mm	Portata l/h	Prevalenza m c.a.	Potenza W
EP19	gemellare	Pavimenti radianti custode (adiacente)	25	1000	8	31
EP24	gemellare	Radiatori mensa adiacente	40	4500	10,3	180
EP25	gemellare	Scaldasalviette	65	14100	16,2	889
EP26	gemellare	Pavimenti radianti custode	25	1000	8	31

Tabella 3.24: Dimensionamento pompe collettore C45

Pompa di calore

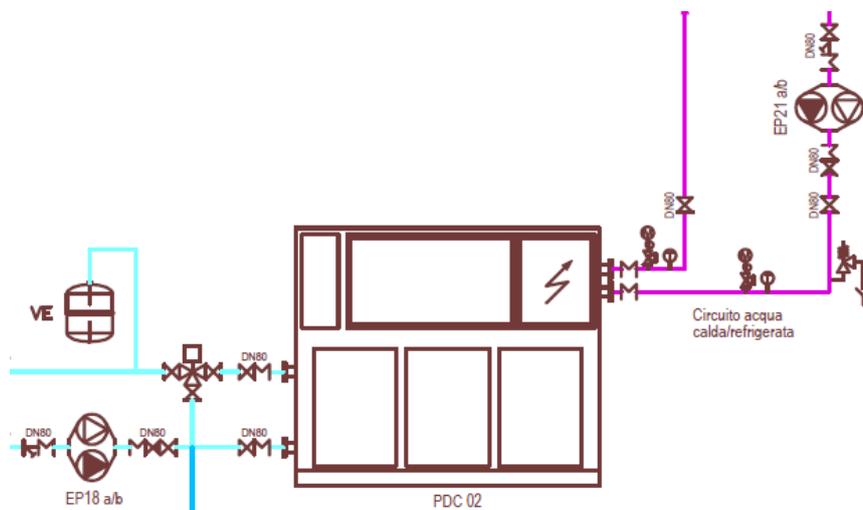


Figura 3.24: Sezione pompe della pompa di calore

Codice	Tipo	Utenza	DN mm	Portata l/h	Prevalenza m c.a.	Potenza W
EP18	gemellare	da scambiatore geotermico a PDC2	125	56800	23	5086
EP21	gemellare	PDC2-utenze	100	43600	10,5	1782

Tabella 3.25: Dimensionamento pompe necessarie alla pompa di calore

Collettori UTA, ventilconvettori, pavimenti radianti

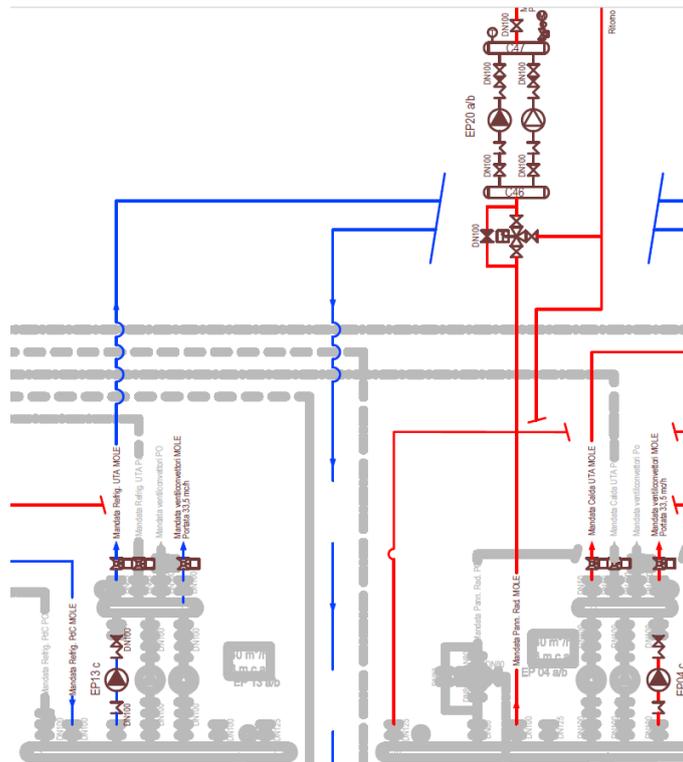


Figura 3.25: Sezione pompe collettori UTA, ventilconvettori, pavimenti radianti

Codice	Tipo	Utenza	DN mm	Portata l/h	Prevalenza m c.a.	Potenza W
EP4c	singola	UTA e Ventilconvettori (caldo)	100	30200	8	941
EP20	doppia	Pavimenti radianti	100	34800	21,4	2899
EP13c	singola	UTA e Ventilconvettori (freddo)	100	35600	8	1109

Tabella 3.26: Dimensionamento pompe collettori UTA, ventilconvettori, pavimenti radianti

Ritorni caldaie

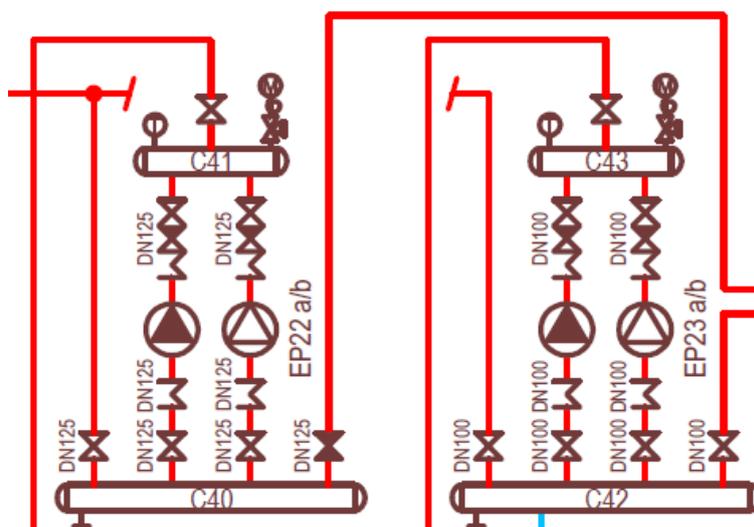


Figura 3.26: Sezione pompe ritorni caldaie

Codice	Tipo	Utenza	DN mm	Portata l/h	Prevalenza m c.a.	Potenza W
EP22	doppia	Ritorno caldaia GEN01	125	75000	18,8	5489
EP23	doppia	Ritorno caldaia GEN02	100	38400	11,6	1734

Tabella 3.27: Dimensionamento pompe ritorni caldaie

3.4.4 Acqua calda sanitaria

Per calcolo della potenza termica necessaria per il servizio ACS, utilizzo uno strumento di calcolo [25] che sfrutta le prassi di calcolo contenute nei quaderni Caleffi dedicati agli impianti idrosanitari [26]. Questo metodo si basa sul calcolo della potenza termica massima necessaria in base alla portata di acqua da scaldare contemporaneamente. In questo calcolo si tiene conto delle dimensioni dei serbatoi di accumulo installati (12000 l totali), che aiutano a ridurre la taglia del generatore di calore grazie all'energia termica immagazzinata.

In questo calcolo, si trascurano il contributo dei pannelli solari in modo da essere certi di riuscire a coprire il fabbisogno di ACS con il solo intervento del generatore 2(GEN02).

N° di appartamenti con 1 locale servizi	<input type="button" value="−"/> 146 <input type="button" value="+"/> n°
N° di appartamenti con 2 locali servizi	<input type="button" value="−"/> 0 <input type="button" value="+"/> n°
Fabbisogno giornaliero	37,960 litri/ giorno
Periodo di punta t_p	1,5 ore
Tempo di preriscaldamento t_{pr}	2,0 ore
Consumo di punta C	37,960 litri
Temperatura acqua fredda T_f	10 °C
Temperatura di utilizzo T_u	40,0 °C
Temperatura dell'accumulo T_c	65,0 °C
Dispersione termica dell'accumulo	0%
Capacità del serbatoio V	11,832 litri
Potenza termica richiesta ACS	378,4 kW

Figura 3.27: Calcolo potenza termica ACS

La potenza richiesta dal generatore di calore per il solo fabbisogno di ACS è pari a 378 kW.

3.4.5 Generatori di calore

Il calcolo della potenza richiesta dai generatori di calore è basato sulla potenza massima richiesta dalle utenze. La pompa di calore, invece, è dimensionata sul caso estivo ma consente di coprire in larga parte anche il fabbisogno invernale.

Pompa di calore acqua-acqua

La pompa di calore installata è di tipo reversibile e consente il funzionamento sia nella stagione estiva che in quella invernale. La sorgente esterna è l'acqua di pozzo prelevata da tramite delle condotte preesistenti.

Utenza	P kW
Uta estivo	82,0
Ventilconvettori estivo	120,9
TOT	202,9

Tabella 3.28: Utenze pompa di calore, caso estivo

La pompa di calore scelta è la “Climaveneta/Mitsubishi electric NX-WN 0702” [9]

NX-WN		0402	0452	0502	0552	0602	0702
Power supply	V/Ph/Hz	400/3/50	400/3/50	400/3/50	400/3/50	400/3/50	400/3/50
PERFORMANCE							
COOLING ONLY (GROSS VALUE)							
Cooling capacity	(1) kW	123	138	154	177	200	225
Total power input	(1) kW	24,9	28,2	31,5	35,9	40,4	46,2
EER	(1) kW/kW	4,95	4,91	4,89	4,93	4,94	4,87
ESEER	(1) kW/kW	6,13	6,23	6,08	6,22	6,18	6,27
COOLING ONLY (EN14511 VALUE)							
Cooling capacity	(1)(2) kW	123	138	154	176	199	224
EER	(1)(2) kW/kW	4,79	4,76	4,74	4,78	4,79	4,70
ESEER	(1)(2) kW/kW	5,77	5,81	5,71	5,81	5,79	5,79
Cooling energy class		B	B	B	B	B	B
HEATING ONLY (GROSS VALUE)							
Total heating capacity	(3) kW	137	154	172	197	222	251
Total power input	(3) kW	30,7	34,7	38,8	44,1	49,6	56,4
COP	kW/kW	4,45	4,44	4,42	4,46	4,47	4,45
HEATING ONLY (EN14511 VALUE)							
Total heating capacity	(3)(2) kW	137	154	172	197	222	252
COP	(3)(2) kW/kW	4,31	4,31	4,29	4,33	4,33	4,29
Cooling energy class		B	B	B	B	B	B

Figura 3.28: Estratto scheda tecnica pompa di calore [9]

La peculiarità di questa pompa di calore consiste nell’aver una sorgente termica a temperatura all’incirca costante che permette di ottenere un’efficienza pressoché costante, indipendentemente dalla temperatura esterna [27]. Mentre nelle pompe di calore aria-acqua è necessario far lavorare solo il generatore di backup in caso di temperature esterne molto rigide, in questo caso è possibile far lavorare insieme i due generatori.

Nella seguente figura, viene effettuata un’analisi di ripartizione dei carichi termici invernali tra la pompa di calore (in giallo) e il generatore 1 (in rosso).

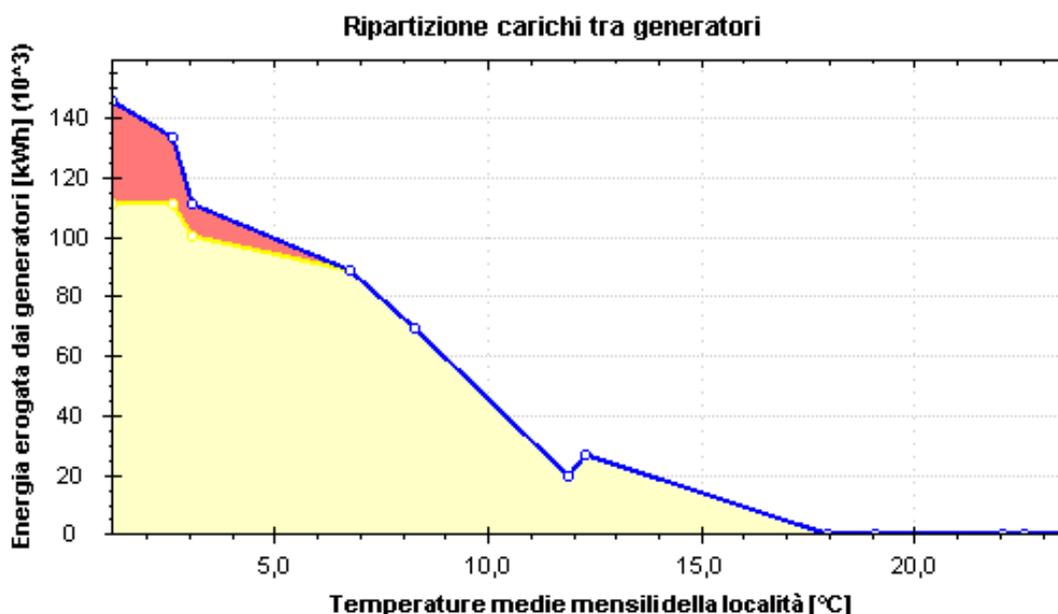


Figura 3.29: Ripartizione energia prodotta dai generatori nella stagione invernale

Si può notare come la caldaia intervenga solo al di sotto dei 7 gradi esterni. Anche in caso di temperature rigide, la maggior parte dell'energia viene prodotta dalla pompa di calore. Questo consente sia la riduzione della taglia del generatore di backup (GEN01) che il risparmio sul costo dell'energia termica. L'energia prodotta dalla pompa di calore, infatti, ha un costo minore rispetto a quella prodotta con una caldaia a condensazione.

GEN01 (Generatore di backup)

Il generatore GEN01 è una caldaia a condensazione alimentata a metano. La sua funzione è quella di provvedere al completo soddisfacimento della richiesta termica nel caso in cui la pompa di calore non sia sufficiente a coprirlo.

La potenza necessaria deve essere pari alla potenza dei terminali dell'intero fabbricato meno la potenza delle pompe di calore installate. Non si considera la potenza richiesta per il servizio ACS, per il riscaldamento della mensa e degli alloggi dei custodi.

Riguardo la sezione dell'edificio in esame, le utenze sono le seguenti.

Utenza	P kW
Scaldasalviette	82
Ventilconvettori	120
Pavimenti radianti	201
UTA	40
TOT	443

Tabella 3.29: Utenze generatore 1, sezione in esame

La sezione adiacente, invece, è dotata di una pompa di calore con potenza pari a 280 kW in riscaldamento e ha un fabbisogno di 520 kW.

Utenza	P kW
Sezione in esame	443
Sezione adiacente	520
PDC sezione in esame	251
PDC sezione adiacente	280
TOT	432

Tabella 3.30: Calcolo potenza generatore 1

La potenza richiesta per il generatore 1 è quindi pari a 432 kW.

GEN02 (ACS, mensa e alloggi custodi)

Il generatore GEN02 è una caldaia a condensazione a metano, utilizzata per il riscaldamento mensa e alloggi custodi oltre che per il servizio ACS.

Per dimensionarlo basta sommare le richieste delle suddette utenze.

Utenza	P kW
ACS	378
Mensa	52
Custodi	12
TOT	442

Tabella 3.31: Utenze generatore 2

La potenza richiesta per il generatore 2 è pari a 442 kW

3.5 Verifiche normative

Un progetto di riqualificazione energetica deve garantire il rispetto della normativa vigente in ambito di efficienza energetica. La verifica normativa deve essere effettuata sia sul progetto originale di ristrutturazione ma anche sulla proposta migliorativa per valutarne la fattibilità.

Le verifiche sono effettuate mediante l'utilizzo del software Edilclima, inserendo i dati di progetto dell'involucro e dell'impianto e adottando un calcolo di tipo conservativo per avere la certezza di rispettare i requisiti di legge.

3.5.1 Verifica progetto originale

Il progetto di ristrutturazione originale del fabbricato comprende la modifica delle componenti trasparenti dell'involucro e la modifica all'impianto

Occorre verificare il rispetto di due normative:

- Nazionale: secondo il DM 26/06/15 [28]
- Regionale (Piemonte): DGR n.46-11968 [29] e DGR n. 45-11967 [30]

La normativa nazionale pone diverse prescrizioni a seconda dell'intervento da svolgere. Occorre dunque determinare la tipologia di intervento che corrisponde al caso in esame.

Sostituzione serramenti

Rientra nella casistica di riqualificazione energetica dell'involucro con superficie coinvolta pari o minore al 25%, nella normativa nazionale, e in manutenzione straordinaria dell'edificio nella normativa regionale.

Per quanto concerne la normativa nazionale, bisogna effettuare le seguenti verifiche:

- Trasmittanza delle finestre inferiore a $1,90 \text{ W/m}^2\text{K}$ (per zona climatica E)
- Verifiche termoigrometriche relative all'assenza di condensa nell'involucro
- Fattore di trasmissione solare dei componenti vetriati minore di 0,35

Fase	Fase I - 1 Luglio 2015 per tutti gli edifici	<input type="checkbox"/> Edificio ad energia quasi zero		
Edificio	Collegio Einaudi - Sezione Mole Antonelliana			
	Riqualificazione energetica dei componenti dell'involucro edilizio			
Limiti	Limiti dal 1 Luglio 2015 per tutti gli edifici			
	Isolamento dall'interno o in intercapedine <input type="checkbox"/>			
Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.
Verifica termoigrometrica	Positiva			
Trasmittanza media strutture opache	Positiva			
Trasmittanza media strutture trasparenti	Positiva			
Fattore di trasmissione solare totale	Positiva			

Figura 3.30: Verifica serramenti con normativa nazionale

Riguardo la normativa regionale, invece, le prescrizioni sono le seguenti:

- Trasmittanza strutture trasparenti minore di 2 W/m²K
- Verifica termoigrometrica riguardo all'assenza di condensa

Edificio	Collegio Einaudi - Sezione Mole Antonelliana		 Piemonte	
Tipo di intervento	Manutenzione straordinaria dell'edificio			
Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.
Trasmittanza centrale dei vetri per strutture trasparenti	Positiva			
Trasmittanza media coperture opache	Positiva			
Trasmittanza media pareti opache + 30%	-			
Trasmittanza media divisori	-			
Trasmittanza media strutture trasparenti verso locali vicini	-			
Trasmittanza periodica coperture	Positiva			
Verifica termoigrometrica	Positiva			

Figura 3.31: Verifica serramenti con normativa regionale

Come evidenziato dalle *figure 3.29 e 3.30*, l'intervento in esame supera sia la verifica della normativa nazionale sia quella della normativa regionale.

Un aspetto supplementare da analizzare è dovuto al maggiore rischio di condensa dovuto a questo intervento. Questo perché i serramenti di nuova generazione provocano una riduzione dei ricambi orari di una stanza dovuta alla riduzione della portata di aria che filtra attraverso l'involucro. In caso di ventilazione naturale insufficiente, i tassi di umidità dell'aria possono essere elevati e provocare una condensa nei ponti termici, con relativi rischi sanitari per l'occupante

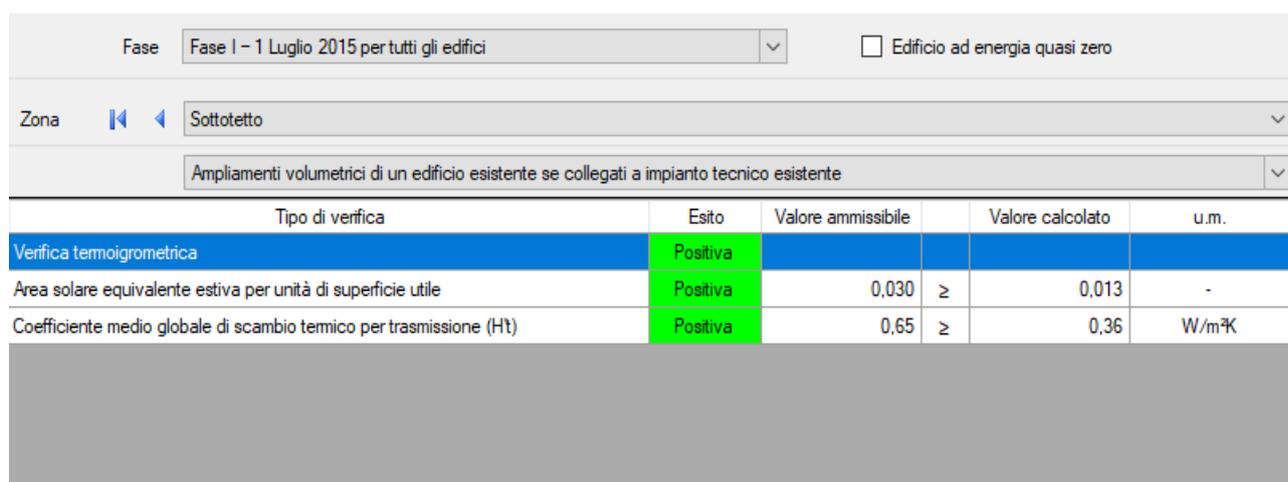
Recupero sottotetto

L'intervento in questione comporta una modifica alla volumetria del fabbricato e un ampliamento dell'impianto di climatizzazione.

Rientra nella casistica di ampliamento di edifici con estensione impianti, nella normativa nazionale, e in manutenzione straordinaria dell'edificio nella normativa regionale. Le verifiche sono da effettuare solo per la zona sottotetto.

Per quanto concerne la normativa nazionale, bisogna effettuare le seguenti verifiche:

- Coefficiente medio globale di scambio termico pari o minore di $0,65 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Verifica termoigrometrica di assenza di condensa
- Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile, relativa alle chiusure trasparenti, pari o minore a 0.030



Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile		Valore calcolato	u.m.
Verifica termoigrometrica	Positiva				
Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile	Positiva	0,030	≥	0,013	-
Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione (Ht)	Positiva	0,65	≥	0,36	W/m²K

Figura 3.32: Verifica recupero sottotetto con normativa nazionale

La verifica nazionale risulta positiva come evidenziato nella *figura 3.31*

Riguardo la normativa regionale, invece, le prescrizioni sono già state verificate nella verifica dei serramenti.

Alla luce di queste considerazioni, l'intervento risulta a norma di legge.

Modifiche centrale termica

L'intervento in questione consiste in una modifica del layout dell'impianto di climatizzazione a servizio del fabbricato.

Nelle normative ricade nella casistica relativa alla ristrutturazione di impianto termico.

Per quanto concerne la normativa nazionale, bisogna verificare che l'efficienza media stagionale dell'impianto sia maggiore di quella dell'edificio di riferimento. L'edificio di riferimento è definito come un edificio ideale, costruito con le stesse condizioni al contorno dell'edificio reale (geometria, ubicazione e destinazione d'uso), che rispetta i parametri legislativi di riferimento.

Il calcolo dei rendimenti di impianto permette di conoscere i fabbisogni del fabbricato in termini di energia primaria. Il rendimento di impianto è definito come la produttoria dei rendimenti di tutti i sottosistemi.

$$\eta_{TOT} = \prod \eta_{sottosistemi} \quad (3.13)$$

I sottosistemi principali sono due: sottosistema di generazione e sottosistema di utilizzazione. Il sistema di generazione comprende il rendimento del generatore di calore. Il rendimento del sistema di utilizzazione, invece, tiene conto dell'isolamento delle tubazioni, della qualità del sistema di regolazione termica e della tipologia di terminale di emissione

Il rendimento totale di impianto dell'edificio di riferimento, si calcola utilizzando i parametri derivati all'appendice A del decreto ministeriale. I calcoli vanno effettuati per i tre diversi utilizzi di energia termica: riscaldamento, raffrescamento, acqua calda sanitaria.

Bisogna verificare che i tre rendimenti dei diversi utilizzi sopracitati siano maggiori nel caso reale rispetto al caso ideale relativo all' edificio di riferimento.

Non sono richieste altre verifiche, riguardo al caso in esame, rispetto alla normativa nazionale

Fase	Fase I - 1 Luglio 2015 per tutti gli edifici				<input type="checkbox"/> Edificio ad energia quasi zero
Edificio	Collegio Einaudi - Sezione Mole Antonelliana				
Ristrutturazione o nuova installazione dell'impianto di riscaldamento, di raffrescamento e produzione acqua calda sanitaria					
<input type="checkbox"/> Impianto di riscaldamento esistente <input type="checkbox"/> Impianto produzione acqua calda sanitaria esistente <input type="checkbox"/> Impianto di raffrescamento esistente					
Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.	
Efficienza media stagionale dell'impianto per servizi riscaldamento, acqua calda s...	Positiva				
Dettagli - Efficienza media stagionale dell'impianto per servizi riscaldamento, acqua calda sanitaria e raffrescamento Impianti					
Nr.	Servizi	Verifica	$\eta_{g,amm.}$ [%]		η_g [%]
1	Riscaldamento	Positiva	63,9	≤	69,3
2	Acqua calda sanitaria	Positiva	62,9	≤	65,7
3	Raffrescamento	Positiva	89,8	≤	162,1

Figura 3.33: Verifica nazionale dell'impianto termico

La verifica nazionale ha esito positivo come si può osservare dalla *figura 3.32*.

Per quanto concerne la normativa regionale, bisogna effettuare due verifiche principali:

- Copertura del 60% del fabbisogno annuo per ACS con fonti rinnovabili
- Rendimento globale medio stagionale maggiore dell'86% (caso potenza maggiore di 1000 kW)

Edificio	Collegio Einaudi - Sezione Mole Antonelliana				 Piemonte
Tipo di intervento	Ristrutturazione di impianto termico in edificio esistente				
Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.	
Copertura acqua sanitaria da fonte rinnovabile	Positiva	60,0 <	63,5	%	
Rendimento globale medio stagionale	Positiva	86,0 <	87,8	%	

Figura 3.34: Verifica regionale dell'impianto termico

La copertura del 60% da fonti rinnovabili, per la produzione di ACS, si ottiene mediante l'impianto solare termico già installato in precedenza. L'acqua contenuta nei puffer di accumulo viene scaldata grazie all'energia solare (fonte rinnovabile). In caso di potenza insufficiente, si attiva il generatore di calore dedicato alla produzione di ACS (fonte non rinnovabile).

La verifica dell'intervento di ristrutturazione dell'impianto termico è positiva.

3.5.2 Verifica intervento migliorativo

La ditta vincitrice della gara d'appalto, in fase di progettazione definitiva, ha proposto delle migliorie rispetto alla base gara.

L'intervento prevede le seguenti opere:

- Illuminazione esterna
- Cappotto termico interno
- Ripristino tinteggiatura esterna

Dal punto di vista energetico è importante valutare gli effetti del cappotto termico interno rispetto alla base gara per capire se si ottiene un miglioramento effettivo e se è possibile garantire il rispetto della normativa.

L'isolante proposto è fatto in lana di roccia ed ha uno spessore di 60 mm. È un isolante composto da fibre minerali con conducibilità termica $\lambda=0.033$ W/mK.

La tecnica dell'isolamento dall'interno consente di ridurre il dispendio energetico invernale aumentando la resistenza termica delle pareti verso l'esterno. In estate, invece, le prestazioni si riducono a causa della riduzione della capacità termica areica interna. Questo provoca un minore sfasamento dei carichi in regime estivo e porta ad una diminuzione delle prestazioni

Altri problemi relativi alla tecnica di isolamento dall'interno consistono nella formazione di condensa, a causa dei ponti termici, e nella riduzione dello spazio abitabile. Per moderare il problema della condensa è necessario porre una barriera al vapore (es. foglio di alluminio).

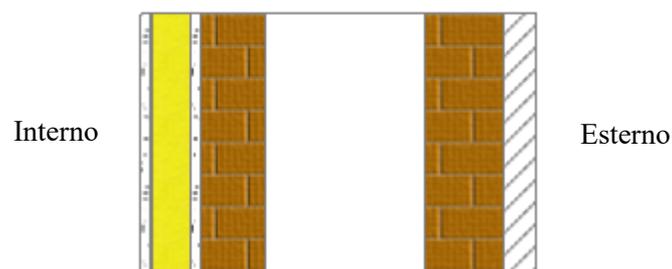
Questo tipo di tecnica di isolamento permette il rapido riscaldamento del locale a causa della ridotta inerzia termica.

Il principale vantaggio dell'isolamento dall'interno è costituito dalla riduzione dei costi per la messa in opera.

Lo strato isolante sarà applicato su tutti i muri affacciati verso l'esterno.

Lo strato applicato è composto da:

- Lastra di cartongesso – spessore 12,5 mm
- Foglio di alluminio – spessore 0,02 mm
- Isolante in lana di roccia – spessore 60 mm



Descrizione	Spessore [mm]	Cond. [W/mK]	R [m²K/W]	M.V. [kg/m³]	C.T. [kJ/kgK]	R.V.
Cartongesso in lastre	12,50	0,2500	0,050	900	1,00	10
Barriera vapore foglio di alluminio (.025-.05 mm)	0,02	220,00...	0,000	2700	0,88	9999999
URSA TERRA 66/Nb - Pannello in lana minerale ...	60,00	0,0330	1,818	40	1,03	1
Intonaco di calce e gesso	15,00	0,7000	0,021	1400	1,00	10
Mattone forato	100,00	0,3700	0,270	780	0,84	9
Intercapedine non ventilata $A_v < 500 \text{ mm}^2/\text{m}$	245,00	1,3611	0,180	-	-	-
Mattone forato	120,00	0,3870	0,310	717	0,84	9
Muratura in pietra naturale	50,00	2,3000	0,022	2500	1,00	100

Figura 3.35: Esempio di stratigrafia con isolamento interno

Per la verifica dei componenti è necessario inserire la nuova stratigrafia nel modello Edilclima. Il software richiede quali normative utilizzare e quale tipologia di intervento si vuole verificare.

In questo caso va verificata solo la normativa nazionale, nella parte relativa a ristrutturazioni importanti di primo livello.

Fase	Fase I - 1 Luglio 2015 per tutti gli edifici		<input type="checkbox"/> Edificio ad energia quasi zero		
Edificio	Collegio Einaudi - Sezione Mole Antonelliana				
	Ristrutturazione importante (di primo livello) superiore al 50% della superficie disperdente con rifacimento dell'impianto termico				
	<input checked="" type="checkbox"/> Impianto di riscaldamento esistente <input checked="" type="checkbox"/> Impianto produzione acqua calda sanitaria esistente <input checked="" type="checkbox"/> Impianto di raffrescamento esistente				
Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile		Valore calcolato	u.m.
Verifica termoigrometrica	Positiva				
Trasmittanza media divisorii e strutture locali non climatizzati	-				
Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile	Negativa				
Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione (Ht)	Negativa				
Indice di prestazione termica utile per riscaldamento	Negativa	84,63	>	94,75	kWh/m ²
Indice di prestazione termica utile per il raffrescamento	Positiva	10,34	>	10,30	kWh/m ²
Indice di prestazione energetica globale	Positiva	219,05	>	182,89	kWh/m ²
Efficienza media stagionale dell'impianto per servizi riscaldamento, acqua calda s...	-				

Figura 3.36: Verifica normativa della proposta migliorativa

Dalla *figura 3.35*, si nota che la verifica normativa ha avuto esito negativo. Il progetto di isolamento dall'interno consente di ridurre i consumi energetici del fabbricato ma ciò non consente comunque il rispetto delle norme. Il problema è dovuto a due fattori:

- Il ridotto spessore di isolante, solitamente insufficiente per edifici in zona climatica E
- La presenza di ponti termici, favoriti dalla tecnica di isolamento dall'interno

Le prestazioni in raffrescamento calano a causa della riduzione delle prestazioni dinamiche dell'involucro [31]. Ciò non consente di valutare l'opzione di aumentare lo spessore di isolante in quanto porterebbe a non verificare l'indice di prestazione termica in raffrescamento.

4. Analisi energetica e futuri sviluppi

In questo capitolo saranno analizzate delle proposte di intervento aggiuntive al progetto di base valutandone il guadagno in termini di risparmio energetico.

Sarà effettuato un confronto tra le varie opzioni percorribili ed evidenziati i principali vantaggi e svantaggi di ciascuna soluzione.

4.1 Analisi energetica

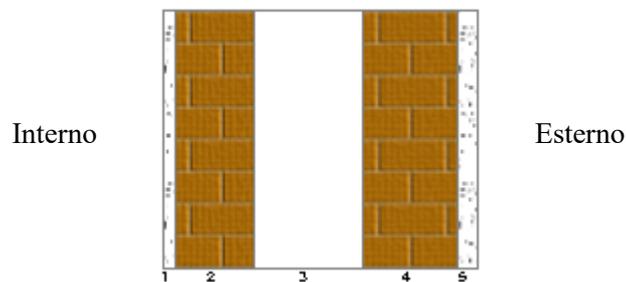
L'analisi energetica consente di evidenziare i consumi energetici del fabbricato. È inoltre fondamentale per poter procedere con lo studio di interventi migliorativi da attuare in futuro. In base ai consumi e alla classe energetica dell'immobile è possibile individuare gli interventi più remunerativi realizzabili in futuro.

4.1.1 Analisi edificio originale

L'edificio originale presenta un involucro decisamente da rinnovare sia per la parte opaca che per quella trasparente.

I muri esterni presentano due strati di laterizi forati separati da un'intercapedine.

La parte trasparente dell'involucro, invece, comprende dei vecchi infissi con trasmittanza stimata di $5 \text{ W/m}^2\text{K}$



Codice	Descrizione	Spessore [mm]	Cond. [W/mK]	R [m²K/W]	M.V. [kg/m³]	C.T. [kJ/kgK]	R.V.
e1005	Intonaco di calce e sabbia	15,00	0,8000	0,019	1600	1,00	10
e8402	Mattone forato	100,00	0,3700	0,270	780	0,84	9
e10	Intercapedine non ventilata $A_v < 500 \text{ mm}^2/\text{m}$	140,00	0,7778	0,180	-	-	-
e8403	Mattone forato	120,00	0,3870	0,310	717	0,84	9
e1005	Intonaco di calce e sabbia	25,00	0,8000	0,031	1600	1,00	10

Figura 4.1: Esempio di stratigrafia dell'edificio originale

L'impianto è composto da caldaie tradizionali, non presenta pompe di calore ma presenta impianto solare termico che consente di innalzare leggermente la sua classe energetica.

Inserendo questi dati in un nuovo modello Edilclima, ricaviamo dall'APE (Attestazione di prestazione energetica) i seguenti consumi di energia primaria.

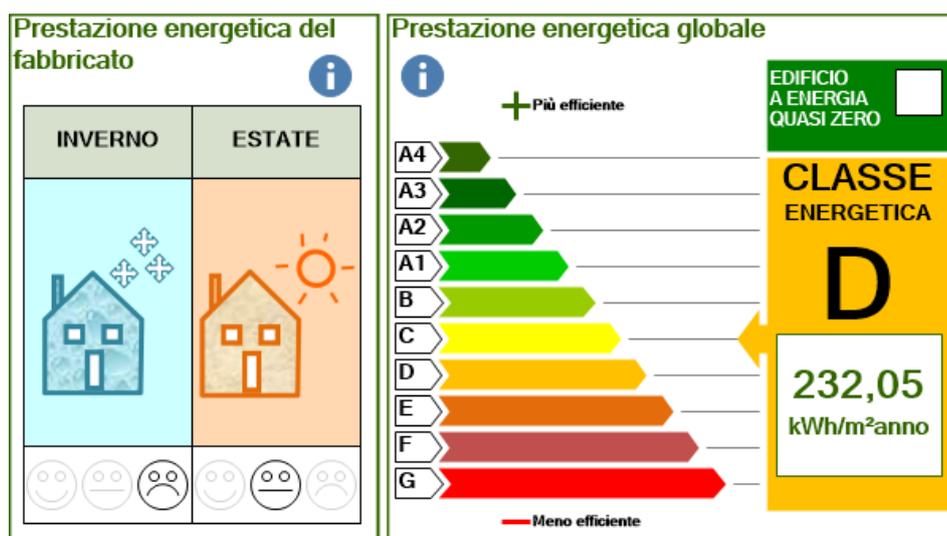


Figura 4.2: Classe energetica e consumi dell'edificio ante-operam

4.1.2 Analisi edificio post operam

Nel caso post operam le modifiche all'impianto e alle componenti trasparenti dell'involucro portano ad un miglioramento delle prestazioni.

Volendo fare un quadro riassuntivo, i cambiamenti di maggiore influenza rispetto al caso ante operam sono i seguenti:

- Viene modificato l'impianto con l'installazione di caldaie a condensazione e pompa di calore geotermica.
- Viene modificata la parte trasparente dell'involucro con l'adozione di componenti finestrati con trasmittanza pari a $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$
- installazione unità di trattamento aria

Da ciò ne deriva un netto miglioramento delle prestazioni energetiche e del comfort.

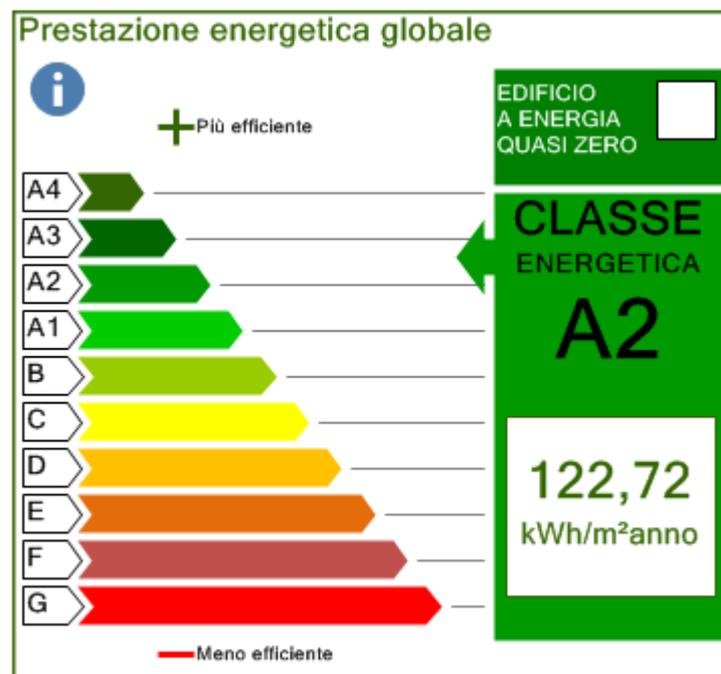


Figura 4.3: Classe energetica e consumi dell'edificio post-operam

Si può notare un notevole miglioramento delle performance dell'edificio con una riduzione dei consumi del 47%.

La classe elevata è stata raggiunta soprattutto grazie all'utilizzo della pompa di calore geotermica e delle caldaie a condensazione abbinati con sistemi a bassa temperatura. Completa il quadro l'utilizzo delle fonti rinnovabili grazie all'impianto solare termico.

4.2 Futuri sviluppi

Dall'analisi energetica eseguita sull'immobile, è possibile capire con facilità quali possono essere gli eventuali interventi più remunerativi da sostenere in futuro:

- Installazione impianto fotovoltaico
- Isolamento in intercapedine

L'installazione dell'impianto fotovoltaico si associa benissimo con l'utilizzo della pompa di calore mentre l'isolamento in intercapedine consente di ridurre le dispersioni di energia.

4.2.1 *Isolamento in intercapedine*

La tecnica dell'isolamento in intercapedine consente di ridurre le dispersioni di energia termica verso l'ambiente esterno in edifici che presentano intercapedini d'aria. Questo consente di ridurre i consumi di energia primaria dell'edificio.

Una tecnica di isolamento è già stata vagliata come proposta migliorativa di una ditta concorrente in fase di progetto. In quel caso si trattava di una tecnica isolamento dall'interno che non ha superato i controlli normativi e quindi è stata scartata.

La tecnica di isolamento in intercapedine differisce però da quella dall'interno per il comportamento dinamico dell'involucro e per i ponti termici.

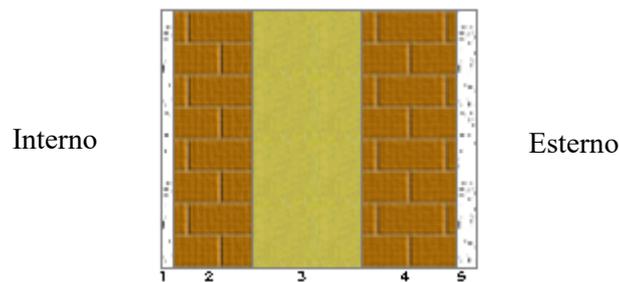
I vantaggi di questa tecnica sono i seguenti:

- Riduzione dei ponti termici: riduzione del rischio di condensa dunque del pericolo di formazione di muffe. La temperatura dell'ambiente risulta maggiormente uniforme e questo favorisce il comfort degli occupanti
- Semplicità di applicazione: basta semplicemente iniettare schiume isolanti nell'intercapedine d'aria
- Protezione dello strato isolante dagli agenti atmosferici

La tecnica dell'isolamento in intercapedine presenta però anche degli svantaggi:

- Problemi strutturali e fessurazioni
- Necessità di riempire interamente l'intercapedine anche se è necessario un minore spessore dell'isolante. Questo comporta un maggior carico termico estivo per disperdere gli apporti interni ed un maggior costo.

La stratigrafia proposta per questa soluzione è la seguente:



Codice	Descrizione	Spessore [mm]	Cond. [W/mK]	R [m²K/W]	M.V. [kg/m³]	C.T. [kJ/kgK]	R.V.
e1005	Intonaco di calce e sabbia	15,00	0,8000	0,019	1600	1,00	10
e8402	Mattone forato	100,00	0,3700	0,270	780	0,84	9
e1918	Schiuma poliuretanicica (celle chiuse > 90%)	140,00	0,0280	5,000	40	1,40	60
e8403	Mattone forato	120,00	0,3870	0,310	717	0,84	9
e1005	Intonaco di calce e sabbia	25,00	0,8000	0,031	1600	1,00	10

Figura 4.4: Esempio di stratigrafia con isolamento in intercapedine

Questo intervento consente un aumento delle prestazioni energetiche in riscaldamento ma riduce le prestazioni energetiche in raffrescamento. Questo è dovuto alla difficoltà da parte dell'involucro isolato nel disperdere gli apporti interni verso l'esterno durante il periodo notturno. Questo fenomeno provoca l'aumento della richiesta di raffrescamento.

⚡ Prestazioni energetiche stagionali							
Descrizione	Simbolo	U.M.	Stato di fatto	Scenario	Miglioramento	Variazione	
Prestazione energetica per il riscaldamento	EPh,nren	kWh/m²anno	100,67	72,42	28,25	28,1	↓
Prestazione energetica per produzione acs	EPw,nren	kWh/m²anno	2,09	2,09	0,00	0,0	
Prestazione energetica per il raffrescamento	EPc,nren	kWh/m²anno	8,66	9,57	-0,91	-10,5	↑
Prestazione energetica per la ventilazione	EPv,nren	kWh/m²anno	11,31	11,31	0,00	0,0	
Prestazione energetica per l'illuminazione	EPl,nren	kWh/m²anno	0,00	0,00	0,00	0,0	
Prestazione energetica per il trasporto	EPt,nren	kWh/m²anno	0,00	0,00	0,00	0,0	
Prestazione energetica globale	EPgl,nren	kWh/m²anno	122,72	95,39	27,34	22,3	↓

Figura 4.5: Analisi energetica isolamento in intercapedine

Il confronto tra lo stato ante operam e post operam evidenzia una riduzione del fabbisogno di energia primaria da parte dell'edificio l'incremento di una classe energetica.

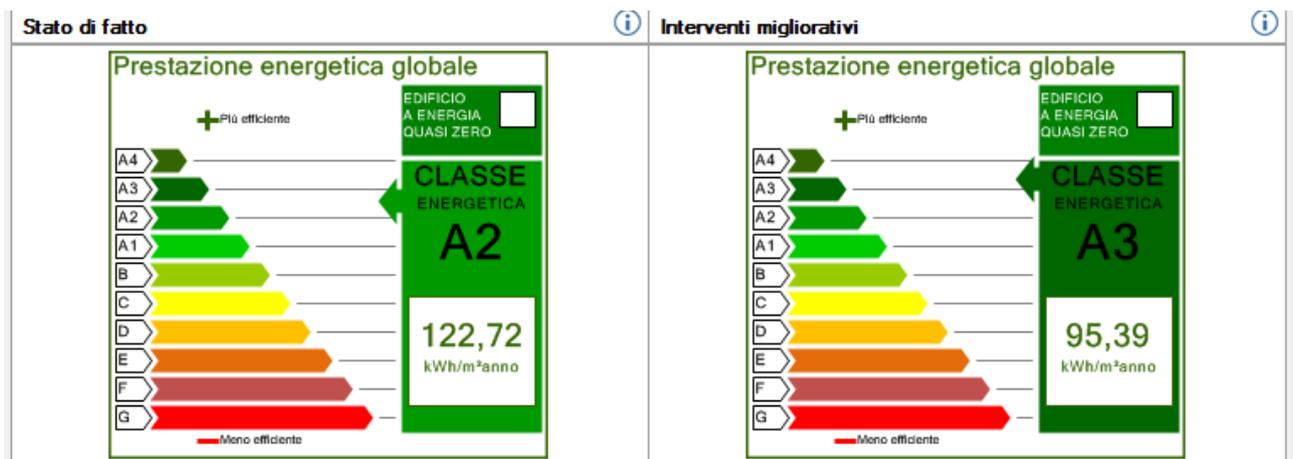


Figura 4.6: Confronto prestazionale tra ante operam e intervento di isolamento in intercapedine

Analizzando l'intervento dal punto di vista economico, si può notare un risparmio pari a 15181 €/anno con un investimento iniziale pari a 105264 €. Questo ci consente di calcolare il parametro SPB (Simple playback time) che ci mostra numero di anni necessari a rientrare nell'investimento in maniera semplificata, escludendo tassi di interesse ed altri parametri economici.

$$SPB[anni] = \frac{Risparmio \text{ [€/anno]}}{Investimento \text{ [€]}} \quad (4.1)$$

Così calcolato, il tempo di ritorno dell'investimento è pari a 6,9 anni che potrebbero ulteriormente ridursi grazie agli incentivi

Analisi economica							
Descrizione	Simbolo	U.M.	Stato di fatto	Scenario	Miglioramento	Variazione %	
Spesa annua per riscaldamento	Sh	€/anno	61569,64	45753,58	15816,07	25,7	↓
Spesa annua per acqua calda sanitaria	Sw	€/anno	985,27	985,27	0,00	0,0	
Spesa annua per raffrescamento	Sc	€/anno	6016,19	6650,77	-634,58	-10,5	↑
Spesa annua per ventilazione	Sv	€/anno	7862,10	7862,10	0,00	0,0	
Spesa annua per illuminazione	Sl	€/anno	0,00	0,00	0,00	0,0	
Spesa annua per trasporto	St	€/anno	0,00	0,00	0,00	0,0	
Spesa annua globale	Sgl	€/anno	76433,20	61251,71	15181,48	19,9	↓

Costo complessivo scenario € Tempo di ritorno anni

Figura 4.7: Analisi economica isolamento in intercapedine

4.2.2 Impianto fotovoltaico

L'installazione di un impianto fotovoltaico è tra gli interventi più appetibili per edifici di classe energetica alta. Questa soluzione consente di ridurre il consumo di energia primaria. In particolare, permette di produrre una quota di energia elettrica da fonti rinnovabili.

L'installazione di un impianto fotovoltaico si abbina perfettamente all'utilizzo della pompa di calore come generatore di calore principale.

Per il dimensionamento dell'impianto fotovoltaico, in genere, devo fare in modo da produrre energia elettrica pari al fabbisogno annuale del fabbricato. Devo anche fare in modo che la superficie sia sufficiente per ospitare l'impianto fotovoltaico.

Questo dimensionamento consente in genere di avere una copertura del fabbisogno annuo per una percentuale attorno al 50-60%.

In questo caso la superficie disponibile è pari a 1000m² e il fabbisogno elettrico è di 240899 kWh/anno. Per poter rispettare queste caratteristiche, è necessario disporre di un modulo ad alta efficienza con silicio monocristallino per fare in modo che la produzione sia sufficiente, tenendo conto del limite di superficie disponibile.

Il modulo scelto è "FuturaSun FU315M" [32]

CARATTERISTICHE ELETTRICHE					
MODULO		FU 300 M	FU 305 M	FU 310 M	FU 315 M
<i>Standard Test Conditions STC: 1000 W/m² - AM 1,5 - 25 °C - tolleranze: Pmax (±3%), Voc (±4%), Isc (±5%)</i>					
Potenza del modulo (Pmax)	W	300	305	310	315
Tensione di circuito aperto (Voc)	V	40,16	40,5	40,78	41,02
Corrente di corto circuito (Isc)	A	9,59	9,67	9,72	9,8
Tensione di massima potenza (Vmpp)	V	32,6	32,87	33,15	33,42
Corrente di massima potenza (Impp)	A	9,21	9,28	9,36	9,43
Efficienza modulo	%	18,37	18,60	18,98	19,28
<i>Nominal Module Operating Temperature NMOT: 800 W/m² - T=45 °C - AM 1,5</i>					
Massima Potenza (Pmax)	W	220,36	224	227,71	231,33
Tensione di circuito aperto (Voc)	V	37,04	37,36	37,67	37,83
Corrente di corto circuito (Isc)	A	7,89	7,96	8,03	8,06
Tensione di massima potenza (Vmpp)	V	29,50	29,75	30	30,25
Corrente di massima potenza (Impp)	A	7,47	7,53	7,59	7,65
CARATTERISTICHE OPERATIVE					
Coefficiente di temperatura Isc		%/°C	0,0344		
Coefficiente di temperatura Voc		%/°C	-0,273		
Coefficiente di temperatura Pmax		%/°C	-0,389		
NMOT*		°C	45		
Temperatura di esercizio		°C	da -40 a +85		

Figura 4.8: Scheda tecnica modulo fotovoltaico

I moduli fotovoltaici da installare sono 610 per una potenza di picco di 192.2 kWp. La quota di copertura del fabbisogno annuo di energia elettrica è pari al 51,4%.

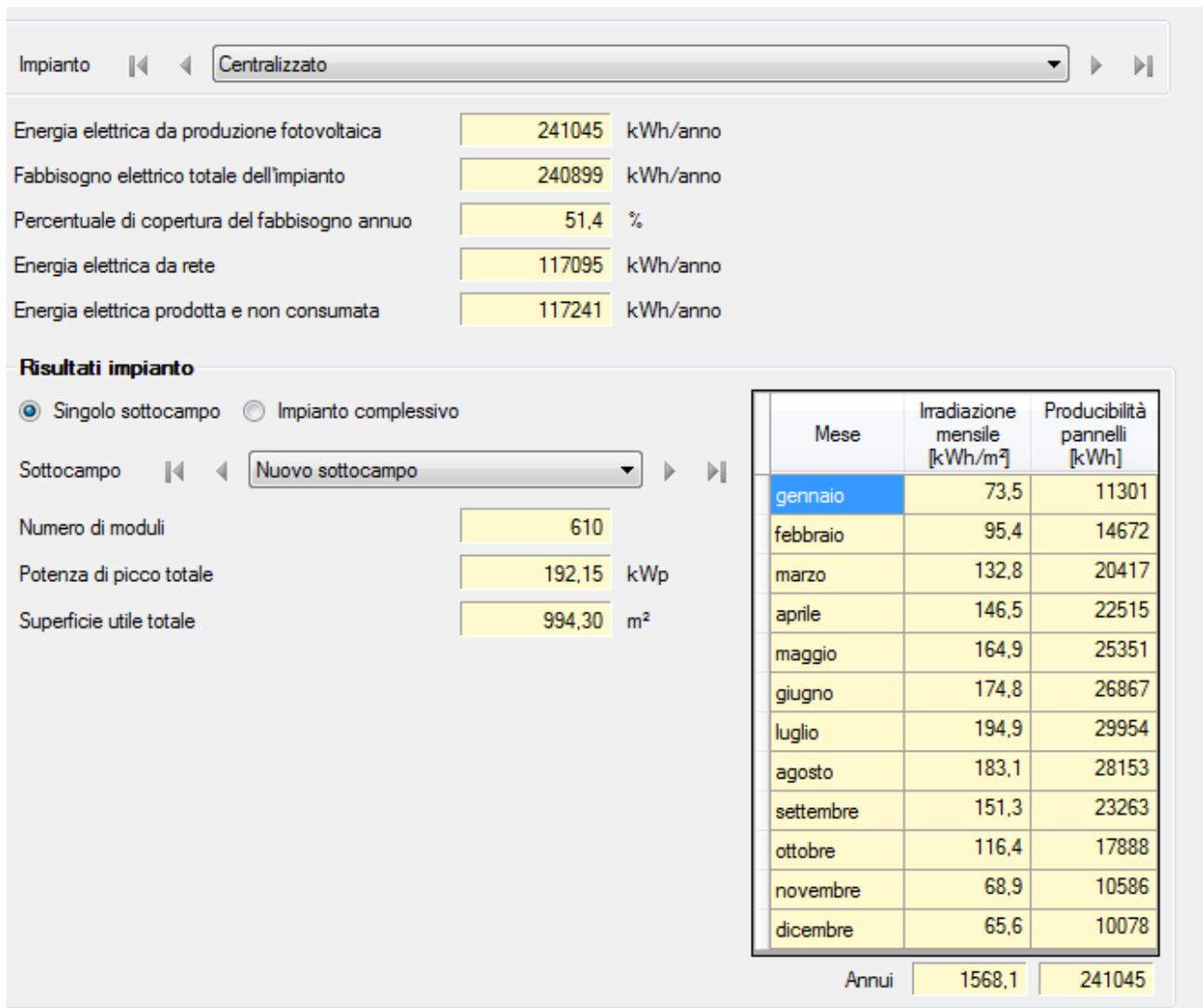


Figura 4.9: Calcoli energetici su impianto fotovoltaico (Edilclima)

Il dimensionamento ottimale dell'impianto consente di massimizzare la quota di autoconsumo. La quota ceduta in rete, infatti, si rivela spesso scarsamente retribuita e quindi deve essere minimizzata per quanto possibile.

ENERGIA DA FOTOVOLTAICO

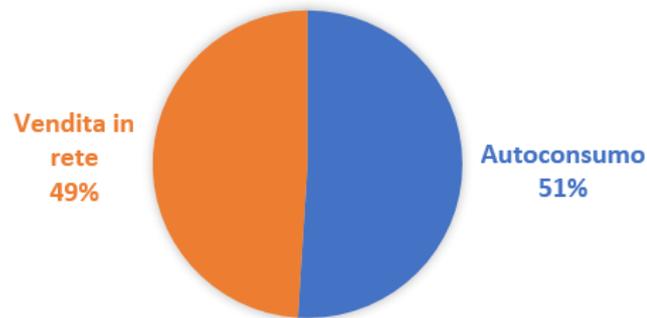


Figura 4.10: Utilizzo di energia prodotta da impianto fotovoltaico

Questo intervento consente di ridurre l'uso di energia non rinnovabile per le utenze del fabbricato e quindi di aumentare la classe energetica del fabbricato. In particolare, si ottiene una riduzione dei consumi del 36%

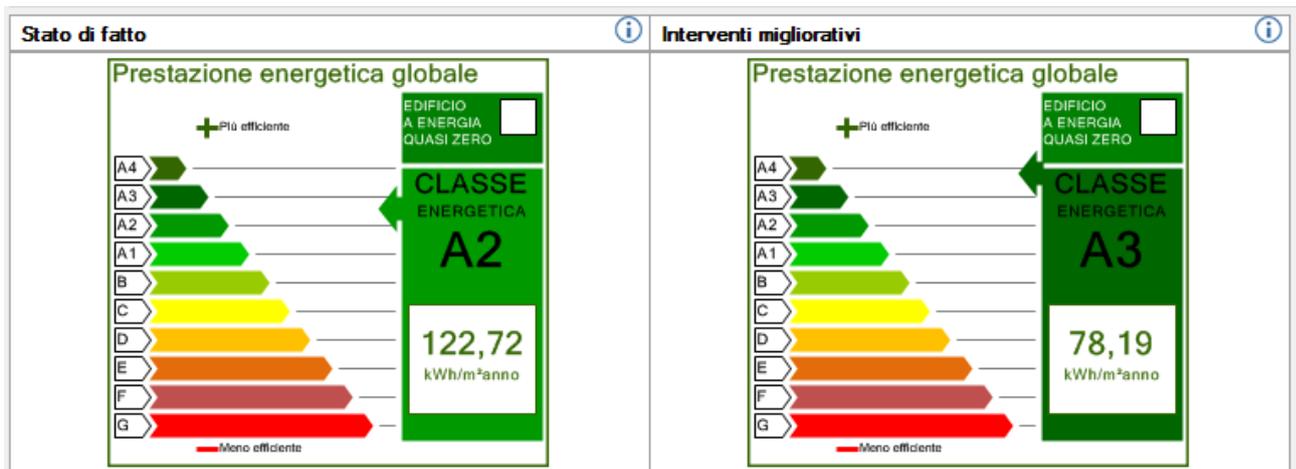


Figura 4.11: Confronto prestazionale stato attuale e intervento di installazione impianto fotovoltaico

Dopo aver verificato l'analisi energetica, posso effettuare un'analisi economica dell'intervento.

Il risparmio in termini di costo dell'energia conseguito con questo intervento è pari a 30951 €/anno e il SPB (calcolato con la formula 4.1) è pari a 7,4 anni, ipotizzando un investimento iniziale pari a 230000 € (1200 €/kWp installato). Questo valore può anche scendere in base agli incentivi presenti al momento della futura migrazione.

4.2.3 Confronto interventi

Il confronto tra i vari interventi consente di evidenziare la migliore soluzione dal punto di vista economico.

In questo confronto si analizza anche il caso in cui unisco i due interventi.

Fotovoltaico + isolamento

Questo interventi permette di risparmiare su interventi futuri e di portare la classe energetica dell'edificio al livello massimo.

Il risparmio rispetto ai due interventi fatti singolarmente in momenti differenti, consiste nel non dover sovradimensionare l'impianto fotovoltaico.

In particolare, l'impianto fotovoltaico viene dimensionato su un fabbisogno inferiore di energia, calcolato dopo aver effettuato l'isolamento in intercapedine.

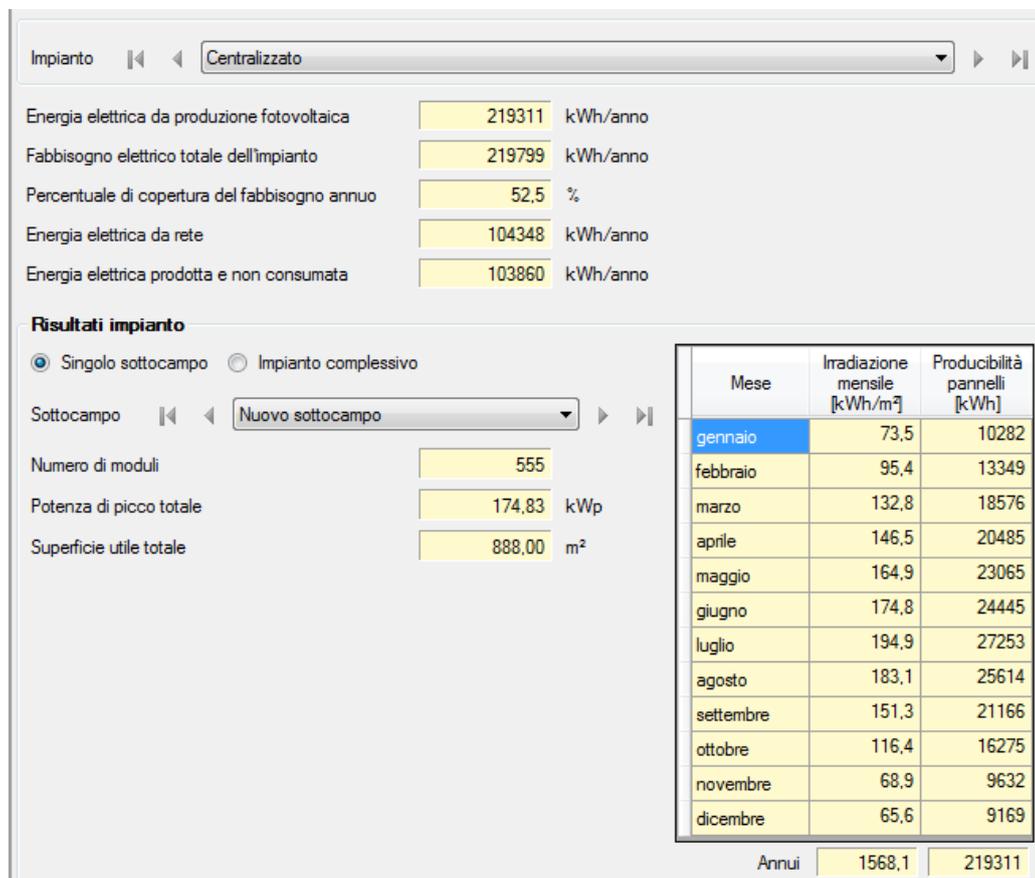


Figura 4.12: Calcoli energetici su impianto fotovoltaico (intervento congiunto)

Dopo l'intervento, la classe energetica raggiunta è la massima possibile

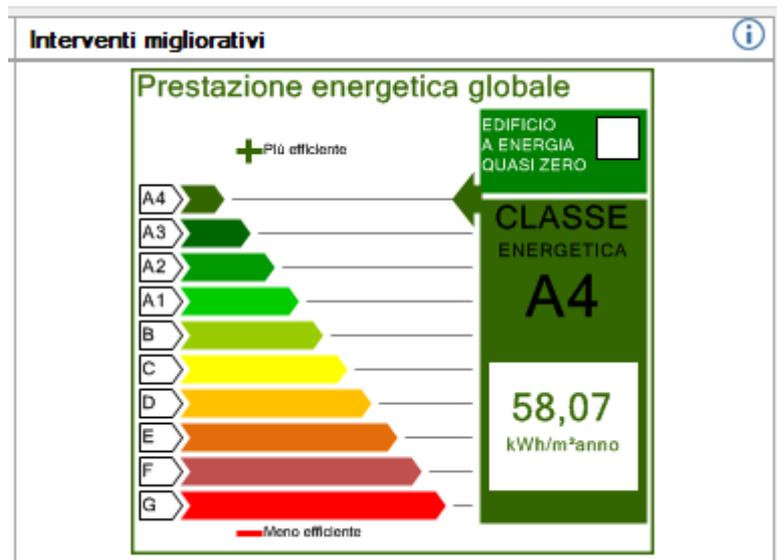


Figura 4.13: Classe energetica e consumi dell'edificio (intervento congiunto)

L'investimento per questo intervento sarà inferiore alla somma dei singoli interventi in quanto si riducono le dimensioni dell'impianto fotovoltaico. Il risparmio annuo, invece, sarà inferiore alla somma dei risparmi dei due interventi. In particolare, si ottiene un risparmio di 44043 €/anno con un investimento di 315264€. Il SPB è pari a 7,2 anni.

Confronto interventi

Il confronto degli interventi si può effettuare sia analizzando il tempo di ritorno dell'investimento, sia analizzando i risparmi sul lungo periodo.

In particolare, analizzando i vari interventi, si evidenzia che l'intervento di solo isolamento in intercapedine è quello che presenta il minor tempo di intervento.

	Solo PV	Solo isolamento	PV+ isolamento
Investimento [€]	230000	105264	315264
Risparmio annuo [€/anno]	30951	15181	44043
SPB [anni]	7,4	6,9	7,2

Tabella 4.1: Confronto interventi

Oltre ad un confronto basato sul tempo di ritorno dell'investimento, posso evidenziare i flussi di cassa sul lungo periodo dei vari interventi. L'analisi viene effettuata nel periodo di 25 anni in quanto è il tempo di vita degli impianti fotovoltaici.

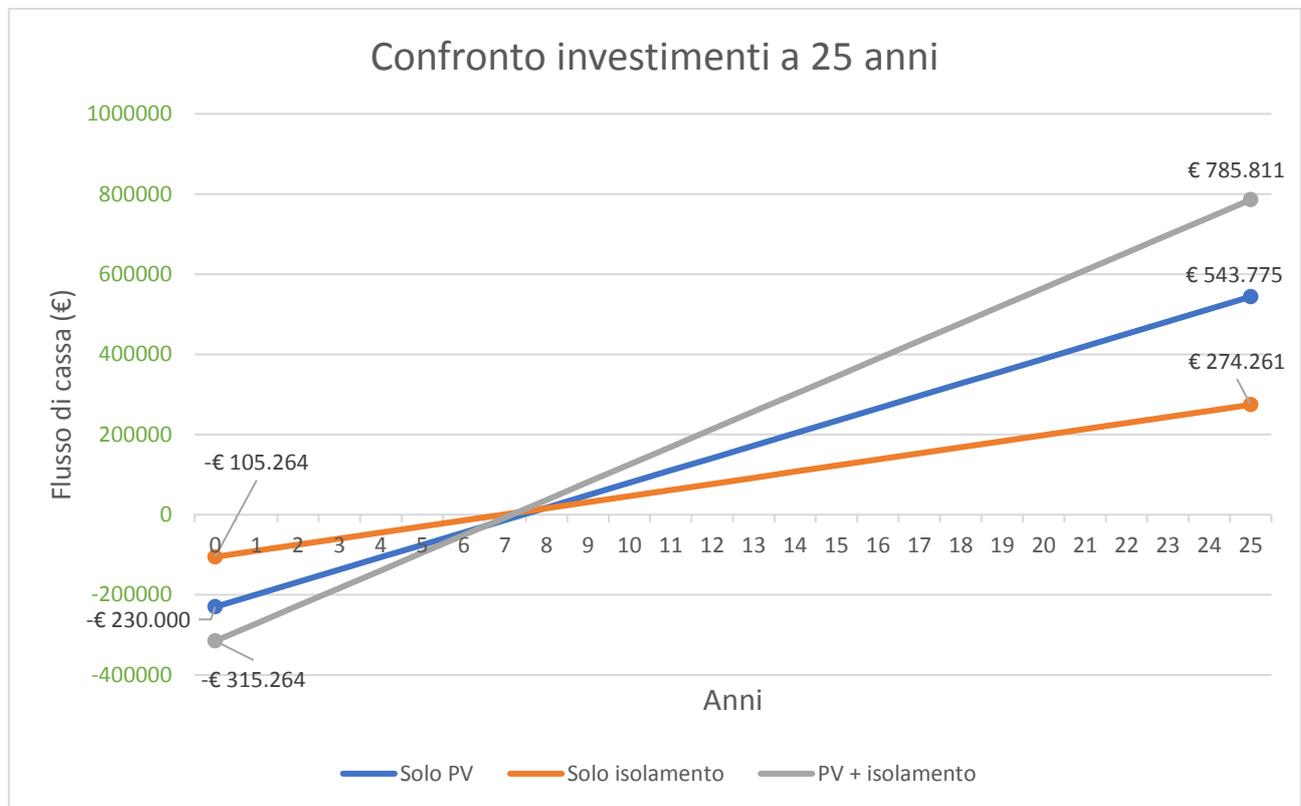


Figura 4.14: Flussi di cassa a 25 anni relativi ai vari interventi

A conclusione del periodo di osservazione, è possibile evidenziare come il maggior guadagno si ottiene con l'intervento congiunto di isolamento in intercapedine e installazione di impianto fotovoltaico (PV+ isolamento).

5. Conclusioni

In questo lavoro sono stati illustrati i diversi aspetti progettuali di un intervento di riqualificazione energetica ed impiantistica di un edificio ad uso abitativo.

La riprogettazione dell'impianto di climatizzazione ha consentito un aumento del comfort degli occupanti ed un risparmio economico, grazie all'utilizzo di pompe di calore acqua-acqua e generatori a condensazione. La sostituzione dei serramenti ha permesso un calo del fabbisogno di energia dell'edificio grazie alla riduzione delle perdite per trasmissione e per ventilazione oltre alla diminuzione dei fenomeni di discomfort acustico e termico nei suoi pressi. Completano il quadro progettuale l'ampliamento della zona termica nel sottotetto e il rifacimento degli impianti idrico-sanitari e di distribuzione idronica.

Dopo aver progettato gli interventi, è stata fatta una verifica normativa sia sul progetto originale che su un intervento migliorativo proposto da un'azienda esterna, riguardante l'applicazione di uno strato isolante all'interno dell'edificio. Per queste analisi è stato usato il software Edilclima che consente la modellizzazione dell'edificio e la verifica dei requisiti normativi. A seguito del controllo normativo la soluzione di isolamento dall'interno è stata scartata.

Infine, sono state analizzate delle soluzioni da adottare nelle future ristrutturazioni per mancanza di budget. Queste comprendono l'isolamento in intercapedine e l'installazione di un impianto fotovoltaico. Questi interventi consentono di abbassare ulteriormente i consumi energetici e permettono un rientro dell'investimento in pochi anni.

Questo progetto consente di ottenere una riduzione delle emissioni di gas climalteranti e si inserisce perfettamente nella filosofia della "green economy". Oltre a consentire un risparmio ed un miglioramento delle condizioni dell'utente, permette di dare un piccolo ma importante contributo nel miglioramento delle condizioni ambientali del nostro pianeta.

Bibliografia

- [1] ISPRA,2018, «Emissioni nazionali di gas serra: Indicatori di efficienza e decarbonizzazione nei principali Paesi Europei,» Rapporti 295/2018.
- [2] DPR 26 Agosto 1993, n.412, «Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della legge 9 gennaio 1991, n. 10».
- [3] UNI - Ente italiano di normazione, «UNI 10349:1994 - Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici,» [Online]. Disponibile: <http://store.uni.com/catalogo/uni-10349-1994>.
- [4] UNI - Ente italiano di normazione, «UNI EN 12831-1:2018 - Prestazione energetica degli edifici - Metodo per il calcolo del carico termico di progetto - Parte 1: Carico termico per il riscaldamento degli ambienti,» [Online]. Disponibile: <http://store.uni.com/catalogo/uni-en-12831-1-2018>.
- [5] UNI - Ente italiano di normazione, «UNI 10339:1995 - Impianti aeraulici al fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura.,» [Online]. Disponibile: <http://store.uni.com/catalogo/uni-10339-1995>.
- [6] System S.p.a. , [Online]. Disponibile: <http://www.system.it>.
- [7] Sabiana S.p.a , [Online]. Disponibile: <https://www.sabiana.it>.
- [8] Ercos S.p.a. , [Online]. Disponibile: <https://www.ercos.it>.
- [9] Mitsubishi Electric Hydronics and IT Cooling S.p.a. , [Online]. Disponibile: <https://www.melcohit.com>.
- [10] Viessmann s.r.l. , [Online]. Disponibile: <https://www.viessmann.it/>.

- [11] Finstral S.p.A. , [Online]. Disponibile: <https://www.finstral.com>.
- [12] Edilclima S.r.l., [Online]. Disponibile: <https://www.edilclima.it/>.
- [13] UNI - Ente italiano di normazione, «UNI EN ISO 13790:2008 - Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento,» [Online]. Disponibile: <http://store.uni.com/catalogo/uni-en-iso-13790-2008>.
- [14] UNI - Ente italiano di normazione, «UNI/TS 11300-1:2014 - Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale,» [Online]. Disponibile: <http://store.uni.com/catalogo/uni-ts-11300-1-2014>.
- [15] UNI - Ente italiano di normazione, «UNI EN 12056-2:2001 - Sistemi di scarico funzionanti a gravità all'interno degli edifici - Impianti per acque reflue, progettazione e calcolo,» [Online]. Disponibile: <http://store.uni.com/catalogo/uni-en-12056-2-2001>.
- [16] ASSISTAL, «Norme idrosanitarie italiane,» [Online]. Disponibile: <http://www.assital.it/>.
- [17] UNI - Ente italiano di normazione, «UNI EN 806-3:2008 - Specifiche relative agli impianti all'interno di edifici per il convogliamento di acque destinate al consumo umano - Parte 3: Dimensionamento delle tubazioni - Metodo semplificato,» [Online]. Disponibile: <http://store.uni.com/catalogo/uni-en-806-3-2008>.
- [18] D. Pasini, «Perdite di carico e dimensionamento di un impianto di aspirazione? - Ingegneriaemissioni.it,» [Online]. Disponibile: <https://www.ingegneriaemissioni.it/calcolo-canaliperdite-di-carico-aria/>.
- [19] M. Doninelli e M. Doninelli, «Tabelle e diagrammi perdite di carico aria,» Caleffi, [Online]. Disponibile: <https://www.caleffi.com/sites/default/files/file/aria.pdf>.
- [20] ZIEHL-ABEGG, [Online]. Disponibile: <https://www.ziehl-abegg.com/it/home/>.
- [21] TROX, [Online]. Disponibile: <https://www.trox.it/>.
- [22] ASHRAE, «ASHRAE Psychrometric chart NO.1,» 1992. [Online]. Disponibile: <https://www.ashrae.org/File%20Library/Technical%20Resources/Bookstore/UP3/SI-1.pdf>.

- [23] M. Doninelli, «Quaderni caleffi - Le reti di distribuzione,» [Online]. Disponibile: https://www.caleffi.com/sites/default/files/file/quaderno_1_it.pdf.
- [24] Caleffi, [Online]. Disponibile: <https://www.caleffi.com>.
- [25] Andreadd.it, «Calcolatore online produzione Acqua Calda Sanitaria (ACS),» [Online]. Disponibile: <https://www.andreadd.it/utilities/engineering-tools/calcolo-ACS/calcolatore-generatore-accumulo-ACS.html#home>.
- [26] M. Doninelli, «Quaderni Caleffi - Impianti idrosanitari,» [Online]. Disponibile: https://www.caleffi.com/sites/default/files/file/quaderno_5_it.pdf.
- [27] CO.AER, «Qualenergia - Pompe di calore per la climatizzazione,» [Online]. Disponibile: https://www.qualenergia.it/sites/default/files/articolo-doc/pompe-calore_speciale_qualenergia_mag2012.pdf.
- [28] DM 26 Giugno 2015, «Adeguamento linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici».
- [29] Regione Piemonte, D.G.R. 4 Agosto 2009, n. 46-11968, «Aggiornamento del Piano regionale per il risanamento e la tutela della qualita' dell'aria - Stralcio di piano per il riscaldamento ambientale e il condizionamento e disposizioni attuative in materia di rendimento energetico nell'edilizia».
- [30] Regione Piemonte, D.G.R. 4 Agosto 2009, n. 45-11967, «Legge regionale 28 maggio 2007, n. 13 (Disposizioni in materia di rendimento energetico nell'edilizia). Disposizioni attuative in materia di impianti solari termici, impianti da fonti rinnovabili e serre solari».
- [31] F. Dandri, «Glossario del bilancio termico dell'edificio - APE Friuli Venezia Giulia,» [Online]. Disponibile: https://www.ape.fvg.it/wp-content/uploads/2019/07/03062_ML_Fascicoli-IGP-FVG-1-5-Glossario-rev00.pdf.
- [32] FuturaSun, [Online]. Disponibile: <https://www.futurasun.com>.