



**Politecnico
di Torino**

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

Anno Accademico 2023-2024

***Applicazioni di tecnologie innovative ad alta
efficienza energetica nella progettazione di edifici
civili***

Relatore:

Prof. Marco Carlo Masoero

Candidato:

Roberto Vanzetti

Sommario

1	Introduzione	1
2	Identificazione delle possibili soluzioni impiantistiche	5
2.1	Caldaia a gas a condensazione	5
2.2	Pompa di calore reversibile aria/acqua	7
2.3	Rete urbana di teleriscaldamento	15
3	Calcolo dei carichi termici tramite software MC4	16
3.1	Condizioni di progetto interne ed esterne	17
3.2	Modellazione edificio	22
3.3	Risultati di calcolo	26
4	Descrizione impianti centrale termofrigorifera	31
4.1	Centrale Termica	31
4.1.1	Scambiatori di calore e produzione di acqua tecnica calda	39
4.1.2	Alimentazione impianto acqua calda e refrigerata	44
4.1.3	Produzione ed accumulo ACS	56
4.1.4	Gruppo di pressurizzazione e trattamento acque	61
4.1.5	Gruppo di riempimento	67
4.2	Locale tecnico	70
5	Dimensionamento rete idronica	76
6	Dimensionamento rete di distribuzione aria primaria	97
7	Dimensionamento della rete di distribuzione di ACS	115
7.1	Dimensionamento tubazione acqua calda sanitaria e fredda potabile	115
7.2	Dimensionamento rete di ricircolo	123
7.3	Dimensionamento serbatoio di accumulo ACS	127
8	Sistema di scarico acque reflue con ventilazione parallela diretta	130
9	Ringraziamenti	140
10	Bibliografia	141

Indice delle figure

FIGURA 1.1 VISTA ESTERNA EDIFICIO	1
FIGURA 1.2 SEZIONE PIANO TERRA	2
FIGURA 1.3 SEZIONI EDIFICIO	2
FIGURA 1.4 SEZIONE AA E CC	3
FIGURA 2.1 ESEMPIO TABELLA PRESTAZIONALE CALDAIA A CONDENSAZIONE	6
FIGURA 2.2 CALDAIA A CONDENSAZIONE	7
FIGURA 2.3 POMPA DI CALORE INVERTIBILE ARIA/ACQUA	8
FIGURA 2.4 SCHEMA FUNZIONALE SEMPLICE MACCHINA FRIGORIFERA A COMPRESIONE, CONDIZIONE DI FUNZIONAMENTO ESTIVA	9
FIGURA 2.5 SCHEMA MACCHINA FRIGORIFERA CON DESURRISCALDATORE	11
FIGURA 2.6 ANDAMENTO POTENZA TERMICA RECUPERATA/POTENZIALITÀ FRIGORIFERA	11
FIGURA 2.7 TABELLA PRESTAZIONALE POMPA DI CALORE FUNZIONAMENTO ESTIVO	12
FIGURA 2.8 POMPA DI CALORE ACQUA-ACQUA NON INVERTIBILE	13
FIGURA 2.9 TABELLA PRESTAZIONALE POMPA DI CALORE ACQUA-ACQUA	13
FIGURA 2.10 TABELLA PRESTAZIONALE POMPA DI CALORE FUNZIONAMENTO INVERNALE	14
FIGURA 3.1 ESPOSIZIONE NORD-NORD OVEST	19
FIGURA 3.2 PROFILO ORARIO APPARECCHIATURE	20
FIGURA 3.3 PROFILO ORARIO PERSONE	20
FIGURA 3.4 PROFILO ORARIO FUNZIONAMENTO IMPIANTO	21
FIGURA 3.5 ESEMPIO STRATIGRAFIA DIVISORIO INTERNO	21
FIGURA 3.6 PIANI DELL'EDIFICIO INTERESSATI DAL CALCOLO	23
FIGURA 3.7 PRIMA VISTA MODELLO	24
FIGURA 3.8 SECONDA VISTA MODELLO	24
FIGURA 3.9 TERZA VISTA MODELLO	25
FIGURA 3.10 SEZIONE MODELLO 2° PIANO	25
FIGURA 4.1 SCHEMA FUNZIONALE PORZIONE CENTRALE TERMICA A SERVIZIO DELLE UNITÀ IMMOBILIARI, PALESTRA E LOCALE PORTINERIA	33
FIGURA 4.2 SCHEMA FUNZIONALE CENTRALE TERMICA A SERVIZIO DEL RISTORANTE	34
FIGURA 4.3 LEGENDA IMPIANTO	34
FIGURA 4.4 LEGENDA APPARECCHIATURE	35
FIGURA 4.5 VISTA 1 MODELLO 3D CENTRALE TERMICA	36
FIGURA 4.6 VISTA 2 MODELLO 3D CENTRALE TERMICA	37
FIGURA 4.7 VISTA 3 MODELLO 3D CENTRALE TERMICA	38
FIGURA 4.8 SCAMBIATORI DI CALORE	39
FIGURA 4.9 SCHEMA FUNZIONALE E VISTA IN SEZIONE SCAMBIATORE DI CALORE A PIASTRE	39
FIGURA 4.10 SEZIONE VALVOLA DI SICUREZZA E DATI DA CATALOGO CALEFFI	41
FIGURA 4.11 COLLETTORE DI SICUREZZA INAIL (EX-ISPEL)	42
FIGURA 4.12 ELETTROVALVOLA A 2 VIE CON VISTA IN SEZIONE	42
FIGURA 4.13 SEZIONE VASO DI ESPANSIONE	43
FIGURA 4.14 ESEMPIO ELETTROPOMPA A ROTORE BAGNATO	45
FIGURA 4.15 SERBATOI DI ACCUMULO INERZIALE E POMPE DI ALIMENTAZIONI UNITÀ IMMOBILIARI	45
FIGURA 4.16 POMPE DI ALIMENTAZIONE ACQUA CALDA E REFRIGERATA RISTORANTE	46
FIGURA 4.17 SCHEMA DI FUNZIONAMENTO VALVOLA A 3 VIE MISCELATRICE MODULANTE	47
FIGURA 4.18 MISCELAZIONE ACQUA TECNICA CALDA MEDIANTE ELETTROVALVOLA MISCELATRICE A 3 VIE	48
FIGURA 4.19 SCHEMA FILTRO AD Y	49
FIGURA 4.20 SEZIONE GIUNTO ANTIVIBRANTE	50
FIGURA 4.21 SEZIONE VALVOLA DI RITEGNO IN CONDIZIONI NORMALI DI FUNZIONAMENTO ED IN CONDIZIONE DI INVERSIONE DEL FLUSSO	51
FIGURA 4.22 PUNTO DI LAVORO E CARATTERISTICHE WILO STRATOS MAXO 50/05-16 ACQUA REFRIGERATA RISTORANTE ED IMPIANTO A DUE TUBI UNITÀ IMMOBILIARI	53
FIGURA 4.23 PUNTO DI LAVORO E CARATTERISTICHE WILO STRATOS MAXO 50/05-14 ACQUA CALDA RISTORANTE	54

FIGURA 4.24 3D SERBATOIO ACCUMULO ACS E RETI DI ALIMENTAZIONE	56
FIGURA 4.25 SEZIONE BOLLITORE ACS.....	58
FIGURA 4.26 CIRCOLATORE GEMELLARE	58
FIGURA 4.27 PUNTO DI LAVORO E CARATTERISTICHE WILO YONOS MAXO-D 30/05-7 ACQUA RICIRCOLO.....	59
FIGURA 4.28 PUNTO DI LAVORO E CARATTERISTICHE WILO YONOS MAXO-D 30/05-10 ACQUA CALDA SERPENTINA.....	60
FIGURA 4.29 SERBATOIO PREAUTOCLAVE IN ACCIAIO ZINCATO E GRUPPO DI PRESSURIZZAZIONE	61
FIGURA 4.30 TABELLA A VOLUME SERBATOIO PREAUTOCLAVE.....	62
FIGURA 4.31 GRUPPO DI PRESSURIZZAZIONE DA INSTALLARE	63
FIGURA 4.32 PUNTO DI LAVORO GRUPPO DI PRESSURIZZAZIONE DAB 2 NKVE 10/8 S T MCE 400-50	63
FIGURA 4.33 ADDOLCITORE A SCAMBIO DI RESINE E SERBATOIO SALAMOIA.....	65
FIGURA 4.34 DOSATORI DI ADDITIVI CHIMICI	66
FIGURA 4.35 PARTICOLARE COLLEGAMENTO DOSATORI E LINEA PRINCIPALE DI ADDUZIONE	66
FIGURA 4.36 VISTA 3D INSTALLAZIONE GRUPPO DI RIEMPIMENTO	67
FIGURA 4.37 SEZIONE GRUPPO RIEMPIMENTO.....	68
FIGURA 4.38 VISTA 1 3D LOCALE TECNICO AL PIANO TERRA	70
FIGURA 4.39 VISTA 2 3D LOCALE TECNICO AL PIANO TERRA	71
FIGURA 4.40 MINI CHILLER CONDENSATO AD ARIA EWAA-DV3P	72
FIGURA 4.41 SEZIONE UNITÀ DI RECUPERO CALORE CON RECUPERATORE ROTATIVO AERMEC MOD. ERSR 12.....	73
FIGURA 4.42 GRIGLIA AFONICA TIPO TROX NL E SILENZIATORE A SETTI	74
FIGURA 4.43 COLLEGAMENTO IMPIANTO ACQUA TECNICA A CHILLER	75
FIGURA 5.1 VENTILCONVETTORE PER INSTALLAZIONE A CASSETTE AERMEC MODELLO FCLI	76
FIGURA 5.2 VENTILCASSAFORMA	77
FIGURA 5.3 FAN COIL SOLAMENTE CANALIZZABILE AERMEC MODELLO FCZ-PO	77
FIGURA 5.4 FAN COIL CON POSSIBILITÀ DI CANALIZZAZIONE AERMEC MODELLO OMNIA UL-P	77
FIGURA 5.5 SEZIONE VALVOLA AUTOFLOW.....	79
FIGURA 5.6 ESEMPIO CAMPO DI LAVORO STABILIZZATORE AUTOFLOW CALEFFI.....	79
FIGURA 5.7 FUNZIONAMENTO AUTOFLOW AL DI SOTTO DEL CAMPO DI LAVORO	80
FIGURA 5.8 CRONOTERMOSTATO	80
FIGURA 5.9 VALVOLA DI ZONA.....	81
FIGURA 5.10 SCHEMA CASSETTA DI CONTABILIZZAZIONE	82
FIGURA 5.11 TUBAZIONI ACQUA CALDA	83
FIGURA 5.12 TUBAZIONI ACQUA REFRIGERATA.....	83
FIGURA 5.13 SEZIONE TUBO MULTISTRATO	84
FIGURA 5.14 TABELLA 1 ALLEGATO B DPR 412/93	85
FIGURA 5.15 MONTANTE A ALTIMETRICO ACQUA TECNICA.....	88
FIGURA 5.16 MONTANTE B ALTIMETRICO ACQUA TECNICA.....	89
FIGURA 5.17 RETE IDRONICA PIANO INTERRATO	90
FIGURA 5.18 RETE IDRONICA PIANO TERRA	91
FIGURA 5.19 DISPOSIZIONE 1° PIANO.....	92
FIGURA 5.20 DISPOSIZIONE 4° PIANO.....	93
FIGURA 6.1 REGOLATORE AUTOMATICO DI PORTATA RDR.....	100
FIGURA 6.2 ALTIMETRICO ARIA PRIMARIA	107
FIGURA 6.3 SECONDA PARTE ALTIMETRICO ARIA PRIMARIA	108
FIGURA 6.4 ESEMPIO DISTRIBUZIONE CANALI ARIA 2° PIANO	109
FIGURA 6.5 ESEMPIO DISTRIBUZIONE CANALI ARIA SENZA FAN COILS 4° PIANO	110
FIGURA 6.6 DIFFUSORE LINEARE	111
FIGURA 6.7 BOCCHETTA DI RIPRESA ARIA VIZIATA.....	113
FIGURA 6.8 ESEMPIO BOCCHETTA MANDATA ARIA PRIMARIA PRECEDUTA DA PLENUM PER AERAZIONE 4° PIANO.....	113
FIGURA 7.1 TUBAZIONI AFP	115
FIGURA 7.2 TUBAZIONI ACS E RICIRCOLO	115
FIGURA 7.3 PORTATA IN FUNZIONE DELLE UNITÀ DI CARICO CONSIDERANDO VASI CON CASSETTA	117
FIGURA 7.4 DIAMETRI TUBAZIONI FUNZIONE DELLA PORTATA E DELLA VELOCITÀ	118

FIGURA 7.5 ALTIMETRICO DISTRIBUZIONE ACQUA CALDA, FREDDA E RICIRCOLO	124
FIGURA 7.6 DISTRIBUZIONE RETE ACQUA SANITARIA PIANO TERRA	125
FIGURA 7.7 DISTRIBUZIONE RETE ACQUA SANITARIA 3° PIANO	126
FIGURA 8.1 SISTEMA DI SCARICO CON VENTILAZIONE PARALLELA DIRETTA	130
FIGURA 8.2 BRAGA A SQUADRA 88°1/2 RIDOTTA	131
FIGURA 8.3 TUBAZIONE IN POLIETILENE AD ALTA DENSITÀ SILENZIATO GEBERIT SILENT PE.....	132
FIGURA 8.4 TUBAZIONE IN POLIPROPILENE SILENZIATO GEBERIT SILENT PP.....	132
FIGURA 8.5 DISTRIBUZIONE RETE DI SCARICO E COLLEGAMENTO A RETE FOGNARIA CITTADINA	136
FIGURA 8.6 DISPOSITIVO SANITOP UP.....	137
FIGURA 8.7 POMPA DI DRENAGGIO WILO-DRAIN TS 32	138
FIGURA 8.8 POZZETTO GRUPPO ISB	139

Indice delle tabelle

TABELLA 3.1 RISULTATI CARICHI TERMICI.....	26
TABELLA 5.1 PORTATA REGOLATORE AUTOFLOW	87
TABELLA 5.2 DIMENSIONAMENTO COLONNE MONTANTI E TUBAZIONI DA CENTRALE TERMICA.....	94
TABELLA 5.3 DIMENSIONAMENTO TUBAZIONI PER LE SINGOLE UNITÀ IMMOBILIARI.....	95
TABELLA 6.1 PORTATE DI ARIA PRIMARIA	98
TABELLA 6.2 PORTATE DI ESTRAZIONE ARIA VIZIATA	99
TABELLA 6.3 CARATTERISTICHE CANALIZZAZIONI PRINCIPALI MANDATA ARIA PRIMARIA	103
TABELLA 6.4 CARATTERISTICHE CANALIZZAZIONI PRINCIPALI RIPRESA ARIA VIZIATA	105
TABELLA 7.1 UNITÀ DI CARICO PER GRUPPI DI APPARECCHI SPECIFICI PER ABITAZIONE PRIVATA.....	116
TABELLA 7.2 PORTATA MASSIMA CONTEMPORANEA E DIMENSIONAMENTO TUBAZIONI DA CENTRALE	117
TABELLA 7.3 CALCOLO PRESSIONE MINIMA NECESSARIA ALL'UTILIZZATORE PIÙ SFAVORITO: WC APPARTAMENTO 4C	119
TABELLA 7.4 DIAMETRI ALLACCI TUBAZIONI MULTISTRATO AFP E ACS PER OGNI APPARECCHIO SANITARIO	119
TABELLA 7.5 DIMENSIONAMENTO TUBAZIONI AFP MONTANTE A.....	120
TABELLA 7.6 DIMENSIONAMENTO TUBAZIONI ACS MONTANTE A.....	121
TABELLA 7.7 DIMENSIONAMENTO TUBAZIONE AFP MONTANTE B E DA CENTRALE.....	122
TABELLA 7.8 DIMENSIONAMENTO TUBAZIONE ACS MONTANTE B E DA CENTRALE	122
TABELLA 7.9 DIMENSIONAMENTO TUBAZIONE DI RICIRCOLO.....	123
TABELLA 8.1 DIAMETRI DI SCARICO PER I PRINCIPALI APPARECCHI SANITARI	131
TABELLA 8.2 UNITÀ DI SCARICO DU APPARECCHI SINGOLI SISTEMA II.....	133
TABELLA 8.3 PORTATA DI ACQUE REFLUE PER OGNI SCARICO.....	133
TABELLA 8.4 CAPACITÀ COLLETTORI DI SCARICO.....	134
TABELLA 8.5 DIMENSIONAMENTO COLLETTORI DI SCARICO.....	135

1 Introduzione

Quanto verrà descritto in questa trattazione riguarda la progettazione degli impianti fluido meccanici a servizio di un edificio residenziale sito in Milano, svolta presso lo studio A.C.T.A s.r.l. L'edificio in questione è sottoposto ad una ristrutturazione importante che prevede dal punto di vista architettonico oltre alla modifica del layout originale delle singole unità immobiliari l'aggiunta di una porzione di edificio abitabile.



Figura 1.1 Vista esterna edificio

Oggetto della ristrutturazione dell'edificio sono le 16 unità immobiliari suddivise in 4 piani a cui si aggiungono, al piano terra, un locale portineria e una palestra, con relativi locali di servizio. Al piano terreno sono presenti anche dei locali commerciali, la cui destinazione d'uso è ancora da definirsi, ed un ristorante entrambi oggetto di lavori di adeguamento e di sola fornitura di acqua calda e refrigerata per la climatizzazione degli ambienti.



Figura 1.2 Sezione piano terra

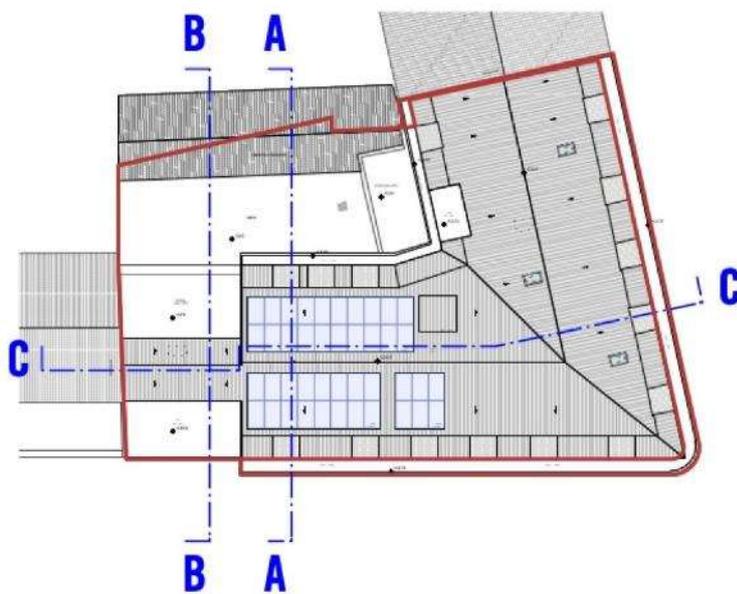


Figura 1.3 Sezioni edificio

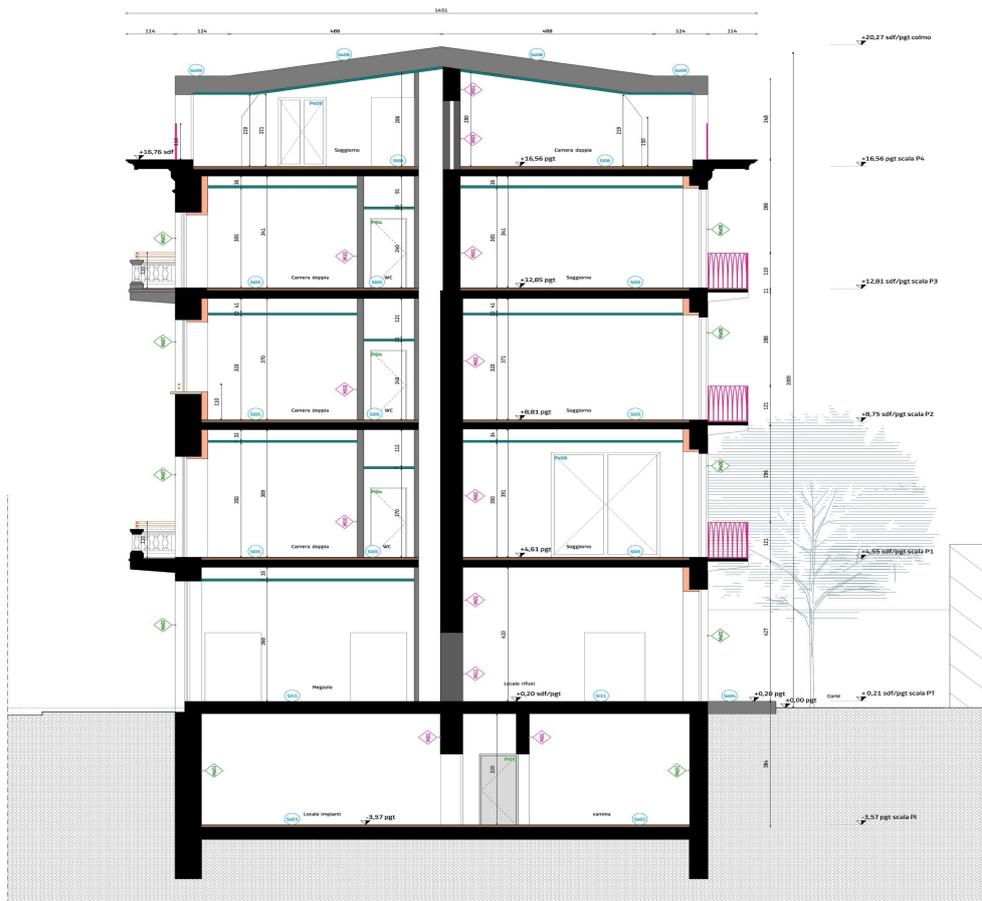


Figura 1.4 Sezione AA e CC

In particolare, dal punto di vista degli impianti fluido meccanici è prevista la realizzazione di:

Impianto termico centralizzato, di climatizzazione e ventilazione:

- Centrale termica, al piano interrato, equipaggiata con scambiatori di calore alimentati dalla rete di teleriscaldamento urbano, a servizio del riscaldamento degli ambienti e della produzione di acqua calda sanitaria;
- Pompe di calore condensate ad aria canalizzate, posizionate nel locale tecnico al piano terra, utilizzate per la produzione di fluido termovettore refrigerato a servizio dell'edificio residenziale e del locale ristorante;
- Mini chiller condensato ad aria a servizio dei locali commerciali;
- Ventilconvettori a singola batteria e radiatori scaldasalviette idronici utilizzati come terminali dell'impianto di riscaldamento e raffrescamento;
- Impianto di ventilazione meccanica controllata costituito da un recuperatore di calore ad alta efficienza con immissione dell'aria primaria tramite i ventilconvettori;

Impianti idrosanitari e di scarico:

- Rete di distribuzione di acqua fredda potabile, acqua calda sanitaria¹ e ricircolo;
- Colonne, tubazioni di scarico ed inoltre colonne di ventilazione parallela diretta;

¹ Denominata anche ACS

2 Identificazione delle possibili soluzioni impiantistiche

Prima di procedere con la descrizione della soluzione impiantistica adottata per il progetto in esame, in questo capitolo vengono analizzate le possibili alternative adottabili per la produzione di acqua calda sia tecnica che sanitaria e acqua refrigerata a servizio dei locali citati in precedenza.

2.1 Caldaia a gas a condensazione

Una possibile soluzione potrebbe corrispondere all'utilizzo di una caldaia a gas a condensazione per la produzione di acqua calda. Questa tipologia di caldaie permette di sfruttare l'energia termica contenuta nei fumi di scarico che altrimenti andrebbe dispersa. La temperatura dei fumi di scarico si avvicina generalmente a 1000 °C e a seguito dello scambio termico può diminuire sino a raggiungere i 40 °C. Il recupero di calore riguarda per circa il 90 % una componente sensibile recuperata tramite raffreddamento dei gas combusti ma il restante 10 % è di tipo latente ed è associato alla condensazione del vapore acqueo contenuto nei gas stessi. Al diminuire della temperatura il vapore contenuto nei fumi, raggiunta una temperatura variabile tra i 50-60 °C a seconda della percentuale di CO_2 contenuta nei gas di scarico, condensa e il calore latente di condensazione viene ceduto all'acqua con conseguente aumento del rendimento della caldaia. Nelle tabelle prestazionali delle caldaie è possibile trovare un rendimento² superiore al 100 % poiché calcolato in funzione del potere calorifico inferiore PCI. Il PCI di un combustibile rappresenta l'energia liberata durante la combustione considerando solamente la componente termica sensibile trascurando invece la componente latente. Viceversa, il rendimento inferiore al 100 % fa riferimento al calcolo effettuato considerando il potere calorifico superiore PCS e quindi considerando l'apporto di calore latente recuperato tramite la condensazione del vapore acqueo. Osservando l'equazione 2.1 infatti il rendimento della caldaia è inversamente proporzionale al potere calorifico e alla portata di combustibile \dot{m}_{comb} . \dot{Q}_u rappresenta la potenza termica utile resa disponibile dalla caldaia.

² Normativa di riferimento caldaie a gas UNI EN 15502-1:2022 in sostituzione di DIN EN 677:1998-08

$$\eta = \frac{\dot{Q}_u}{PC \cdot \dot{m}_{comb}} \quad (2.1)$$

L'utilizzo di una caldaia a condensazione risulta particolarmente adatto ad un funzionamento dell'impianto in bassa temperatura in combinazione all'utilizzo di ventilconvettori come terminali di climatizzazione. Questo poiché i ventilconvettori sono in grado di sfruttare, durante il riscaldamento, acqua ad una temperatura prossima ai 45 °C. Infatti, il funzionamento in bassa temperatura, per cui è previsto un attacco della tubazione di ritorno in caldaia distinta rispetto a quella di alta temperatura, consente di ottenere un'efficienza migliore in quanto una temperatura minore dell'acqua di ritorno consente un abbassamento maggiore della temperatura dei fumi di scarico con conseguente maggior recupero di calore latente. L'utilizzo della caldaia può essere esteso alla produzione di acqua calda sanitaria in quanto è possibile alimentare, tramite il fluido termovettore, la serpentina di scambio termico del serbatoio di accumulo di ACS. L'utilizzo della caldaia a condensazione per la produzione di ACS richiederebbe però una temperatura di mandata nella serpentina di scambio termico di circa 65-70 °C al fine di avere una temperatura di accumulo di circa 60 °C. Sarebbe quindi necessario, utilizzando un'unica caldaia, avere una temperatura di mandata di acqua tecnica di circa 65-70 °C la cui temperatura deve essere ridotta a 45-50 °C per quanto riguarda l'acqua destinata al circuito di riscaldamento funzionante in bassa temperatura. La diminuzione di temperatura può essere attuata tramite l'utilizzo di un'elettrovalvola miscelatrice a tre vie con regolazione a punto fisso.

Dati tecnici di UltraGas®		(125)	(150)
Intervallo di potenza termica a 40/30°C	kW	28-125	28-150
Intervallo di potenza termica a 80/60°C	kW	25-114	25-139
Rendimento a carico parziale 30%* (secondo EN 303)	%	108,1 / 97,4	108,0 / 97,3
Grado di rendimento normalizzato a 40/30 °C (secondo DIN 4702 parte 8)	%	109,6 / 98,7	109,6 / 98,7
Max. pressione d'esercizio	bar		
Contenuto d'acqua caldaia	litri	206	194
Peso della caldaia	kg	434	458
Dimensioni L/A/P	mm	820 / 1823	1336

Figura 2.1 Esempio tabella prestazionale caldaia a condensazione

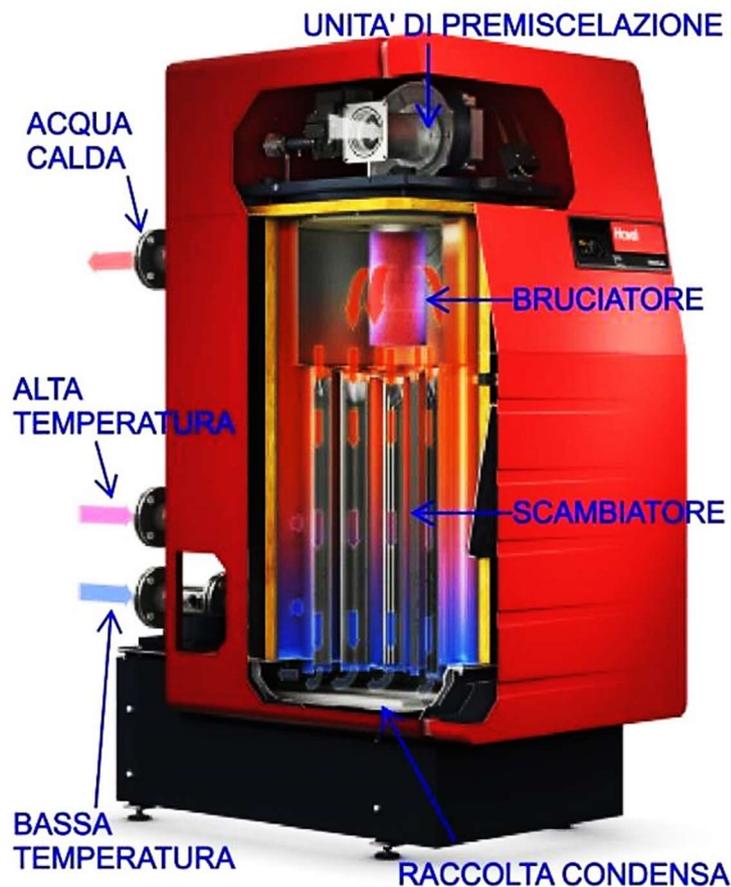


Figura 2.2 Caldaia a condensazione

In parallelo all'utilizzo di una caldaia a condensazione la produzione di acqua refrigerata utilizzata per la climatizzazione estiva deve essere realizzata autonomamente mediante l'utilizzo di pompe di calore condensate ad aria solamente refrigeranti. Le caratteristiche di questa specifica soluzione impiantistica verranno descritte nel dettaglio nel capitolo 4.2 in quanto corrispondono alla soluzione definitiva adottata per il progetto in esame.

2.2 Pompa di calore reversibile aria/acqua

Un'ulteriore soluzione potrebbe corrispondere all'utilizzo di una pompa di calore invertibile aria/acqua per la produzione di acqua calda e acqua refrigerata con un unico macchinario. Questa tipologia di macchina frigorifera commuta il suo effetto utile stagionalmente, ossia in base a quando vi sia richiesta di acqua refrigerata o calda. Nel caso in questione sarebbe possibile utilizzare una macchina frigorifera che utilizza come fluido refrigerante una miscela zeotropica R410a composta al 50 % di CH_2F_2 , difluorometano, e al 50 % di CHF_2CF_3 , pentafluoroetano, o rispettivamente

R32 e R125 secondo codifica ASHRAE. In questo caso trattasi entrambi di idrofluorocarburi, ossia refrigeranti sintetici derivanti dagli idrocarburi leggeri della serie paraffinica privi di cloro, che caratterizzano la miscela zeotropica con un indice di potenzialità distruttiva dell'ozono stratosferico ODP=0, così come nel caso di fluidi naturali.



Figura 2.3 Pompa di calore invertibile aria/acqua

Il funzionamento di questa tipologia di macchinari è basato sulla realizzazione di un ciclo frigorifero a compressione di un opportuno gas refrigerante, rappresentato schematicamente in figura 2.4. Per quanto riguarda il funzionamento estivo in condizioni di progetto si può ipotizzare l'aria esterna ad una temperatura di 35 °C. Il fluido refrigerante viene compresso sino alla pressione di condensazione a seguito della quale vi è uno scambio termico tra fluido refrigerante e l'aria esterna in quello che viene definito scambiatore esterno. Lo scambiatore esterno è costituito da un pacco alettato con tubi in rame ed alette in alluminio con superficie corrugata che ne aumenta la superficie di scambio termico. In corrispondenza di tale scambiatore avviene la condensazione del R410A in quanto il calore latente di condensazione

viene scambiato e assorbito dall'aria esterna che viene poi espulsa. Il fluido condensato viene in seguito laminato iso entalpicamente attraverso una valvola di espansione elettronica fino al raggiungimento della pressione di evaporazione. A seguito della fase di evaporazione il vapore di R410a circola nello scambiatore interno, ossia uno scambiatore a piastre ad espansione diretta, e scambia calore con l'acqua da refrigerare che si ipotizza in ingresso allo scambiatore ad una temperatura prossima ai 12 °C. Il gas refrigerante assorbe dall'acqua il calore latente di vaporizzazione ed evapora. Di conseguenza l'acqua cedente il calore latente di vaporizzazione viene refrigerata fino ad una temperatura di circa 7 °C in condizioni nominali di funzionamento.

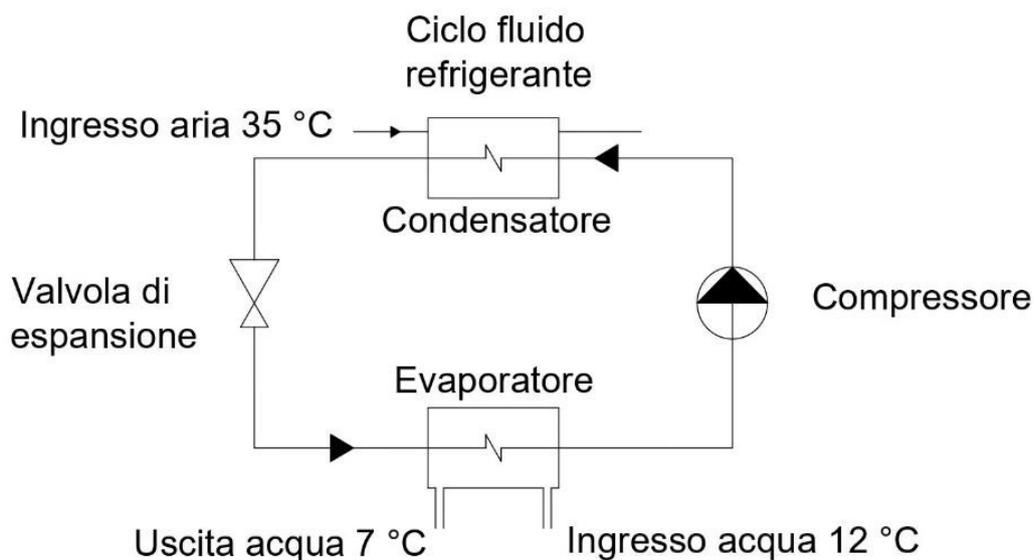


Figura 2.4 Schema funzionale semplice macchina frigorifera a compressione, condizione di funzionamento estiva

Nel dettaglio la possibile pompa di calore utilizzabile è caratterizzata da una coppia di compressori di tipo SCROLL il che permette di massimizzare l'efficienza EER^3 per un funzionamento a carichi parziali. Infatti, osservando l'equazione 2.2 relativa al EER anche chiamato COP_F^4 , a carichi parziali si ha una diminuzione dell'effetto utile

³ Energy Efficiency Ratio

⁴ Effetto frigorifero specifico

\dot{Q}_L , ossia la potenza termica di raffrescamento, a seguito della quale è necessaria una diminuzione della potenza meccanica assorbita dai compressori al fine di massimizzare tale efficienza. Al tempo stesso durante un funzionamento a carichi parziali è possibile avere un funzionamento della pompa di calore con un compressore in meno ed eventualmente anche di taglia più piccola, con riduzione della potenza assorbita, da cui ne consegue un funzionamento del ciclo tra due pressioni di condensazione e di evaporazione diverse. Tale variazione corrisponde alla riduzione della temperatura di condensazione e l'aumento di quella di evaporazione. Ovviamente vanno sempre rispettate le condizioni di esistenza di un ciclo bitermico inverso secondo le quali la temperatura di evaporazione deve essere minore di quella della sorgente termica esterna mentre viceversa accade per quella di condensazione. Quando si parla di temperatura della sorgente termica esterna, ad esempio acqua per evaporatore e aria esterna per condensatore in regime di funzionamento estivo, essendo quest'ultima variabile tra due estremi di temperatura in quanto avviene uno scambio termico si fa riferimento alla temperatura media logaritmica, equazione 2.3, funzione della variazione di entalpia specifica h [$\frac{J}{kg}$] ed entropia specifica s [$\frac{J}{kg \cdot K}$] della sorgente considerata.

$$COP_F = EER = \frac{\text{Energia ottenuta}}{\text{Energia spesa}} = \frac{\dot{Q}_L}{|\dot{W}|} \quad (2.2)$$

$$\bar{T} = \frac{(h_{in} - h_{us})}{(s_{in} - s_{us})} \quad (2.3)$$

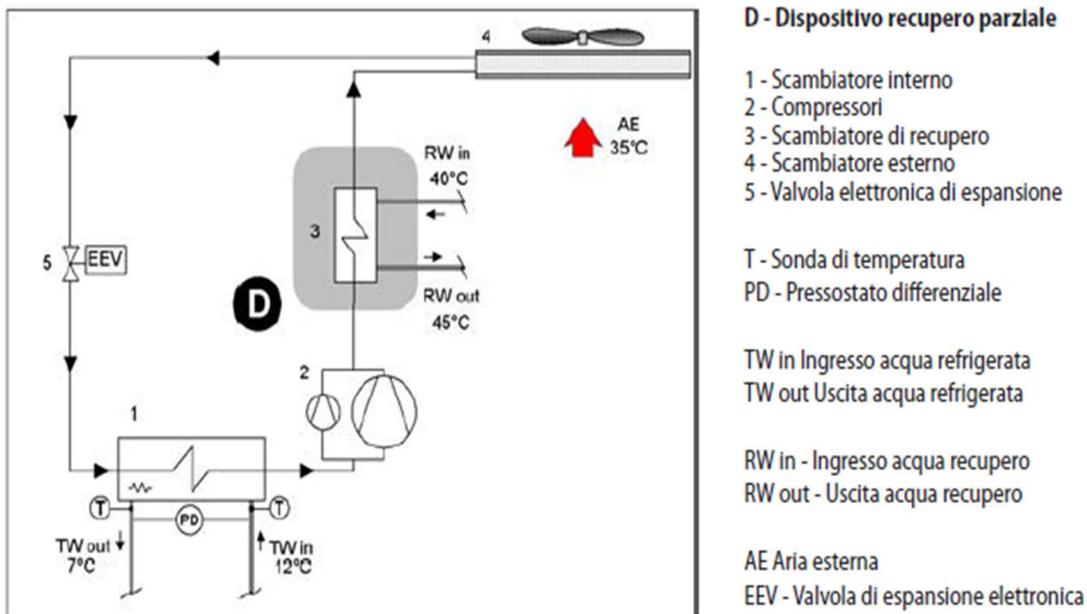


Figura 2.5 Schema macchina frigorifera con desurriscaldatore

Nel caso estivo sorge però un problema legato a questa tipologia di soluzione impiantistica. Infatti, risulterebbe impossibile produrre contemporaneamente acqua calda, da poter utilizzare per la produzione di acqua calda sanitaria, e acqua refrigerata. Al fine di ovviare parzialmente a tale problema è presente internamente al macchinario un desurriscaldatore per il recupero parziale di calore dal fluido in uscita dai compressori. Condizione di funzionamento fondamentale è che l'acqua in ingresso in questo scambiatore sia sempre ad una temperatura superiore ai 35 °C in quanto se non lo fosse causerebbe, per una pressione definita, la condensazione anticipata del fluido refrigerante.

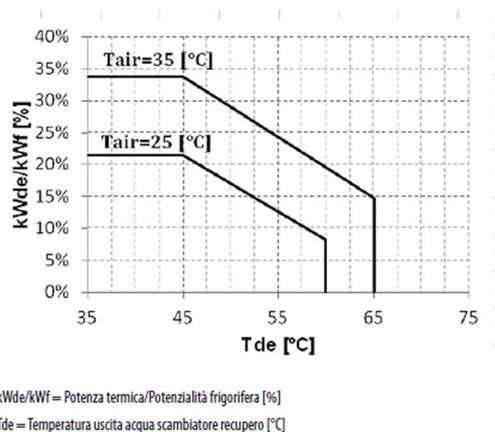


Figura 2.6 Andamento potenza termica recuperata/potenzialità frigorifera

Grandezze		122	162	182	222	262	302	352	402	
Raffreddamento										
Potenzialità frigorifera	1	kW	34,1	41,3	47,9	54,9	64,9	75,3	86,7	99,3
Potenza assorbita compressori	1	kW	13,0	14,6	17,1	21,5	23,5	26,5	32,3	36,5
Potenza assorbita totale	2	kW	16,4	18,1	21,3	25,6	28,5	32,8	39,0	43,2
Potenza termica recupero parziale	3	kW	11,8	14,0	16,3	19,1	22,1	25,5	29,7	33,9
Potenzialità frigorifera (EN14511:2013)	4	kW	33,9	41,0	47,6	54,5	64,5	75,0	86,3	98,9
Potenza assorbita totale (EN14511:2013)	4	kW	15,9	17,7	20,5	24,9	27,5	31,5	37,4	41,6
EER (EN 14511:2013)	4		2,13	2,32	2,32	2,19	2,35	2,38	2,31	2,38
SEER	13		2,63	3,10	3,17	3,08	3,36	3,31	3,32	3,40

Figura 2.7 Tabella prestazionale pompa di calore funzionamento estivo

Considerando una temperatura dell'aria di 35 °C, osservando la figura 2.6, si nota che il rapporto tra la potenza termica ottenuta tramite desurriscaldatore e la potenza frigorifera utile complessiva diminuisce all'aumentare della temperatura di uscita dell'acqua dallo scambiatore qualora si superino i 45 °C. Di conseguenza questo può essere penalizzante per temperature superiori ai 45 °C in quanto alla diminuzione della potenza termica ottenuta è associata una diminuzione dell'effetto utile in termini di portata di acqua utilizzabile per una corretta produzione di ACS. Quindi per impianti di maggiori dimensioni è conveniente lavorare con temperature di uscita dal desurriscaldatore più basse. Questo risulterebbe problematico poiché l'obiettivo è ottenere una temperatura di acqua tecnica in ingresso alla serpentina, installata nel serbatoio di accumulo di ACS, di circa 70 °C al fine di ottenere una temperatura di accumulo pari a circa 60°C. Risulta quindi necessario utilizzare in aggiunta una pompa di calore acqua/acqua non reversibile che permetta di innalzare la temperatura dell'acqua tecnica a servizio del bollitore di acqua sanitaria. Nello specifico questa tipologia di macchina, in funzione di una temperatura di ingresso al più di 45 °C, permette di avere un surriscaldamento dell'acqua anche fino ad 80 °C. Il funzionamento di questa pompa di calore è analogo, anche a livello di componentistica, a quello della pompa di calore aria/acqua ma con una sostanziale differenza a livello di scambiatori di calore che sono entrambi a piastre saldobrasate e per ciascuno la sorgente termica esterna è acqua.



Figura 2.8 Pompa di calore acqua-acqua non invertibile

Prestazioni in riscaldamento (Acqua lato utenza 70 °C / 78 °C; Acqua lato sorgente 45 °C / 40 °C) (1)										
Potenza termica	L	kW	70,3	77,7	93,2	114,6	143,7	181,7	220,5	265,9
Potenza assorbita	L	kW	16,7	18,0	21,6	27,7	34,7	44,3	55,4	66,4
Corrente assorbita totale a caldo	L	A	29,0	30,0	36,0	46,0	61,0	71,0	89,0	104,0
COP	L	W/W	4,22	4,31	4,33	4,14	4,14	4,11	3,98	4,00
Portata acqua utenza	L	l/h	7721	8537	10243	12592	15787	19973	24229	29221
Perdita di carico lato utenza	L	kPa	18	22	31	21	33	24	35	24
Portata acqua sorgente	L	l/h	9339	10400	12491	15141	18986	23950	28791	34785
Perdita di carico lato sorgente	L	kPa	12	15	10	15	8	12	16	23
Prestazioni in riscaldamento (Acqua lato utenza 70 °C / 78 °C; Acqua lato sorgente 35 °C / 30 °C) (2)										
Potenza termica	L	kW	56,7	62,7	75,2	92,4	115,9	146,5	177,8	214,4
Potenza assorbita	L	kW	16,3	17,6	21,0	27,0	33,9	43,2	54,0	64,7
Corrente assorbita totale a caldo	L	A	28,0	29,0	35,0	45,0	59,0	70,0	87,0	102,0
COP	L	W/W	3,48	3,56	3,58	3,42	3,42	3,39	3,29	3,31
Portata acqua utenza	L	l/h	6228	6886	8262	10157	12734	16110	19543	23570
Perdita di carico lato utenza	L	kPa	12	14	20	14	22	15	23	16
Portata acqua sorgente	L	l/h	7008	7820	9396	11340	14221	17924	21486	25974
Perdita di carico lato sorgente	L	kPa	7	9	6	8	4	7	9	13
Prestazioni in riscaldamento (Acqua lato utenza 47 °C / 55 °C; Acqua lato sorgente 10 °C / 7 °C) (3)										
Potenza termica	L	kW	35,6	39,4	47,3	58,1	72,9	92,2	111,8	134,8
Potenza assorbita	L	kW	9,8	10,6	12,7	16,3	20,4	26,1	32,6	39,1
Corrente assorbita	L	A	16,9	17,8	21,4	27,4	35,9	42,1	52,7	61,8
COP	L	W/W	3,62	3,71	3,73	3,56	3,57	3,53	3,43	3,45
Portata acqua utenza	L	l/h	3881	4291	5148	6329	7935	10039	12178	14688
Perdita di carico lato utenza	L	kPa	5	6	8	8	8	6	9	6
Portata acqua sorgente	L	l/h	7405	8259	9923	11988	15034	18952	22733	27478
Perdita di carico lato sorgente	L	kPa	8	10	6	9	5	7	10	15

Figura 2.9 Tabella prestazionale pompa di calore acqua-acqua

Per quanto riguarda invece il funzionamento invernale non vi è ovviamente alcuna necessità di recuperare calore tramite desurriscaldatore.

Nonostante questo, comunque è necessario l'utilizzo anche in questa situazione di una pompa di calore acqua/acqua al fine di aumentare la temperatura di mandata di acqua tecnica diretta al serbatoio di accumulo di ACS poiché comunque la temperatura di mandata della pompa di calore si aggira intorno ai 45-50 °C. A livello di ciclo di funzionamento della pompa di calore aria/acqua questo viene semplicemente invertito rispetto alla situazione di funzionamento estivo, ossia in fase di condensazione del fluido refrigerante l'acqua riceve il calore latente di condensazione e aumenta la sua temperatura mentre in fase di evaporazione il fluido riceve dall'aria esterna il calore latente di vaporizzazione. Per questa tipologia di macchina l'inversione del ciclo è interna ma in alcuni casi potrebbe non essere così per cui l'inversione andrebbe realizzata direttamente sul circuito idraulico esterno alla macchina. Così come per il ciclo estivo le temperature di condensazione ed evaporazione devono rispettare le condizioni di esistenza di un ciclo bitermico. Inoltre, ulteriore differenza rispetto al funzionamento estivo, è l'effetto utile che corrisponde in questo caso alla potenza termica di riscaldamento. Varia di conseguenza la definizione dell'efficienza di primo principio del ciclo chiamata anche fattore di moltiplicazione termica COP_P .

$$COP_P = \frac{|\dot{Q}_H|}{|\dot{W}|} \quad (2.4)$$

Riscaldamento										
Potenzialità termica	5	kW	40,5	48,2	58,3	67,2	79,2	92,4	103	111
Potenza assorbita compressori	5	kW	11,1	12,9	15,1	17,8	21,0	23,6	27,4	31,6
Potenza assorbita totale	2	kW	13,6	15,9	19,3	22,0	25,9	30,3	34,1	38,3
Potenzialità termica (EN14511:2013)	6	kW	41,0	48,3	59,0	68,0	80,0	92,4	103	112
Potenza assorbita totale (EN14511:2013)	6	kW	13,3	15,5	18,7	21,4	25,1	28,7	32,6	36,8
COP (EN 14511:2013)	6		3,09	3,12	3,16	3,17	3,19	3,22	3,17	3,05
ErP Classe energetica Riscaldamento d'ambiente - Clima MEDIO - W35	12		A+	A+	A+	A++	A+	A+	-	-
SCOP - Clima MEDIO - W35	13		3,25	3,31	3,51	3,94	3,75	3,36	3,50	3,80

Figura 2.10 Tabella prestazionale pompa di calore funzionamento invernale

2.3 Rete urbana di teleriscaldamento

Come ulteriore soluzione, adottata nel progetto definitivo, vi è l'utilizzo della rete di teleriscaldamento urbano. In questo caso la rete di produzione di acqua calda utilizzata per il riscaldamento delle unità immobiliari e per la produzione di acqua calda sanitaria è collegata a quella di teleriscaldamento urbano tramite uno scambiatore di calore a piastre. Mediante tale soluzione è possibile ottenere una temperatura di mandata di acqua al secondario di circa 70 °C il che la rende perfettamente utilizzabile per la produzione di ACS. Al contempo però per quanto riguarda l'alimentazione dei ventilconvettori e dei radiatori idronici, analogamente a quanto descritto nel capitolo 2.1, è opportuno miscelare l'acqua tecnica tramite una valvola miscelatrice a 3 vie a causa del funzionamento in bassa temperatura del circuito di riscaldamento. Per quanto riguarda la produzione di acqua refrigerata vengono utilizzate, come nel caso della soluzione impiantistica descritta nel capitolo 2.1, delle pompe di calore aria/acqua solamente refrigeranti. Questa soluzione verrà analizzata nel dettaglio nel capitolo 4 in cui verrà descritta la strutturazione ed il funzionamento della centrale termofrigorifera.

3 Calcolo dei carichi termici tramite software MC4

Il calcolo dei carichi termici rappresenta un passo fondamentale per una corretta progettazione dell'impianto di HVAC⁵ al fine di garantire delle condizioni ambientali ideali dal punto di vista del comfort termoigrometrico⁶. Non trascurabile il controllo della qualità dell'aria interna IAQ⁷ garantita anche mediante il rinnovo⁸ periodico dell'aria viziata con aria primaria che in questo caso viene realizzato mediante impianto di ventilazione meccanica controllata VMC, descritto nello specifico nel capitolo 6. Quando si parla di carichi termici si fa riferimento ad uno scambio di energia tra l'ambiente interno ed esterno definito in termini di potenza o flusso di energia. Convenzionalmente durante il periodo invernale il carico termico è correlato alla dispersione di calore viceversa durante il periodo estivo. Sostanzialmente durante il funzionamento invernale è opportuno, al fine di bilanciare il carico termico, fornire potenza termica di riscaldamento all'ambiente contrariamente a quanto accade durante il periodo di funzionamento estivo.

È possibile definire tre tipologie di carico termico:

- **Sensibile:** associato allo scambio termico tra ambiente interno ed esterno attraverso l'involucro dell'edificio. Questa tipologia di carico dipende principalmente dalla struttura della superficie opaca e/o vetrata in termini di conduttività termica e dall'esposizione della superficie stessa in quanto da esse dipendono apporti termici associati a fenomeni di conduzione, convezione ed irraggiamento. Questa tipologia di apporto termico è di tipo esogeno ma vi sono anche apporti termici sensibili di tipo endogeno, ossia generati internamente all'ambiente da apparecchiature, luci, persone ecc.
- **Latente:** associato ad un contributo entalpico di vapor d'acqua che influenza inoltre l'umidità relativa dell'ambiente interno.
- **Ventilazione:** contributo sensibile ed entalpico del carico termico associato all'immissione di aria esterna per il rinnovo dell'aria.

⁵ Heating, Ventilation and Air Conditioning

⁶ Normativa di riferimento ISO 7730

⁷ Indoor Air Quality

⁸ Normativa di riferimento UNI 10339

L'obiettivo, quindi, è calcolare opportunamente il contributo di tutti gli apporti termici e bilanciarli correttamente dimensionando adeguatamente i terminali adatti alla climatizzazione dei vari ambienti.

3.1 Condizioni di progetto interne ed esterne

Innanzitutto, è necessario definire, al fine di procedere con il calcolo dei carichi termici, le condizioni di progetto interne ed esterne. Le condizioni di progetto esterne sono state definite tramite la definizione dei dati climatici impostando la località dell'edificio soggetto a progettazione tramite la quale il software MC4 automaticamente definisce tutti i parametri ricavandoli dalla normativa 10349-1:2016. Per quanto riguarda le condizioni climatiche esterne di progetto, in termini di temperatura e umidità relativa, abbiamo:

- Inverno $T_{bs}=-5$ °C; UR=80 %
- Estate $T_{bs}=32$ °C; UR=50 %

In questo caso è stata selezionata la normativa di riferimento UNI EN 12831 per il calcolo dei carichi termici invernali tramite la quale il software ricava i parametri di calcolo fondamentali. Diversamente per il calcolo dei carichi termici estivi la normativa di riferimento scelta è ASHRAE.

Sono quindi state definite le condizioni di progetto degli ambienti interni definendo le zone climatiche per le specifiche destinazioni d'uso riguardanti unità immobiliari, locale portineria e locale destinato alla predisposizione di una palestra. Per quanto riguarda i locali commerciali ed il ristorante non è stato effettuato il calcolo dei carichi termici in quanto interessati da sola fornitura di acqua calda e refrigerata. Sono state definite una zona climatica di solo riscaldamento invernale utilizzata per i servizi igienici ed una zona in cui vi è una climatizzazione estiva ed invernale. Per quanto riguarda il riscaldamento dei servizi igienici viene realizzato principalmente con radiatori idronici, escluso il servizio igienico al piano interrato adibito per il locale portineria per il quale viene utilizzato un radiatore elettrico. Invece per quanto riguarda la climatizzazione invernale ed estiva degli ambienti è stato previsto, come anticipato, l'utilizzo di ventilconvettori.

Per ogni zona climatica sono state definite le seguenti condizioni di progetto interne:

- Inverno $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, umidità relativa non controllata;
- Estate $T = 26\text{ }^{\circ}\text{C}$, umidità relativa non direttamente controllata ma generalmente $\leq 60\%$;

Il contributo del calore latente in inverno non viene considerato in quanto corrisponde ad un apporto termico positivo e può essere trascurato. Anche il carico di ventilazione non è effettivamente presente, se non in minima parte al quarto piano, in quanto l'aria primaria non viene immessa direttamente in ambiente ma viene miscelata nel plenum di ripresa dell'aria ambiente del fan coil ed immessa tramite il fan coil stesso. Deve essere comunque considerato un contributo negativo dovuto alle infiltrazioni di aria tramite l'involucro che viene associato, per ogni ambiente climatizzato, ad una portata espressa in volumi ora ed in questo caso è stato posto pari a $0,30 \frac{\text{Volumi}}{h}$. Inoltre, una problematica non trascurabile e associata al corretto calcolo dei carichi termici è relativa al fenomeno di ponte termico. Il fenomeno del ponte termico avviene in corrispondenza di bruschi cambi di direzione ed in presenza di variazione della composizione della struttura tra due punti adiacenti il che genera flussi termici anomali che influiscono notevolmente sull'entità dei carichi termici. Al fine di considerare questo contributo sul carico termico è necessario definire composizione, tramite i materiali definiti in archivio di progetto, e forma delle zone critiche in cui è facilitata la formazione di un ponte termico.

Con la finalità di non appesantire la trattazione vengono riportati solamente i dati di progetto più importanti e a titolo di esempio solo alcune immagini relative a stratigrafie, materiali presenti nell'involucro dell'edificio utilizzati per la definizione dei ponti termici, infissi, esposizioni ecc.

Nella definizione dei parametri utili al calcolo dei carichi termici estivi oltre alle temperature di set point sono stati definiti profili orari di funzionamento delle apparecchiature e profili orari di occupazione degli ambienti tramite i quali vengono definiti gli apporti termici, sensibili e latenti, utili per il calcolo dei carichi estivi. È opportuno inoltre specificare che il calcolo dei carichi termici estivi ed invernali avviene diversamente. I carichi invernali infatti vengono calcolati in regime stazionario e gli apporti endogeni vengono trascurati al fine di considerare la

situazione più gravosa. I carichi termici estivi invece vengono calcolati in regime dinamico considerando il comportamento resistivo-capacitivo dell'involucro a cui si associa una variabilità dell'apporto termico. La condizione più gravosa dal punto di vista del carico termico estivo, a parità di altri contributi, si verifica quando è massimo l'apporto termico considerando la componente termica istantanea e la componente rilasciata dall'involucro dell'edificio con un certo sfasamento temporale. Nel calcolo del carico termico estivo generalmente vengono considerati tutti gli apporti endogeni sia di tipo sensibile che latente anche se nell'effettivo non essendoci un controllo diretto dell'umidità relativa degli ambienti interni la componente latente ricopre un ruolo più marginale. Nelle figure seguenti vengono riportate alcune immagini a titolo di esempio relative alla definizione delle esposizioni, profili orari e stratigrafia.

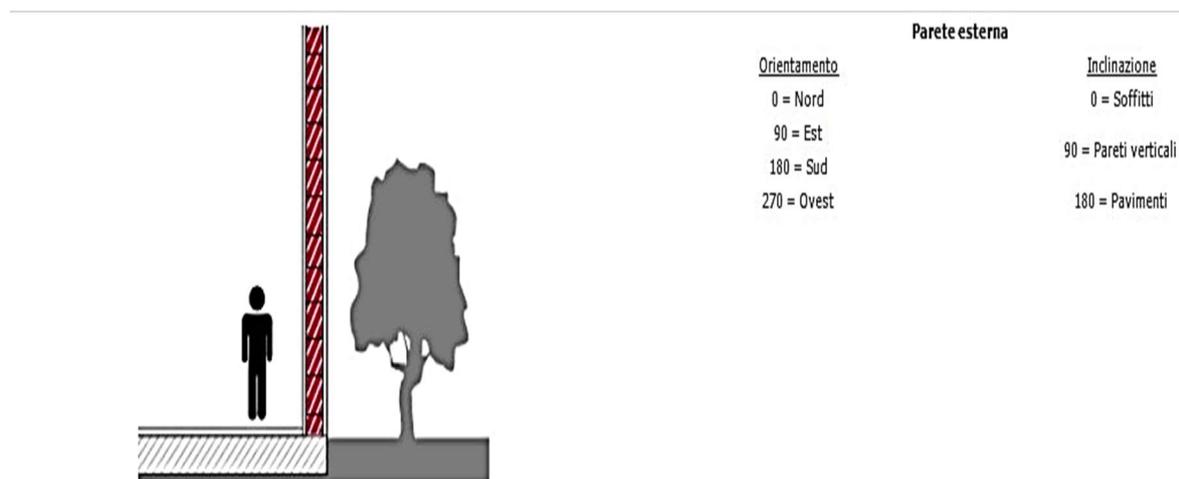


Figura 3.1 Esposizione NORD-NORD OVEST

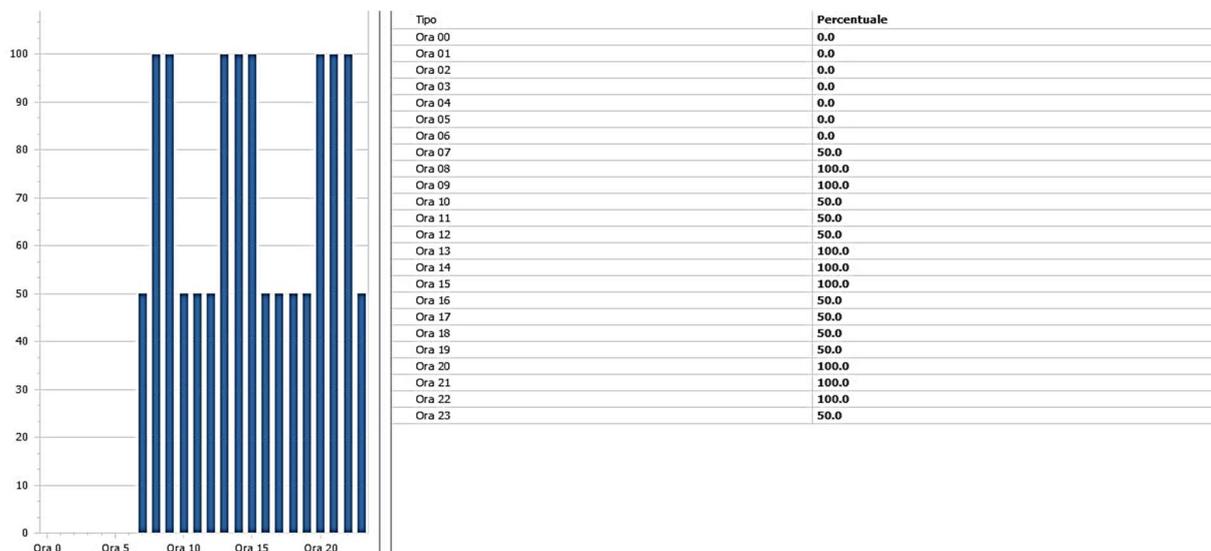


Figura 3.2 Profilo orario apparecchiature

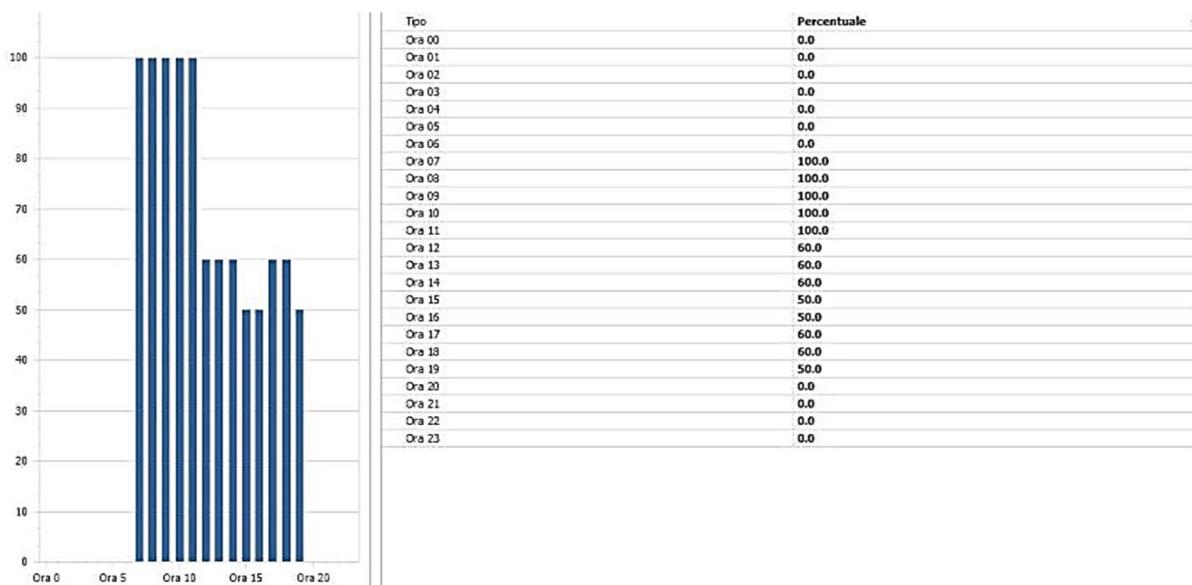


Figura 3.3 Profilo orario persone

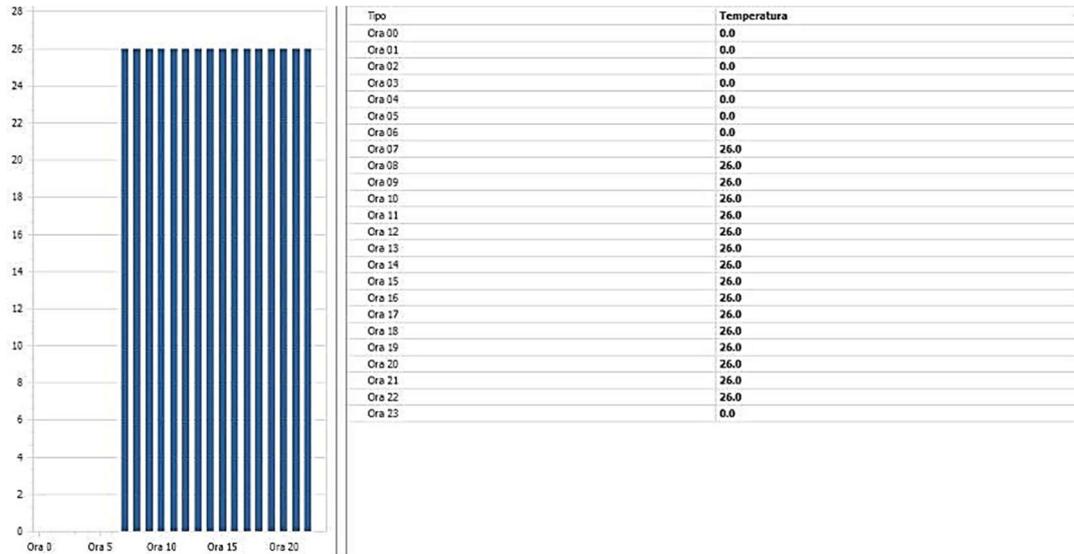
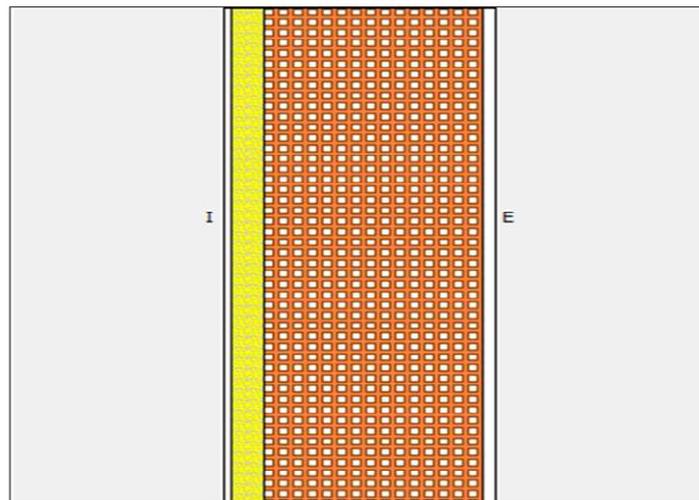


Figura 3.4 Profilo orario funzionamento impianto

STRUTTURA: DIVISORIO



Stratigrafia									
Descrizione materiale	s	λ	m	λ_m	R	D	DS	CT	μ
	[cm]	[W/(m·K)]	[%]	[W/(m·K)]	[(m ² ·K)/W]	[kg/m ²]	[kg/m ²]	[kJ/(kg·K)]	[-]
Aria ambiente									
Strato liminare interno					0,130				
Intonaco interno	1,5	0,7	0	0,7	0,021	1400	21,00	1	10
Silent Rock	6	0,019	0	0,019	3,158	60	3,60	1,03	5000
Parete esterna laterizio 1800	40	0,72	0	0,72	0,556	1800	720,00	0,84	11
Intonaco esterno	2	0,9	0	0,9	0,022	1800	36,00	1	20
Strato liminare esterno					0,130				
TOTALI	49,5				4,017		780,6		
Trasmittanza teorica					[W/(m ² ·K)]	0,249			
Incremento di sicurezza					[%]				
Trasmittanza adottata					[W/(m ² ·K)]	0,249			

Figura 3.5 Esempio stratigrafia divisorio interno

In figura 3.5 vengono riportati vari parametri in riferimento ai vari strati che compongono la parete quali densità volumica D e superficiale DS , spessore s , traspirabilità μ e conducibilità termica λ . Alcuni di questi parametri vengono utilizzati per definire la resistenza termica R utilizzata a sua volta per definire la resistenza termica totale e di conseguenza la trasmittanza termica U dell'intera struttura, equazione 3.1. Oltre alla resistenza del singolo strato vengono considerate la resistenza liminare interna ed esterna associate ad uno scambio termico convettivo. La trasmittanza è utilizzata per il calcolo del carico termico sensibile in funzione dell'estensione della superficie della struttura e delle temperature di progetto interne ed esterne come riportato nell'equazione 3.3. La traspirabilità invece moltiplicata per lo spessore del materiale permette di avere un'informazione circa la resistenza di tale parete all'attraversamento del vapore acqueo.

$$U = \frac{1}{\Sigma(R_{strato}) + R_{liminare_int} + R_{liminare_est}} \quad (3.1)$$

$$R_{strato} = \frac{s}{\lambda} \quad (3.2)$$

$$\dot{Q}_s = U \cdot Sup_{parete} \cdot \Delta T \quad (3.3)$$

3.2 Modellazione edificio

In seguito alla definizione dei parametri di calcolo è stato modellato l'intero edificio. Sono stati definiti innanzitutto i piani che compongono l'edificio stesso ponendo particolare attenzione al quarto piano. Infatti, come visibile nelle figure 1.1 e 1.4, il quarto piano è caratterizzato da un'altezza variabile dovuta non solo alla presenza di un tetto a falde ma anche della presenza di abbaini. Per questo motivo, al fine di semplificare la modellazione senza pregiudicare il calcolo dei carichi termici, è stato realizzato il piano considerando un'altezza media costante cercando di mantenere quindi invariata la superficie di scambio termico complessiva. In figura 3.6 vi è una rappresentazione dei vari piani e della loro altezza.

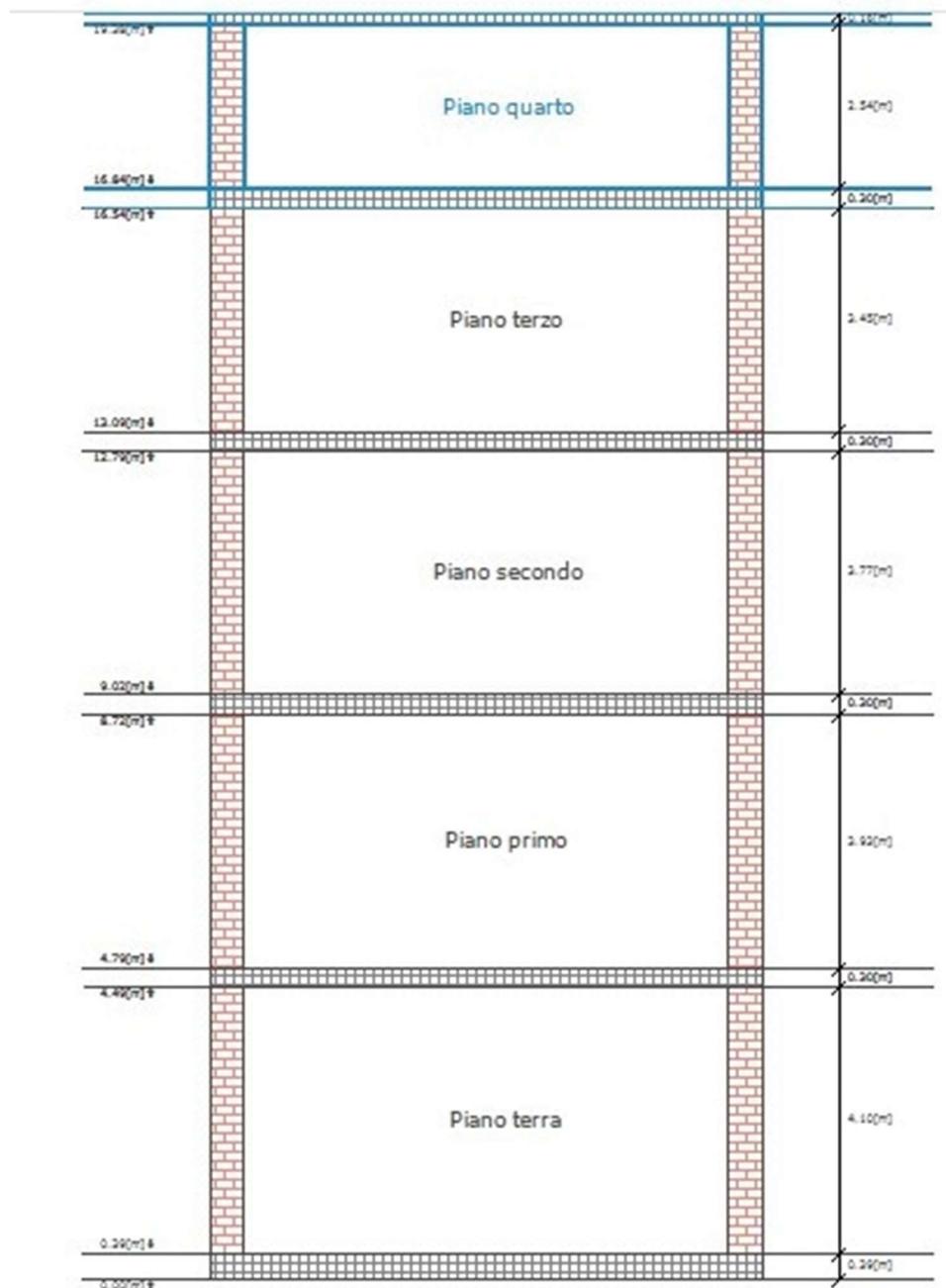


Figura 3.6 Piani dell'edificio interessati dal calcolo

Sono quindi stati definiti tutti gli ambienti utilizzando le strutture opache, vetrate o infissi definiti tramite modelli nell'archivio di progetto. Vengono di seguito riportate alcune immagini relative al modello finale. La colorazione diversa delle varie superfici è associata ad una specifica tipologia di struttura definita nell'archivio di progetto relativo alla stratigrafia delle pareti.

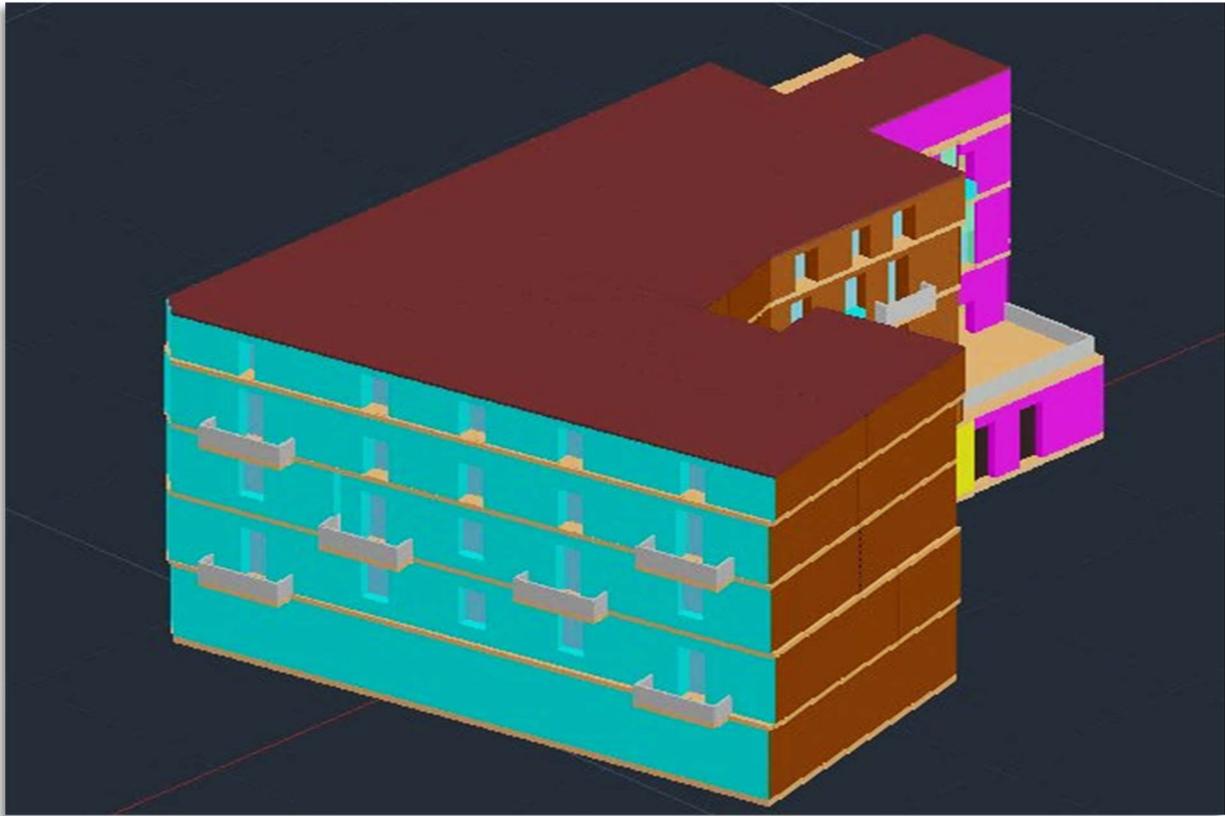


Figura 3.7 Prima vista modello

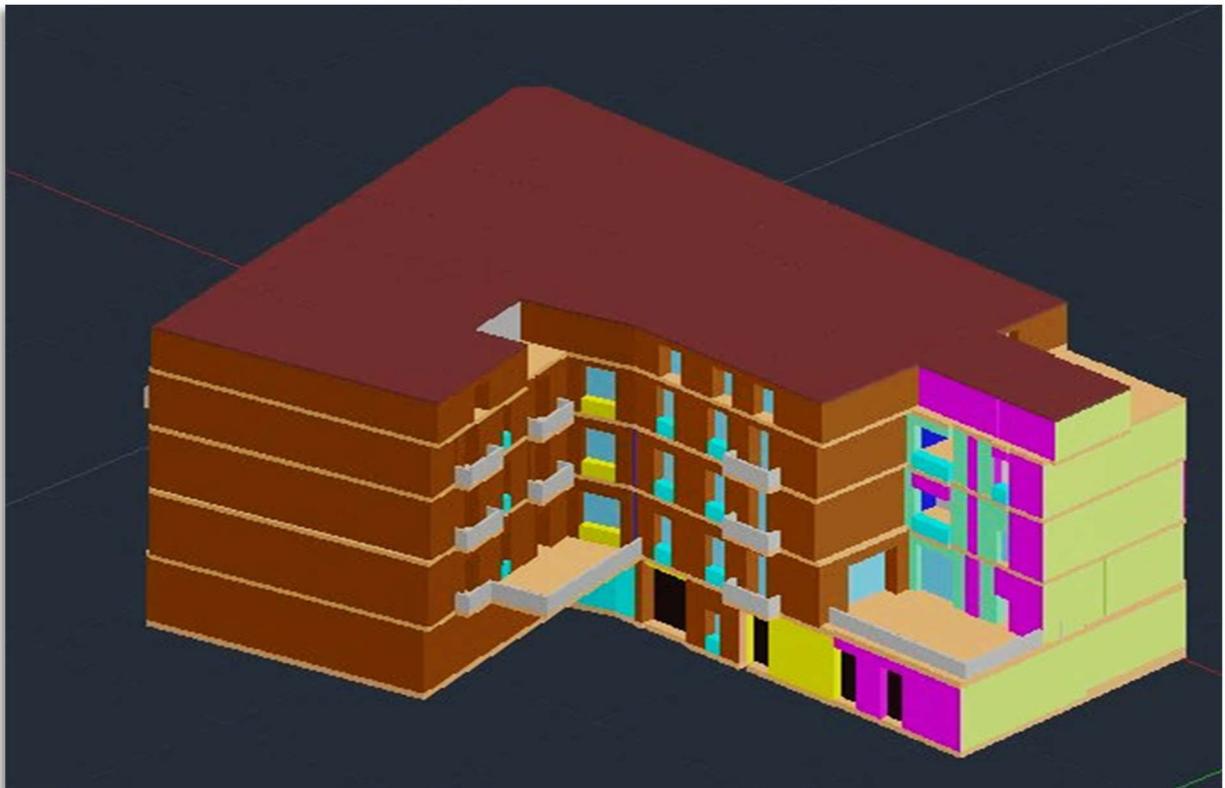


Figura 3.8 Seconda vista modello

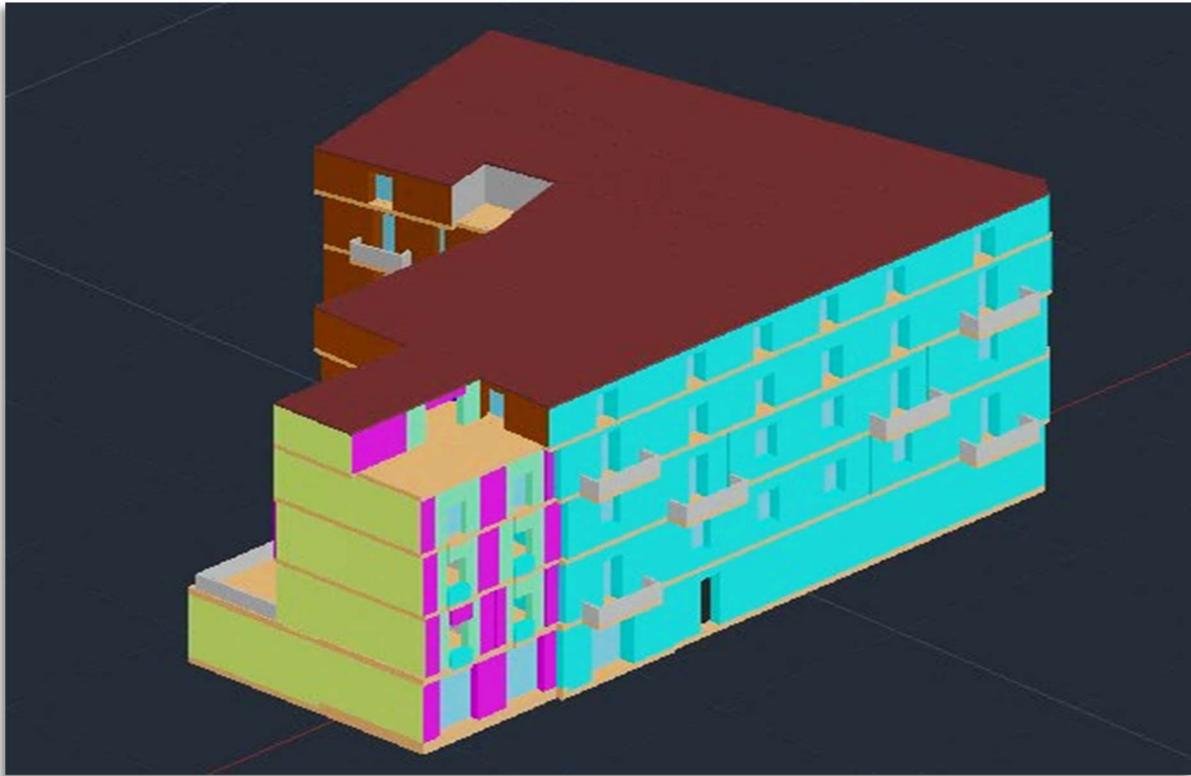


Figura 3.9 Terza vista modello

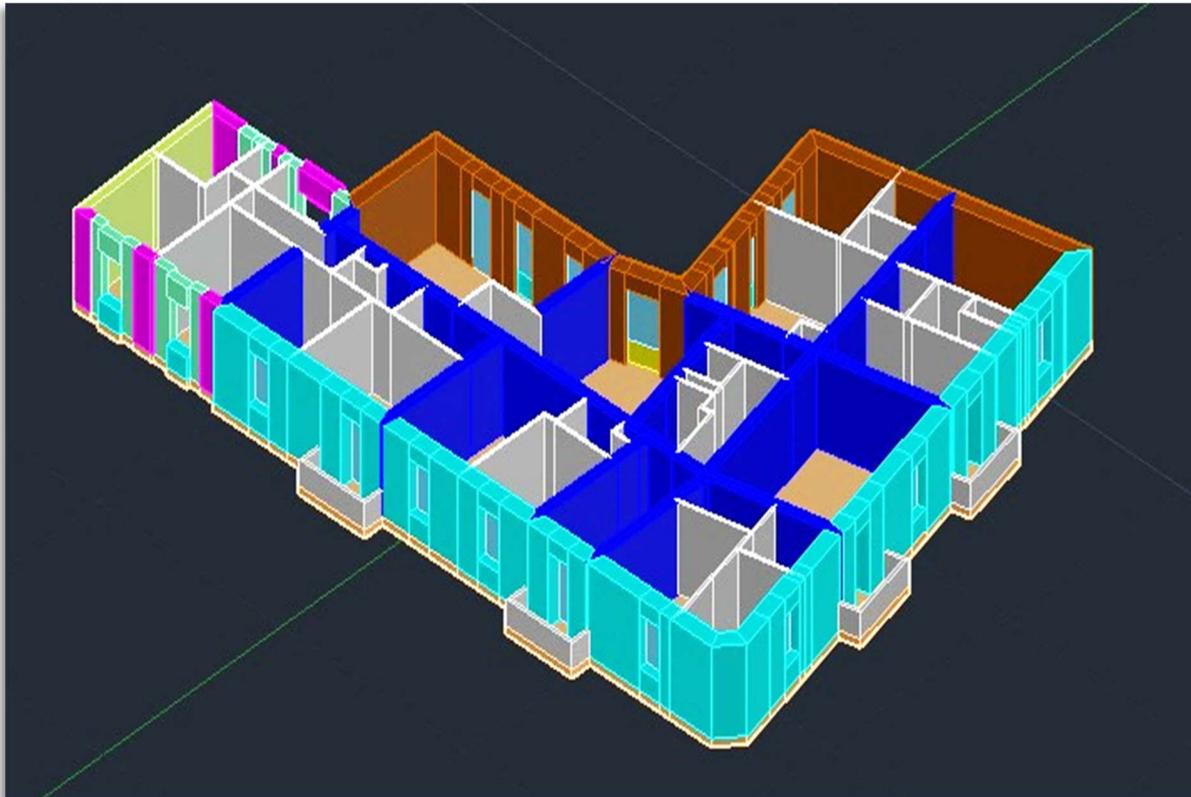


Figura 3.10 Sezione modello 2° piano

3.3 Risultati di calcolo

Nella tabella seguente vengono riportati i risultati dei calcoli dei carichi termici dell'edificio sia estivi che invernali. Nello specifico nel caso estivo viene riportata la suddivisione del carico nella componente sensibile e latente.

Tabella 3.1 Risultati carichi termici

	ESTATE			INVERNO
	SENSIBILE	LATENTE	TOTALE	SENSIBILE
	[W]	[W]	[W]	[W]
WC di servizio	/	/	/	528
Locale Portineria	188,5	63,9	252,4	425,3
Palestra	3455,6	689,1	4144,7	2522,6
WC palestra	/	/	/	527,4
A1⁹				
Soggiorno	1631,7	162,2	1739,9	1200,5
Cucina	305,1	37,6	342,7	276,1
WC	/	/	/	306,4
WC camera	/	/	/	121,2
C. doppia	455,5	84,4	539,9	261,9
C. singola	372,6	59,0	431,6	196,9
Soggiorno e cucina	/	/	2136,6	1476,6
B1				
WC	/	/	/	19,1
C. doppia	500,9	69,9	570,8	262,5
Soggiorno cottura	477,0	88,9	566,0	419,8
C1				
Soggiorno cottura	501,2	107,1	608,3	278,3
C. doppia	386,3	64,6	450,9	218,5
Bagno	/	/	/	21,9
D1				

⁹ Tipologia appartamento A,B,C,D o E, come riportato nelle immagini rappresentanti le distribuzioni in pianta, e numero relativo al piano di riferimento

C. doppia	408,2	75	483,3	203,5
C. doppia	590,7	96,2	686,9	447,3
C. singola	291,5	51,6	343,1	276,2
WC	/	/	/	79,3
Bagno	/	/	/	91,8
Soggiorno con angolo cottura	771,2	183,4	954,6	572,2
E1				
C. doppia	311,4	72,9	384,3	209,0
Soggiorno	760,3	142,8	903,1	384,4
WC camera	/	/	/	80,4
Camera doppia	410,4	88,5	498,8	276,4
Cucina	421,7	60,3	482,0	223,3
Wc camera	/	/	/	18,2
Soggiorno e cucina	/	/	1385,1	607,7
A2				
Soggiorno e cucina	1319,3	197,3	1516,6	829,2
WC	/	/	/	78,3
Bagno	/	/	/	159,3
C. doppia	463,3	83,0	546,3	284,7
C. singola	398,6	59,2	457,8	238,6
B2				
WC	/	/	/	49,5
C. doppia	404,7	64,8	469,4	334,3
Soggiorno cottura	547,2	83,1	630,4	399,5
C2				
Soggiorno con angolo cottura	521,9	105,4	627,3	456,8
C. doppia	379,4	61,7	441,1	285,7
Bagno	/	/	/	52,6
D2				

C. doppia	503,0	69,1	572,1	328,9
C. doppia	511,4	103,0	614,4	500,3
WC	/	/	/	353,5
Bagno	/	/	/	79,9
WC	/	/	/	75,3
Soggiorno con angolo cottura	829,8	181,0	1010,9	808,0
E2				
C. doppia	356,4	70,4	426,8	333,3
Soggiorno	786,0	135,4	921,5	559,9
WC camera	/	/	/	162,1
C. doppia	382,8	90,5	473,3	365,4
Cucina	522,7	75,0	597,7	405,4
WC camera	/	/	/	12,0
Soggiorno e cucina	/	/	1519,2	965,3
A3				
Zona giorno	1339,8	199,6	1539,3	1034,5
Studio	244,0	49,3	303,1	219,8
WC camera	/	/	/	104,2
C. doppia	415,7	59,6	475,3	292,7
C. singola	398,2	53,8	452,0	276,6
WC	/	/	/	43,4
C. doppia	510,7	66,9	577,6	342,4
Cucina	452,4	68,6	521,0	349,4
WC	/	/	/	28,4
B3				
Soggiorno	1019,4	173,3	1192,7	774,3
Cucina	377,6	46,1	423,8	260,3
C. doppia	575,9	82,7	658,6	514,5
C. singola	297,2	49,4	346,5	313,3
Bagno	/	/	/	43,3

WC	/	/	/	73,6
C. doppia	356,5	71,9	428,4	336,5
C3				
Bagno	/	/	/	107,4
C. doppia	380,5	79,5	460,0	222,4
C. doppia	412,1	79,3	491,5	259,9
C. singola	247,1	43,2	290,3	191,5
Bagno	/	/	/	107,4
Soggiorno	880,9	146,3	1027,2	443,8
Cucina	480,3	67,7	548,0	192,9
Lavanderia	/	/	/	19,0
Soggiorno e cucina			1575,2	636,7
A4				
C. doppia	480,1	56,6	536,8	323,3
C. doppia	396,7	46,4	443,1	225,0
Bagno	/	/	/	151,8
Zona giorno	1215,0	149,4	1364,4	743,3
Cucina	758,9	57,6	816,4	416,3
Studio/camera	365,0	36,4	401,5	181,0
WC	/	/	/	33,6
Lavanderia	/	/	/	61,3
B4				
Soggiorno con angolo cottura	1000,0	122,6	1122,5	544,7
C. doppia	654,7	83,5	738,2	522,8
Bagno	/	/	/	103,0
C. doppia	396,7	60,4	457,1	281,3
Bagno	/	/	/	24,9
C4				
Soggiorno con cucina	988,3	139,7	1128,0	1075,4

C. doppia	398,4	62,0	460,3	263,5
WC	/	/	/	80,5
C. singola	272,4	38,4	310,8	201,6
Studio/camera	371,6	56,0	427,6	259,2
Bagno	/	/	/	31,9

4 Descrizione impianti centrale termofrigorifera

4.1 Centrale Termica

La centrale termica, al piano interrato, è composta da:

- 2 scambiatori di calore a piastre caratterizzati da una potenza termica nominale di 100 kW a servizio delle unità immobiliari e 120 kW a servizio del ristorante. Entrambi gli scambiatori sono allacciati alla rete di teleriscaldamento urbano e sono utilizzati per la produzione di acqua calda tecnica e/o sanitaria a servizio delle 16 unità immobiliari e del ristorante;
- 2 serbatoi inerziali di accumulo di acqua refrigerata in acciaio nero con capacità di 500 litri ciascuno. Ciascun serbatoio è isolato termicamente tramite rivestimento in gomma espansa con spessore di 50 millimetri;
- Serbatoio di accumulo di acqua calda sanitaria in acciaio inox con capacità 500 litri coibentato con lana minerale con spessore di 100 millimetri e finitura in lamierino di alluminio;
- Serbatoio preautoclave in acciaio zincato e capacità di 1000 litri;
- Addolcitore a scambio di resine completo di serbatoio salamoia per rigenerazione e sistema di disinfezione automatico delle resine;
- Sistema dosatore di additivo disinfettante antilegionella;
- Sistema dosatore di additivo antincrostante per uso alimentare;
- Sistema dosatore di additivo filmante anticorrosivo specifico per impianti tecnologici tipo K375;
- I 3 sistemi dosatori sono completi di:
 - Serbatoio da 100 litri con allarme di minimo livello
 - Pompa dosatrice
 - Trasmettitore conta impulsi
- Gruppo di pressurizzazione per acqua potabile composto da 2 elettropompe caratterizzate da una portata pari a $12 \frac{m^3}{h}$ ciascuna e prevalenza 5 bar. Entrambe le elettropompe sono dotate di azionamento con inverter;

- Cinque circolatori a rotore bagnato a comando elettronico, installati con albero motore in orizzontale, suddivisibili in:
 - Pompa in linea controllata elettronicamente e dotata di inverter con portata $8,6 \frac{m^3}{h}$ e prevalenza 1,5 bar a servizio del raffrescamento e riscaldamento delle unità immobiliari;
 - Pompa in linea controllata elettronicamente e dotata di inverter con portata $5 \frac{m^3}{h}$ e prevalenza 1,5 bar per adduzione di acqua tecnica calda al ristorante;
 - Pompa in linea controllata elettronicamente e dotata di inverter con portata $8,6 \frac{m^3}{h}$ e prevalenza 1,5 bar per adduzione di acqua refrigerata al ristorante;
 - Circolatore con portata $3,5 \frac{m^3}{h}$ e prevalenza 0,5 bar per adduzione di acqua tecnica calda, in uscita dallo scambiatore, alla serpentina di scambio termico contenuta nell'accumulo di ACS;
 - Circolatore di ACS con portata $1,5 \frac{m^3}{h}$ e prevalenza 0,5 bar utilizzata per il circuito di ricircolo;
- Collettori di sicurezza INAIL, vasi di espansione, elettrovalvole, valvole di sicurezza e accessori vari necessari al corretto funzionamento dell'impianto.
- I sistemi di regolazione previsti per la centrale termofrigorifera sono realizzati tramite microprocessore programmabile del tipo DDC.

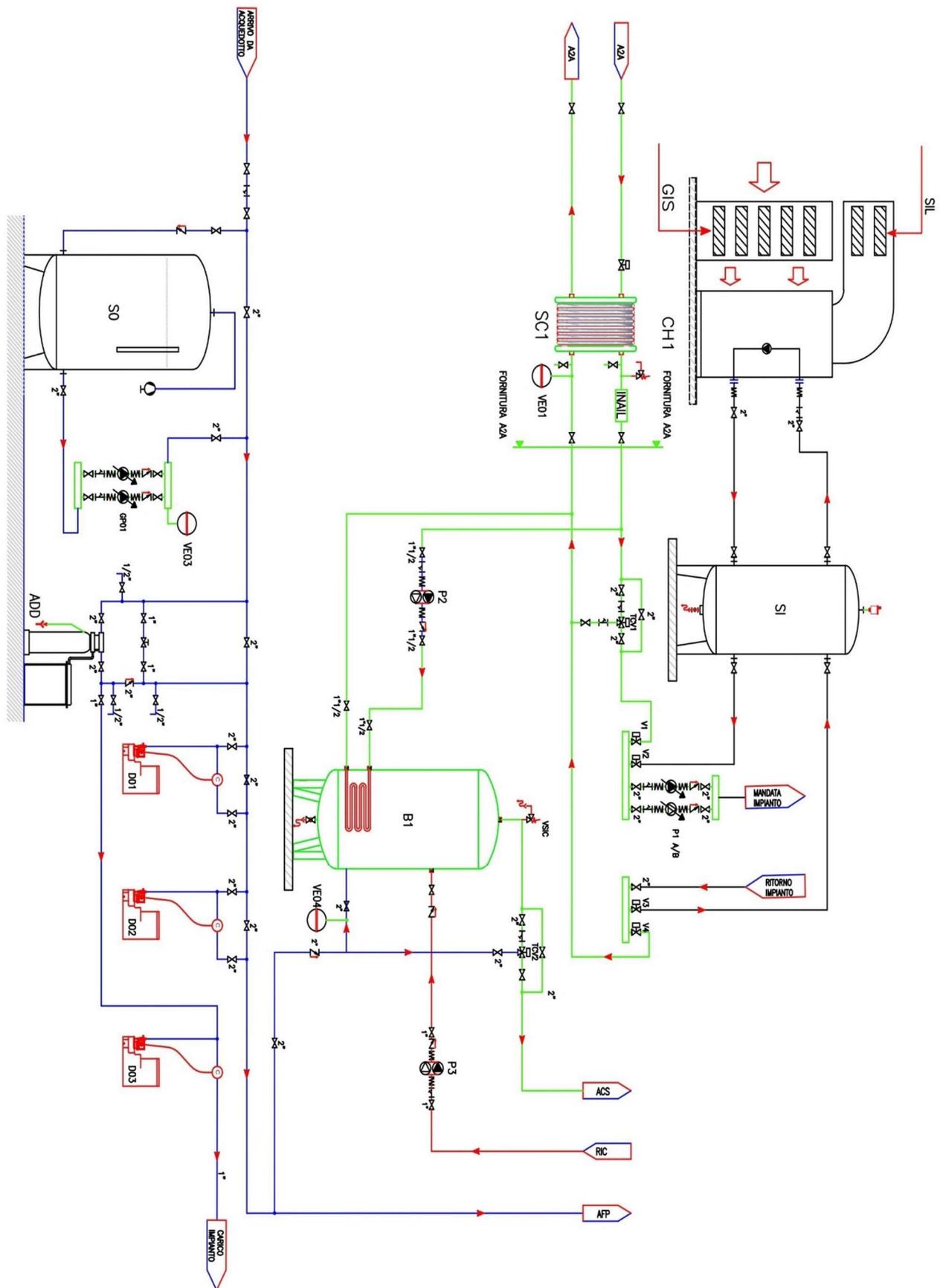


Figura 4.1 Schema funzionale porzione centrale termica a servizio delle unità immobiliari, palestra e locale portineria

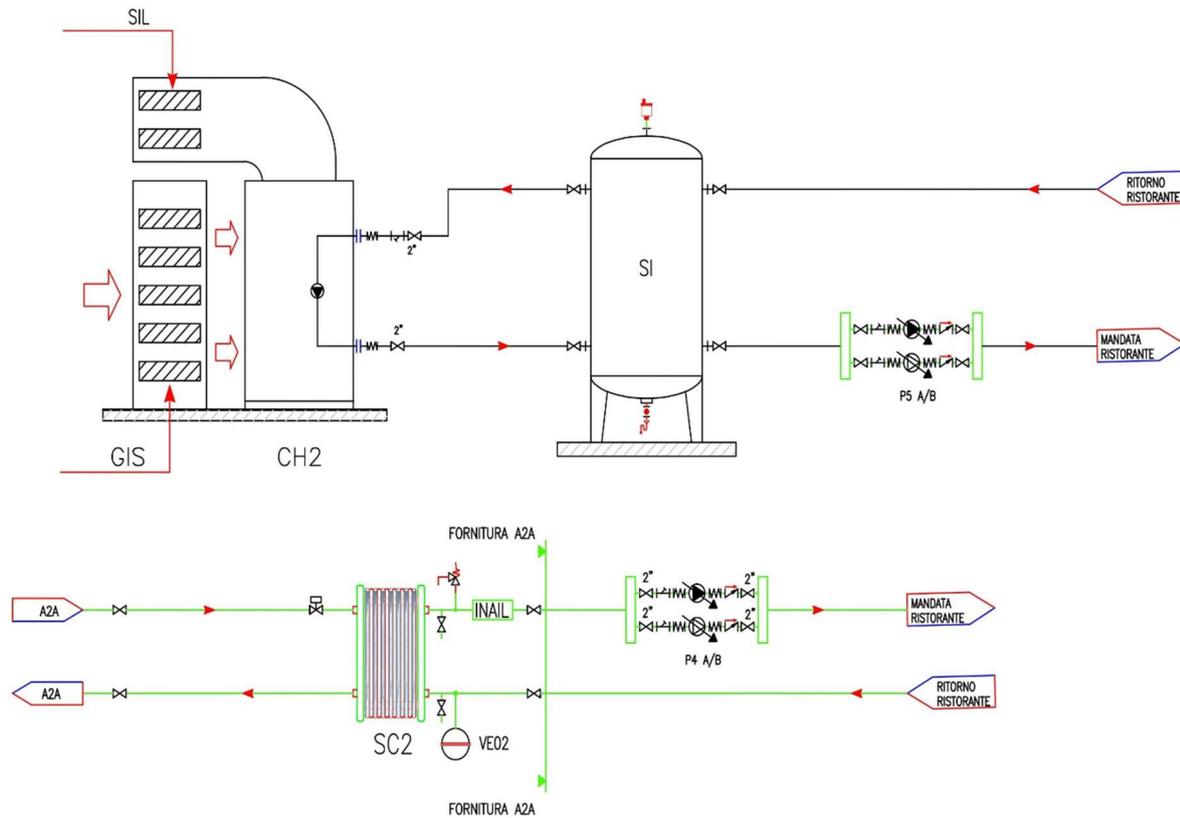


Figura 4.2 Schema funzionale centrale termica a servizio del ristorante

LEGENDA	
OGGETTO	DEFINIZIONE
	ELETTRIVALVOLA A DUE VIE
	ELETTRIVALVOLA A TRE VIE
	VALVOLA DI INTERCETTAZIONE
	VALVOLA DI NON RITORNO
	FILTRO A Y
	RIDUTTORE DI PRESSIONE AUTOAZIONATO
	VALVOLA DI SICUREZZA
	GIUNTO ANTIVIBRANTE IN GOMMA
	RUBINETTO CON SCARICO CONVOGLIATO
	ELETTROPOMPA DI CIRCOLAZIONE DI RISERVA
	ELETTROPOMPA DI CIRCOLAZIONE IN FUNZIONE
	ELETTROPOMPA DI CIRCOLAZIONE IN FUNZIONE CON INVERTER
	ELETTROPOMPA DI CIRCOLAZIONE DI RISERVA CON INVERTER
	DISCONNETTORE IDRAULICO
	TUBAZIONE MANDATA ACQUA CALDA
	TUBAZIONE RITORNO ACQUA CALDA
	TUBAZIONE MANDATA ACQUA REFRIGERATA
	TUBAZIONE RITORNO ACQUA REFRIGERATA
	TUBAZIONE ACQUA POTABILE
	TUBAZIONE ACQUA POTABILE ADDOLCITA
	TUBAZIONE RICIRCOLO

Figura 4.3 Legenda impianto

LEGENDA APPARECCHIATURE	
CH1	GRUPPO FRIGORIFERO CONDENSATO AD ARIA, CANALIZZATO PER INSTALLAZIONE IN LOCALE TECNICO -POTENZA FRIGORIFERA: 50kW. -(ARIA 35°C-ACQUA 12-7°C) -COMPLETO DI ELETTROPOMPA CENTRIFUGA
CH2	GRUPPO FRIGORIFERO CONDENSATO AD ARIA, CANALIZZATO PER INSTALLAZIONE IN LOCALE TECNICO -POTENZA FRIGORIFERA: 50kW. -(ARIA 35°C-ACQUA 12-7°C) -COMPLETO DI ELETTROPOMPA CENTRIFUGA
CH3	POMPA DI CALORE A SERVIZIO DELLA EX PANETTERIA, -CONDENSAZIONE AD ARIA -POTENZA FRIGORIFERA: 10kW. -POTENZA TERMICA: 10kW.
SC1	SCAMBIATORE DI CALORE A PIASTRE -RISCALDAMENTO -POTENZA TERMICA: 100 kW (SECONDARIO 50-70 °C) -FORNITURA A2A
SC2	SCAMBIATORE DI CALORE A PIASTRE -RISCALDAMENTO RISTORANTE -POTENZA TERMICA: 120 kW (SECONDARIO 60-80 °C) -FORNITURA A2A
SIL	SILENZIATORE PER CANALE ARIA -SEZIONE INDICATIVA: 2000X1000 mm -L _≈ 1000 mm -COMPLETO DI GRIGLIA DI ESPULSIONE CON ALETTE PARAPIOGGIA E RETE INOX ANTIVOLATILE.
SI	SERBATOIO INERZIALE ACQUA REFREGERATA IN ACCIAIO NERO - COIBENTATO CON GOMMA ESPANSA TIPO ARMAFLEX 50mm -CAPACITA': 500L
GIS	GRIGLIA SILENZIATA DI PRESA ARIA -SEZIONE INDICATIVA: 2000X2250 mm -TIPO TROX NL-H O EQUIVALENTE -COMPLETA DI GRIGLIA PAE CON ALETTE PARAPIOGGIA E RETE INOX ANTIVOLATILE.
B1	SERBATOIO ACCUMULO ACS -ACCIAIO INOX -COIBENTATO LANA MINERALE 100 mm -FINITURA LAMIERINO ALLUMINIO -CAPACITA': 500L
S0	PREAUTOCLAVE IN ACCIAIO ZINCATO -COMPLETO DI COMPRESSORE ARIA -CONTROLLO LIVELLO - CONTROLLO PRESSIONE -CAPACITA': 1000L
INAIL	ACCESSORI INAIL -RACCOLTA "R" -FORNITURA: A2A
ADD	ADDOLCITORE A SCAMBIO DI RESINE COMPLETO DI SERBATOIO SALAMOIA PER RIGENERAZIONE E SISTEMA DISINFEZIONE AUTOMATICO DELLE RESINE -COMPLETO DI CONTROLLO PER RIGENERAZIONE CICLICA -PORTATA NOMINALE 16 mc/h -CAPACITA' CICLICA 1950 m ³ F
D01	SISTEMA DOSATORE ADITIVI CHIMICI COMPLETO DI SERBATOIO (100L) CON ALLARME MINIMO LIVELLO, POMPA DOSATRICE, TRASMETTITORE CONTAMPULSI ED ACCESSORI DI MONTAGGIO -ADDITIVO: DISINFETTANTE ANTILEGIONELLA
D02	SISTEMA DOSATORE ADITIVI CHIMICI COMPLETO DI SERBATOIO (100L) CON ALLARME MINIMO LIVELLO, POMPA DOSATRICE, TRASMETTITORE CONTAMPULSI ED ACCESSORI DI MONTAGGIO -ADDITIVO: ANTICROSTANTE PER USO ALIMENTARE
D03	SISTEMA DOSATORE ADITIVI CHIMICI COMPLETO DI SERBATOIO (100L) CON ALLARME MINIMO LIVELLO, POMPA DOSATRICE, TRASMETTITORE CONTAMPULSI ED ACCESSORI DI MONTAGGIO -ADDITIVO: FILMANTE ANTICORROSIVO PER USO IMPIANTI TECNOLGICI (TIPO K375)
V1-V2 V3-V4	ELETTROVALVOLE A SFERA ON-OFF PER COMMUTAZIONE STAGIONALE 2"
TCV 1	ELETTROVALVOLA MISCELATRICE MODULANTE COMPLETA DI SERVOMOTORE
TCV 2	ELETTROVALVOLA MISCELATRICE MODULANTE PER CONTROLLO ACS
GP01	GRUPPO PRESSURIZZAZIONE ACQUA POTABILE PREMONTATO SUSKID -N'2 ELETTROPOMPE MULTIGIRANTE INOX (2X12 mc/h A 5bar) COMPLETO DI AZIONAMENTO INVERTER E VASO DI ESPANSIONE.

Figura 4.4 Legenda apparecchiature

Nelle figure precedenti sono stati riportate le immagini relative allo schema funzionale della centrale termica a supporto della sua realizzazione. In realtà per semplicità grafica sono presenti anche elementi che in realtà non fanno parte nell'effettivo del locale al piano interrato quali le pompe di calore CH1, CH2 utilizzate unicamente per la produzione di acqua refrigerata. La loro predisposizione nel locale tecnico, al piano terra, e specifico utilizzo verrà descritto nel dettaglio nel capitolo 4.2.

Nelle immagini che seguono, figure 4.5,4.6 e 4.7, viene raffigurato il modello 3D relativo alla possibile configurazione della centrale termica realizzato tramite il software EDIFICIUS di ACCA software

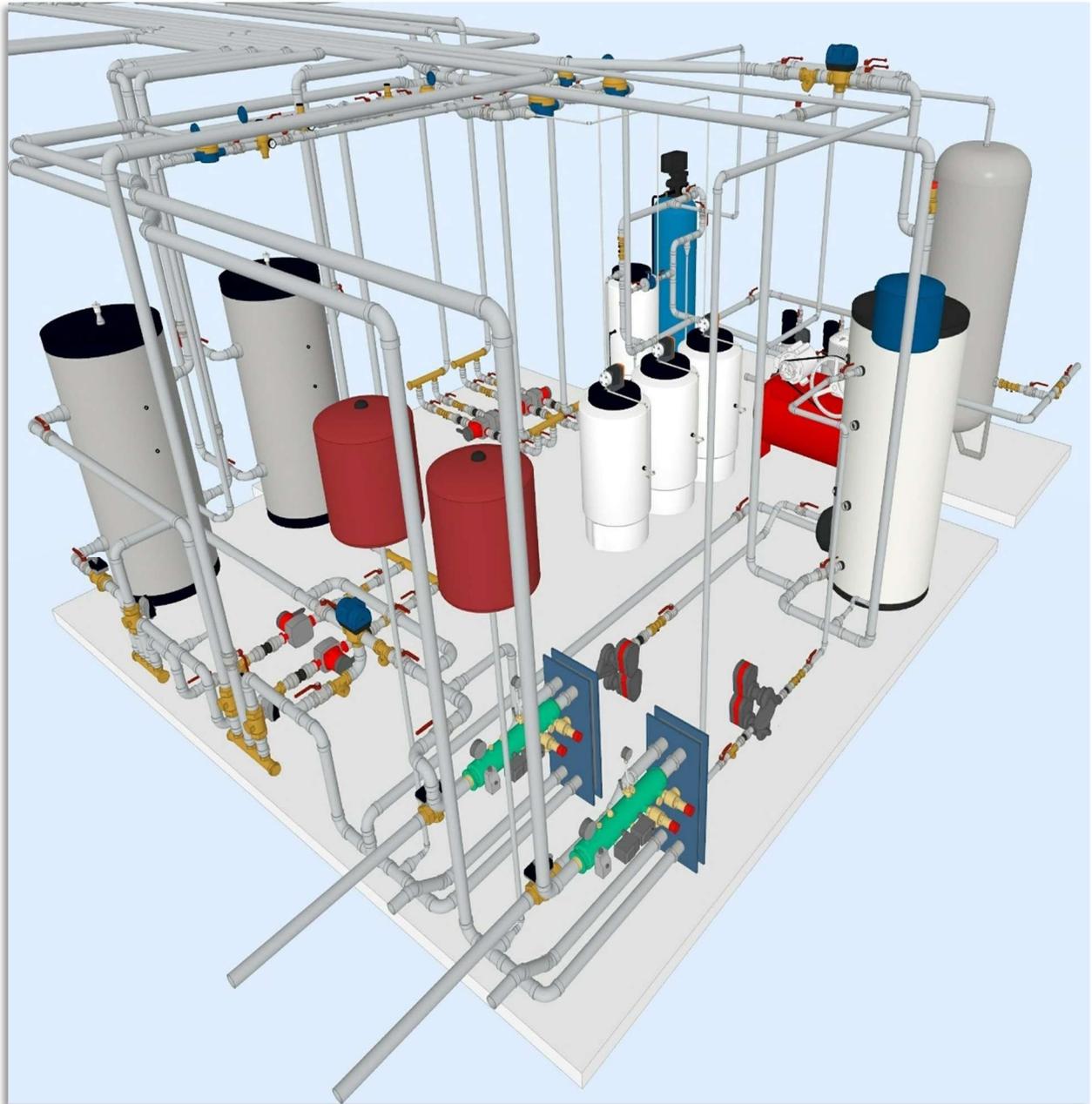


Figura 4.5 Vista 1 modello 3D centrale termica

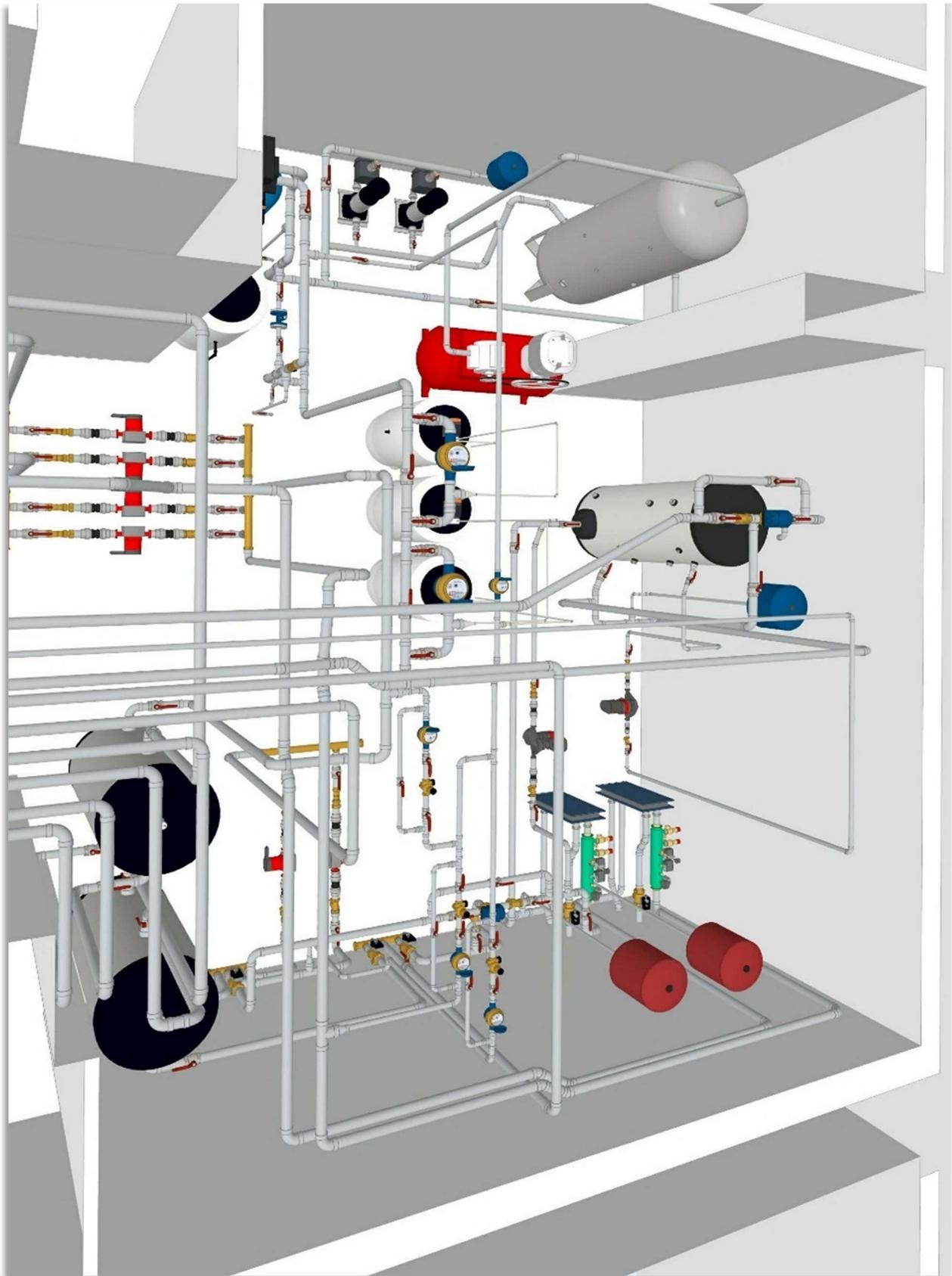


Figura 4.6 Vista 2 modello 3D centrale termica

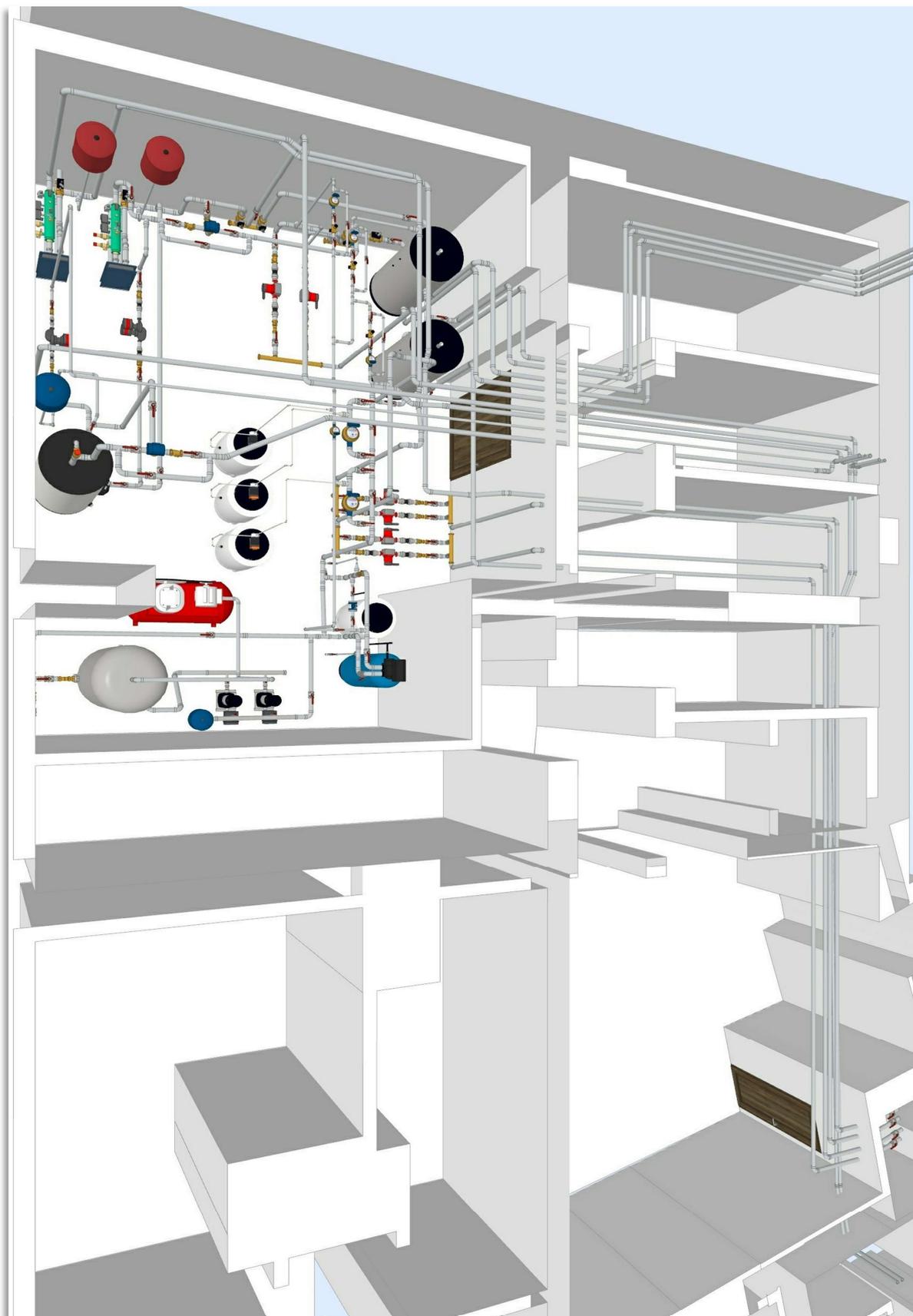


Figura 4.7 Vista 3 modello 3D centrale termica

4.1.1 Scambiatori di calore e produzione di acqua tecnica calda

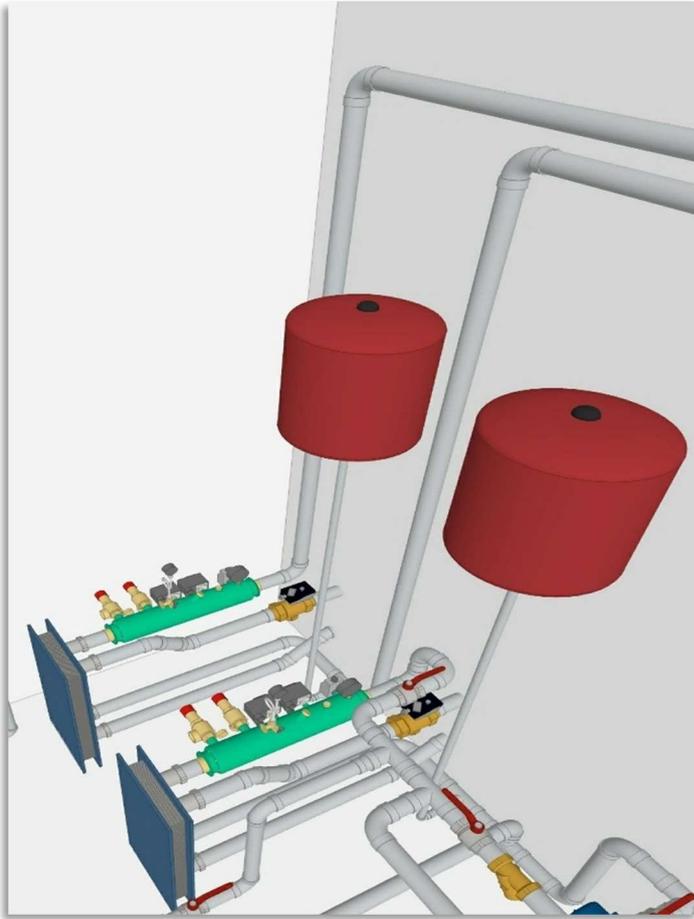


Figura 4.8 Scambiatori di calore

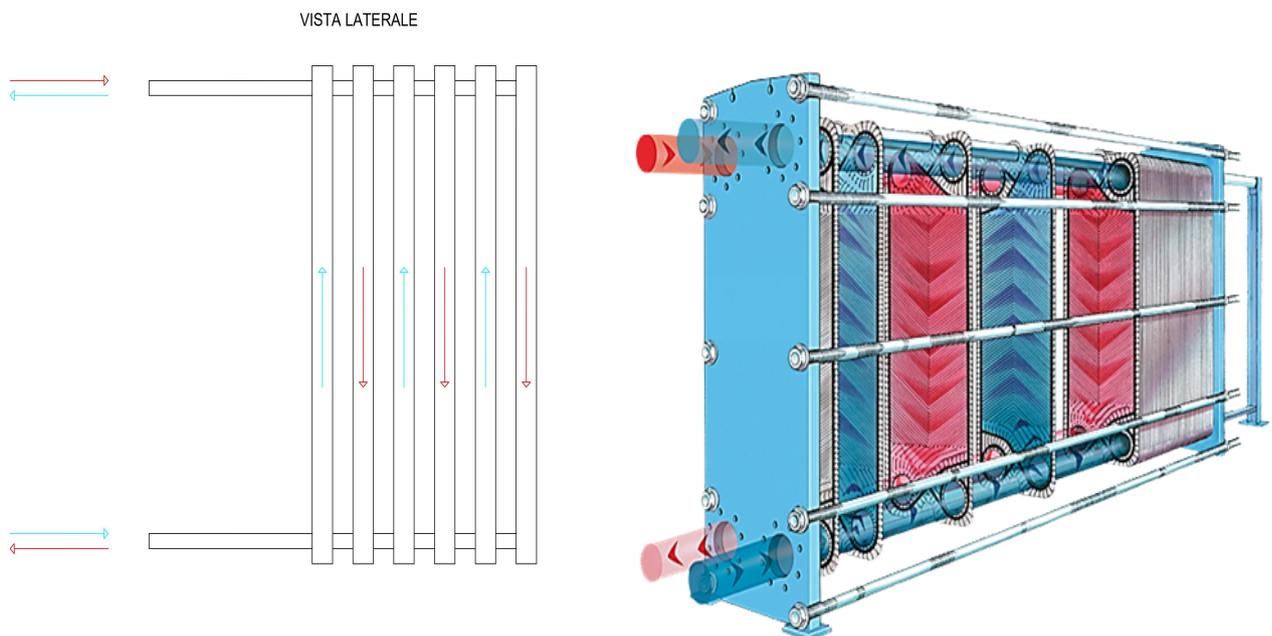


Figura 4.9 Schema funzionale e vista in sezione scambiatore di calore a piastre

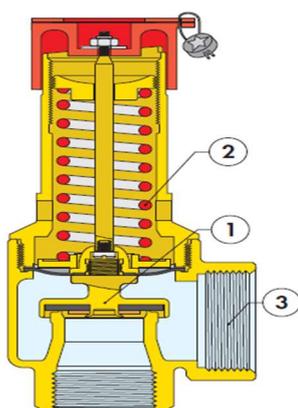
Gli scambiatori di calore sono a piastre ispezionabili e dimensionati in funzione delle necessità associate alla produzione di acqua tecnica per il riscaldamento e per la produzione di ACS. Generalmente la rete di teleriscaldamento urbano fornisce un fluido termovettore alla temperatura di circa 90-95 °C mentre al circuito secondario si definiscono, rispettivamente per lo scambiatore a servizio delle unità immobiliari e a servizio del ristorante, una temperatura di ingresso di 50 °C e 60 °C e di uscita di 70 °C e 80 °C. A livello impiantistico in corrispondenza della mandata di acqua calda devono essere installati i collettori di sicurezza INAIL¹⁰ (ex-ISPEL¹¹) obbligatori, secondo raccolta R del 2009, per centrali con potenze installate superiori ai 35 kW. Il collettore, figura 4.11, è composto da:

- Termostato ad immersione tarato a 100 °C. Nel caso in cui si raggiungesse tale temperatura un segnale elettrico raggiungerebbe l'elettrovalvola a 2 vie con regolazione ON/OFF posta in corrispondenza dell'alimentazione dello scambiatore lato circuito primario che terminerebbe l'alimentazione dello scambiatore stesso;
- Pressostato di sicurezza con campo di regolazione 2 - 4,5 bar ed una pressione e temperatura massime di esercizio pari rispettivamente a 5 bar e 110 °C. La funzione di tale pressostato è di garantire un funzionamento dell'impianto ad una pressione adeguata e in questo caso non superiore a 4 bar. La scelta della pressione di taratura del pressostato deve tenere in considerazione che, come specificato nella raccolta R.2 CAP R.2.C, il pressostato stesso deve entrare in funzione prima delle valvole di sicurezza. In caso di raggiungimento di tale pressione il pressostato in comunicazione con l'elettrovalvola a due vie, citata precedentemente, ne comanda la chiusura;
- Pressostato di minima, con campo di regolazione 0,5 - 1,7 bar, tarato a 1,5 bar e la cui funzione è quella di comandare la chiusura dell'elettrovalvola a 2 vie in occasione del raggiungimento di tale pressione minima di taratura. Questo è necessario in quanto si vuole evitare il funzionamento del circuito ad una pressione troppo bassa e non adeguata al corretto funzionamento dell'impianto stesso;

¹⁰ Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro

¹¹ Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro

- Valvole di sicurezza le quali entrano in funzione raggiunta la pressione di taratura pari, in questo caso, a 4,5 bar. Qualora la pressione aumentasse, nonostante l'entrata in funzione del pressostato di massima, e raggiungesse la pressione di taratura il fluido verrebbe scaricato al fine di non compromettere l'integrità del circuito idraulico e dei vari componenti installati sul circuito stesso. La taratura della valvola consiste nel precarico di una molla che comanda il movimento di un otturatore. Qualora si raggiungesse la pressione di taratura l'otturatore si muoverebbe e il fluido verrebbe rilasciato attraverso lo scarico, elemento 3 in figura 4.10. La scelta della valvola di sicurezza corretta può essere effettuata da catalogo del produttore in accordo a quanto specificato nella raccolta R. Infatti, conoscendo la pressione di taratura è possibile scegliere la corretta valvola, rispettando il limite massimo di potenzialità del generatore di calore, per la quale vengono specificati i parametri fondamentali quali dimensione dell'orifizio di scarico, sezione netta all'entrata della valvola, coefficiente di efflusso che esprime il rapporto tra la capacità di scarico effettiva e teorica della valvola e portata di scarico in $\frac{kg}{h}$ di vapore;



DATI TECNICI SERIE 527

Misura	Ø Orifizio mm	Sezione netta cm ²	Press. di taratura (bar)	Press. sc. nom. (bar)	Press. di chiusura (bar)	Coeff. di efflusso K	Portata di scarico (W) kg/h	Potenzialità massima del generatore kW	Potenzialità massima del generatore kcal/h
1/2"	15	1,767	4,50	4,95	3,60	0,79	386,60	224,8	193.200

Figura 4.10 Sezione valvola di sicurezza e dati da catalogo Caleffi

- Termometro e manometro, quest'ultimo dotato di riccio ammortizzatore al fine di raffreddare il fluido in ingresso.

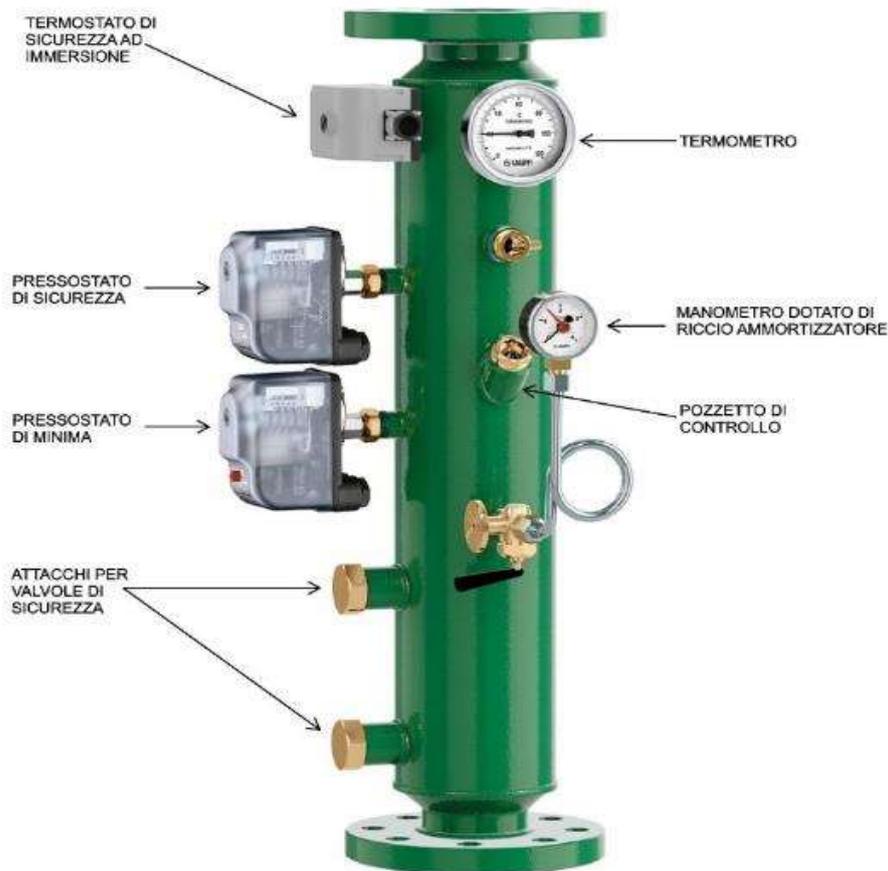


Figura 4.11 Collettore di sicurezza INAIL (ex-ISPEL)

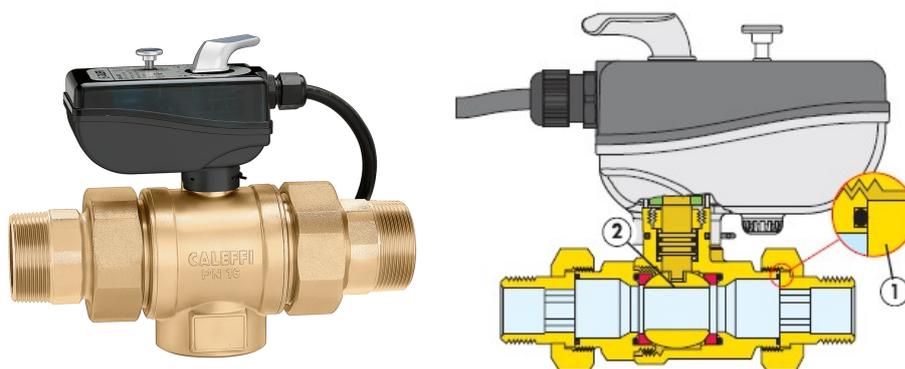


Figura 4.12 Elettrovalvola a 2 vie con vista in sezione

Per quanto riguarda l'elettrovalvola a due vie è una semplice valvola a sfera motorizzata. Tramite un segnale elettrico viene comandato il movimento del meccanismo di intercettazione a sfera determinando l'apertura o la chiusura della sezione di passaggio.

Sulle tubazioni di ritorno, in corrispondenza degli scambiatori di calore, è stata predisposta l'installazione di vasi d'espansione in acciaio chiusi ed a membrana specifici per l'impianto di distribuzione di acqua tecnica. I vasi di espansione sono necessari al fine di compensare la dilatazione volumica dell'acqua causata da un suo aumento di temperatura.

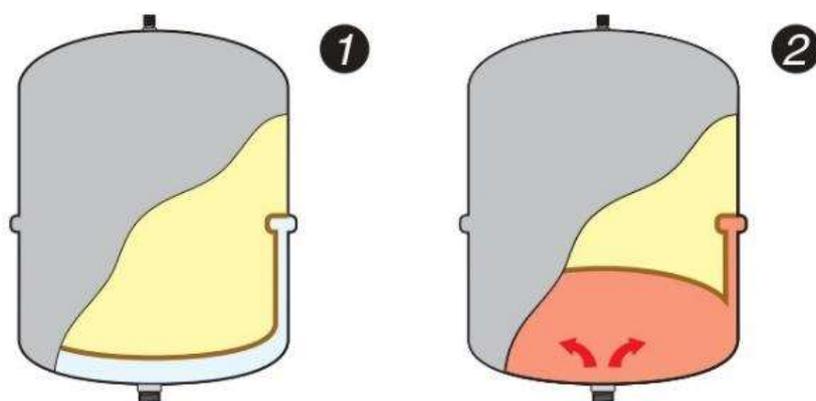


Figura 4.13 Sezione vaso di espansione

Il vaso di espansione è suddiviso in due sezioni per mezzo di una membrana a diaframma. Una sezione riempita di azoto, in giallo figura 4.13, e ad una pressione pari alla pressione di precarica. Quando l'impianto è in funzione la temperatura dell'acqua, fornita dal gruppo di riempimento, aumenta e l'acqua dilata volumetricamente come rappresentato nell'immagine 2 in figura 4.13. Il dimensionamento dei vasi di espansione V_n è stato eseguito secondo quanto indicato nella raccolta R, già citata precedentemente, di cui vengono indicate di seguito le equazioni principali.

$$V_n \geq \frac{V_e}{1 - \frac{P_1}{P_2}} \quad (4.1)$$

$$V_e = \frac{V_a \cdot n}{100} \quad (4.2)$$

$$n = 0,31 + 3,9 \cdot 10^{-4} \cdot t_m^2 \quad (4.3)$$

Innanzitutto, deve essere definita una pressione di precarica P_1 , che non deve essere minore della pressione idrostatica nel punto di installazione, la quale è funzione della differenza di quota tra il punto di installazione del vaso e il punto di massima altezza raggiunta dalla tubazione. In questo caso tale differenza di quota è di circa 18 metri per cui è stato imposto un valore minimo di 2 bar ossia $20 \text{ mH}_2\text{O}^{12}$. La pressione P_2 invece rappresenta la massima pressione ammessa in impianto pari alla pressione di taratura della valvola di sicurezza, quindi 4,5 bar, diminuita però di una quantità almeno pari al dislivello tra il punto di installazione della valvola di sicurezza e del vaso di espansione. Questa pressione è stata cautelativamente posta pari a 4 bar. V_a rappresenta il volume in litri contenuto dall'impianto, in questo caso scelto indicativamente sulla base della capacità dei serbatoi inerziali di accumulo di acqua refrigerata. Per quanto riguarda t_m rappresenta la massima temperatura ammissibile in °C a cui corrisponde l'intervento dei dispositivi di sicurezza, ossia le valvole di sicurezza. In questo caso è pari a 100 °C.

A seguito del calcolo è stato ottenuto un valore minimo della dimensione di entrambi i vasi di espansione pari a 42,1 litri. La dimensione definitiva va scelta da catalogo dei costruttori e dovrà essere maggiore di quella minima calcolata. Ad esempio, in riferimento al catalogo Caleffi è ragionevole scegliere un vaso di espansione con capacità di 50 litri.

4.1.2 Alimentazione impianto acqua calda e refrigerata

Per quanto riguarda l'alimentazione dei ventilconvettori e dei radiatori, nella situazione invernale l'acqua calda viene direttamente messa in circolo senza alcuna necessità di accumulo. Nella situazione estiva invece l'acqua refrigerata a servizio dei fan coils, prodotta tramite l'utilizzo di chiller condensati ad aria, viene accumulata in serbatoi inerziali opportunamente isolati e distribuita tramite l'utilizzo delle stesse tubazioni utilizzate per l'acqua calda. Solamente per le unità immobiliari si tratta di un circuito idraulico a 2 tubi ed è quindi necessario l'utilizzo di collettori in combinazione ad un funzionamento stagionale realizzato tramite delle elettrovalvole a 2 vie di tipo ON/OFF il cui funzionamento è già stato descritto nel capitolo 4.1.1. L'alimentazione del locale ristorante è diversa in quanto le tubazioni di acqua calda e

¹² 1 mH_2O corrisponde a 9,81 kPa e quindi a 0,0981 bar

refrigerata sono distinte per cui non è necessario effettuare una particolare commutazione stagionale tramite le elettrovalvole in quanto è sufficiente comandare il funzionamento delle elettropompe.



Figura 4.14 Esempio elettropompa a rotore bagnato

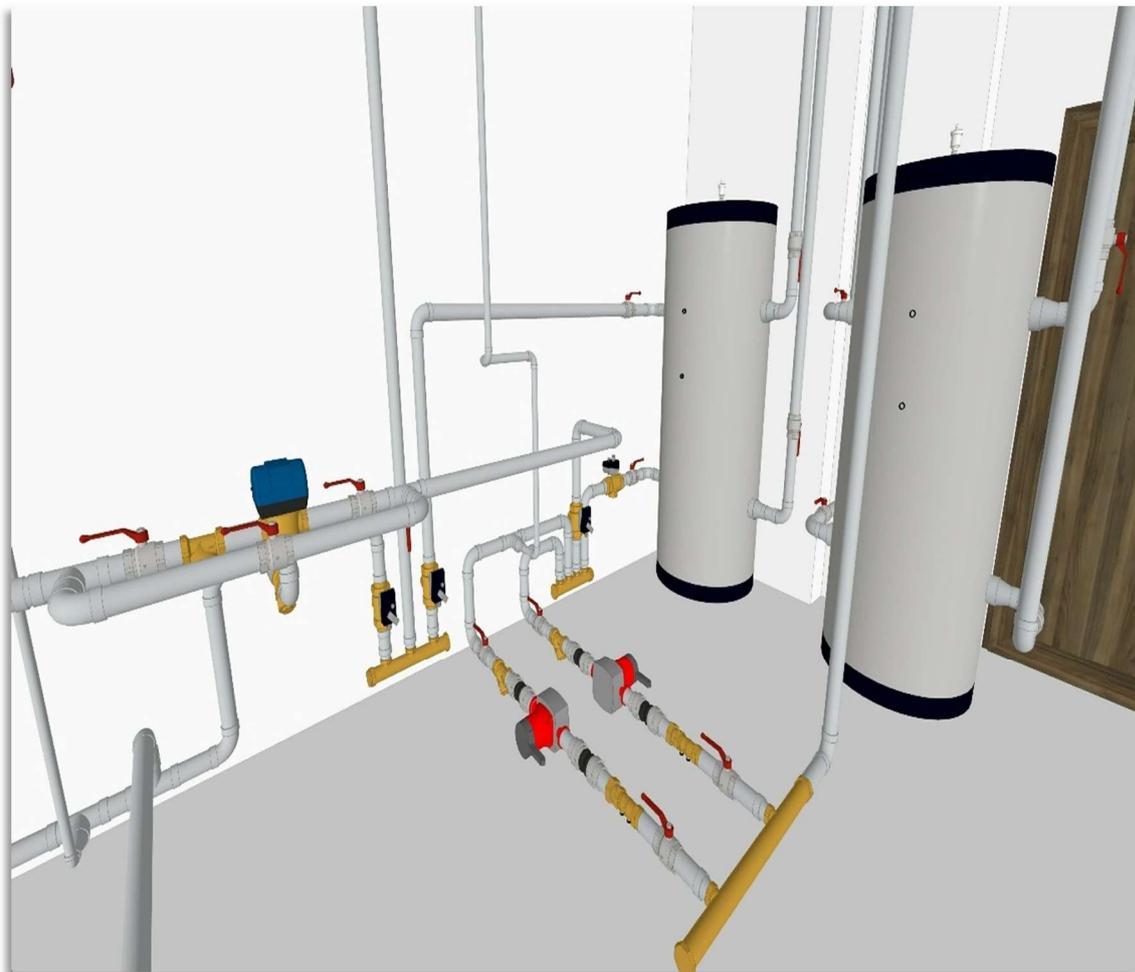


Figura 4.15 Serbatoi di accumulo inerziale e pompe di alimentazioni unità immobiliari



Figura 4.16 Pompe di alimentazione acqua calda e refrigerata ristorante

Soffermandosi sulla rete di alimentazione dei terminali di climatizzazione relativi alle unità immobiliari, palestra e locale portineria inclusi, durante il funzionamento estivo sul collettore di mandata l'elettrovalvola installata sulla tubazione proveniente dal serbatoio inerziale riceve un segnale di apertura, viceversa l'elettrovalvola installata sulla tubazione proveniente dallo scambiatore di calore. Analogamente accade sul collettore delle tubazioni di ritorno in quanto l'acqua a 12 °C deve raggiungere il serbatoio di accumulo e quindi in seguito il chiller, installato nel locale tecnico al piano terra, al fine di produrre nuovamente acqua refrigerata alla temperatura di 7 °C. Ovviamente questo funzionamento non avviene continuamente ma dipende dalla tipologia di termoregolazione e dalle specifiche fasce orarie di funzionamento dell'impianto di climatizzazione. Il serbatoio inerziale di accumulo svolge quindi la funzione di volano termico al fine di ridurre al minimo gli avviamenti delle pompe di calore ed evitare continue variazioni di temperatura del fluido termovettore. Per quanto riguarda il funzionamento invernale è analogo a

quello estivo ma semplicemente le elettrovalvole a due vie, sia sulle tubazioni di mandata che di ritorno, sono commutate in modo tale da garantire la circolazione di acqua calda e non di acqua refrigerata. Dal punto di vista impiantistico non sono previsti serbatoi di accumulo di acqua tecnica calda in quanto vengono utilizzati come generatori di calore degli scambiatori di calore a piastre ed è quindi possibile produrre direttamente acqua calda senza porsi il problema di un numero eccessivo di avviamenti del generatore di calore. È opportuno precisare che tramite gli scambiatori di calore al secondario si ottiene acqua alla temperatura di circa 70-80 °C ma, come anticipato nei capitoli precedenti, l'impianto di riscaldamento funziona in bassa temperatura per cui è necessario miscelare, tramite valvola miscelatrice, l'acqua calda al fine di ottenere una temperatura di mandata di circa 45 °C.

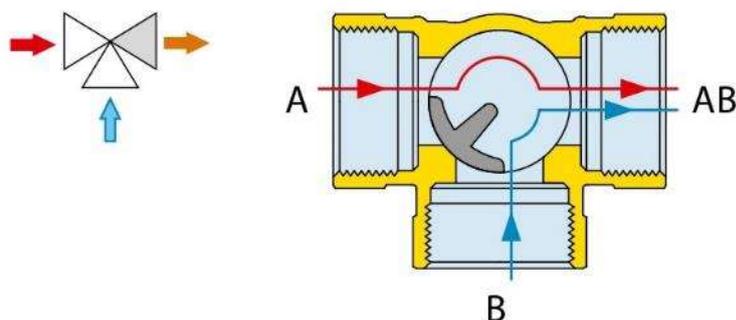


Figura 4.17 Schema di funzionamento valvola a 3 vie miscelatrice modulante

Il funzionamento di un'elettrovalvola a 3 vie miscelatrice, figura 4.17, è dovuto al movimento di un otturatore azionato da un servomotore. Nella situazione di miscelazione nulla l'otturatore chiude completamente il passaggio B. In fase di regolazione l'otturatore ruota in senso orario e apre il passaggio al flusso tramite B da cui ne consegue una miscelazione dell'acqua calda con l'acqua a minor temperatura prelevata dalle tubazioni di ritorno. Per questa tipologia di impianto non è necessario attuare una regolazione climatica tramite la valvola miscelatrice ma è sufficiente attuare una termoregolazione a punto fisso tramite la quale viene mantenuta fissa la temperatura di mandata del fluido termovettore. Mantenendo una temperatura di mandata fissa, in ottica di risparmio energetico, in corrispondenza di ogni ventilconvettore e radiatore è presente un'elettrovalvola a due vie, la quale permette

di chiudere l'alimentazione di acqua qualora non fosse necessaria e quindi di ridurre la portata totale di acqua circolante nell'impianto. Inoltre, per quanto riguarda il fan coil è possibile regolare la potenza termica adeguandola alle esigenze mediante regolazione della velocità di rotazione del motore del ventilatore. Infatti, i ventilatori dei ventilconvettori, generalmente centrifughi, sono dotati di inverter tramite il quale è possibile modulare la frequenza di alimentazione del motore. Dal momento che, per un motore trifase, la velocità di rotazione è proporzionale alla frequenza di alimentazione della corrente alternata, è possibile variare velocità di rotazione e quindi la portata di aria di riscaldamento o raffrescamento inviata all'interno del locale da climatizzare. In corrispondenza della valvola miscelatrice devono essere installati due filtri ad Y sia sulla tubazione di ritorno dell'impianto sia sulla tubazione proveniente dallo scambiatore.

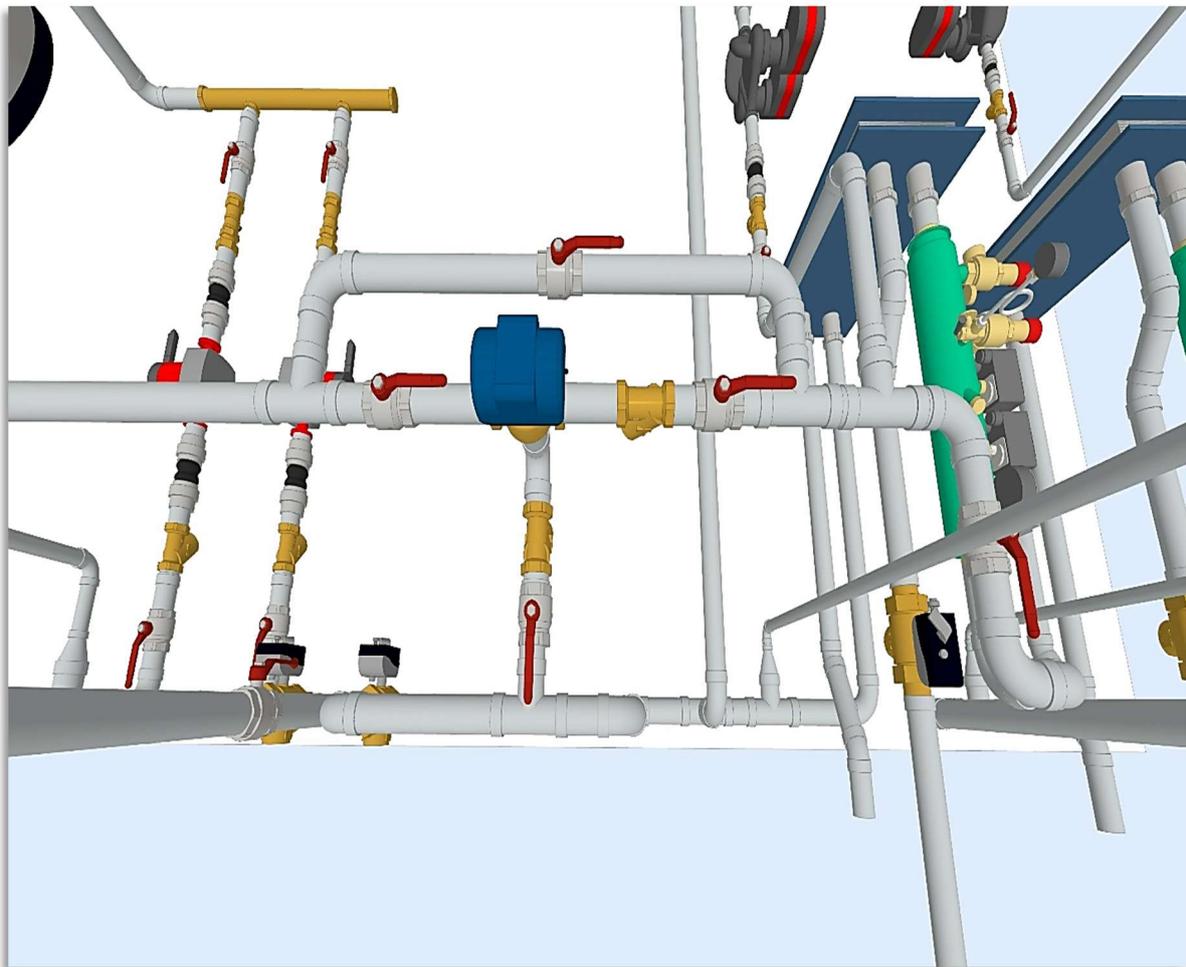


Figura 4.18 Miscelazione acqua tecnica calda mediante elettrovalvola miscelatrice a 3 vie

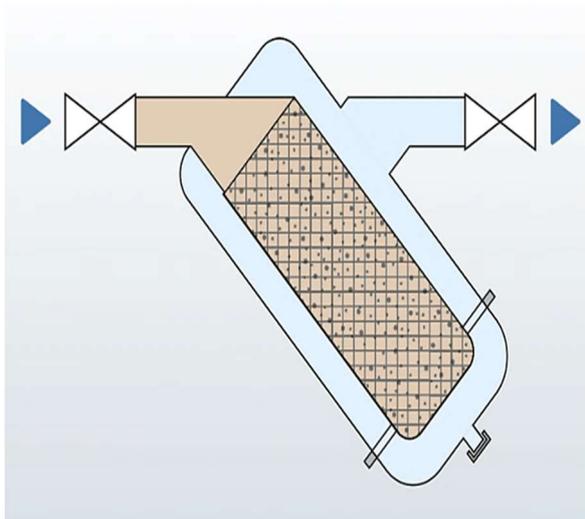


Figura 4.19 Schema filtro ad Y

Come si può osservare in figura 4.19 un filtro ad Y è costituito da un cestello in cui è presente una cartuccia con maglia metallica adatta a filtrare le impurità. Maggiore è la capacità filtrante della maglia e minore sarà la dimensione degli elementi trattenuti. Il funzionamento di questa tipologia di filtri è semplice, il fluido muovendosi per gravità attraversa il cestello per poi proseguire lungo la direzione prestabilita. La pulizia dei filtri ricopre un ruolo molto importante nel funzionamento dell'impianto in quanto i residui bloccati tendono a creare un ostacolo al deflusso con notevole aumento delle perdite di carico a cui i circolatori devono far fronte.

I circolatori scelti a differenza delle classiche pompe hanno il rotore immerso nel fluido da movimentare, motivo per cui vengono altresì chiamati circolatori a rotore bagnato. Come si può notare nelle figure 4.15 e 4.16 per ogni linea di alimentazione con circolatore dotato di inverter è stata realizzata una linea di riserva. La linea di riserva è necessaria in caso di malfunzionamenti o guasti sulla linea principale o anche in caso di manutenzione al fine di garantire una continuità del servizio. La linea prevede l'installazione, a monte, di un filtro ad y ed un giunto antivibrante in gomma. Il comportamento del giunto antivibrante è paragonabile al comportamento combinato di una molla e di uno smorzatore viscoso che si oppongono alle vibrazioni, ossia alle sollecitazioni periodiche a cui sono sottoposti in questo caso le strutture connesse ai circolatori. Quindi il giunto antivibrante è in grado di assorbire energia dalle vibrazioni e dissiparla grazie alla sua elasticità dovuta al corpo in

gomma e fibre di nylon. L'elastomero utilizzato per il rivestimento e adatto alle specifiche condizioni di funzionamento è la gomma EPDM. Il rinforzo in acciaio consente di lavorare con delle pressioni di esercizio maggiori.

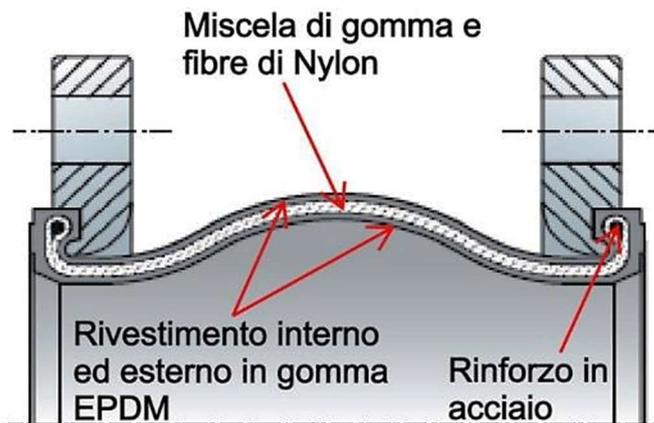


Figura 4.20 Sezione giunto antivibrante

A valle del circolatore deve essere installato un ulteriore giunto antivibrante a cui si aggiunge una valvola di ritegno o non ritorno. La valvola di ritegno deve essere installata in quanto in condizioni di malfunzionamento dell'impianto si potrebbe verificare una condizione per cui la pressione a monte del circolatore sia minore di quella a valle da cui ne conseguirebbe un'inversione del flusso. Osservando il dettaglio della sezione della valvola di ritegno, figura 4.21, in condizione di funzionamento normale, ossia con la pressione a monte della valvola maggiore di quella a valle, il blocco costituito da un otturatore ed una molla, elemento 2 in figura 4.21, lascerebbe libero il passaggio al flusso.

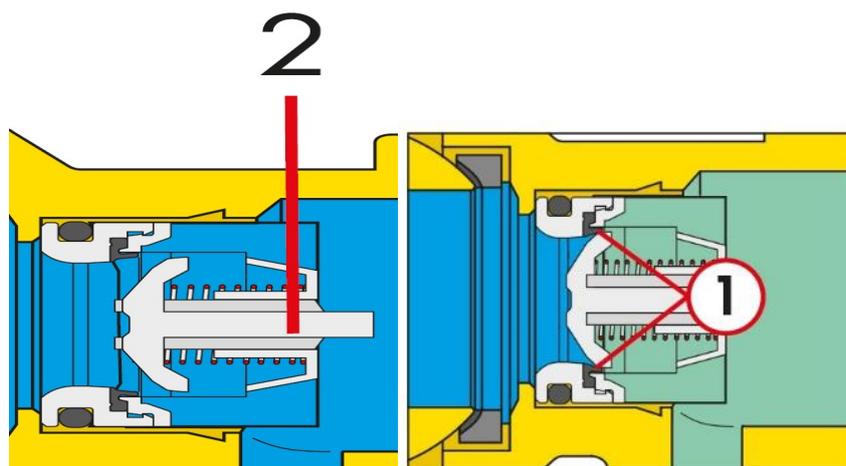


Figura 4.21 Sezione valvola di ritegno in condizioni normali di funzionamento ed in condizione di inversione del flusso

Nel caso in cui vi fosse una condizione per la quale la pressione di valle fosse uguale a quella a monte, l'otturatore, grazie alla molla, ritornerebbe nella posizione di partenza e bloccherebbe il ritorno del flusso a monte. La tenuta è garantita da una guarnizione in gomma EPDM, elemento 1 in figura 4.21, garantita anche in caso di forte contropressione. A completamento delle linee devono essere installate delle valvole a sfera di intercettazione del fluido necessarie ad interrompere ed attivare contemporaneamente il funzionamento di una linea di alimentazione rispetto all'altra qual ora fossero necessari, come anticipato, degli interventi di manutenzione o riparazione.

Per quanto riguarda il dimensionamento e la scelta dei circolatori è necessario definire una curva caratteristica dell'impianto tramite la quale è possibile trovare il punto di funzionamento o di lavoro in funzione del campo di funzionamento del circolatore. Innanzitutto, per definire la curva dell'impianto è necessario definire una prevalenza espressa in metri di colonna d'acqua mH_2O , equazione 4.4, che esprime l'incremento di pressione tra monte e valle della pompa necessario a garantire una corretta alimentazione dei terminali.

$$H_{pompa} = H_{geodetica} + H_{circuito} \quad (4.4)$$

La prevalenza geodetica è funzione della differenza di quota tra il punto di partenza e il punto di arrivo del fluido in movimento mentre $H_{circuito}$ rappresenta le perdite di carico concentrate e distribuite nella tubazione di mandata e ritorno dell'impianto.

$$H_{geodetica} = Z_B - Z_A \quad [m] \quad (4.5)$$

$$H_{circuito} = H_C + H_D = kQ^2 \quad [m] \quad (4.6)$$

Trattandosi in questo caso di un circuito chiuso ovviamente la prevalenza geodetica è nulla in quanto la quota di partenza ed arrivo coincidono. Quindi in un circuito chiuso la prevalenza del circolatore è necessaria alla sola movimentazione del fluido tale che vinca le perdite di carico totali nel circuito stesso. Secondo parametro necessario per la scelta del circolatore è la portata che deve essere garantita in condizioni di funzionamento nominali. Come anticipato, per la distribuzione di acqua calda o refrigerata lato unità immobiliari è necessaria l'installazione di un'elettropompa che riesca a garantire un punto di funzionamento caratterizzato da una portata di $8,6 \frac{m^3}{h}$. Tale portata è stata scelta in funzione della massima portata totale di acqua richiesta in fase di riscaldamento o raffrescamento, calcolata considerando la portata nominale imposta per ogni terminale dallo stabilizzatore automatico di portata, ed una prevalenza di $15 mH_2O$. Al fine di ottenere una stima della prevalenza necessaria al funzionamento dell'impianto in condizioni di progetto sono state considerate le perdite di carico associate non solo alle tubazioni ma anche alle valvole e a tutti gli accessori installati sul circuito quali valvole, filtri, scambiatore di calore ecc. Discorso analogo per quanto riguarda i circolatori di acqua calda e refrigerata a servizio del ristorante in cui sono state scelte dell'elettropompe che garantiscano un punto di lavoro in condizioni di progetto rispettivamente di 5 e $8,6 \frac{m^3}{h}$ ed una prevalenza di $15 mH_2O$. In questo caso le portate sono state calcolate, tramite l'equazione 4.7, considerando le potenze dello scambiatore e della macchina frigorifera da installare nei rispettivi locali e pari rispettivamente a $120 kW$ e $50 kW$.

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{\Delta T \cdot c_p} \quad (4.7)$$

$c_p = 4,186 \frac{kJ}{kg \cdot K}$ rappresenta il calore specifico, a pressione costante, dell'acqua. La potenza termica \dot{Q} è espressa in kW .

Il ΔT lato circuito secondario in cui circolano acqua calda e refrigerata è stato posto rispettivamente pari a $20^\circ C$ e $5^\circ C$.

Nelle figure seguenti vengono riportate le curve caratteristiche e punti di funzionamento dei circolatori adeguati per i vari impianti.

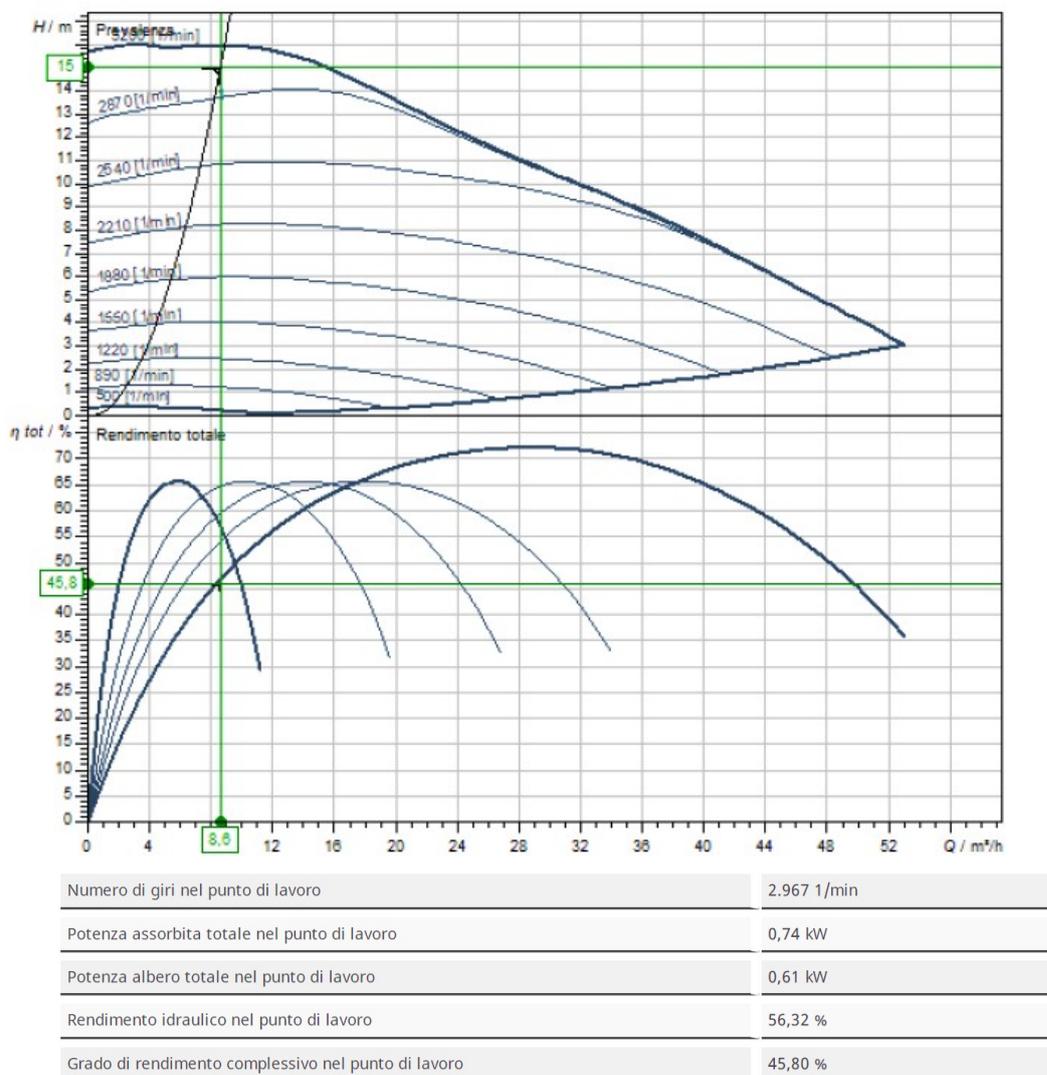


Figura 4.22 Punto di lavoro e caratteristiche WIL0 STRATOS MAXO 50/05-16 acqua refrigerata ristorante ed impianto a due tubi unità immobiliari

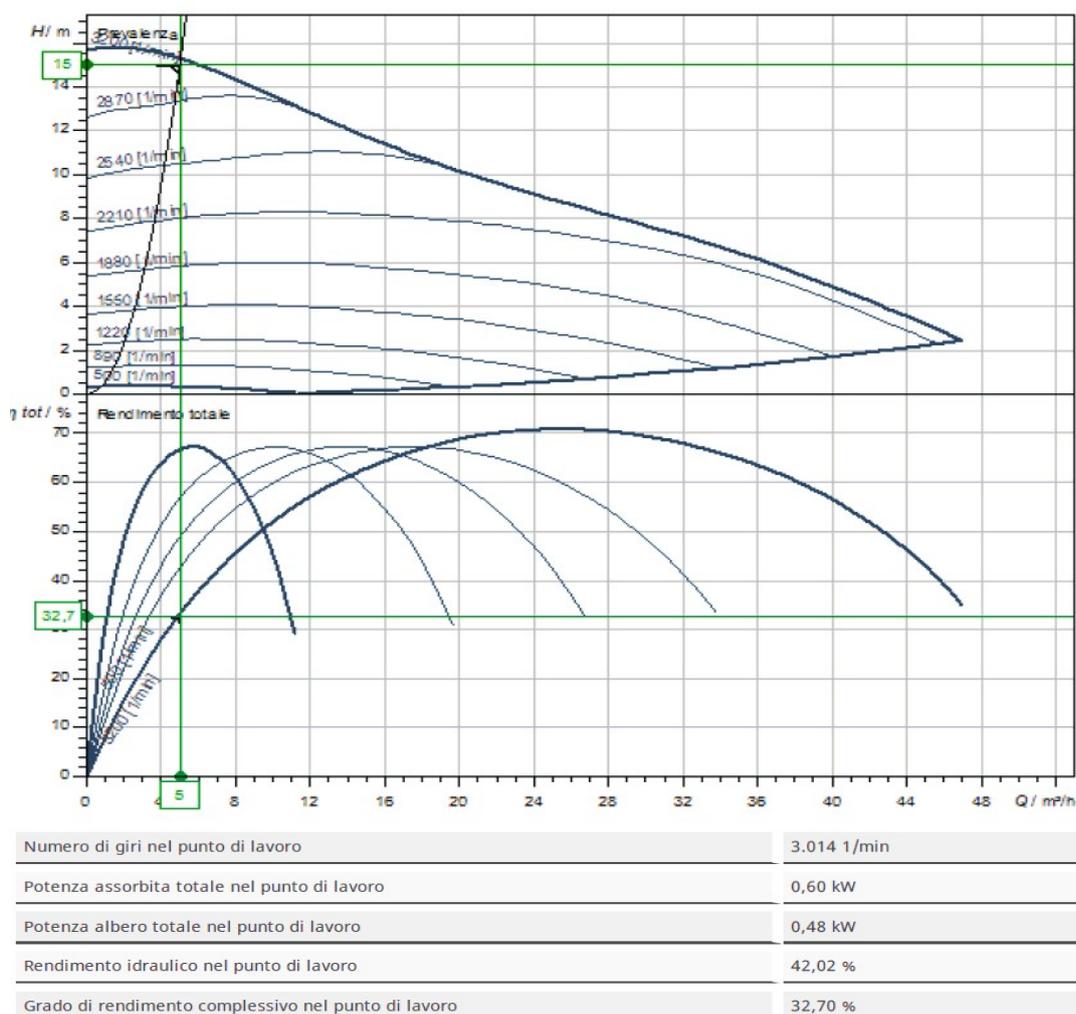


Figura 4.23 Punto di lavoro e caratteristiche WILo STRATOS MAXO 50/05-14 acqua calda ristorante

La caratteristica del circuito, in riferimento alle equazioni 4.4, 4.5 e 4.6, parte correttamente dall'origine in quanto la prevalenza geodetica è nulla ed assume una formula parabolica dovuta alla proporzionalità delle perdite di carico con il quadrato della portata. Il rendimento idraulico è funzione di un rapporto tra la prevalenza effettiva e quella teorica della pompa e permette quindi di avere un'idea dell'entità delle perdite di carico interne al circolatore stesso. Il rendimento totale invece tiene in considerazione i vari rendimenti quali rendimento meccanico, volumetrico ed elettrico. Questi tre rendimenti rappresentano le perdite dovute all'attrito, ai trafiletti di fluido ed elettriche. Ciascun rendimento viene quantificato come un rapporto tra la potenza effettivamente utilizzata e quella effettivamente messa a disposizione. Questi circolatori sono dotati di una particolare tipologia di regolazione chiamata Dynamic adapt plus che consente di regolare automaticamente la potenza,

quindi prevalenza e portata, in funzione delle caratteristiche variabili dell'impianto. Sono disponibili ulteriori tipologie di regolazione attuabili grazie alla possibilità, tramite inverter, della variazione della velocità di rotazione del rotore, tra le quali la regolazione a pressione differenziale variabile e costante. Sostanzialmente una regolazione a pressione differenziale costante permette una regolazione della portata mantenendo sempre la stessa prevalenza mentre una regolazione a pressione differenziale variabile corrisponde ad una variazione lineare della prevalenza della pompa al variare della portata richiesta il che permette di avere un ulteriore risparmio energetico rispetto alla precedente. La soluzione ottimale in ottica di risparmio energetico è quella di adattamento automatico in funzione delle condizioni di funzionamento dell'impianto definite dall'apertura o chiusura dell'elettrovalvole di alimentazione installate in corrispondenza dei terminali.

4.1.3 Produzione ed accumulo ACS



Figura 4.24 3D serbatoio accumulo ACS e reti di alimentazione

Il vaso di espansione installato in corrispondenza del bollitore è specifico per circuito di acqua sanitaria ed è costruito in acciaio con membrana a vescica in EPDM. Il dimensionamento del vaso tiene in considerazione solamente l'espansione del volume di acqua contenuto nel bollitore e non del quantitativo effettivamente contenuto nella tubazione di distribuzione e di ricircolo. Questo tipo di dimensionamento è accettabile in quanto si ipotizza che un aumento di pressione dovuto all'aumento di temperatura dell'acqua nelle tubazioni sia compensato dalle perdite di carico associate al funzionamento degli apparecchi sanitari. Quindi

sostanzialmente l'aumento di volume è compensato da una sua diminuzione dovuta all'utilizzo di acqua da parte degli apparecchi sanitari.

Al fine di dimensionare il vaso d'espansione sanitario devono essere definiti:

- il volume del bollitore V_B , il cui dimensionamento viene descritto nel capitolo 7.3;
- i coefficienti di espansione dell'acqua e_B ed e_O rispettivamente alla temperatura di accumulo pari a 60 °C e alla temperatura di ingresso, 15 °C circa, di acqua proveniente dal serbatoio preautoclave;
- P_A pressione assoluta di alimentazione della rete pari alla somma della pressione di alimentazione dovuta al gruppo di pressurizzazione pari a 5 bar e della pressione atmosferica;
- P_B pressione assoluta massima di esercizio. Calcolata in funzione della pressione taratura della valvola di sicurezza P_{VS} , installata alla sommità dell'accumulo;

$$P_B = 0,9P_{VS} + 1 = 7,3 \text{ bar} \quad (4.8)$$

$$V_V = \frac{V_B(e_B - e_O)}{1 - \frac{P_A}{P_B}} = \frac{500(0,017 - 0,0009)}{1 - \frac{6}{7,3}} = 45,20 \text{ l} \quad (4.9)$$

Anche in questo caso è ragionevole installare un vaso di espansione con capacità di 50 l come per i vasi di espansione dei circuiti di acqua tecnica.

Per quanto riguarda la rete di distribuzione di acqua calda tecnica dallo scambiatore alla serpentina di scambio termico e per la rete di ricircolo è prevista l'installazione di due circolatori gemellari che garantiscono una continuità di funzionamento dell'impianto in caso di malfunzionamento di una singola pompa facente parte del circolatore. Il funzionamento, così come gli elementi da installare sulla singola linea quali valvole, giunti ecc., è analogo a quanto descritto nel capitolo 4.1.2.

Sostanzialmente ad un maggior costo di acquisto di un circolatore gemellare corrisponde un minor costo di installazione in quanto non servono né una linea di

riserva né i collettori di distribuzione motivo per cui in alcune situazioni specifiche è sensata la loro installazione.



Figura 4.25 Sezione bollitore ACS



Figura 4.26 Circolatore gemellare

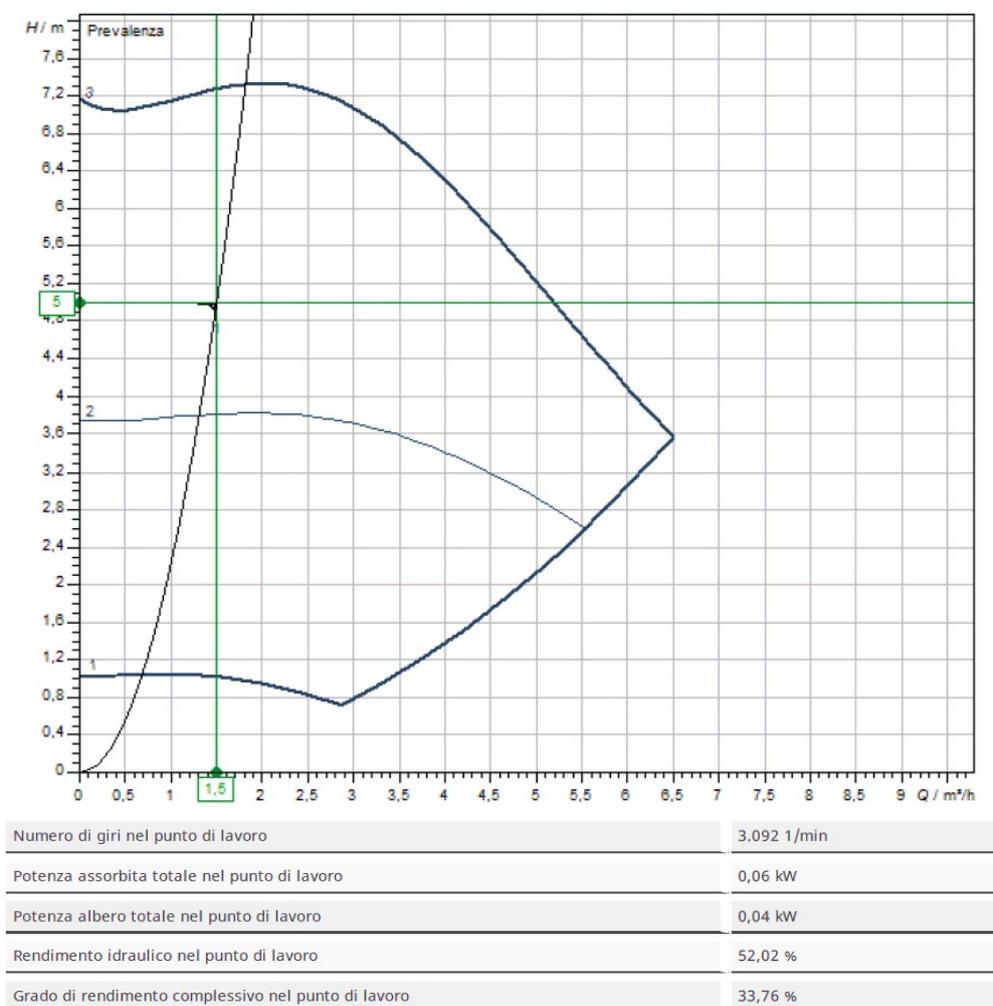
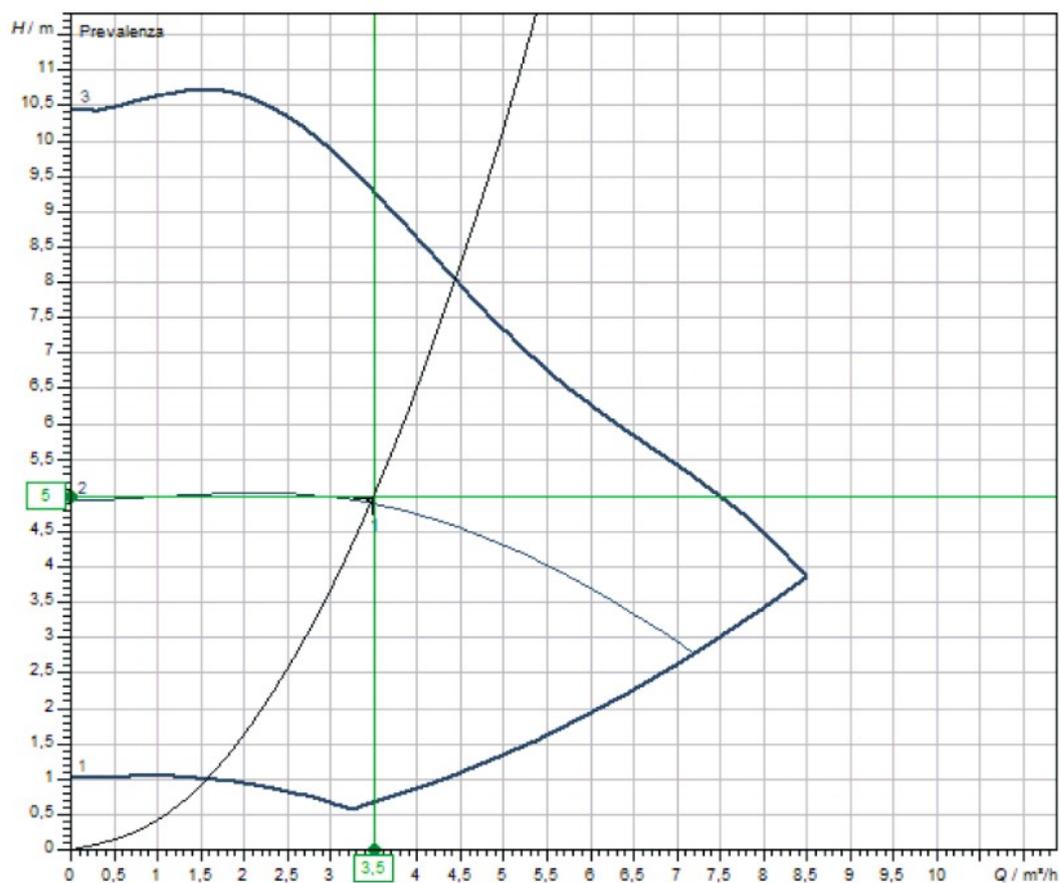


Figura 4.27 Punto di lavoro e caratteristiche WILLO YONOS MAXO-D 30/05-7 acqua ricircolo

La portata utilizzata al fine di determinare il punto di lavoro in condizioni di progetto, pari a $1,5 \frac{m^3}{h}$, è stata scelta in funzione della portata di ricircolo calcolata in fase di dimensionamento della rete di ricircolo stessa, descritta nel capitolo 7.2. Anche per quanto riguarda la prevalenza, pari a $5 mH_2O$, considerando la rete di ricircolo come un circuito chiuso, valgono le considerazioni già effettuate nel capitolo 4.1.2.



Numero di giri nel punto di lavoro	3.135 1/min
Potenza assorbita totale nel punto di lavoro	0,09 kW
Potenza albero totale nel punto di lavoro	0,06 kW
Rendimento idraulico nel punto di lavoro	74,97 %
Grado di rendimento complessivo nel punto di lavoro	50,26 %

Figura 4.28 Punto di lavoro e caratteristiche WILo Yonos Maxo-D 30/05-10 acqua calda serpentina

Per quanto riguarda il circolatore gemellare utilizzato per la linea di alimentazione della serpentina il punto di lavoro viene determinato in funzione di una portata di progetto pari a $3,5 \frac{m^3}{h}$ ed una prevalenza sempre di $5 mH_2O$. La portata di progetto è stata definita utilizzando l'equazione 4.7 considerando un delta di temperatura, lato circuito primario, pari a $15 \text{ }^\circ\text{C}$ ed una potenzialità termica della serpentina di scambio termico di 50 kW. Il calcolo della potenzialità termica della serpentina è descritto nel capitolo 7.3.

4.1.4 Gruppo di pressurizzazione e trattamento acque

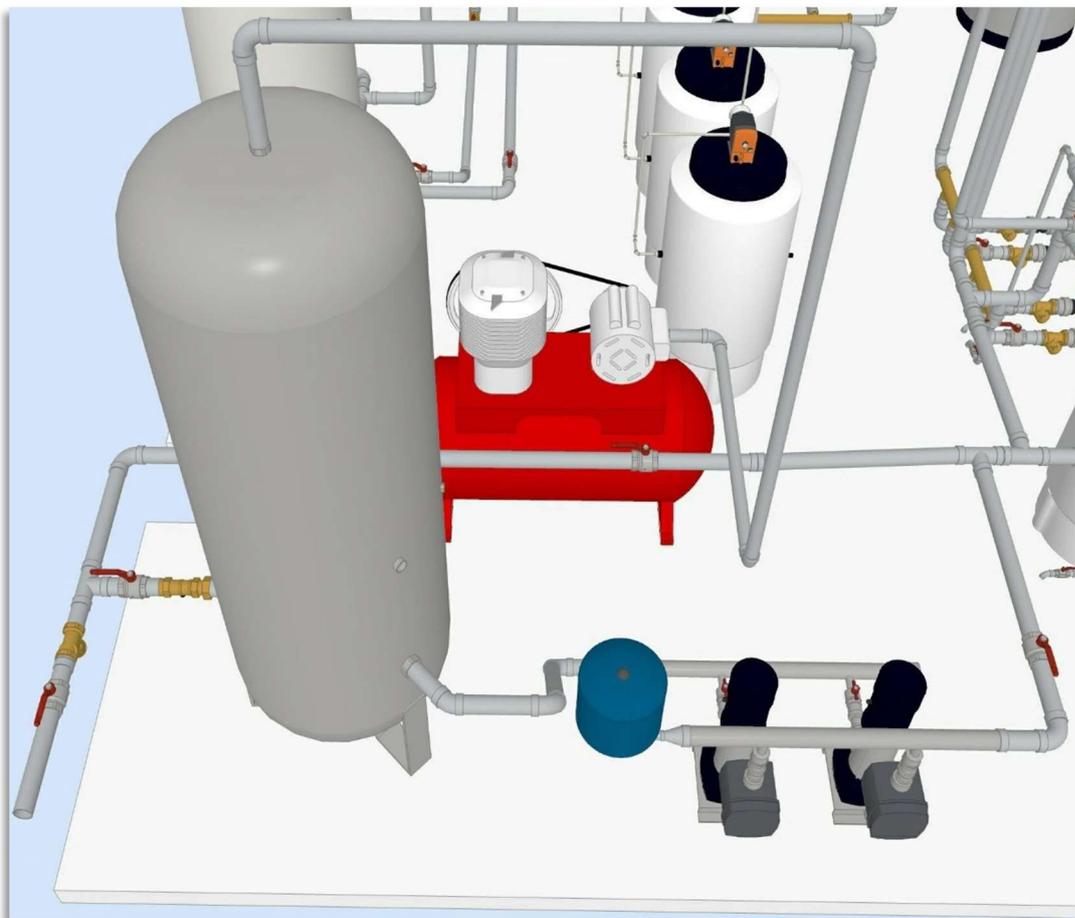


Figura 4.29 Serbatoio preautoclave in acciaio zincato e gruppo di pressurizzazione

Per quanto riguarda l'alimentazione del circuito di acqua tecnica e sanitaria è necessario innanzitutto effettuare un prelievo dall'acquedotto. L'acqua deve essere filtrata ed in prossimità dell'alimentazione del serbatoio preautoclave deve essere installata una valvola di ritegno. L'installazione del serbatoio preautoclave, tra contatore e gruppo di pressurizzazione, è obbligatoria come specificato nell'ALLEGATO B del Regolamento del Servizio Idrico Integrato della città di Milano. Il preautoclave è un serbatoio che tramite aria compressa mantiene l'acqua accumulata ad una certa pressione. Tale serbatoio è dotato tra le varie di un livellostato e di un pressostato di massima e di minima che ad uno specifico livello minimo o massimo comandano l'interruzione del funzionamento del compressore. Il compressore d'aria viene quindi utilizzato per mantenere l'acqua sempre in pressione durante l'alimentazione delle utenze il che risulta molto utile in ottica di risparmio energetico al fine di ridurre il numero di avviamenti delle pompe del gruppo di

pressurizzazione laddove la richiesta delle utenze non fosse elevata. Questo poiché la richiesta di acqua sanitaria è molto altalenante e variabile in funzione delle diverse fasce orarie giornaliere. Il fatto che le pompe siano dotate di inverter permette comunque anche a carichi parziali di ottenere un buon risparmio energetico in quanto si adeguano correttamente alla richiesta dell'impianto. Il funzionamento delle pompe è comandato da trasduttori di pressione installati sulla linea di mandata che all'aumentare della richiesta da parte delle utenze attivano le elettropompe qual ora la pressione dell'acqua fornita dal serbatoio preautoclave non sia sufficiente.

Tabella A

Diametro	Q ₃ (mc/h)	Volume preautoclave (L)
20	4	150
30	10	350
40	16	550
50	25	850
80 COMB	63	2.000
80	63	2.000
100 COMB	100	3.000
100	100	3.000
150 COMB	250	8.000
150	250	8.000
200	630	21.000
300	1.000	30.000

Figura 4.30 Tabella A volume serbatoio preautoclave

La scelta del volume minimo del serbatoio da installare, in acciaio zincato, deve essere effettuata sulla base della dimensione del contatore che impone inoltre una porta massima \dot{Q}_3 di funzionamento delle pompe dell'impianto, come prestabilito dal regolamento del comune di Milano di cui viene riportata la tabella di riferimento, figura 4.30. Considerando un serbatoio con capacità di 850 litri associato ad un contatore di diametro 50 mm e ad una portata massima di funzionamento di $25 \frac{m^3}{h}$, adeguata ad un impianto per cui la portata massima richiesta in condizioni di progetto è di $24 \frac{m^3}{h}$, è stato scelto per l'installazione un serbatoio con capacità pari a 1000 litri.



Figura 4.31 Gruppo di pressurizzazione da installare

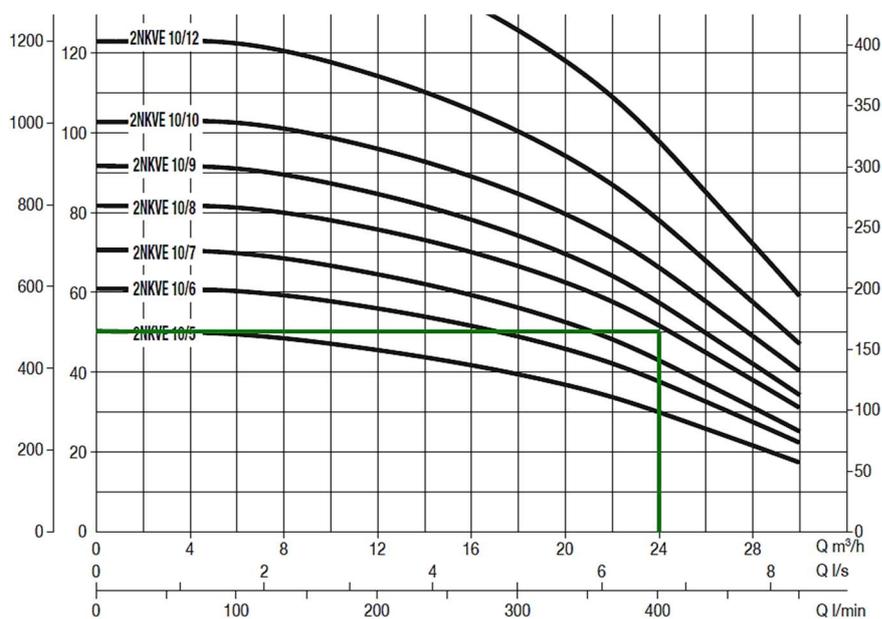


Figura 4.32 Punto di lavoro gruppo di pressurizzazione DAB 2 NKVE 10/8 S T MCE 400-50

Per quanto riguarda il gruppo di pressurizzazione, come scritto in precedenza, deve garantire in condizioni di progetto una portata di $24 \frac{m^3}{h}$ ed una prevalenza di $50 mH_2O$ ricordando che in questo caso trattasi di circuito aperto per cui il contributo della prevalenza geodetica $H_{geodetica}$ non può essere trascurato. Mediante l'inverter

installato su ciascuna pompa è possibile effettuare una regolazione a prevalenza costante al variare della portata. Qual ora fosse necessaria una portata che una singola pompa attiva non può soddisfare viene azionata la seconda e per ogni ciclo di attivazione del gruppo è possibile alternare l'ordine di attivazione delle pompe in modo tale da pareggiarne il consumo. Il gruppo di pompaggio deve essere completo di vaso di espansione, giunti antivibranti, filtri a Y, valvole di ritegno e valvole di intercettazione.

Per quanto riguarda il processo di trattamento dell'acqua l'addolcitore ricopre un ruolo molto importante al fine di ridurre la durezza dell'acqua proveniente dall'acquedotto evitando incrostazioni delle tubazioni a causa della presenza di Calcio e Magnesio. Quando si parla di durezza dell'acqua si fa riferimento al grado francese °F. Un grado francese corrisponde alla quantità di 10 mg di carbonato di calcio $CaCO_3$ per litro di acqua e si può considerare nel caso specifico di Milano zona nord-est una durezza di circa 31 °F¹³. L'obiettivo è mediante l'addolcitore a scambio di resine ridurre la durezza dell'acqua trasformando i sali di calcio e magnesio in sali di sodio. Il processo di addolcimento avviene mediante delle resine a scambio cationico grazie alle quali gli ioni di calcio e magnesio vengono attirati dalle resine stesse al loro passaggio mentre gli ioni di sodio con carica positiva ma minore vengono allontanati dalle resine formando il sale di sodio in acqua. Il funzionamento dell'addolcitore è ciclico e la sua capacità di addolcimento viene definita in $m^3°F$. Al fine di garantire un corretto funzionamento delle resine è necessario prevedere il loro ripristino mediante un controllo di rigenerazione ciclica, basato sulla durezza dell'acqua da trattare, che consiste nell'utilizzo di una soluzione salina di sodio e potassio contenuta nel serbatoio della salamoia. Per quanto riguarda la linea che raggiunge il gruppo di riempimento a valle del dosatore di additivo anticorrosivo sono richiesti circa 0 °F di durezza dell'acqua al fine di avere una corretta pulizia delle tubazioni. Invece, per quanto riguarda la linea di adduzione di acqua fredda potabile, alla quale sono collegati i due sistemi di dosaggio di additivi chimici antilegionella e antincrostanti, è stato realizzato un by-pass che permette di miscelare

¹³ Valore reperibile sul sito del comune di Milano, https://dati.comune.milano.it/dataset/ds1829_analisi-dellacqua-2022

l'acqua a 0 °F e l'acqua proveniente direttamente dal gruppo di pressurizzazione al fine di avere una durezza dell'acqua di circa 15 °F.

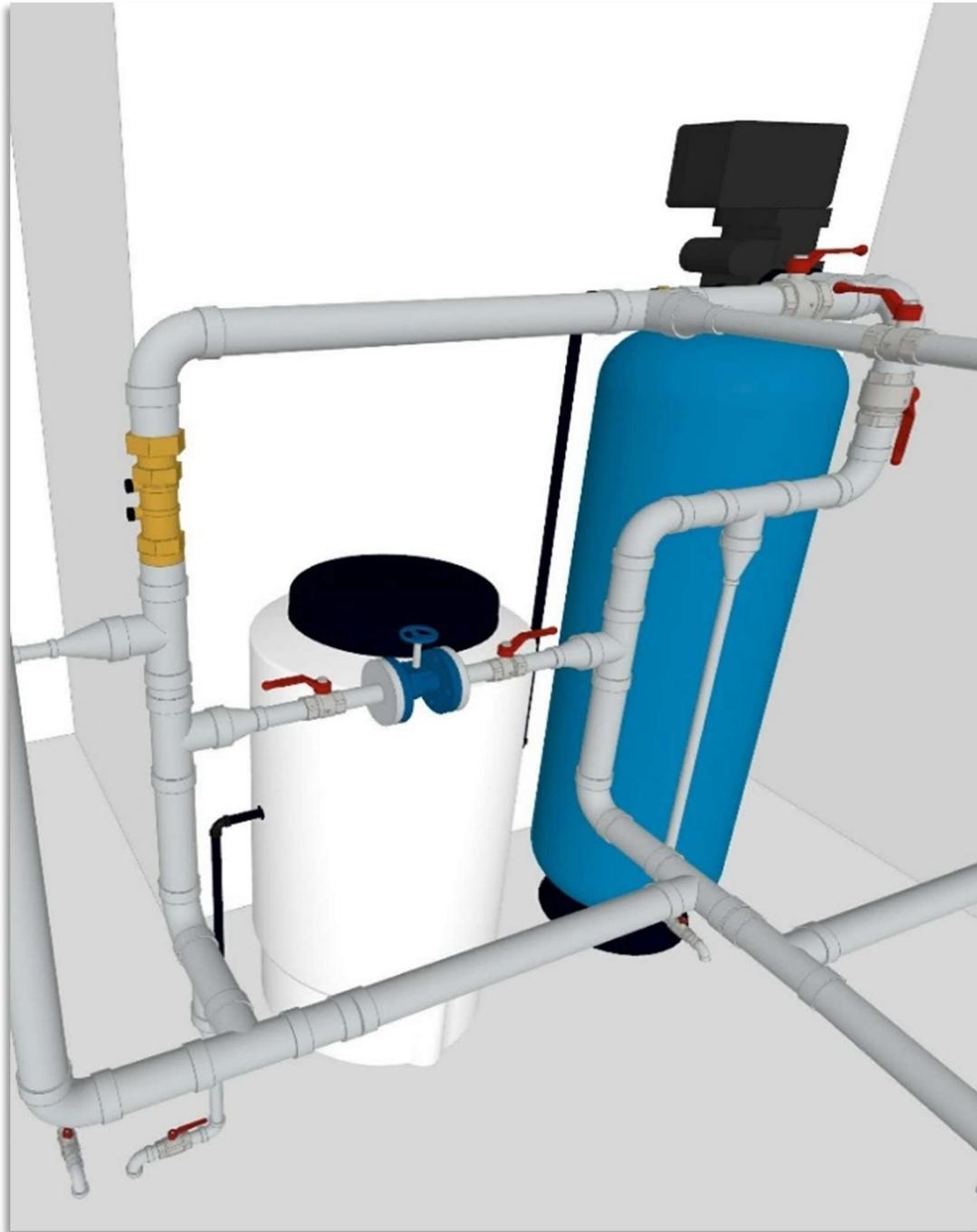


Figura 4.33 Addolcitore a scambio di resine e serbatoio salamoia



Figura 4.34 Dosatori di additivi chimici

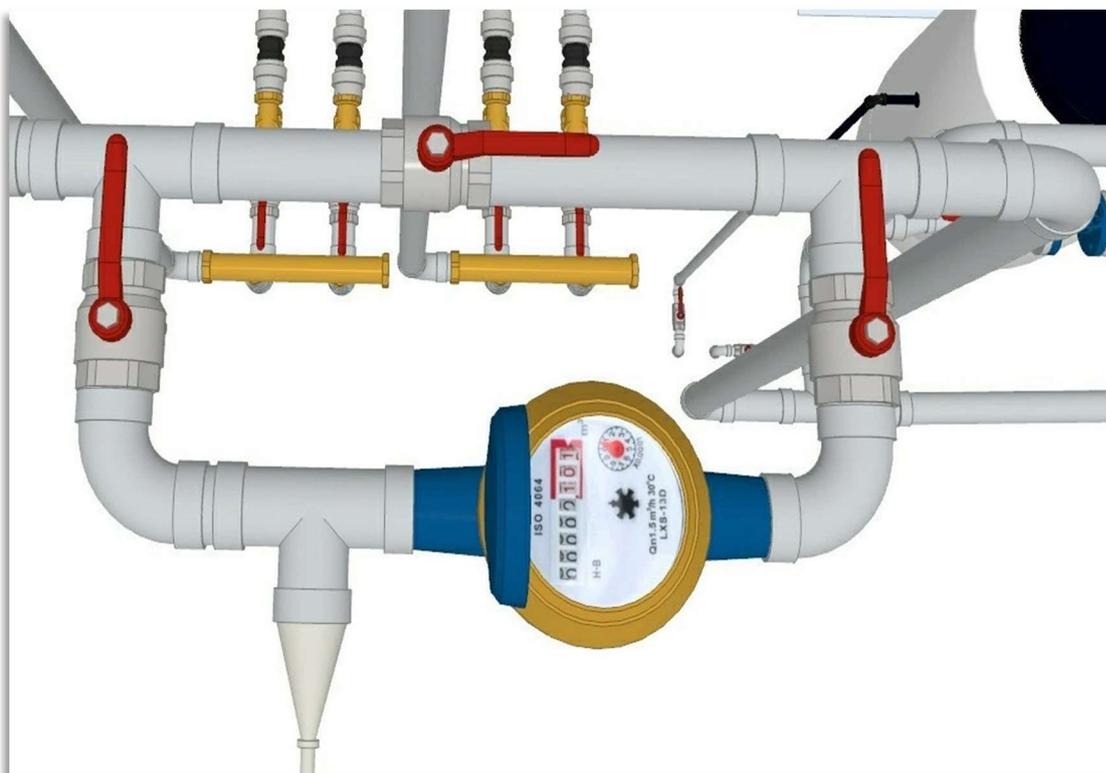


Figura 4.35 Particolare collegamento dosatori e linea principale di adduzione

Per quanto riguarda il dosatore è costituito da un serbatoio di accumulo dell'additivo e da una pompa collegata al contatore volumetrico lancia impulsi, come rappresentato nelle figure 4.34 e 4.35. Il funzionamento del contatore è associato ad un elemento mobile rotante che al passaggio dell'acqua, mediante un giunto magnetico, associa alla rotazione un'informazione relativa alla portata d'acqua che attraversa la tubazione. Infatti, in proporzione al numero di giri dell'elemento rotante vengono generati degli impulsi elettrici che raggiungono la pompa del sistema dosatore che, tramite connessione diretta alla tubazione principale, fornisce una corretta quantità di additivo.

4.1.5 Gruppo di riempimento

Ulteriore componente dell'impianto è il gruppo di riempimento che non è esplicitamente rappresentato nello schema in figura 4.1 ma è presente nell'impianto reale. Il gruppo di riempimento è necessario ad alimentare i circuiti di acqua tecnica mantenendo un riempimento ed una pressione adeguata all'interno delle tubazioni.

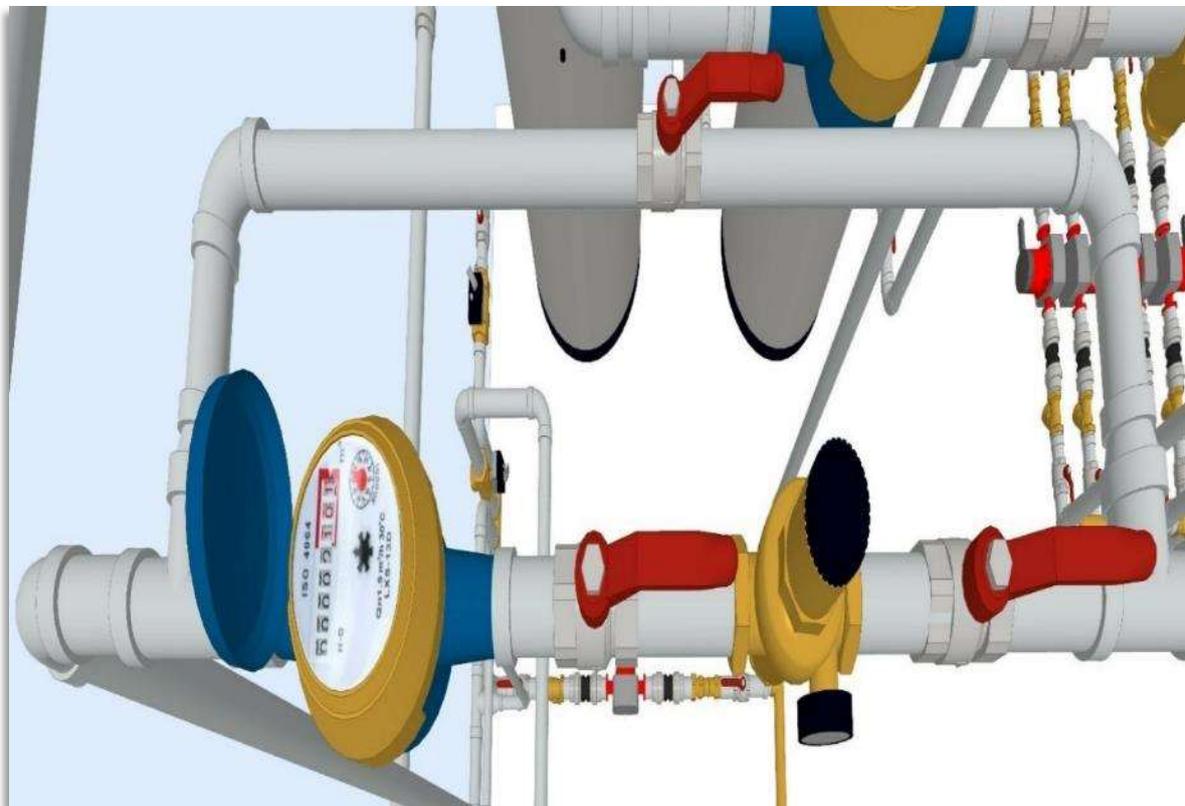


Figura 4.36 Vista 3D installazione gruppo di riempimento

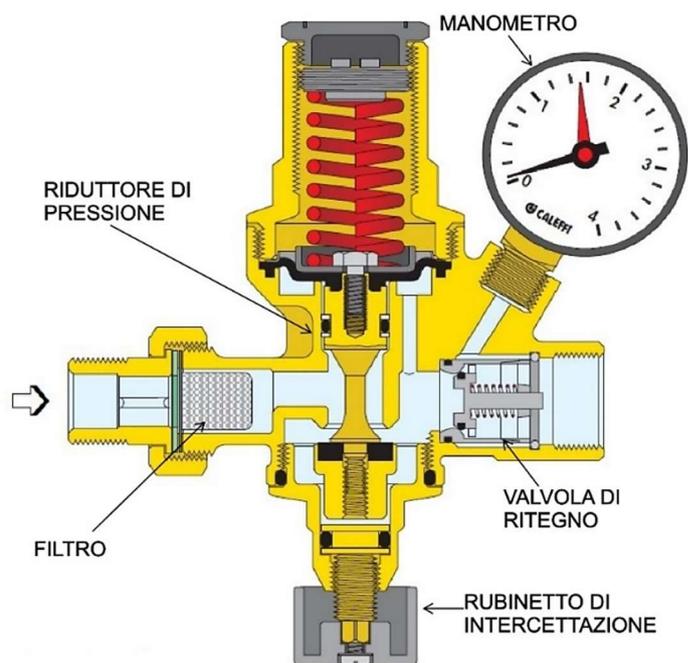


Figura 4.37 Sezione gruppo riempimento

Il gruppo di riempimento automatico è composto da un riduttore di pressione integrato ad un filtro, una valvola di ritegno ed un rubinetto per la chiusura o apertura manuale del gruppo. Il funzionamento del riduttore è funzione del precarico della molla attuato con una ghiera che avvitata o svitata comprime o decomprime la molla stessa. Il fluido a valle del riduttore agisce sulla membrana a contatto con la molla il cui movimento comanda l'otturatore e qualora la pressione di valle non raggiungesse la pressione di precarico, 2 bar in questo caso, la forza di compressione della molla vincerebbe e comanderebbe l'apertura del passaggio del fluido da monte a valle. Nel caso in cui la pressione a valle raggiungesse la pressione di precarico ci sarebbe un equilibrio di pressioni che comanderebbe la chiusura dell'otturatore. Eventualmente mediante il rubinetto di intercettazione è possibile comandare manualmente la chiusura o apertura dell'otturatore il che risulta utile nel caso di rotture a valle al fine di evitare un flusso continuo di acqua. In questo caso però il rubinetto periodicamente deve essere aperto per garantire un eventuale reintegro in quanto una chiusura manuale non permetterebbe di avere un riempimento automatico. L'installazione, sulla tubazione del gruppo di riempimento, di un contatore volumetrico risulta molto utile al fine di verificare con quale frequenza o quantità il gruppo di riempimento entra in funzione. Infatti, in casi di rotture o situazioni per le quali le valvole di sicurezza entrerebbero in funzione

svuotando l'impianto verrebbe chiamato in causa il gruppo di riempimento. I gruppi di riempimento da realizzare sono quattro e riguardano il circuito idraulico a due tubi delle unità immobiliari, i due circuiti distinti di acqua calda e refrigerata a servizio del ristorante e il circuito idraulico di acqua refrigerata a servizio dei locali commerciali.

4.2 Locale tecnico

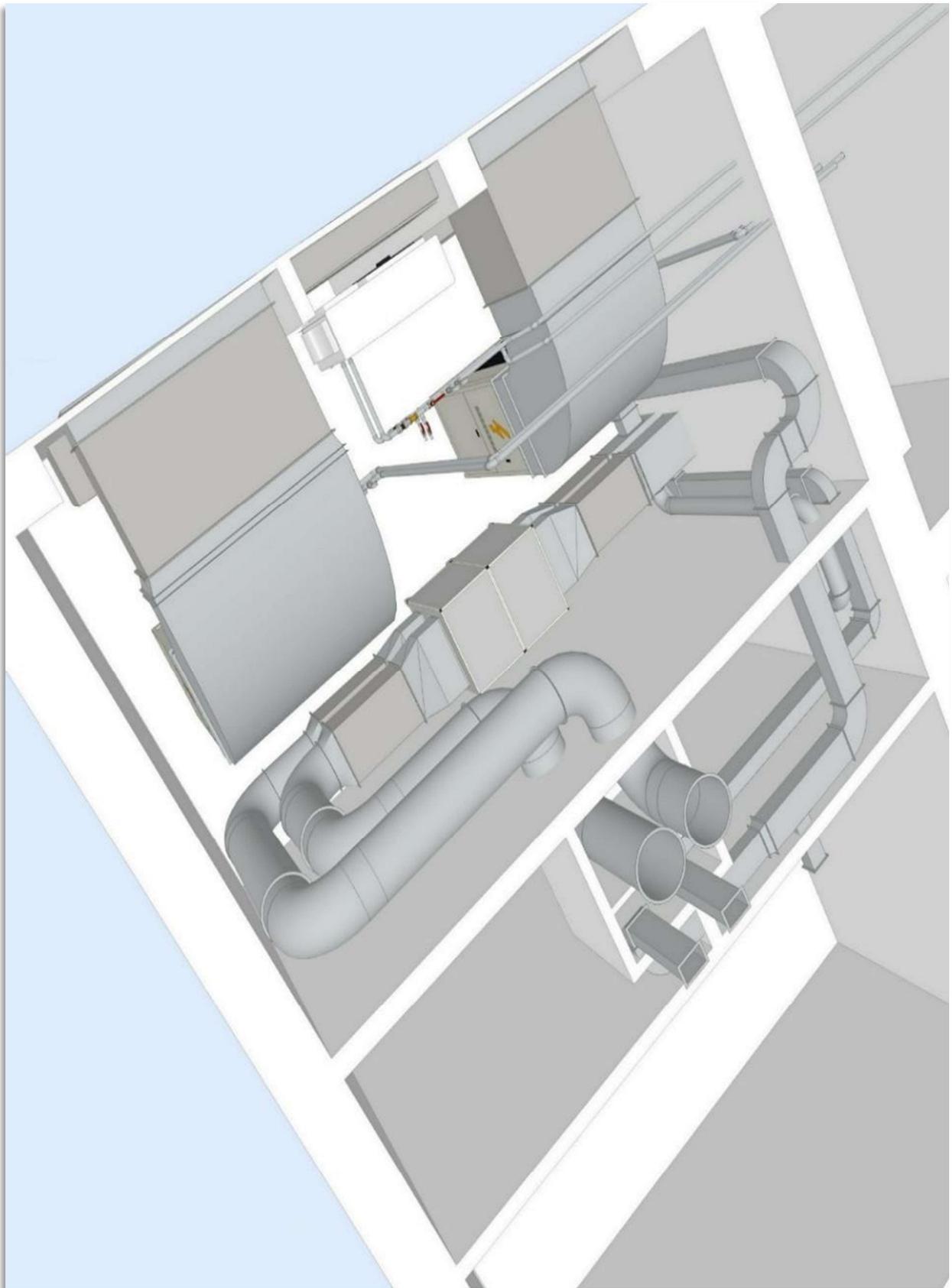


Figura 4.38 Vista 1 3D locale tecnico al piano terra

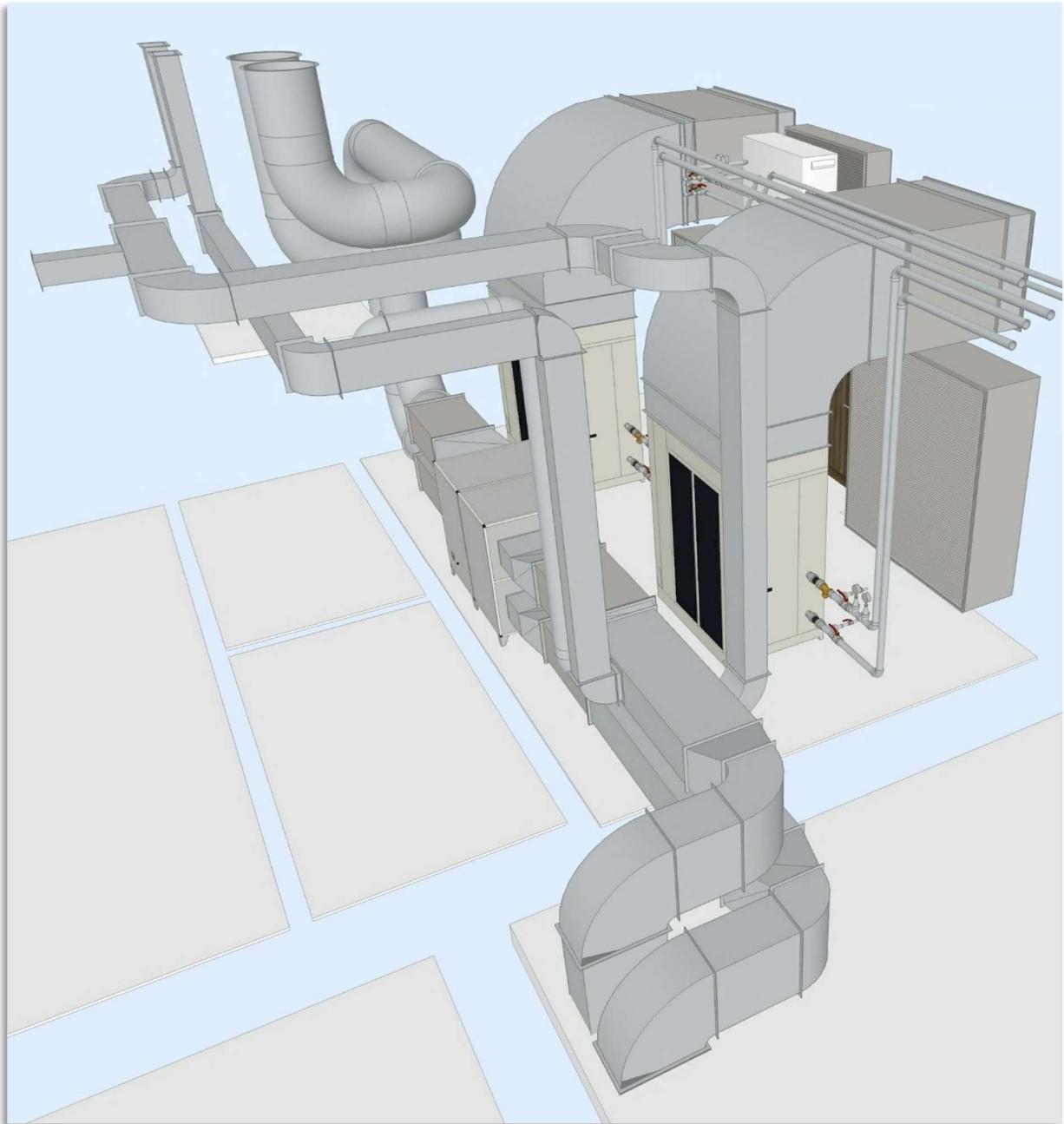


Figura 4.39 Vista 2 3D locale tecnico al piano terra

Il locale tecnico è composto da:

- Refrigeratore liquido o chiller condensato ad aria canalizzabile con potenzialità frigorifera di 50 kW a servizio delle unità immobiliari. Potenzialità definita per condizioni che prevedono una temperatura dell'acqua nello scambiatore interno di 12/7 °C ed una temperatura dell'aria, in corrispondenza dello scambiatore esterno, di 35 °C.

- Chiller condensato ad aria canalizzabile con potenzialità frigorifera di 50 kW utilizzato per la produzione di acqua refrigerata per il ristorante. Potenzialità definita analogamente alle condizioni riportate al punto precedente.
- Mini chiller condensato ad aria dotato di inverter con potenzialità di raffrescamento pari a 10 kW considerando la temperatura dell'aria esterna pari a 35 °C ed una temperatura dell'acqua refrigerata in uscita dall'evaporatore pari a 7°C.



Figura 4.40 Mini chiller condensato ad aria EWAA-DV3P

- Recuperatore di calore rotativo ad alta efficienza necessario al ricambio d'aria degli ambienti. Tramite recuperatore di calore rotativo è possibile garantire un corretto ricambio di aria primaria a fronte di un risparmio energetico associato al recupero di potenza termica sia in regime invernale che estivo. Il recuperatore rotativo consiste in un rotore generalmente di alluminio opportunamente trattato e a nido d'ape. Sostanzialmente l'aria espulsa attraversa uno dei due setti in cui è diviso il rotore e avviene uno scambio termico tra il rotore stesso, in rotazione, e l'aria esterna di rinnovo. Questa tipologia di recuperatore permette non solo di garantire un corretto ricambio d'aria ma anche un recupero di energia che altrimenti andrebbe persa in espulsione.

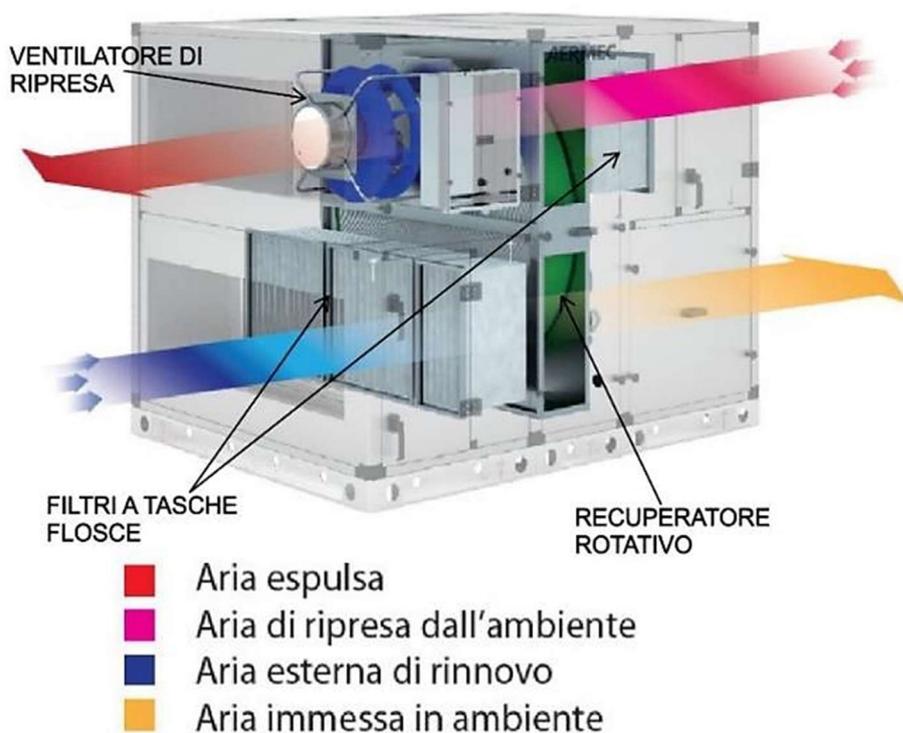


Figura 4.41 Sezione unità di recupero calore con recuperatore rotativo AERMEC mod. ERSR 12

Il funzionamento del recuperatore è integrato al funzionamento dei ventilconvettori in quanto l'aria primaria non viene immessa direttamente in ambiente, eccezion fatta per il quarto piano, ma viene immessa nel fan coil dove viene miscelata con l'aria di ripresa del fan coil stesso. Il dimensionamento del recuperatore è stato effettuato sulla base della necessità di portata di aria primaria e di ricambio di cui verrà approfondito il calcolo nel capitolo 6. L'unità di recupero scelta è caratterizzata da una portata di aria nominale di mandata e ripresa pari a $3700 \frac{m^3}{h}$.

Al fine di non appesantire il testo il funzionamento delle pompe di calore precedentemente citate non verrà descritto nuovamente in quanto il principio di funzionamento è analogo a quanto scritto nel capitolo 2.2.

Dal punto di vista del controllo delle emissioni sonore è stata prevista, in collaborazione con il tecnico acustico, l'installazione di griglie afoniche per l'aspirazione di aria esterna e di silenziatori a setti su ogni canale di ripresa e mandata. La griglia afonica grazie alla sua struttura e alla predisposizione di materiale fonoassorbente consente di avere un buon potere fonoisolante e al contempo una bassa perdita di carico.

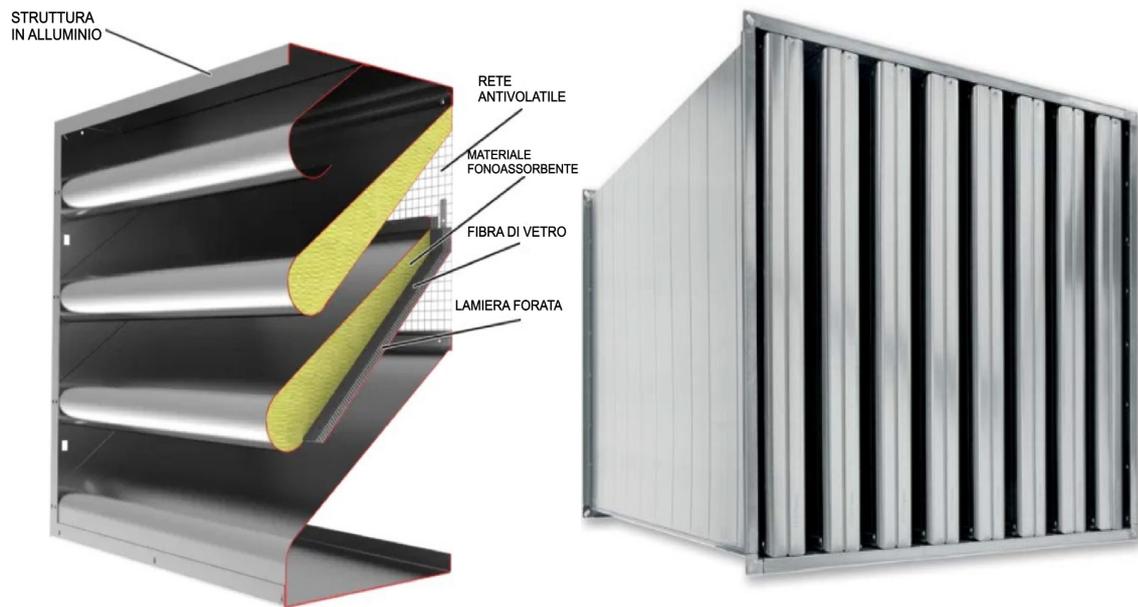


Figura 4.42 Griglia afonica tipo TROX NL e silenziatore a setti

È stata prevista la predisposizione di una griglia di tipo TROX NL delle dimensioni 1500x900x300 in corrispondenza del mini chiller. Le due ulteriori griglie di tipo TROX NL-H, in corrispondenza dei chiller condensati ad aria, sono di dimensione 2000x2250x608. Le griglie NL-H sono sostanzialmente un'unione di due griglie di tipo NL dove però la griglia anti-volatile non ha più una posizione esterna ma intermedia alle due griglie. Il silenziatore a setti è costituito da delle coulisse interne di materiale fonoassorbente disposte parallelamente alla direzione di flusso. Il materiale assorbente è lana minerale rivestita da un tessuto in fibra di vetro. La predisposizione di silenziatori a setti è prevista sui canali di espulsione dell'aria dei chiller e hanno dimensione rispettivamente 1800x1000 e 1500x1000. Entrambi i silenziatori devono garantire un'attenuazione dell'intensità del suono di circa 20 decibel. Per quanto riguarda i canali di presa aria esterna ed espulsione, ripresa e mandata di aria primaria devono essere installati dei silenziatori a setti di dimensione 600x400 che devono garantire un'attenuazione sonora di circa 12 decibel.

In corrispondenza di ogni chiller, sia sulla tubazione di ritorno che su quella di mandata, sono presenti giunti antivibranti e valvole di intercettazione. Tramite tali valvole è possibile separare circuito idraulico e circuito del macchinario al fine di poter effettuare un lavaggio dell'impianto. Sulla tubazione di ritorno è installato un filtro ad y e due dispositivi di controllo, manometro e termometro.



Figura 4.43 Collegamento impianto acqua tecnica a Chiller

5 Dimensionamento rete idronica

In questo capitolo verranno descritte le scelte effettuate per il dimensionamento dell'impianto a due tubi di alimentazione dei terminali di climatizzazione delle unità immobiliari, locale portineria e palestra. Per il riscaldamento invernale dei servizi igienici, come anticipato, è previsto l'utilizzo di radiatori scaldasalviette idronici, mentre per quanto riguarda i fan coils sono state effettuate diverse scelte. In palestra e nel locale portineria è stata prevista l'installazione di ventilconvettori per installazione a cassette a batteria di scambio termico singola adatta per un impianto a due tubi.



Figura 5.1 Ventilconvettore per installazione a cassette AERMEC modello FCL1

Per quanto riguarda le unità immobiliari invece è stata prevista l'installazione di due tipologie di ventilconvettori:

- Ventilconvettore da incasso con possibilità di canalizzazione
- Ventilconvettore da incasso solamente canalizzabile

La scelta di 2 tipologie diverse di ventilconvettori è dovuta alla criticità per l'ultimo piano associata all'installazione di ventilconvettori canalizzabili in quanto, come visibile in figura 1.4, non vi è la possibilità di posizionare i fan coils liberamente poiché la superficie controsoffittata è molto ridotta per cui è necessaria l'installazione di ventilconvettori ad incasso a muro utilizzando un opportuno ventilcassaforma. Il ventilcassaforma è una struttura in lamiera zincata che permette di ottenere un alloggiamento ideale per l'installazione del ventilconvettore.

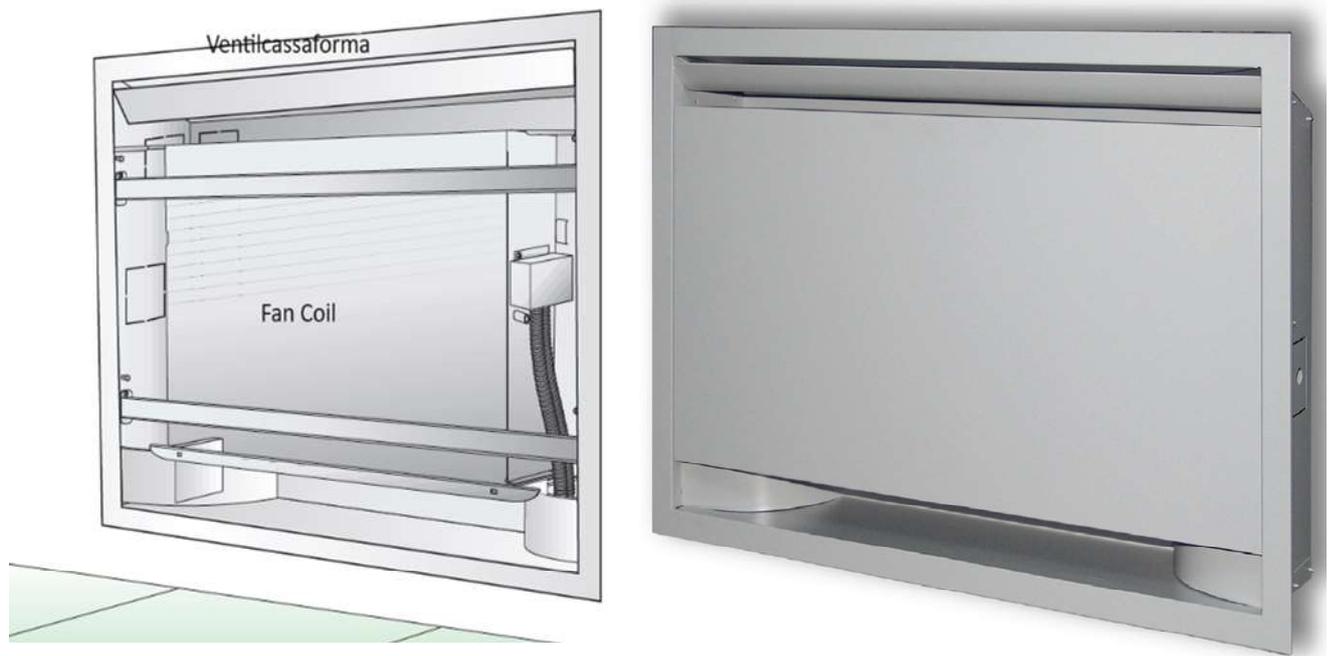


Figura 5.2 Ventilcassaforma



Figura 5.3 Fan coil solamente canalizzabile AERMEC modello FCZ-PO



Figura 5.4 Fan coil con possibilità di canalizzazione AERMEC modello OMNIA UL-P

Il funzionamento delle tre tipologie di ventilconvettori è analogo in quanto si basa sullo scambio termico mediante batteria alettata, con tubi in rame e alette in alluminio, tra aria e acqua calda o refrigerata. Per ogni ventilconvettore è prevista una bacinella di raccolta condensa che deve essere opportunamente collegata alla rete di scarico di acque reflue. Per quanto riguarda i ventilconvettori a cassetta la ripresa dell'aria dall'ambiente e la sua diffusione, tramite apposite griglie, viene garantita tramite il gruppo ventilante costituito da un ventilatore centrifugo con possibilità di regolazione continua della velocità di rotazione e quindi della portata d'aria immessa in ambiente. Nel caso invece dei fan coils scelti per le unità immobiliari sono costituiti da un gruppo ventilante caratterizzato da un ventilatore centrifugo a doppia aspirazione con la possibilità di funzionamento a tre velocità di rotazione. In prossimità di ogni fan coil sono presenti, oltre a delle valvole a sfera di intercettazione, un'elettrovalvola di regolazione sulla tubazione di mandata ed una valvola autoflow sulla tubazione di ritorno in centrale. Il principio di funzionamento meccanico dell'elettrovalvola a 2 vie è analogo a quanto descritto nel capitolo 4.1.1. L'utilizzo di una valvola ON/OFF permette, come anticipato, il controllo dell'alimentazione del fan coil fino al raggiungimento della temperatura di set point. La regolazione della potenza termica può essere effettuata, come anticipato, tramite la variazione della velocità di rotazione del ventilatore che comanda la portata di aria mandata in ambiente. La valvola autoflow è un regolatore automatico di portata dell'acqua e permette di garantire una portata di progetto ad ogni terminale ed un conseguente bilanciamento corretto dell'impianto anche per un funzionamento a carichi parziali. Questo permette di evitare che i terminali più vicini alla centrale termica abbiano, a fronte di minor perdita di carico lungo la tubazione che li alimenta, una maggior portata rispetto a quella di progetto a discapito dei terminali più lontani.

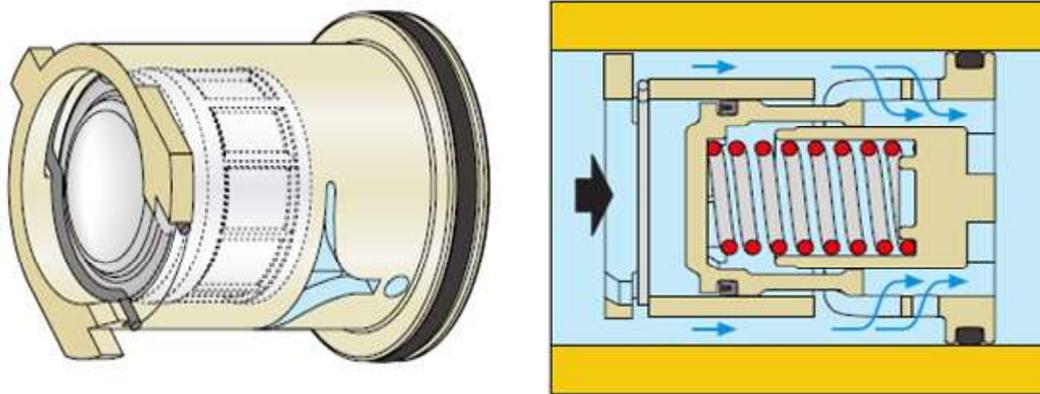


Figura 5.5 Sezione valvola AUTOFLOW

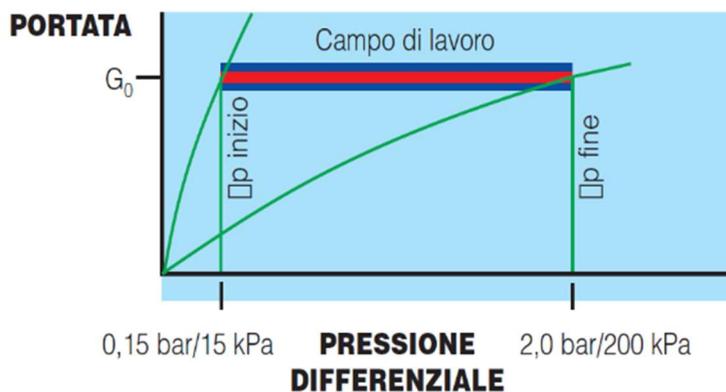


Figura 5.6 Esempio campo di lavoro stabilizzatore AUTOFLOW Caleffi

Il principio di funzionamento di regolazione della valvola autoflow è basato sulla pressione differenziale tra monte e valle della valvola stessa. Infatti, nel campo di lavoro, il pistone agisce sulla molla e riduce, all'aumentare della portata a monte e quindi della pressione differenziale, la sezione di passaggio, garantendo una portata di attraversamento costante e pari alla nominale. Inoltre, osservando la figura 5.7, si può notare come in una situazione di variazione della portata ed una sua riduzione al di sotto del valore di progetto vi sia una riduzione di pressione differenziale che, nel caso di raggiungimento del limite inferiore del campo di lavoro, comanda direttamente la portata circolante del circuito. La valvola autoflow in questo caso non regola più la portata e questo accade ad esempio nella situazione in cui la portata di acqua riduce fino ad un valore nullo a seguito della chiusura della sezione di passaggio da parte dell'elettrovalvola di regolazione a due vie.

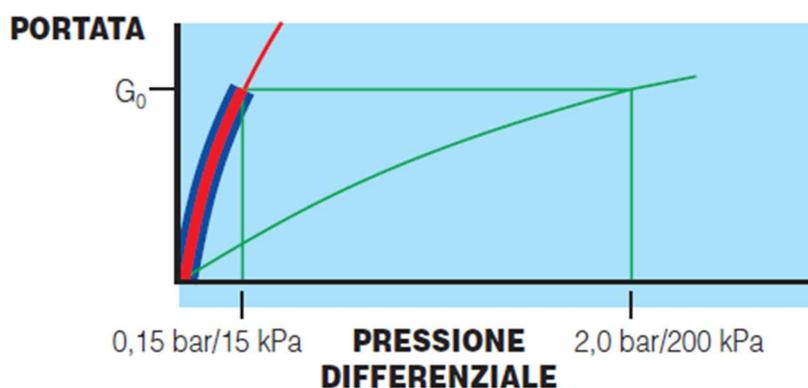


Figura 5.7 Funzionamento AUTOFLOW al di sotto del campo di lavoro

Componente fondamentale per l'indipendenza della climatizzazione di ogni ambiente è il cronotermostato del quale è prevista l'installazione per ogni ambiente climatizzato.



Figura 5.8 Cronotermostato

Il cronotermostato svolge la funzione di un termostato ma permette di impostare, tramite timer, una programmazione di climatizzazione settimanale o annuale con differenziazione stagionale. Inoltre, è programmabile su due livelli di temperatura:

- Normale, per attivazione ad orario al livello di progetto. Ad esempio, una temperatura di 20-22 °C in inverno e di 26 °C in estate.
- Antigelo, senza vincolo di orario.

Il cronotermostato qualora non fossero rispettate le condizioni di set point abilita la linea elettrica che alimenta i fan coils ed inoltre comunica anche con la valvola di regolazione a 2 vie installata in corrispondenza di ogni terminale

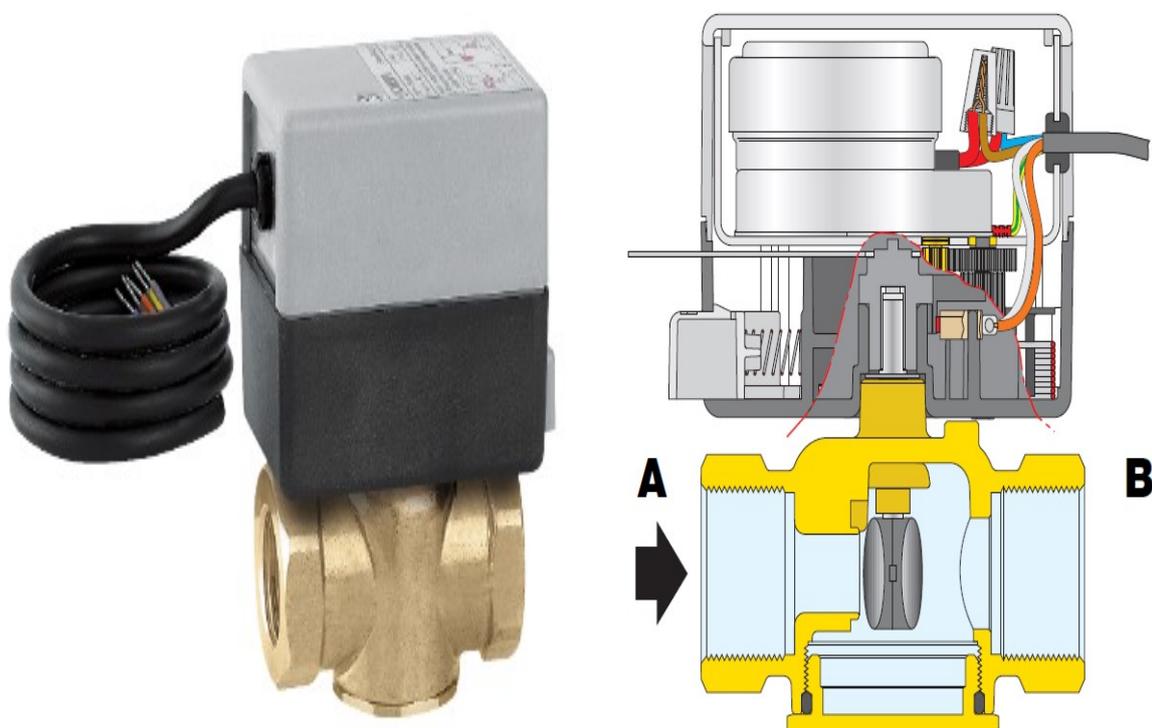
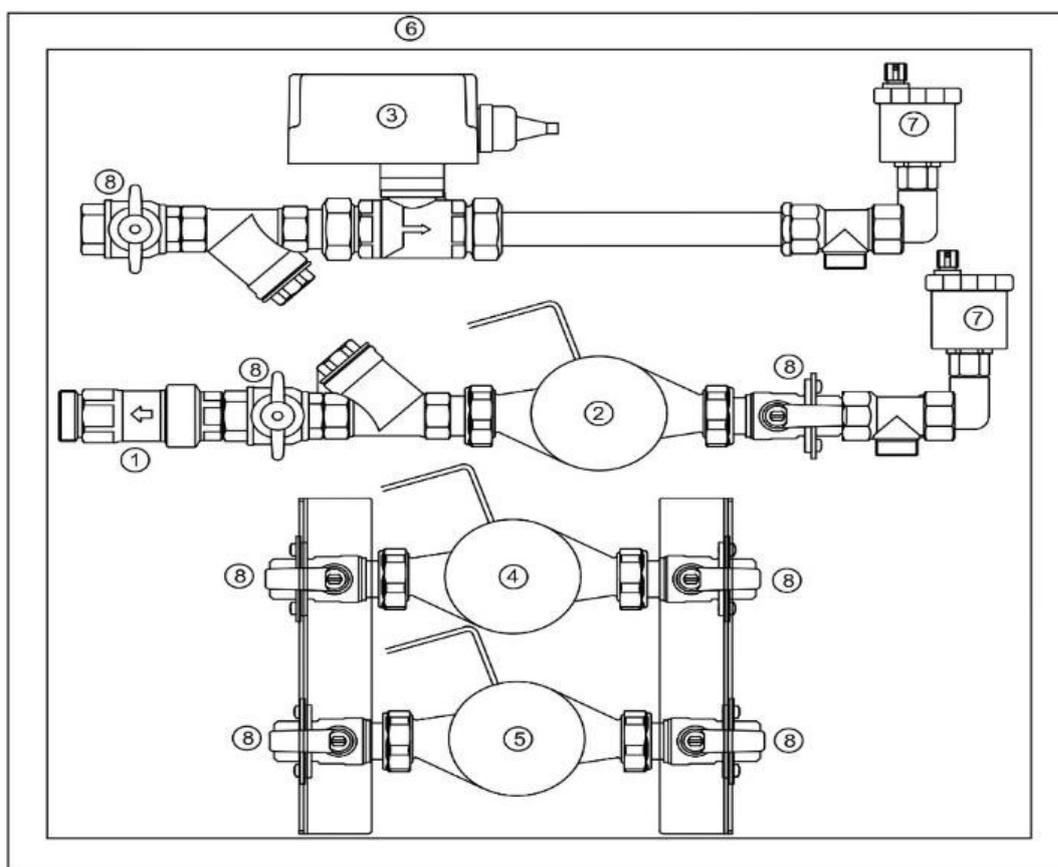


Figura 5.9 Valvola di zona

Il funzionamento della valvola di zona, figura 5.9, installata sulla tubazione di mandata in corrispondenza della cassetta di contabilizzazione, è comandato dal segnale elettrico proveniente dalle elettrovalvole installate in corrispondenza dei terminali. In assenza di segnale il contatto rimane aperto e non vi è alimentazione elettrica per cui l'otturatore mantiene la posizione di chiusura. Qualora vi fosse alimentazione elettrica dovuta alla chiusura del contatto tramite segnale elettrico viene comandato lo spostamento dell'otturatore in posizione di apertura della valvola. Non appena vi è l'apertura del contatto l'otturatore torna nella posizione iniziale grazie alla presenza di una molla. Sostanzialmente la valvola di zona fa una regolazione di tipo ON/OFF a monte dei contatori e permette di interrompere l'alimentazione dei terminali qualora non ve ne sia alcuno in funzione. Il controllo dell'elettrovalvola a 2 vie per la regolazione dei radiatori idronici può essere effettuato mediante installazione di un semplice termostato ambiente.

È prevista quindi l'installazione di una cassetta di contabilizzazione nel controsoffitto in corrispondenza dell'ingresso di ogni alloggio al fine di distinguere il consumo per ogni unità immobiliare. Per quanto riguarda le cassette di contabilizzazione sono dotate non solo di una lettura diretta prevista a livello locale ma anche in modalità remota e centralizzata con sistema M-BUS. Come è possibile osservare in figura 5.10 la cassetta contiene:

- Contabilizzatore acqua calda sanitaria
- Contabilizzatore acqua fredda potabile
- Contacalorie/contafrigorie per acqua tecnica calda e refrigerata



- ① VALVOLA DI BILANZIAMENTO TIPO AUTOFLOW
- ② CONTACALORIE PREDISPOSTO ALLA CENTRALIZZAZIONE DEI DATI CON SISTEMA M-BUS
- ③ VALVOLA DI ZONA A 2 VIE
- ④ CONTABILIZZATORI ACQUA FREDDA POTABILE PREDISPOSTO ALLA CENTRALIZZAZIONE DEI DATI CON SISTEMA M-BUS
- ⑤ CONTABILIZZATORI ACQUA CALDA SANITARIA PREDISPOSTO ALLA CENTRALIZZAZIONE DEI DATI CON SISTEMA M-BUS
- ⑥ CASSETTA CONTABILIZZATORE DIM. 450X450X110 IN LAMIERA VERNICIATA
- ⑦ VALVOLA SFOGO ARIA
- ⑧ VALVOLA INTERCETTAZIONE

Figura 5.10 Schema cassetta di contabilizzazione

Per quanto riguarda le tubazioni dell'impianto devono essere realizzate con specifici materiali e opportunamente coibentate come indicato nelle tabelle riassuntive rappresentate nelle figure seguenti.

Tubazioni climatizzazione – acqua calda				
<i>Condizioni di posa</i>	<i>Tipo di tubazione</i>	<i>Tipo coibente</i>	<i>Spessore (rif. DPR 412/93)</i>	<i>Finitura</i>
Centrali tecnologiche, aree esterne, intercapedine	Acciaio nero ss	Lana minerale	(100% All.B tab.1)	Lamierino Al
Cavedi verticali – montanti	Acciaio nero ss	Lana minerale	(50% All.B tab.1)	Isogenopak
Distribuzione primaria orizzontale (dai contabilizzatori ai collettori di distribuzione)	Multistrato Precoibentato opp. Press fitting	Gomma espansa	(30% / 50% All.B tab.1)	Nessuna
Collegamenti terminali (dai collettori ai terminali)	Multistrato precoibentato	Gomma espansa	(30% All.B tab.1)	Nessuna

Figura 5.11 Tubazioni acqua calda

Tubazioni climatizzazione – acqua refrigerata				
<i>Condizioni di posa</i>	<i>Tipo di tubazione</i>	<i>Tipo coibente</i>	<i>Spessore</i>	<i>Finitura</i>
Centrali tecnologiche, aree esterne, intercapedine	Acciaio nero ss	Gomma espansa	19 mm ≤ DN50 32 mm > DN50	Lamierino Al
Cavedi verticali – montanti	Acciaio nero ss	Gomma espansa	13 mm ≤ DN50 19 mm > DN50	Nessuna
Distribuzione primaria orizzontale (dai contabilizzatori ai collettori di distribuzione)	Multistrato Precoibentato opp. Press fitting	Gomma espansa	13 mm	Nessuna
Collegamenti terminali (dai collettori ai terminali)	Multistrato precoibentato	Gomma espansa	13 mm	Nessuna

Figura 5.12 Tubazioni acqua refrigerata

In questo impianto le tubazioni in acciaio nero senza saldatura raggiungono i contabilizzatori dai quali la distribuzione viene realizzata in questo caso mediante tubo multistrato precoibentato. Inoltre, eccezion fatta per il quarto piano, la distribuzione di acqua tecnica avviene direttamente dal contabilizzatore ai terminali di climatizzazione senza utilizzo di collettori di distribuzione. Questa soluzione è possibile grazie alla possibilità di avere la distribuzione in controsoffitto cosa invece non possibile al quarto piano in cui è necessaria una distribuzione a pavimento

tramite l'utilizzo dei collettori di distribuzione. La scelta di utilizzare una distribuzione tramite collettori, figura 5.20, in un impianto che necessariamente deve essere a pavimento è ideale al fine di ridurre punti di giunzione che possono essere fonte di perdite.

Il tubo multistrato, figura 5.13, è costituito da uno strato esterno ed interno di polietilene reticolato Pex-b che lo rende particolarmente adattato al trasporto di acqua sia sanitaria che tecnica. Internamente vi è uno strato di alluminio che garantisce una maggior flessibilità alla tubazione oltre che un minor costo. Nel caso di tubo precoibentato è presente esternamente un isolante quale lana minerale o gomma espansa che deve rispettare quanto indicato nell'allegato B del DPR¹⁴ 412/93 per tubazioni di adduzione di acqua calda sanitaria e tecnica. La finitura delle tubazioni ove richiesta è realizzata mediante lamierino di alluminio o foglio di pvc isogenopak.

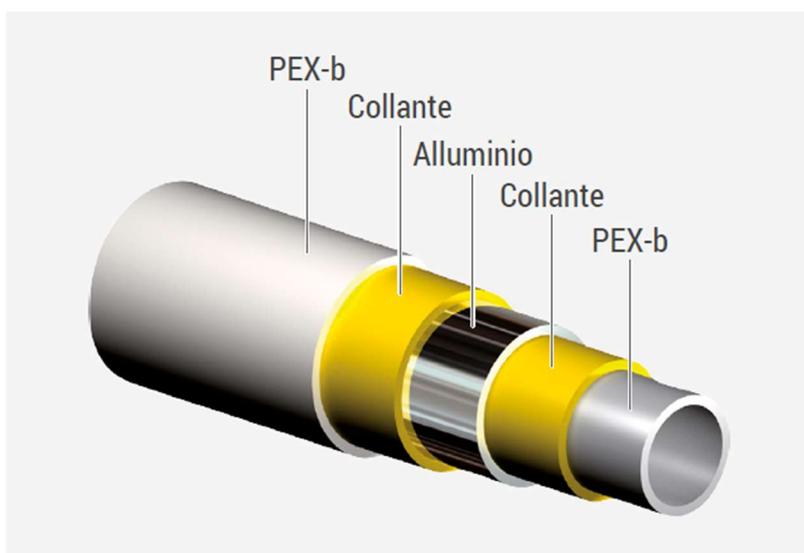


Figura 5.13 Sezione tubo multistrato

Nel caso dell'impianto a 2 tubi, quindi tubazioni utilizzate sia per acqua calda che refrigerata, debbono essere seguite le indicazioni in figura 5.11 viceversa per impianto di adduzione con rete acqua calda e refrigerata distinte devono essere seguite le indicazioni rispettivamente delle figure 5.11 e 5.12.

¹⁴ Decreto del Presidente della Repubblica

La coibentazione viene principalmente realizzata in gomma espansa o lana minerale che differiscono tra loro per conduttività termica:

- Gomma: $\lambda=0,04 \frac{W}{mK}$
- Lana minerale: $\lambda=0,035 \frac{W}{mK}$

L'allegato B del DPR 412/93 stabilisce lo spessore minimo di coibentazione, per tubazioni di adduzione di fluido termovettore caldo, in funzione del valore di conduttività termica del materiale isolante utilizzato e della dimensione della tubazione da isolare.

Conduktivita' Termica utile dell'isolante (W/m °C)	Diametro esterno della tubazione (mm)					
	< 20	a 39	a 59	a 79	a 99	> 100
0.030	13	19	26	33	37	40
0.032	14	21	29	36	40	44
0.034	15	23	31	39	44	48
0.036	17	25	34	43	47	52
0.038	18	28	37	46	51	56
0.040	20	30	40	50	55	60
0.042	22	32	43	54	59	64
0.044	24	35	46	58	63	69
0.046	26	38	50	62	68	74
0.048	28	41	54	66	72	79
0.050	30	44	58	71	77	84

Figura 5.14 Tabella 1 allegato B DPR 412/93

In caso di valori di conduttività intermedia è possibile ottenere il valore dello spessore di isolamento tramite interpolazione.

In figura 5.11 oltre al riferimento alla tabella del DPR sono specificate delle percentuali che rappresentano un fattore di riduzione dello spessore di coibentazione qual ora venissero rispettate opportune condizioni:

- 30 %: per tubazioni installate all'interno di ambienti riscaldati;
- 50 %: per tubazioni installate all'interno dell'involucro edilizio isolato termicamente;

Per quanto riguarda il dimensionamento delle tubazioni in acciaio è stato effettuato considerando come punto di partenza l'entità dei carichi termici estivi ed invernali \dot{Q} [W], tabella 3.1, che sono stati maggiorati cautelativamente del 15 % ponendo attenzione riguardo la differenza tra ambienti in cui vi è il radiatore idronico e quindi solo riscaldamento invernale e ambienti in cui vi è una climatizzazione estiva ed invernale tramite fan coil. Utilizzando il carico termico è stata calcolata la portata di acqua teorica, necessaria al funzionamento del terminale in condizioni di progetto considerando un salto termico del fluido termovettore di circa 5 °C.

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q} \cdot 0,86}{5} \quad (5.1)$$

La portata è stata quindi confrontata con le specifiche portate nominali di funzionamento delle valvole autoflow da catalogo Caleffi, tabella 5.1, con range di pressione differenziale di funzionamento pari a 15-200 kPa.

Tabella 5.1 Portata regolatore autoflow

Tipologia AUTOFLOW	PORTATA NOMINALE $[\frac{l}{h}]$
M08	85
M10	100
M12	120
M15	150
M20	200
M25	250
M30	300
M35	350
M40	400
M50	500
M60	600
M70	700
M80	800
M90	900
1M0	1000

Successivamente la portata ottenuta è stata confrontata con la portata massima in funzione di un dimensionamento a perdita di carico normale pari a $250 \frac{\rho_a}{m}$ ed è stata scelta di conseguenza la dimensione della tubazione adeguata. Il medesimo ragionamento è stato seguito per il dimensionamento delle tubazioni multistrato. Il calcolo della portata necessaria è stato eseguito considerando sia il carico termico invernale che quello estivo considerando infine la condizione più critica tra le due. Questo poiché nonostante le tubazioni, a parità di dimensione, siano più restrittive in termini di portata nel caso di acqua refrigerata rispetto all'acqua calda è possibile, seppur molto raramente, che in alcuni ambienti il contributo del carico termico di riscaldamento richieda una maggior portata ed eventualmente maggior dimensione della tubazione rispetto alla condizione di funzionamento estiva.

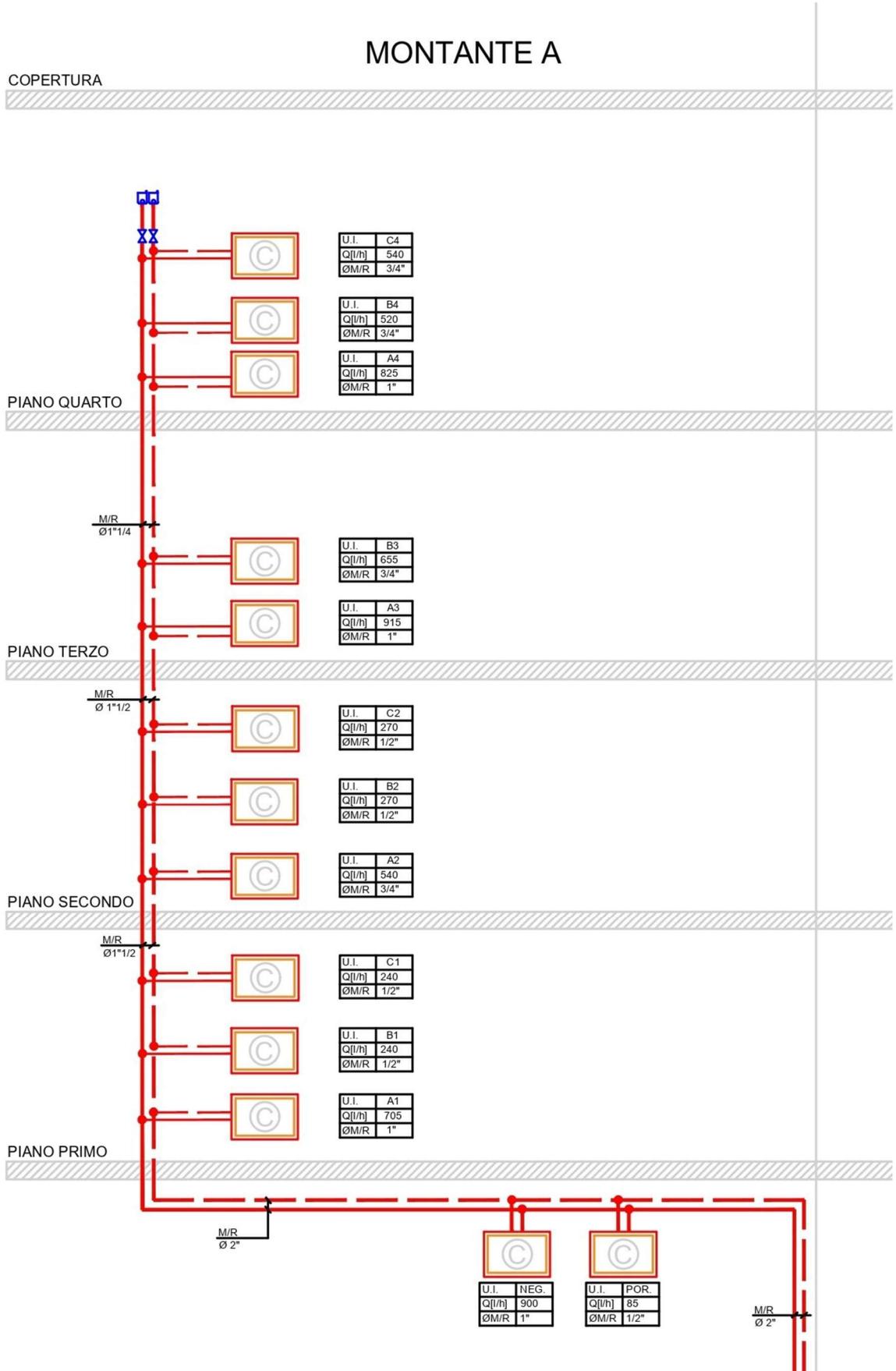


Figura 5.15 Montante A altimetrico acqua tecnica

MONTANTE B

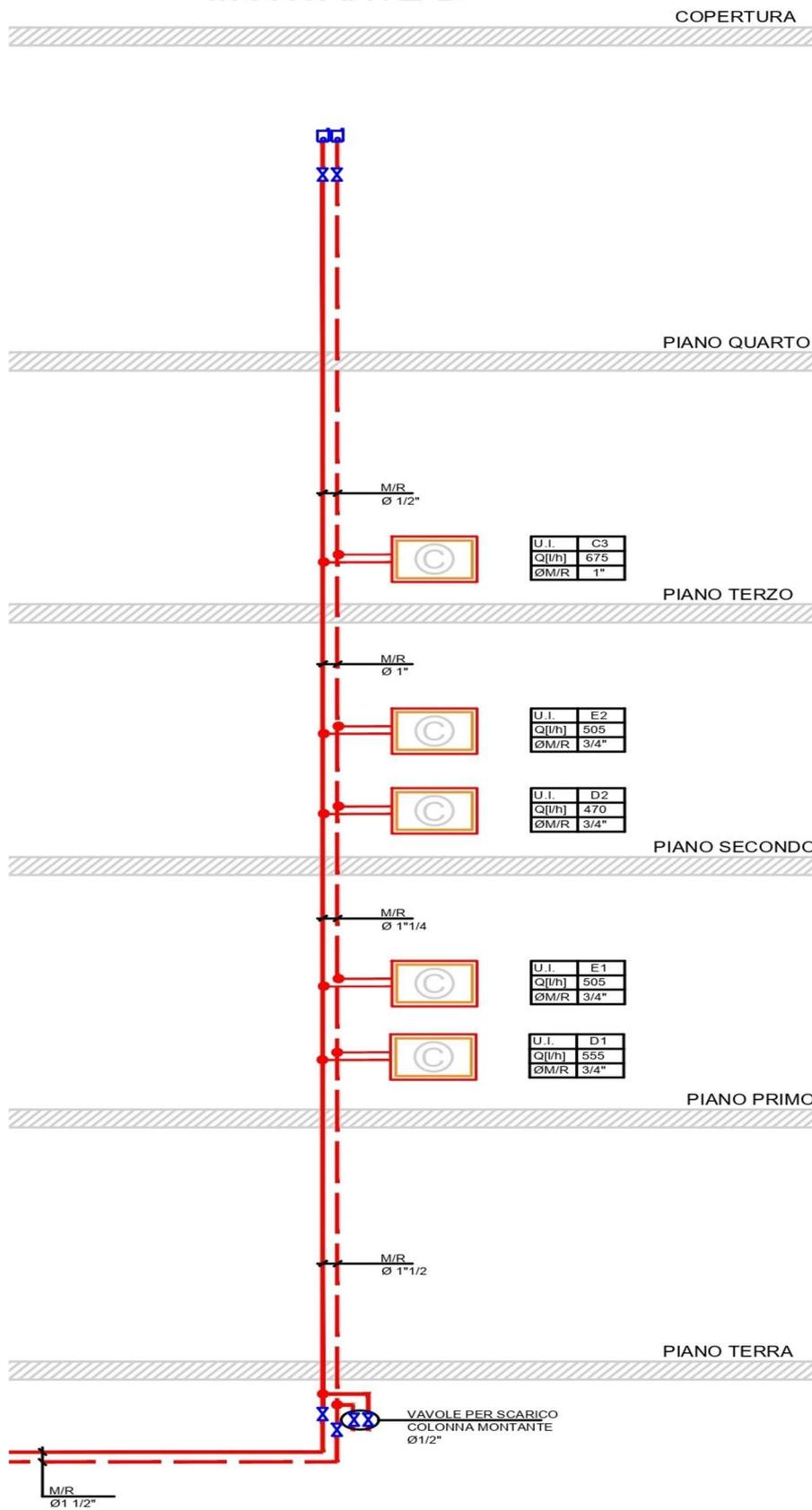


Figura 5.16 Montante B altimetrico acqua tecnica

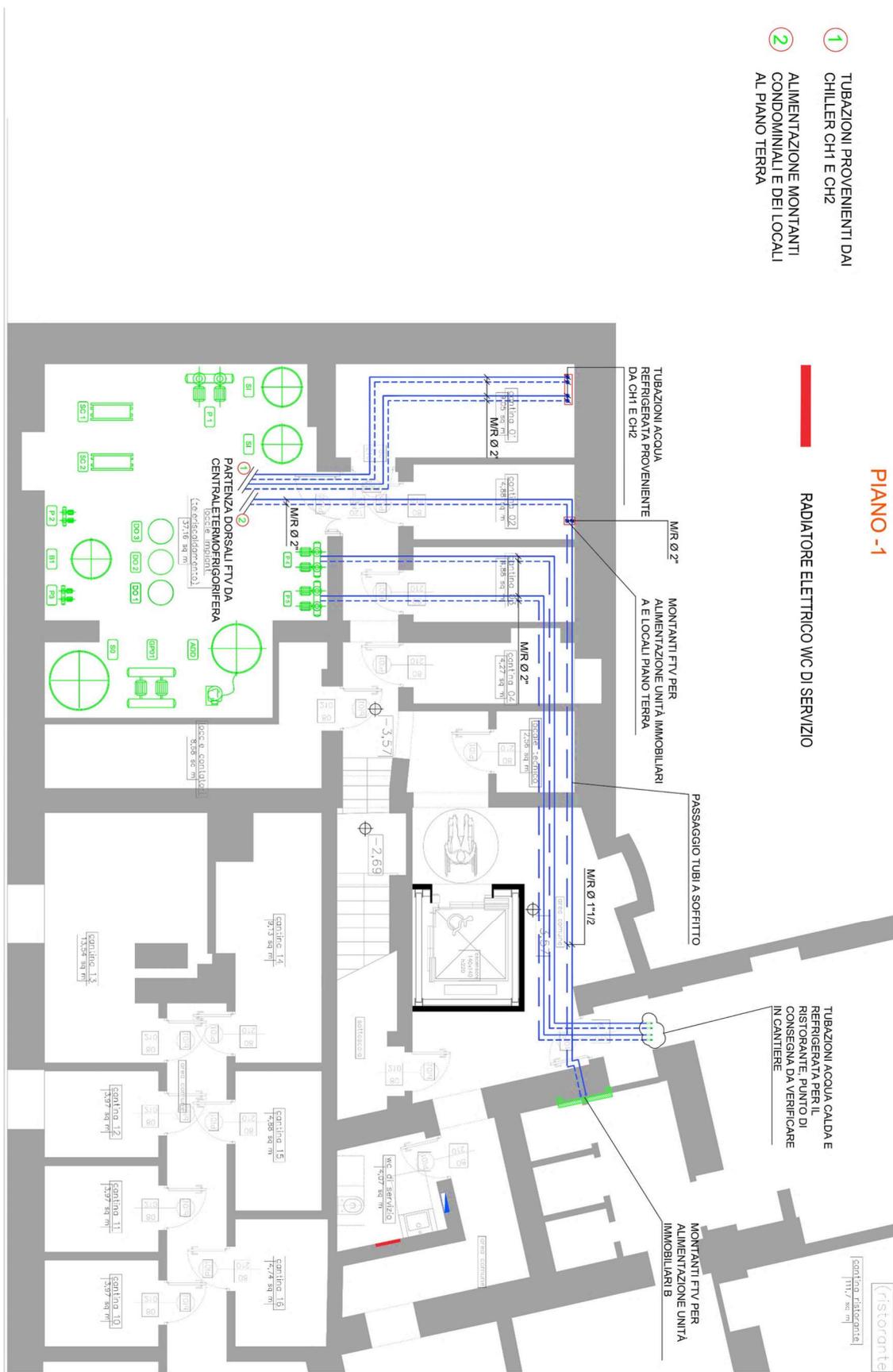


Figura 5.17 Rete idronica Piano interrato

Tabella 5.2 Dimensionamento colonne montanti e tubazioni da centrale termica

	MONTANTE A	MONTANTE B	PORTATA A $\left[\frac{l}{h}\right]$	PORTATA B $\left[\frac{l}{h}\right]$
<i>Piano terra-piano primo</i>	2"	1" 1/2	5705	2770
<i>Piano primo-piano secondo</i>	1" 1/2	1" 1/4	4535	1690
<i>Piano secondo-piano terzo</i>	1" 1/2	1"	3455	695
<i>Piano terzo-piano quarto</i>	1" 1/4	1/2"	1885	/
<i>Totale montante A</i>	2"	/	6690	/
<i>Totale montante B</i>	/	1" 1/2	/	2770
	Dimensione		Portata $\left[\frac{l}{h}\right]$	
<i>Montante A-portineria e palestra</i>	1"		985	
<i>Totale da centrale termica</i>	2"		8475	

Le portate indicate nelle tabelle 5.2 e 5.3 fanno riferimento alla portata tra acqua calda e refrigerata che ha determinato la condizione più critica per il dimensionamento delle tubazioni e, nel caso di dimensione analoga, la portata di acqua refrigerata.

Tabella 5.3 Dimensionamento tubazioni per le singole unità immobiliari

<i>APPARTAMENTI</i>	<i>PORTATA</i> $[\frac{l}{h}]$	<i>DIMENSIONE TUBAZIONE ACCIAIO</i>	<i>DIMENSIONE TUBAZIONE MULTISTRATO</i>
<i>A1</i>	705	1"	32X3
<i>B1</i>	240	1/2"	20X2,25
<i>C1</i>	240	1/2"	20X2,25
<i>D1</i>	555	3/4"	25X2,5
<i>E1</i>	505	3/4"	25X2,5
<i>A2</i>	540	3/4"	25X2,5
<i>B2</i>	270	1/2"	20X2,25
<i>C2</i>	270	1/2"	20X2,25
<i>D2</i>	470	3/4"	25X2,5
<i>E2</i>	505	3/4"	25X2,5
<i>A3</i>	915	1"	32X3
<i>B3</i>	655	3/4"	32X3
<i>C3</i>	675	1"	32X3
<i>A4</i>	825	1"	32X3
<i>B4</i>	520	3/4"	25X2,5
<i>C4</i>	540	3/4"	25X2,5
<i>Palestra</i>	900	1"	32X3
<i>Portineria</i>	85	1/2"	14X2

Per quanto riguarda le diramazioni delle tubazioni multistrato all'interno di ogni singolo appartamento al fine di avere una distribuzione uniforme senza eccessivi cambi di sezione viene realizzata una linea principale della dimensione indicata in tabella 5.3 e i singoli stacchi sono realizzati della medesima dimensione o più piccola a seconda delle esigenze. Al fine di non appesantire la relazione non sono stati riportati i calcoli effettuati per il dimensionamento degli stacchi in quanto semplicemente sono stati ottenuti considerando la portata richiesta dallo specifico terminale di climatizzazione. La scelta dei terminali e la loro quantità per ogni ambiente è stata realizzata considerando quattro modelli diversi di ventilconvettori caratterizzati ciascuno da una potenza termica e frigorifera diverse. La scelta del terminale adeguato è stata effettuata verificando che la sua potenza frigorifera sensibile, considerando una velocità di rotazione media del ventilatore, fosse maggiore della componente sensibile del carico termico estivo maggiorata del 15 %. Successivamente è stato verificato che la potenza termica di riscaldamento del fan coil fosse adeguata e quindi superiore al carico termico invernale sempre maggiorato del 15 %. A completamento di quanto descritto di seguito vengono riportati i modelli adeguati ad un eventuale installazione:

- Ventilconvettori AERMEC OMNIA ULP 11, OMNIA ULP 16, OMNIA ULP 26, FCZ PO 500;

I radiatori idronici non sono stati direttamente scelti.

6 Dimensionamento rete di distribuzione aria primaria

La distribuzione di aria primaria, necessaria a garantire una corretta qualità dell'aria interna, avviene con immissione in ambiente tramite i ventilconvettori. Il recuperatore di calore, il cui funzionamento è stato descritto nel capitolo 4.2, tramite opportune canalizzazioni secondo struttura ramificata, invia l'aria primaria ai vari terminali di distribuzione. Per ogni fan coil è prevista la realizzazione di un plenum, ossia una canalizzazione aggiuntiva in cui vi possa essere la miscelazione dell'aria proveniente dal recuperatore e di quella estratta dall'ambiente dal fan coil stesso durante il suo funzionamento. Al quarto piano in realtà, come anticipato, a causa della particolare conformazione, che ha portato alla scelta di installazione a muro di fan coils non canalizzati, l'immissione dell'aria primaria è separata dal funzionamento dei fan coils ed avviene tramite l'utilizzo di opportune bocchette installate a valle di un plenum di diffusione collegato alla rete principale di distribuzione di aria primaria. Per quanto riguarda il ricambio di aria è funzione della tipologia di ambiente e del profilo di occupazione. Nello specifico in questo progetto al fine di garantire uniformità per ogni unità immobiliare sono state scelte delle specifiche portate di ricambio a seconda della tipologia di ambiente:

- Zona giorno/ cucina, camera doppia $60 \frac{m^3}{h}$;
- Camera singola/studio $30 \frac{m^3}{h}$;
- Palestra $300 \frac{m^3}{h}$;
- Locale portineria $30 \frac{m^3}{h}$;

Al contempo va garantita una corretta estrazione dell'aria viziata nei servizi igienici, sempre tramite recuperatore di calore. In questo caso per l'estrazione è stata seguita una strategia diversa rispetto all'immissione di aria in quanto è stata prevista ovviamente un'estrazione separata dal funzionamento del fan coil. L'obiettivo, in fase di determinazione delle portate di ricambio totali necessarie, è quello di garantire un bilanciamento di portata immessa ed estratta per ogni appartamento o locale. In realtà è opportuno specificare che a livello di portata estratta dai servizi

igienici vanno anche seguite le indicazioni riportate nell'articolo 107 del regolamento edilizio del comune di Milano che impone delle portate minime di ricambio per specifiche condizioni dei wc. Tale regolamento specifica che per i bagni ciechi va garantita un'estrazione minima pari a sei volumi ora in espulsione continua come in questo caso. Per quanto riguarda i servizi finestrati l'estrazione può essere presente in funzione delle caratteristiche e delle necessità dell'impianto di ventilazione. Dopo aver eseguito un controllo sulla minima portata di estrazione necessaria per i bagni ciechi sono state definite le portate di ricambio e di estrazione.

Tabella 6.1 Portate di aria primaria

$\frac{m^3}{h}$	C1	C2	C3	C5	C7	TOT APT	TOT+PORT+PAL
A1					150	150	
B1	120					120	
C1				120		120	
D1		210				210	
E1			180			180	
A2					150	150	
B2	120					120	
C2				120		120	
D2		180				180	
E2			180			180	
A3	210				90	300	
B3		240				240	
C3		60	150			210	
A4	270					270	
B4		180				180	
C4			180			180	
TOT CAVEDIO	720	870	690	240	390	2910	3240

La portata di aria primaria necessaria per ogni appartamento è stata definita in funzione di ogni cavedio utilizzato per la predisposizione dei canali e riportata in tabella 6.1. È stato riportato anche il totale di aria primaria considerando la necessità di ricambio d'aria per il locale portineria e per la palestra. Per quanto riguarda la portata totale di aria viziata da estrarre è leggermente superiore, come osservabile in tabella 6.2, in quanto per il servizio igienico al piano interrato a servizio del locale portineria è prevista un'estrazione minima pari a $80 \frac{m^3}{h}$.

Tabella 6.2 Portate di estrazione aria viziata

$\frac{m^3}{h}$	C1	C2	C3	C5	C7	TOT APT	TOT+PORT+PAL
A1					150	150	
B1	120					120	
C1				120		120	
D1		210				210	
E1			180			180	
A2					150	150	
B2	120					120	
C2				120		120	
D2		180				180	
E2			180			180	
A3	250				50	300	
B3		240				240	
C3		110	100			210	
A4	270					270	
B4		180				180	
C4		80	100			180	
TOT CAVEDIO	760	1000	560	240	350	2910	3290

Per quanto riguarda il dimensionamento della rete aeraulica di mandata e di ripresa il criterio utilizzato è quello di perdita di carico costante per metro lineare. In fase di dimensionamento è stato quindi prestabilito un valor di progetto pari a $0,7 \frac{Pa}{m}$ ed è stata scelta la dimensione, ove non fosse ritenuto necessario fare diversamente dal punto di vista dell'installazione, che garantisca la perdita di carico per metro lineare più vicina al valore di progetto. Questa soluzione impiantistica nonostante sia abbastanza affidabile non consente un corretto bilanciamento della rete di distribuzione, considerata anche la non simmetria delle diramazioni, motivo per il quale su ogni condotta di alimentazione del fan coil o del plenum di distribuzione è opportuna l'installazione di un regolatore a volume d'aria costante.



Figura 6.1 Regolatore automatico di portata RDR

Il funzionamento è associato al movimento di una serranda dinamica che, tramite l'ausilio di una molla calibrata, in funzione della differenza di pressione tra ingresso e uscita del regolatore impone una certa sezione di passaggio all'aria al fine di mantenere una portata costante. Infatti, tramite un meccanismo di regolazione con vite di arresto è possibile posizionare ad un'altezza specifica la serranda dinamica in funzione del valore di progetto della portata.

Per quanto riguarda il dimensionamento dei canali, circolari e rettangolari, sono state seguite le indicazioni riportate nel ASHRAE Fundamentals Handbook del 1997.

Le perdite di carico per metro lineare sono state calcolate utilizzando la seguente formula:

$$\Delta p = \frac{1000}{D_e} \frac{\rho V_{eq}^2}{2} \quad (6.1)$$

La densità ρ è stata posta pari a $1.2 \frac{kg}{m^3}$ considerando aria alla temperatura di 20 °C.

Innanzitutto, deve essere definito un diametro equivalente D_e che rappresenta una relazione tra una sezione circolare e una rettangolare a parità di perdite di carico, lunghezza e portata. Infatti, il diametro equivalente di un condotto circolare coincide con il diametro del condotto stesso. Tale diametro viene definito come segue:

$$D_e = \frac{1.30(ab)^{0.625}}{(a+b)^{0.250}} \quad (6.2)$$

a e b rappresentano le dimensioni rispettivamente di base ed altezza del canale.

Per quanto riguarda la velocità equivalente V_{eq} può essere semplicemente calcolata, effettuando le opportune conversioni delle unità di misura, in funzione della portata di aria che circola nel condotto. Tramite la velocità equivalente è possibile calcolare il numero di Reynolds Re .

$$V_{eq} = \frac{\dot{m}_{aria}}{\frac{\pi D_{eq}^2}{4}} \quad (6.3)$$

$$Re = \frac{D_{eq} V_{eq}}{1000 \nu} \quad (6.4)$$

ν è la viscosità cinematica espressa in $\frac{m^2}{s}$ ed è pari a 0,000015.

Come ultimo parametro da calcolare vi è il coefficiente d'attrito f . Innanzitutto, viene calcolato un coefficiente d'attrito f' mediante formula semplificata, equazione 6.5, tramite il quale ricavare il coefficiente d'attrito definitivo.

$$f' = 0.11 \left(\frac{\varepsilon}{D_{eq}} + \frac{68}{Re} \right)^{0.25} \quad (6.5)$$

ε rappresenta la rugosità del condotto espressa in mm ed in questo caso posta pari a 0,09 in quanto trattasi di canalizzazioni appartenenti ad una categoria di rugosità medio-liscia.

A questo punto il coefficiente f viene definito come segue:

- $f' \geq 0,018 \rightarrow f = f'$;
- $f' < 0,018 \rightarrow f = 0,85f' + 0,0028$;

Vista la grandezza dell'edificio e della rete di distribuzione nelle tabelle seguenti verranno riportate le dimensioni dei canali installati nel locale tecnico e nei cavedi così come degli stacchi agli appartamenti a supporto dello schema altimetrico riportato nelle figure 6.2 e 6.3.

Tabella 6.3 Caratteristiche canalizzazioni principali mandata aria primaria

	PORTATA $\left[\frac{m^3}{h}\right]$	DIMENSIONE $bxh \text{ o } \varnothing [mm]$	VELOCITA' $\left[\frac{m}{s}\right]$	PERDITA DI CARICO $\left[\frac{Pa}{m}\right]$
PRESA ARIA ESTERNA-VMC	3240	500	4,59	0,44
MANDATA ARIA PRIMARIA-VMC	3240	450X600	3,33	0,24
LOCALE PORTINERIA	30	125	0,68	0,1
PALESTRA	300	200X150	2,78	0,68
PALESTRA+CAVED IO C7	690	300X200	3,19	0,57
CAVEDIO C7 PT-P1	300	350X150	2,06	0,31
APT-A1	150	200X100	2,08	0,55
CAVEDIO C7 P1-P2	240	200X150	2,22	0,45
APT-A2	150	200X100	2,08	0,55
CAVEDIO C7 P2-P3	90	150X100	1,67	0,42
APT-A3	90	150X100	1,67	0,42
DISCESA PIANO INTERRATO CANALE PRINCIPALE	2520	350X550	3,63	0,35
CAVEDIO C1 PINT- P1	720	300X200	3,33	0,62
APT-B1	120	200X100	1,67	0,37
CAVEDIO C1 P1-P2	600	300X200	1,85	0,16
APT-B2	120	200X100	1,67	0,37
CAVEDIO C1 P2-P3	480	250X200	2,67	0,46
APT-A3	210	200X150	1,94	0,36
CAVEDIO C1 P3-P4	270	200X150	2,5	0,56

<i>APT-A4</i>	270	200X150	2,5	0,56
<i>CAVEDIO C2+C5</i>	1110	350X250	3,52	0,54
<i>CAVEDIO C2 PINT-P1</i>	870	350X250	2,3	0,22
<i>APT-D1</i>	210	200X150	1,94	0,36
<i>CAVEDIO C2 P1-P2</i>	560	300X200	2,59	0,39
<i>APT-D2</i>	180	150X150	2,22	0,54
<i>CAVEDIO C2 P2-P3</i>	480	250X200	2,67	0,46
<i>APT-B3</i>	300	200X150	2,78	0,68
<i>CAVEDIO C2 P3-P4</i>	180	150X150	2,22	0,54
<i>APT-B4</i>	180	150X150	2,22	0,54
<i>CAVEDIO C5 PINT-P1</i>	240	200X150	2,22	0,45
<i>APT-C1</i>	120	200X100	1,67	0,37
<i>CAVEDIO C5 P1-P2</i>	120	200X100	1,67	0,37
<i>APT-C2</i>	120	200X100	1,67	0,37
<i>CAVEDIO C3 PINT-P1</i>	690	250X250	3,07	0,51
<i>APT-E1</i>	180	150X150	2,22	0,54
<i>CAVEDIO C3 P1-P2</i>	510	250X200	2,83	0,51
<i>APT-E2</i>	180	150X150	2,22	0,54
<i>CAVEDIO C3 P2-P3</i>	330	250X150	2,44	0,48
<i>APT-C3</i>	150	200X100	2,08	0,55
<i>CAVEDIO C3 P3-P4</i>	180	150X150	2,22	0,54
<i>APT-C4</i>	180	150X150	2,22	0,54

Tabella 6.4 Caratteristiche canalizzazioni principali ripresa aria viziata

	<i>Portata</i> $\left[\frac{m^3}{h}\right]$	<i>Dimensione</i> <i>b x h o Ø [mm]</i>	<i>Velocità</i> $\left[\frac{m}{s}\right]$	<i>Perdita di</i> <i>carico</i> $\left[\frac{Pa}{m}\right]$
ESPULSIONE ARIA ESTERNA-VMC	3290	500	4,66	0,46
RIPRESA ARIA PRIMARIA-VMC	3290	450X600	3,38	0,25
PALESTRA	300	200	2,59	0,53
CAVEDIO C7	350	250X150	3,19	0,57
CAVEDIO C7 PT-P1	350	350X150	1,85	0,25
APT-A1	150	100X200	2,08	0,55
CAVEDIO C7 P1-P2	240	250X150	1,48	0,2
APT-A2	150	100X200	2,08	0,55
CAVEDIO C7 P2-P3	50	150X150	0,61	0,1
APT-A3	50	100X100	1,39	0,38
DISCESA PIANO INTERRATO CANALE PRINCIPALE	2640	350X550	3,81	0,38
CAVEDIO C1 PINT-P1	760	300X200	3,52	0,68
APT-B1	120	100X200	1,67	0,37
CAVEDIO C1 P1-P2	640	300X200	1,85	0,16
APT-B2	120	100X200	1,67	0,37
CAVEDIO C1 P2-P3	520	250X200	2,89	0,52
APT-A3	250	200X150	2,31	0,48
CAVEDIO C1 P3-P4	270	200X150	2,5	0,56
APT-A4	270	200X150	2,5	0,56
CAVEDIO C2+C5	1320	350X250	4,19	0,73
WC SERVIZIO LOCALE PORTINERIA	30	125	1,81	0,46
CAVEDIO C2 PINT-P1	1000	350X250	3,17	0,44

<i>APT-D1</i>	210	200X150	1,94	0,36
<i>CAVEDIO C2 P1-P2</i>	790	350X250	2,51	0,3
<i>APT-D2</i>	180	150X150	2,22	0,54
<i>CAVEDIO C2 P2-P3</i>	610	350X200	2,42	0,32
<i>APT-B3</i>	350	200X150	3,24	0,89
<i>CAVEDIO C2 P3-P4</i>	260	150X150	3,21	1,04
<i>APT-B4</i>	260	150X150	3,21	1,04
<i>CAVEDIO C5 PINT-P1</i>	240	200X150	2,22	0,45
<i>APT-C1</i>	120	200X100	1,67	0,37
<i>CAVEDIO C5 P1-P2</i>	120	200X100	1,67	0,37
<i>APT-C2</i>	120	200X100	1,67	0,37
<i>CAVEDIO C3 PINT-P1</i>	560	250X250	2,49	0,35
<i>APT-E1</i>	180	150X150	2,22	0,54
<i>CAVEDIO C3 P1-P2</i>	380	250X200	1,48	0,17
<i>APT-E2</i>	180	150X150	2,22	0,54
<i>CAVEDIO C3 P2-P3</i>	200	250X150	1,48	0,2
<i>APT-C3</i>	100	150X100	1,85	0,51
<i>CAVEDIO C3 P3-P4</i>	100	150X100	1,85	0,51
<i>APT-C4</i>	100	150X100	1,85	0,51

Come osservabile nelle tabelle precedenti non tutte le perdite di carico si avvicinano al valore di progetto ma questo è dovuto al fatto che per esigenze costruttive sono state scelte delle dimensioni diverse da quelle teoricamente ottimali.

LEGENDA	
	TRAZIONE MANIPOLAZIONE (AMBIENTE DI ALLOGGIO)
	
	

Per ogni misura riportata la prima dimensione è riferita alla vista attuale dei condotti. La seconda misura fa riferimento alla dimensione non visibile in questa vista

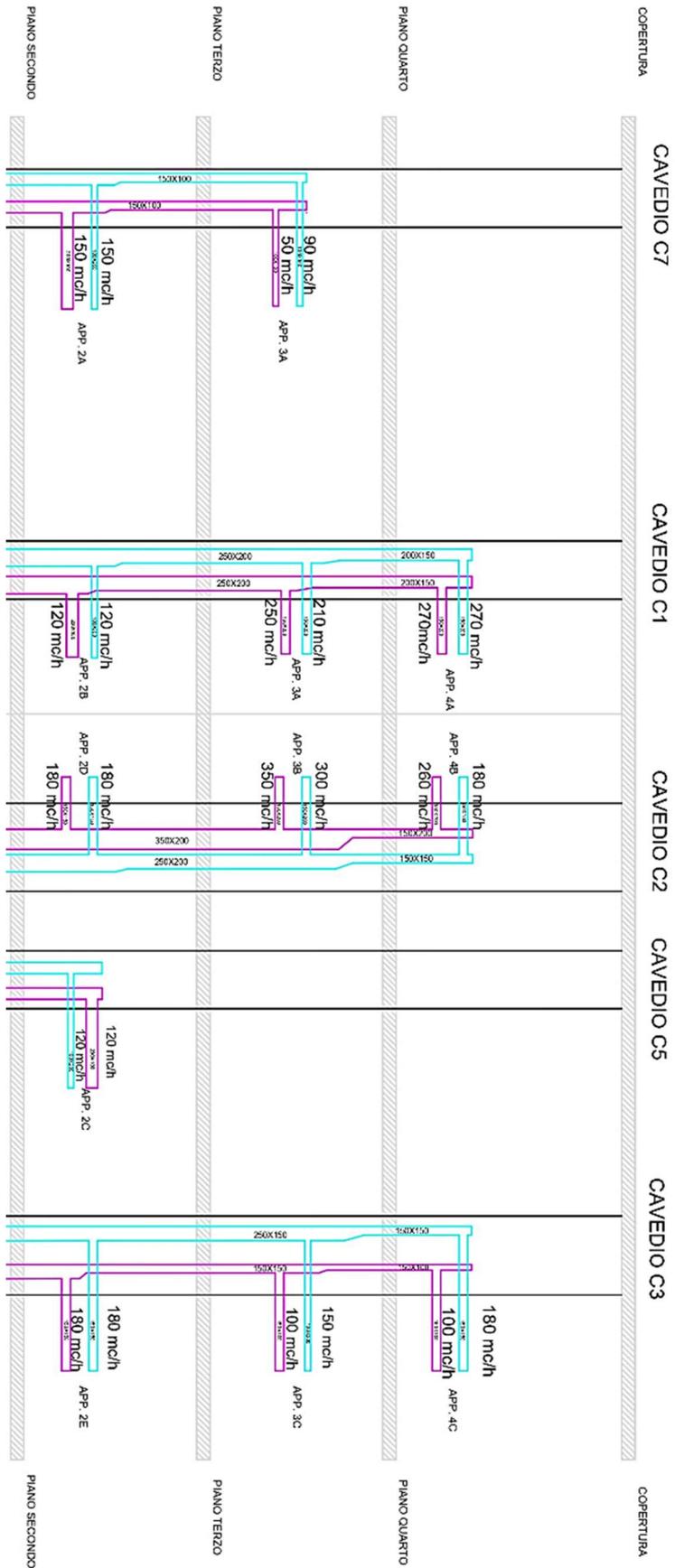


Figura 6.2 Altimetrico aria primaria

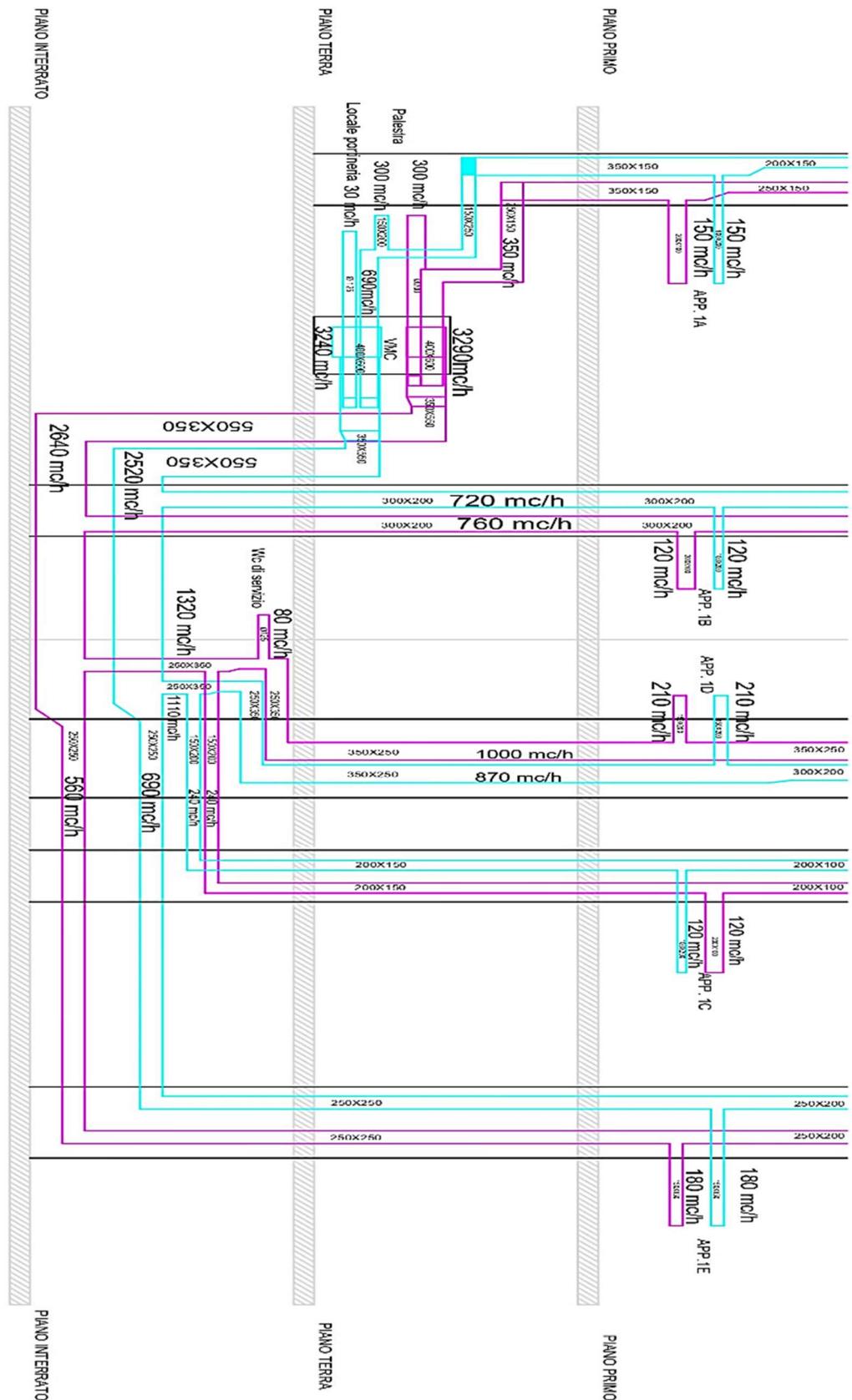


Figura 6.3 Seconda parte altimetrico aria primaria

Per quanto riguarda la distribuzione dei canali dell'aria è stata riportata a titolo di esempio la possibile predisposizione riguardante il secondo e quarto piano, figure 6.4 e 6.5. Al primo piano in alcuni ambienti la mandata e ripresa di aria primaria avviene tramite canalizzazione a valle del fan coil al termine della quale sono posizionati dei diffusori lineari installati in controsoffitto.

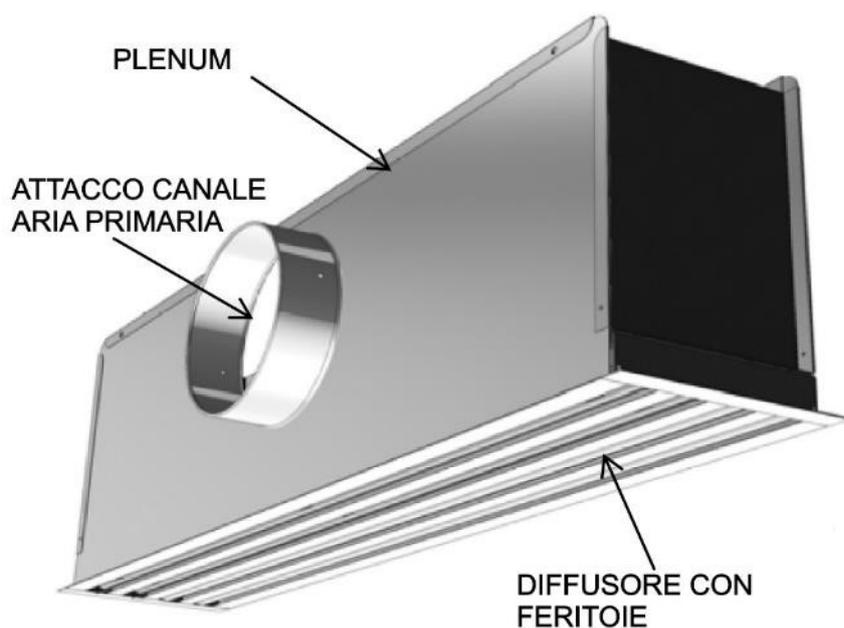


Figura 6.6 Diffusore lineare

Il diffusore, caratterizzato in questo caso da feritoie, permette una distribuzione dell'aria primaria con una regolazione della direzione del flusso utilizzando i deflettori presenti nelle feritoie. Tramite il deflettore è possibile garantire un flusso verticale così come un flusso orizzontale che sfrutti l'effetto Coanda¹⁵ al fine di non creare un possibile discomfort all'individuo presente nel locale. Per quanto riguarda le canalizzazioni a valle dei ventilconvettori sono state dimensionate sulla base della portata d'aria immessa in ambiente considerando un funzionamento del ventilconvettore a media velocità, dato ricavato dal catalogo del costruttore. In realtà dal momento che i ventilconvettori in questione sono caratterizzati da una bassa prevalenza statica, al fine di ridurre le perdite di carico distribuite e localizzate nei canali di collegamento ai diffusori i canali stessi devono essere rigidi, se non per il

¹⁵ Tendenza di un flusso di aria, in uscita dal diffusore, a lambire il soffitto

collegamento terminale del plenum del diffusore al canale principale realizzabile con collegamento flessibile, e leggermente sovradimensionati. Ad esempio, per quanto riguarda il fan coil di tipo FCZ-PO500 scelto per il soggiorno e cucina dell'appartamento A2 si ha una portata d'aria di $592 \frac{m^3}{h}$ ed una prevalenza statica utile di $50 Pa$. È stata scelta quindi una canalizzazione 600×200 in quanto garantisce una velocità adeguata e pari a $1,37 \frac{m}{s}$ ed una perdita di carico distribuita di $0,09 \frac{Pa}{m}$ che risulta ampiamente adeguata alla prevalenza statica del ventilatore del fan coil. In realtà per alcuni ambienti, ad esempio quello appena portato in esempio, la ripresa dell'aria del fan coil non avviene mediante canalizzazione. Inoltre, a causa dei vincoli dimensionali associati al posizionamento del ventilconvettore non è possibile avere un plenum e quindi una ripresa alla stessa altezza della mandata per cui la ripresa viene effettuata mediante griglia di ripresa a muro sottostante al canale di mandata. Il plenum seppur realizzato diversamente è ancora presente in quanto necessario per la miscelazione dell'aria ripresa e dell'aria primaria proveniente dal recuperatore di calore.

Al contempo per alcuni ambienti il fan coil non è canalizzato non solo per la ripresa ma anche per la mandata. In questo caso mandata e ripresa avvengono direttamente tramite delle opportune bocchette precedute da un plenum silenziato tramite silenziatore a setti. Risulta necessario avere un plenum silenziato a causa della vicinanza della sorgente sonora con il punto di immissione cosa che non accadeva con una distribuzione canalizzata.

Per quanto riguarda l'estrazione dell'aria viziata, nei servizi igienici, avviene mediante un'opportuna bocchetta di ripresa installata nel controsoffitto. Anche nel caso dell'estrazione si ha una canalizzazione rigida che può essere flessibile in prossimità del terminale di aspirazione al fine di garantire un certo margine per il suo posizionamento.



Figura 6.7 Bocchetta di ripresa aria viziata

L'immissione dell'aria al quarto piano avviene, come anticipato e schematizzato in figura 6.5, tramite una bocchetta di mandata preceduta da un plenum, figura 6.8. In questo caso la struttura è simile al caso di immissione diretta tramite fan coil non canalizzato con l'eccezione che non è necessaria un'insonorizzazione tramite silenziatore a setti in quanto l'eventuale sorgente sonora, il recuperatore, è molto lontana.



Figura 6.8 Esempio bocchetta mandata aria primaria preceduta da plenum per aerazione 4° piano

Al fine di ridurre le dispersioni termiche e garantire un certo isolamento acustico è necessario utilizzare dei canali dell'aria sia rettangolari che circolari opportunamente coibentati.

I canali rigidi sono realizzati in lamiera zincata e coibentati¹⁶ come segue:

- Materassino semirigido in fibra di vetro per quanto riguarda i canali installati nei locali tecnici.;
- Elastomero espanso a celle chiuse per quanto riguarda i canali nei controsoffitti e cavedi;

Infine, le tubazioni flessibili, costituite da strati di alluminio avvolti su un filo di acciaio armonico che conferisce la struttura e la flessibilità al condotto, sono coibentate con un materassino isolante in lana di vetro e rivestite esternamente da un lamierino di alluminio. Generalmente per quanto riguarda le canalizzazioni nel caso in cui siano a vista o poste esternamente all'edificio devono essere rifinite tramite un rivestimento in lamierino di alluminio.

¹⁶ Per quanto riguarda gli spessori riferimento al DPR 412/93

7 Dimensionamento della rete di distribuzione di ACS

7.1 Dimensionamento tubazione acqua calda sanitaria e fredda potabile

In questo capitolo verranno descritti gli aspetti fondamentali per la progettazione della rete di distribuzione di acqua calda sanitaria e acqua fredda potabile.

Innanzitutto, prima di procedere con il dimensionamento è necessario indicare i materiali con i quali debbono essere realizzate le tubazioni.

Tubazioni contenenti acqua potabile / non potabile fredda				
<i>Condizioni di posa</i>	<i>Tipo di tubazione</i>	<i>Tipo coibente</i>	<i>Spessore</i>	<i>Finitura</i>
<i>Centrali tecnologiche, aree esterne, intercapedine</i>	<i>Acciaio zincato ss</i>	<i>Gomma espansa</i>	<i>6 / 9 mm</i>	<i>Lamierino Al</i>
<i>Cavedi verticali – montanti</i>	<i>Acciaio zincato ss</i>	<i>Gomma espansa</i>	<i>6 / 9 mm</i>	<i>Nessuna</i>
<i>Distribuzione primaria orizzontale (dai contabilizzatori ai collettori di distribuzione)</i>	<i>Multistrato precoibentato opp. Press fitting</i>	<i>Gomma espansa</i>	<i>6 / 9 mm</i>	<i>Nessuna</i>
<i>Collegamenti terminali (dai collettori ai terminali)</i>	<i>Multistrato / rame</i>	<i>No</i>		

Figura 7.1 Tubazioni AFP

Tubazioni contenenti acqua calda sanitaria / ricircolo				
<i>Condizioni di posa</i>	<i>Tipo di tubazione</i>	<i>Tipo coibente</i>	<i>Spessore (rif. DPR 412/93)</i>	<i>Finitura</i>
<i>Centrali tecnologiche, aree esterne, intercapedine</i>	<i>Acciaio zincato ss</i>	<i>Lana minerale</i>	<i>(100% All.B tab.1)</i>	<i>Lamierino Al</i>
<i>Cavedi verticali – montanti</i>	<i>Acciaio zincato ss</i>	<i>Lana minerale</i>	<i>(50% All.B tab.1)</i>	<i>Isogenopak</i>
<i>Distribuzione primaria orizzontale (dai contabilizzatori ai collettori di distribuzione)</i>	<i>Multistrato precoibentato opp. Inox press fitting</i>	<i>Gomma espansa</i>	<i>(30% / 50% All.B tab.1)</i>	<i>Nessuna</i>
<i>Collegamenti terminali (dai collettori ai terminali)</i>	<i>Multistrato precoibentato</i>	<i>Gomma espansa</i>	<i>(30% All.B tab.1)</i>	<i>Nessuna</i>

Figura 7.2 Tubazioni ACS e ricircolo

Per quanto riguarda la coibentazione e la finitura delle tubazioni valgono le considerazioni già effettuate nel capitolo 5. Il rivestimento in gomma espansa della

tubazione di acqua fredda deve assolvere alla funzione di anti-stillicidio, ossia evitare la formazione di condensa sulla tubazione, così come accade per la tubazione di acqua tecnica refrigerata. In questo caso, osservando quanto riportato nelle figure 7.1 e 7.2, le tubazioni di adduzione di acqua fredda, calda e di ricircolo devono essere realizzate in acciaio zincato poiché il trattamento di zincatura superficiale ne aumenta la resistenza alla corrosione e rende queste tubazioni adatte al trasporto di acqua sanitaria già opportunamente trattata. A valle delle cassette di contabilizzazione, come nel caso dell'acqua tecnica, viene utilizzato il tubo multistrato. Raggiunti i collettori di distribuzione l'alimentazione degli apparecchi sanitari avviene sempre mediante tubo multistrato. Procedendo con il dimensionamento è necessario innanzitutto definire la massima portata contemporanea di acqua calda sanitaria e fredda potabile. Quindi, in riferimento alla normativa UNI 9182:2008, è stato utilizzato il metodo delle unità di carico U.C. Per ogni apparecchiatura, oppure gruppo di apparecchiature, vengono definite delle unità di carico che vengono utilizzate per definire la portata richiesta.

Tabella 7.1 Unità di carico per gruppi di apparecchi specifici per abitazione privata

GRUPPO DI APPARECCHI	N°	ACQUA FREDDA	TOT.	ACQUA CALDA	TOT.	A.F.+A.C.	TOT
Lavabo+bidet +vasca/doccia+vaso	14	4,5	63	2,25	31,5	5	70
Lavabo+vaso	2	3	6	0,75	1,5	3	6
Lavabo+vaso+lavatrice	1	4	4	0,75	0,75	4,5	4,5
Bagno completo+cucina	16	6	96	3,5	56	7	112
TOTALE	33		169		89,75		192,5

Unità di carico UC	Portata l/s	Unità di carico UC	Portata l/s	Unità di carico UC	Portata l/s
6	0,30	120	3,65	1 250	15,50
8	0,40	140	3,90	1 500	17,50
10	0,50	160	4,25	1 750	18,80
12	0,60	180	4,60	2 000	20,50
14	0,68	200	4,95	2 250	22,00
16	0,78	225	5,35	2 500	23,50
18	0,85	250	5,75	2 750	24,50
20	0,93	275	6,10	3 000	26,00
25	1,13	300	6,45	3 500	28,00
30	1,30	400	7,80	4 000	30,50
35	1,46	500	9,00	4 500	32,50
40	1,62	600	10,00	5 000	34,50
50	1,90	700	11,00	6 000	38,00
60	2,20	800	11,90	7 000	41,00
70	2,40	900	12,90	8 000	44,00
80	2,65	1 000	13,80	9 000	47,00
90	2,90			10 000	50,00
100	3,15				

Figura 7.3 Portata in funzione delle unità di carico considerando vasi con cassetta

Tabella 7.2 Portata massima contemporanea e dimensionamento tubazioni da centrale

	U.C	PORTATA $\left[\frac{l}{s}\right]$	DIAMETRO EFFETTIVO	DIAMETRO ADOTTATO
ACQUA FREDDA	169	4,6	2" 1/2	2"
ACQUA CALDA	89,75	2,9	2"	2"
TOTALE¹⁷	192,5	4,95	2" 1/2	2"

Il diametro della tubazione riportato in tabella 7.2 è stato calcolato facendo riferimento ad una specifica classe di velocità dell'acqua all'interno della tubazione, che può essere bassa, media o alta.

¹⁷ Il totale acqua fredda+calda fa riferimento alle tubazioni a monte della produzione di acqua calda sanitaria

Alle tre classi di velocità sono associate distinte perdite di carico distribuite per metro lineare:

- 1-velocità max: $1,4 \frac{kPa}{m}$
- 2-velocità media: $0,7 \frac{kPa}{m}$
- 3-velocità minima: $0,35 \frac{kPa}{m}$

Portata l/s	Diametro (vel.=1)	Diametro (vel.=2)	Diametro (vel.=3)
	1/2"	1/2"	1/2"
0,15	3/4"	3/4"	3/4"
0,25	3/4"	3/4"	1"
0,3	3/4"	1"	1"
0,35	1"	1"	1"1/4
0,54	1"	1"1/4	1"1/4
0,7	1"1/4	1"1/4	1"1/2
1,05	1"1/4	1"1/4	2"
1,1	1"1/4	1"1/2	2"
1,5	1"1/2	1"1/2	2"
1,7	1"1/2	2"	2"
2	1"1/2	2"	2"1/2
2,4	2"	2"	2"1/2
3,2	2"	2"1/2	2"1/2
4	2"	2"1/2	3"
4,5	2"1/2	2"1/2	3"
6	2"1/2	2"1/2	4"

Figura 7.4 Diametri tubazioni funzione della portata e della velocità

Utilizzando la tabella di figura 7.4 e considerando la classe di velocità massima sono state scelte le dimensioni effettive delle tubazioni in centrale. In realtà il diametro adottato differisce da quello effettivo poiché queste tabelle portano ad un sovradimensionamento delle tubazioni per cui nel caso di acqua calda e totale la tubazione ha un diametro adottato leggermente inferiore. Inoltre, come riportato in tabella 7.3, è stata verificata la pressione minima da garantire all'utilizzatore più sfavorito e utile al fine della scelta adeguata del gruppo di pressurizzazione.

Tabella 7.3 Calcolo pressione minima necessaria all'utilizzatore più sfavorito: wc appartamento 4C

DISLIVELLO [m]	SVILUPPO TOTALE [m]	PERDITE LINEARI [kPa]	PERDITE COMPONENTI [kPa]	PRESSIONE MINIMA [kPa]	PRESSIONE NECESSARIA [kPa]
20	40	56	100	100	4,56

Il calcolo delle perdite lineari è stato effettuato considerando le perdite di carico per metro lineare, sempre in riferimento alla velocità massima, moltiplicate per lo sviluppo totale della tubazione.

Il dimensionamento di tutte le tubazioni fino ai collettori di distribuzione è stato effettuato sempre mediante il metodo delle unità di carico ma in questo caso sono state considerate le unità di carico per singole apparecchiature. Discorso a parte dovrà essere effettuato per il dimensionamento della rete di ricircolo.

In figura 7.4 vengono riportate le dimensioni delle tubazioni in multistrato da utilizzare per realizzare gli allacci dei principali accessori sanitari al collettore di distribuzione. Non sono inclusi i diametri per lavastoviglie e lavatrice.

Tabella 7.4 Diametri allacci tubazioni multistrato AFP e ACS per ogni apparecchio sanitario

APPARECCHIO	ACS	AFP
LAVANDINO	Ø 16 X 2 mm	Ø 16 X 2 mm
LAVELLO	Ø 16 X 2 mm	Ø 16 X 2 mm
WC	Ø 16 X 2 mm	--
BIDET	Ø 16 X 2 mm	Ø 16 X 2 mm
DOCCIA/VASCA	Ø 20 X 2,25 mm	Ø 20 X 2,25 mm

Nella tabella seguente invece vengono riassunte le unità di carico totali e quindi la portata massima contemporanea definita per ogni appartamento e il dimensionamento delle rispettive tubazioni di adduzione.

Tabella 7.5 Dimensionamento tubazioni AFP montante A

Piano	APT/LOCALE	U.C	PORTATA $\left[\frac{l}{s}\right]$	DIAMETRO ADOTTATO
INTERRATO	Wc di servizio	3,75	0,2	3/4"
TERRA	Wc Palestra	3,75	0,2	3/4"
1°	APT A1	17,5	0,85	1" 1/4
1°	APT B1	11,5	0,6	1"
1°	APT C1	11,5	0,6	1"
2°	APT A2	17,5	0,85	1" 1/4
2°	APT B2	11,5	0,6	1"
2°	APT C2	11,5	0,6	1"
3°	APT A3	22	1,13	1" 1/4
3°	APT B3	17,5	0,85	1" 1/4
4°	APT A4	16,75	0,85	1" 1/4
4°	APT B4	17,5	0,85	1" 1/4
4°	APT C4	18,25	0,93	1" 1/4
4°	APT B4+APT C4	35,75	1,62	1" 1/2
MONTANTE A				
P0-P1	/	167,75	4,6	2"
P1-P2	/	127,25	3,9	2"
P2-P3	/	86,75	2,9	2"
P3-P4	/	52,5	2,2	1" 1/2

Tabella 7.6 Dimensionamento tubazioni ACS montante A

Piano	APT/LOCALE	U.C	PORTATA $\left[\frac{l}{s}\right]$	DIAMETRO ADOTTATO
INTERRATO	Wc di servizio	0,75	0,145	1/2''
TERRA	Wc Palestra	0,75	0,145	1/2''
1°	APT A1	7,5	0,4	1''
1°	APT B1	4,5	0,3	3/4''
1°	APT C1	4,5	0,3	3/4''
2°	APT A2	7,5	0,4	1''
2°	APT B2	4,5	0,3	3/4''
2°	APT C2	4,5	0,3	3/4''
3°	APT A3	9	0,5	1''
3°	APT B3	7,5	0,4	1''
4°	APT A4	6,75	0,4	1''
4°	APT B4	7,5	0,4	1''
4°	APT C4	8,25	0,5	1''
4°	APT B4+APT C4	15,75	0,78	1'' 1/4
MONTANTE A				
P0-P1	/	69,75	2,4	2''
P1-P2	/	53,25	2,2	1'' 1/2
P2-P3	/	36,75	1,62	1'' 1/2
P3-P4	/	22,5	1,13	1'' 1/4

Tabella 7.7 Dimensionamento tubazione AFP montante B e da centrale

Piano	APT/LOCALE	U.C	PORTATA $\left[\frac{l}{s}\right]$	DIAMETRO ADOTTATO
1°	APT D1	18,25	0,93	1" 1/4
1°	APT E1	17,5	0,85	1" 1/4
2°	APT D2	25	1,13	1" 1/4
2°	APT E2	17,5	0,85	1" 1/4
3°	APT C3	22	1,13	1" 1/4
MONTANTE B				
P0-P1	/	100,25	3,65	2"
P1-P2	/	64,5	2,4	2"
P2-P3	/	22	1,13	1" 1/4
P3-P4	/	/	/	/
TOT CENTRALE	/	275,5	6,45	2"

Tabella 7.8 Dimensionamento tubazione ACS montante B e da centrale

Piano	APT/LOCALE	U.C	PORTATA $\left[\frac{l}{s}\right]$	DIAMETRO ADOTTATO
1°	APT D1	8,25	0,5	1"
1°	APT E1	7,5	0,4	1"
2°	APT D2	12	0,6	1"
2°	APT E2	7,5	0,4	1"
3°	APT C3	9	0,5	1"
MONTANTE B				
P0-P1	/	44,25	1,9	1" 1/2
P1-P2	/	28,5	1,3	1" 1/4
P2-P3	/	9	0,5	1"
P3-P4	/	/	/	/
TOT CENTRALE	/	115,5	3,65	2"

7.2 Dimensionamento rete di ricircolo

La rete di ricircolo è necessaria per mantenere in movimento il flusso di acqua calda sanitaria ed evitare che nei periodi di stallo l'acqua ferma nelle tubazioni si raffreddi. La realizzazione della rete di ricircolo permette quindi di ridurre notevolmente i tempi di erogazione di acqua calda sanitaria alle utenze. La tipologia di ricircolo progettato è di tipo alle colonne, ossia la tubazione di ricircolo raggiunge la sommità, per ogni montante, delle colonne di ACS di alimentazione delle varie unità immobiliari. Per quanto riguarda il dimensionamento, sempre secondo normativa UNI 9812:2008, è stato effettuato assegnando una specifica portata per la tubazione di ricircolo in funzione della dimensione della colonna di acqua calda adiacente:

- $0,03 \frac{l}{s}$ dimensione colonna acqua calda da $3/4''$ a $1''$;
- $0,06 \frac{l}{s}$ dimensione colonna acqua calda da $1'' 1/4$ a $1'' 1/2$;
- $0,12 \frac{l}{s}$ dimensione colonna acqua calda superiore a $2''$;

Tabella 7.9 Dimensionamento tubazione di ricircolo

Piano	PORTATA $\left[\frac{l}{s}\right]$	DIAMETRO ADOTTATO
P3-4	0,06	$1/2''$
P2-3	0,12	$1/2''$
P1-2	0,18	$3/4''$
P0-1	0,3	$3/4''$
MONTANTE A	0,18	$3/4''$
P2-P3	0,06	$1/2''$
P1-P2	0,12	$1/2''$
P0-P1	0,18	$3/4''$
MONTANTE B	0,18	$3/4''$
TOT CENTRALE	0,36	$1''$

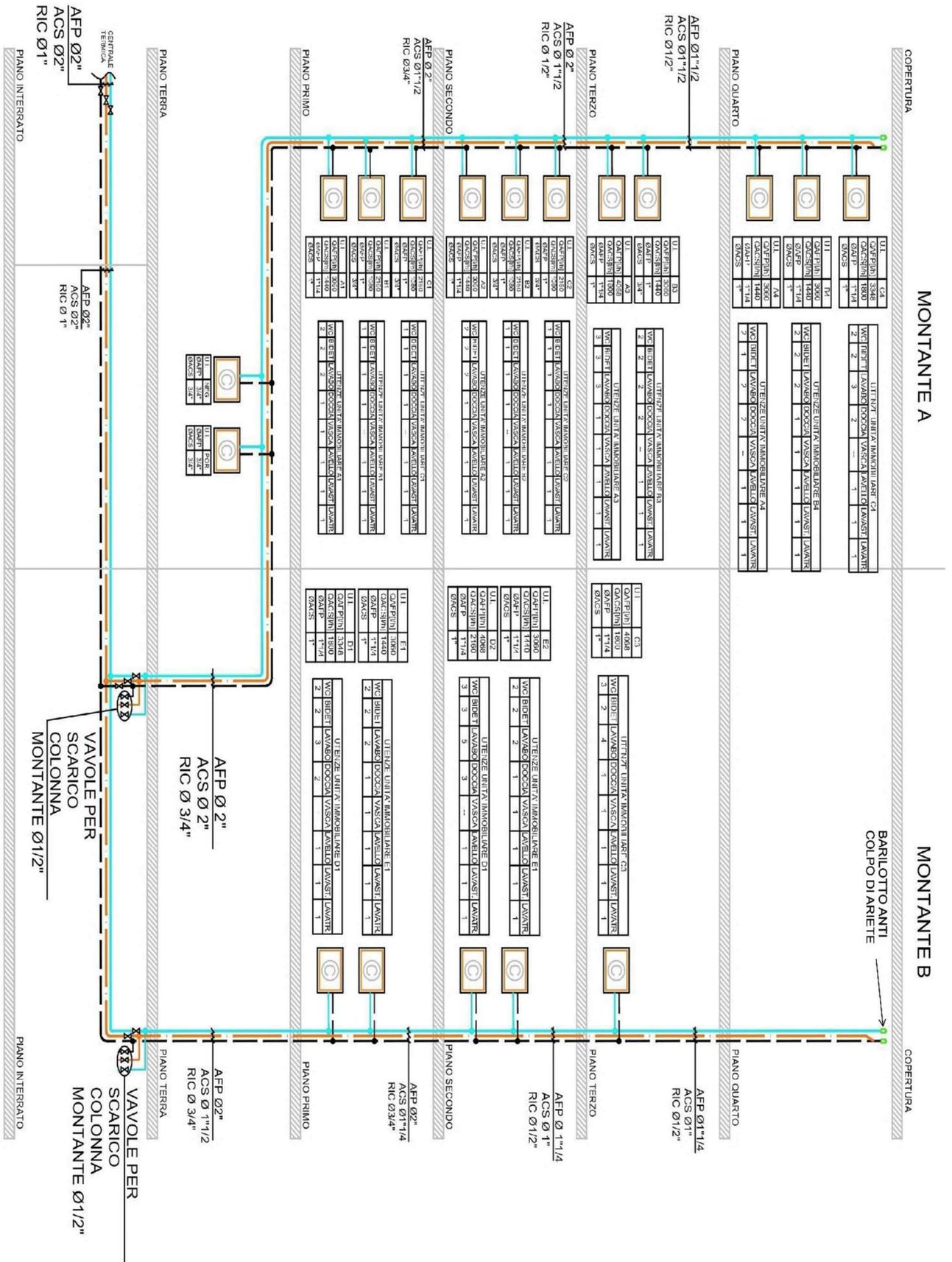


Figura 7.5 Altimetrico distribuzione acqua calda, fredda e ricircolo



Figura 7.7 Distribuzione rete acqua sanitaria 3° piano

7.3 Dimensionamento serbatoio di accumulo ACS

Al fine di dimensionare correttamente il serbatoio di accumulo di acqua calda sanitaria, detto anche bollitore, è necessario innanzitutto definire il consumo orario di acqua calda a 40 °C. Una stima preliminare può essere effettuata come segue:

$$q_M = \left(\frac{q_1 \cdot N_1}{d_1} + \frac{q_2 \cdot N_2}{d_2} + \dots + \frac{q_n \cdot N_n}{d_n} \right) \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \quad (7.1)$$

I fattori di moltiplicazione f_1 , f_2 e f_3 tengono in considerazione il numero di alloggi ed il tenore di vita degli utilizzatori. In questo caso:

- 16 alloggi $\rightarrow f_1=0,43$;
- Tenore di vita: lusso $\rightarrow f_2=1$, $f_3=1,2$ e fabbisogno unitario $q = 200 \frac{\text{l}}{\text{g}} \frac{\text{l}}{\text{persona}}$;

Tramite il fabbisogno unitario, considerando una presenza N di circa 56 persone nello stabile ed una durata del periodo di punta d_p pari a 3 ore è possibile calcolare il massimo consumo orario $q_M = 1541,12 \frac{\text{l}}{\text{h}}$. Nel calcolo è stato considerato anche un fattore di riduzione aggiuntivo pari al 20 %. È possibile al contempo calcolare il massimo consumo orario a 40 °C ma considerando in questo caso il valore della portata contemporanea di acqua calda sanitaria, riportata in tabella 7.2, calcolata mediante l'utilizzo delle unità di carico per le apparecchiature sanitarie e pari a $2,9 \frac{\text{l}}{\text{s}}$.

$$q_{M\text{apparecchiature}} = 2,9 \cdot 3600 \cdot f_{\text{riduzione}} = 1044 \frac{\text{l}}{\text{h}} \quad (7.2)$$

$f_{\text{riduzione}}$ è un fattore di riduzione discrezionale posto pari al 10 %. Tramite questo fattore si ipotizza che il 10 % del consumo delle apparecchiature sia continuativo per un periodo di 1 ora.

Il consumo orario calcolato con i due metodi è abbastanza diverso, per tale motivo è stato imposto un valore di progetto $q_M = 1100 \frac{l}{h}$ al fine di rispettare il consumo orario determinato sulla base dei consumi dovuti alle specifiche unità di carico dei gruppi di apparecchiature. È stato calcolato un volume preliminare del serbatoio di accumulo utilizzando l'equazione 7.3.

$$V_C = \frac{q_M \cdot d_P \cdot (T_m - T_f)}{d_p + P_r} \cdot \frac{P_r}{T_c - T_f} \quad (7.3)$$

- $T_f = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ temperatura acqua fredda;
- $T_c = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ temperatura di accumulo;
- $T_m = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ temperatura di mandata ACS;
- $d_p = 3 \text{ ore}$;
- $P_r = 1 \text{ ora}$ durata del preriscaldamento dell'acqua nel serbatoio di accumulo;

Il volume di accumulo ottenuto V_C è pari a 641,7 litri. In funzione dei dati di progetto elencati sarebbe necessaria una serpentina con una potenzialità termica di 33,58 kW. Tale potenzialità è stata calcolata mediante l'equazione 7.4.

$$W = \frac{V_C \cdot (T_c - T_f) \cdot 1,163}{P_r} \quad (7.4)$$

In realtà questa formula, fornita dalla normativa UNI 9812, è vincolata ad una durata specifica del preriscaldamento per cui è possibile utilizzare come ulteriore formula per il calcolo della potenzialità termica l'equazione 7.5.

$$W = 1,163 \cdot \left(q_M \cdot (T_m - T_f) - \frac{V_C \cdot (T_c - T_m)}{d_p} \right) \quad (7.5)$$

In funzione di necessità dovute allo spazio utile al posizionamento del bollitore è stato scelto un volume di accumulo pari a 500 litri. Tramite l'equazione 7.5 è stata calcolata quindi la potenzialità termica della serpentina, pari a 42,84 kW, considerando il volume di accumulo di 500 litri. È stata quindi definita, come valore di progetto, una potenzialità dello scambiatore di calore necessaria al riscaldamento di acqua sanitaria pari a 50 kW. Tramite l'equazione 7.6 è stata calcolata infine la durata effettiva del preriscaldamento in funzione della potenzialità termica di 50 kW e del volume di accumulo scelto.

$$P_r = \frac{V_c \cdot (T_c - T_f) \cdot 1,163}{W} = 0,52 \text{ ore} \quad (7.6)$$

8 Sistema di scarico acque reflue con ventilazione parallela diretta

Il sistema di scarico per le acque reflue è realizzato mediante colonne di scarico a cui è associato un sistema di ventilazione parallela diretta. Il sistema di ventilazione secondaria consente di evitare la formazione di zone di depressione durante il funzionamento del sistema di scarico evitando un possibile ritorno di odori attraverso i sifoni tramite i quali è realizzato il collegamento dell'apparecchio sanitario alla rete di scarico.

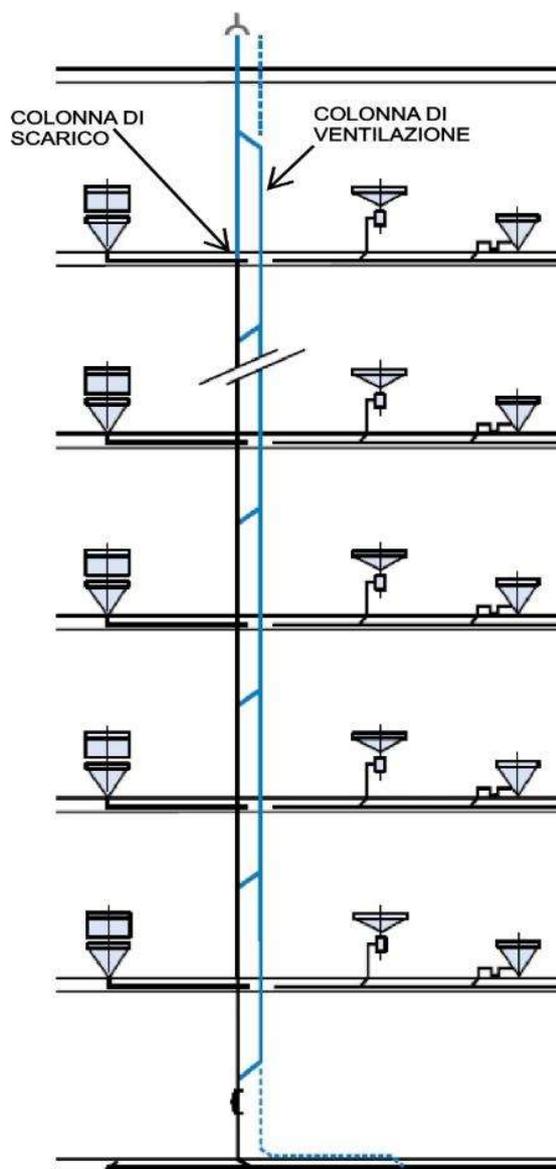


Figura 8.1 Sistema di scarico con ventilazione parallela diretta

Tabella 8.1 Diametri di scarico per i principali apparecchi sanitari

APPARECCHIO	DIAMETRO SCARICO
LAVANDINO	DN 40
LAVELLO	DN 50
WC	DN 110
BIDET	DN 40
DOCCIA/VASCA	DN 50

Ogni colonna di ventilazione ha un diametro \varnothing 75 mm e si collega alla colonna di scarico di acque nere mediante una braga ad angolo in prossimità del soffitto di ogni piano. Le tubazioni di scarico degli accessori confluiscono nella tubazione di allacciamento con diametro ridotto¹⁸ che confluisce, mediante una braga a squadra, nella colonna di scarico. Generalmente l'allaccio avviene in prossimità di zone in cui non vi è la possibilità di formazione di una zona di pressione causata da cambi di direzione della colonna di scarico.

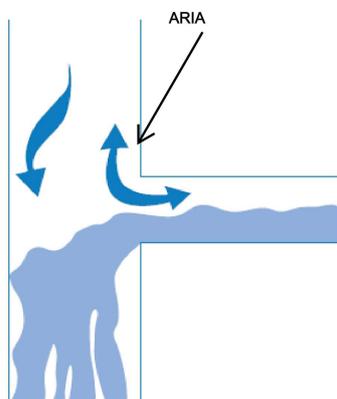


Figura 8.2 Braga a squadra 88°1/2 ridotta

Mediante questa tipologia di allacciamento e grazie al sistema di ventilazione si garantisce un continuo flusso d'aria durante il funzionamento dello scarico evitando eventuali aspirazioni in corrispondenza del sifone causate da fenomeni di depressione. Le colonne di scarico mantengono la stessa dimensione lungo tutta la loro altezza ed è stato previsto per ciascuna un diametro di \varnothing 110 mm. Oltre allo

¹⁸ Sistema II, tubazione di allacciamento ridotta e grado di riempimento del 70 %

scarico di apparecchiature sanitarie le colonne di scarico sono utilizzate per lo scarico della condensa proveniente dalle bacinelle di raccolta condensa dei ventilconvettori. Come anticipato nel capitolo 5, per ogni fan coil è previsto un allaccio alla rete di scarico tramite tubazione realizzata in polietilene di dimensione $\varnothing 32$ mm tale da permettere lo scarico della condensa. Per quanto riguarda le colonne di scarico e di ventilazione sono realizzate in polipropilene insonorizzato monostrato mentre per quanto riguarda gli allacci alle colonne sono realizzati in polipropilene insonorizzato in triplice strato. I collettori di scarico e le tubazioni di collegamento alla rete fognaria cittadina, installate a soffitto al piano interrato, sono realizzate in PEAD¹⁹ silenziato. Tutti gli staffaggi sono realizzati mediante braccialetti disaccoppianti, ossia elementi in grado di ridurre la trasmissione delle vibrazioni all'edificio. Polietilene e polipropilene sono materiali plastici che differiscono di alcune proprietà quali resistenza agli agenti chimici e durezza ma entrambi adatti alla realizzazione di tubazioni di scarico.

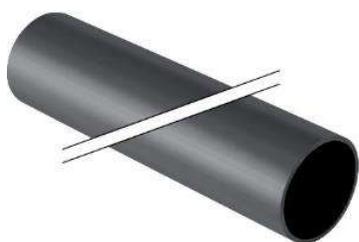


Figura 8.3 Tubazione in polietilene ad alta densità silenziato GEBERIT SILENT PE



Figura 8.4 Tubazione in polipropilene silenziato GEBERIT SILENT PP

¹⁹ Polietilene ad alta densità

Il dimensionamento dei collettori di scarico al piano interrato è stato eseguito facendo riferimento alla normativa UNI 12056 tramite il metodo delle unità di scarico DU. Infatti, come riportato in tabella 8.2, per ogni apparecchio sanitario vengono riportate delle specifiche unità di scarico funzione, inoltre, della tipologia del sistema di scarico adottato.

Tabella 8.2 Unità di scarico DU apparecchi singoli sistema II

	Lavabo	Bidet	Vasca	Doccia	Wc	Lavello	Lavatrice	Lavastoviglie
DU	0,3	0,3	0,6	0,4	2	0,6	0,6	0,6

Tabella 8.3 Portata di acque reflue per ogni scarico

	ΣDU	$Q_{ww} \left[\frac{l}{s} \right]$
S01	14,9	1,9
S02	13,2	1,8
S03	4,6	1,1
S04	12,3	1,8
S05	4,3	1,0
S06	7,9	1,4
S07	18,2	2,1
S08	27,5	2,6
S09	7,3	1,4
S10	17,7	2,1
S11	15,8	2,0
S12	8,6	1,5
S13	11,3	1,7
S14	7,3	1,4
Wc servizio piano interrato	3	0,9

Tramite le unità di scarico sono state determinate le portate di acque reflue circolanti nelle colonne di scarico e quindi poi nei collettori al piano interrato. La portata contemporanea di acque reflue è stata determinata utilizzando l'equazione 8.1.

$$Q_{WW} = K\sqrt{\sum DU} \quad (8.1)$$

K è l'indice di frequenza che per questa tipologia di edificio è uguale a 0,5.

Nella tabella 8.3 vengono riportate, per ogni scarico con specifica denominazione, le portate contemporanee di scarico di acque reflue.

Il dimensionamento è stato eseguito in riferimento alla capacità, in termini di portata, dei collettori di scarico riportata in normativa, tabella 8.4, considerando un grado di riempimento del 70 % ed una pendenza del 1 % per ogni collettore. Il dimensionamento dei collettori di scarico è riportato in tabella 8.5.

Tabella 8.4 Capacità collettori di scarico

		DN 110		DN 125		DN 160		DN 200		DN 250	
Pendenza %	Q_{max}	V									
	$\left[\frac{l}{s}\right]$	$\left[\frac{m}{s}\right]$									
1	4,2	0,8	6,8	0,9	12,8	1,0	23,7	1,2	44,9	1,4	

Tabella 8.5 Dimensionamento collettori di scarico

COLLETTORI DI SCARICO		PENDENZA %	$Q_{max} \left[\frac{l}{s} \right]$	DN
COLLETTORE 1	S01+S02	1	3,7	110
COLLETTORE 2	S01+S02+S04	1	5,5	125
COLLETTORE 3	COLLETTORE 2+S14	1	6,9	160
COLLETTORE 4	S05+S06	1	2,4	110
COLLETTORE 5	COLLETTORE 4+COLLETTORE 3	1	9,3	160
COLLETTORE 6	S12+S11	1	3,1	110
COLLETTORE 7	COLLETTORE 5+COLLETTORE 6	1	12,4	160
COLLETTORE 8	COLLETTORE 7+S13	1	14,1	200
COLLETTORE 9	S07+S08+WC servizio	1	5,6	125
COLLETTORE 11	COLLETTORE 8+COLLETTORE 9	1	19,7	200
COLLETTORE 12	S09+S10	1	3,5	110
COLLETTORE 13	COLLETTORE 12+COLLETTORE 11	1	23,2	200
COLLETTORE 14	COLLETTORE 13+S03	1	24,3	250

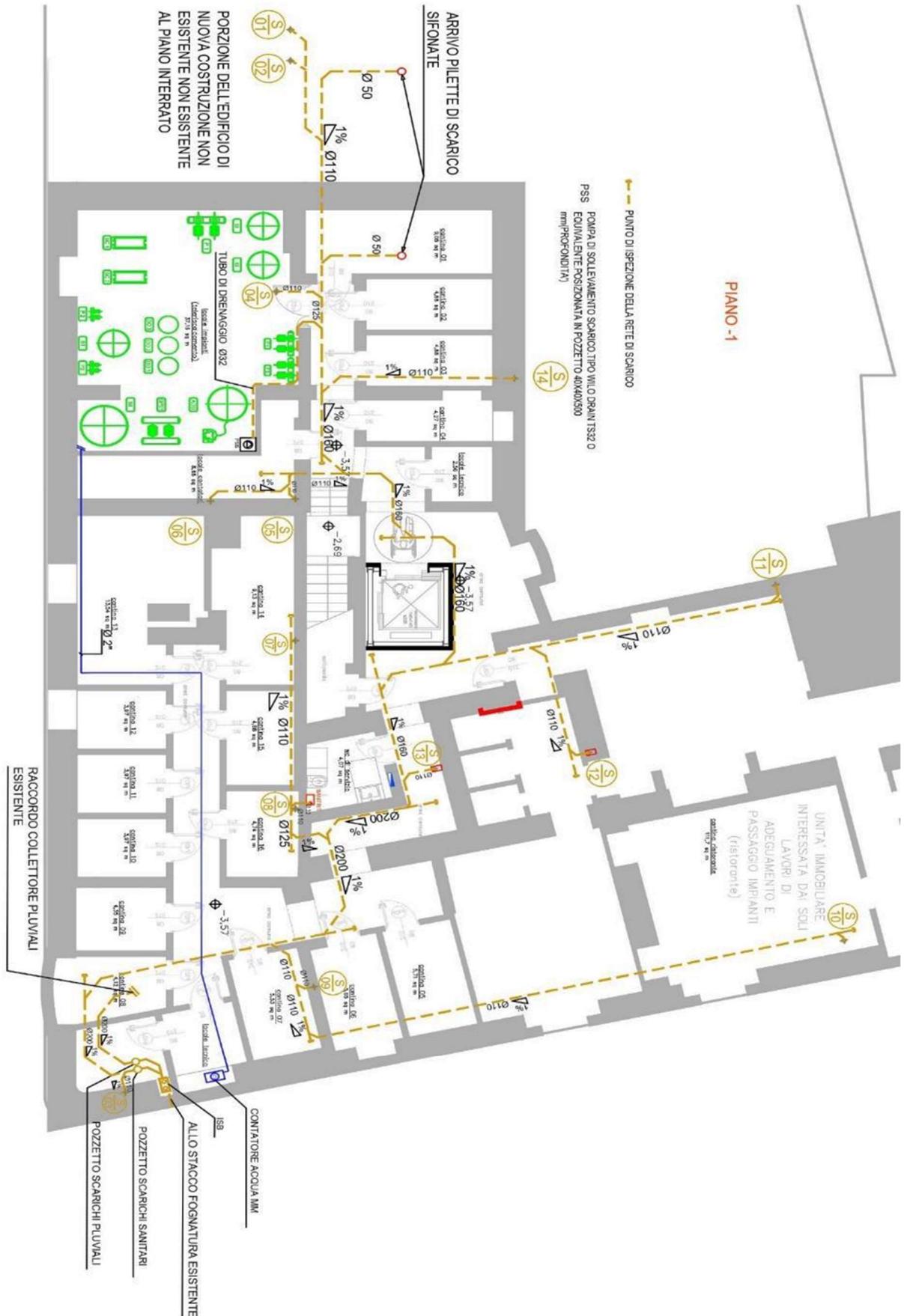


Figura 8.5 Distribuzione rete di scarico e collegamento a rete fognaria cittadina

Tutta la rete di scarico, fino al raggiungimento della rete fognaria cittadina, è staffata a soffitto per cui al fine di estrarre i liquidi dalla centrale termica e dal wc di servizio è necessario avere delle pompe di rilancio che permettano di raggiungere le tubazioni principali di scarico.

Per quanto riguarda il wc di servizio è stato pensato l'utilizzo di un dispositivo Sanitrit.



Figura 8.6 Dispositivo SANITOP UP

Tale dispositivo è costituito da un elemento trituratore e da una pompa di sollevamento che deve garantire una corretta portata di scarico in funzione di 4 metri di prevalenza.

Per quanto riguarda lo scarico di liquidi dalla centrale termica è stata prevista l'installazione di una pompa sommersibile. La pompa sommersibile, posizionata in un opportuno pozzetto di scarico, viene comandata da un interruttore galleggiante. Qualora si raggiungesse un livello massimo di altezza la pompa entrerebbe in funzione viceversa qualora si raggiungesse un livello minimo di altezza nel pozzetto di raccolta. Tramite il cestello di aspirazione, in acciaio inox, quanto accumulato nel

pozzetto viene aspirato e, mediante la pompa con corpo in acciaio inox AISI 304²⁰ e girante in policaprolattone²¹ PCL, inviato al collettore di scarico tramite un tubo di drenaggio di dimensione \varnothing 32 mm.



Figura 8.7 Pompa di drenaggio WILO-DRAIN TS 32

Per quanto riguarda la rete di scarico al piano sono previsti dei punti di ispezione in prossimità della confluenza di due o più provenienze e alla base delle colonne di scarico. Nel locale adibito alla realizzazione dell'allaccio alla rete fognaria cittadina è previsto il posizionamento di due pozzetti di ispezione di 40 centimetri di diametro e 50 centimetri di profondità per il campionamento delle acque contenute nella rete di scarico di acque nere e di acque meteoriche, quest'ultima non dimensionata. A valle di tali pozzetti le due reti si raccolgono in una tubazione unica che attraverso il pozzetto dotato di gruppo ISB²² viene allacciata alla rete fognaria pubblica. In figura 8.8 viene riportato uno schema del pozzetto contenente il gruppo ISB composto da un'ispezione a T, un sifone di tipo firenze e una braga di ispezione in gres²³.

²⁰ Acciaio austenitico contenente circa 18 % Cromo e 8 % Nichel

²¹ Polimero semicristallino

²² ISB: ispezione, sifone e braga

²³ Materiale ceramico

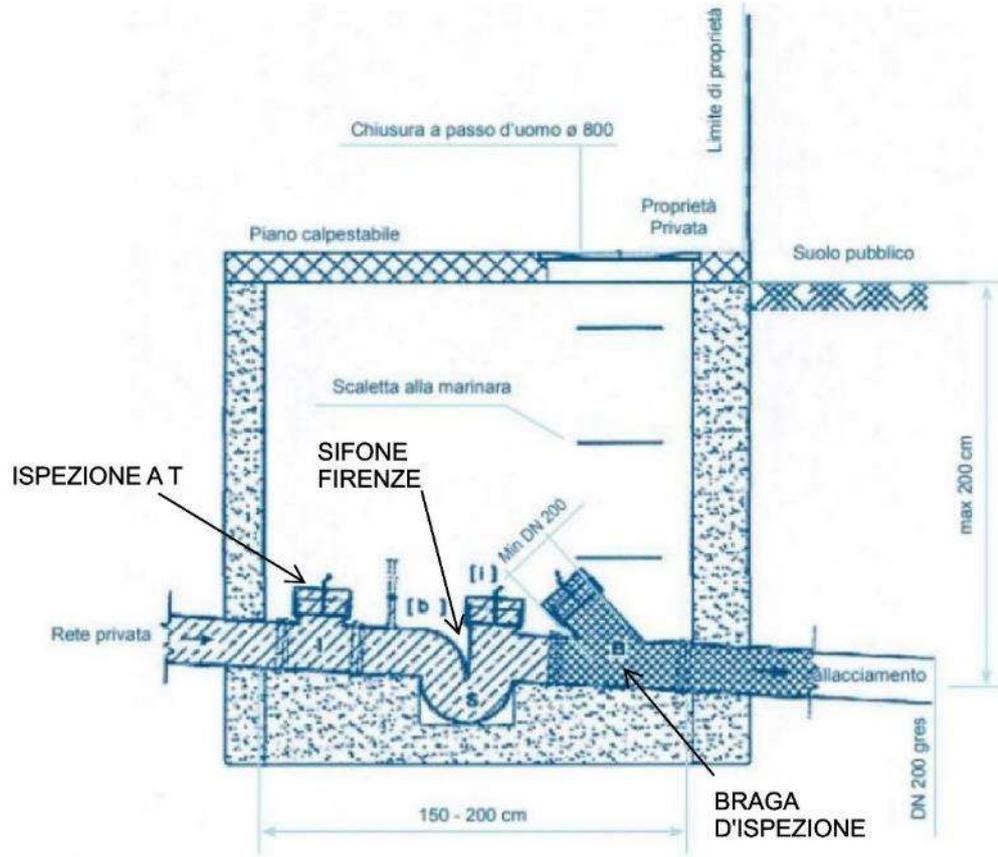


Figura 8.8 Pozzetto gruppo ISB

9 Ringraziamenti

In primo luogo, un sentito ringraziamento va al mio relatore, il professore Marco Carlo Masoero che ha mostrato sempre grande disponibilità e supporto durante tutto il periodo di svolgimento della Tesi.

Vorrei ringraziare altresì l'Ingegnere Franco Rubini e tutti i componenti dello studio ACTA dai quali ho sempre ricevuto grande sostegno e supporto. Il percorso di lavoro svolto in studio mi ha dato la possibilità di accrescere notevolmente conoscenze e competenze in merito alla progettazione impiantistica.

Un grande ringraziamento va anche ai miei genitori e mio fratello che sin dal primo anno di università mi son sempre stati vicini e hanno contribuito al raggiungimento di questo traguardo.

Ringrazio tutti i miei amici e colleghi universitari con i quali ho condiviso bellissimi momenti durante tutto il mio percorso di studi.

10 Bibliografia

- AERMEC. (s.d.). *FCLI*. Tratto da global.aermec.com: <https://global.aermec.com/it/products/scheda-prodotto/?Code=FCLI>
- AERMEC. (s.d.). *Recuperatori di calore ERSR*. Tratto da global.aermec.com: https://global.aermec.com/it/products/scheda-prodotto/?t=Recuperatori%20di%20calore&c=CAT_50HZ_UE&f=heat_recovery&Code=ERSR
- AERMEC. (s.d.). *Refrigeratori e pompe di calore serie WWB*. Tratto da global.aermec.com: https://global.aermec.com/it/products/scheda-prodotto/?t=Refrigeratori%20e%20pompe%20di%20calore%20acqua-acqua&c=CAT_50HZ&f=chiller_water&Code=WWB_1801_HP
- AERMEC. (s.d.). *Terminali idronici FCZ*. Tratto da global.aermec.com: https://global.aermec.com/it/products/scheda-prodotto/?t=Terminali%20idronici&c=CAT_50HZ_UE&f=terminal&Code=FCZ
- AERMEC. (s.d.). *Terminali idronici UL 11/36*. Tratto da global.aermec.com: https://global.aermec.com/it/products/scheda-prodotto/?t=Terminali%20idronici&c=CAT_50HZ_UE&f=terminal&Code=UL
- AERMEC. (s.d.). *Ventilcassaforma*. Tratto da global.aermec.com: https://global.aermec.com/it/products/scheda-prodotto/?t=Terminali%20idronici&c=CAT_50HZ_UE&f=terminal&Code=VC
- ASHRAE. (s.d.). Duct design. *ASHRAE Fundamentals Handbook 1997*.
- CALEFFI. (s.d.). *AUTOFLOW®*, Stabilizzatore automatico di portata compatto, con cartuccia in polimero ad alta resistenza. Tratto da caleffi.com: <https://www.caleffi.com/it-it/stabilizzatore-automatico-di-portata-compatto-con-cartuccia-in-polimero-ad-alta-resistenza-127-caleffi-127141>
- CALEFFI. (s.d.). *Collettore portastrumenti ed accessori INAIL (Ex ISPEL), con doppio pressostato*. Tratto da caleffi.com: <https://www.caleffi.com/it-it/collettore-portastrumenti-ed-accessori-inail-ex-ispelel-con-doppio-pressostato-335-caleffi-335003>
- CALEFFI. (s.d.). *Contatore volumetrico per acqua sanitaria*. Tratto da caleffi.com: <https://www.caleffi.com/it-it/contatore-volumetrico-per-acqua-sanitaria-7942-caleffi-794204>
- CALEFFI. (s.d.). *Cronotermostato ambiente digitale con alimentazione a batteria*. Tratto da caleffi.com: <https://www.caleffi.com/it-it/cronotermostato-ambiente-digitale-con-alimentazione-a-batteria-739-caleffi-739107>
- CALEFFI. (s.d.). *Filtri a y*. Tratto da idraulica.caleffi.com: <https://idraulica.caleffi.com/articolo/filtri-y>
- CALEFFI. (s.d.). *Gruppo di riempimento automatico, con rubinetto, filtro, valvola di non ritorno*. Tratto da caleffi.com: <https://www.caleffi.com/it-it/gruppo-di-riempimento-automatico-con-rubinetto-filtro-valvola-di-non-ritorno-553-caleffi-553040>
- CALEFFI. (s.d.). *Valvola a sfera motorizzata, a due vie*. Tratto da caleffi.com: <https://www.caleffi.com/it-it/valvola-a-sfera-motorizzata-a-due-vie-638-caleffi-638052>

CALEFFI. (s.d.). *Valvola di sicurezza certificata e tarata a banco INAIL (Ex ISPESL)*. Tratto da caleffi.com: <https://www.caleffi.com/it-it/valvola-di-sicurezza-certificata-e-tarata-a-banco-inail-ex-ispesl-527-caleffi-527422>

CALEFFI. (s.d.). *Valvola miscelatrice a tre vie, filettata, a settore*. Tratto da caleffi.com: <https://www.caleffi.com/it-it/valvola-miscelatrice-a-tre-vie-filettata-a-settore-610-caleffi-610400>

CALEFFI. (s.d.). *Valvole di ritegno tipo EB*. Tratto da caleffi.com: <https://www.caleffi.com/it-it/valvola-di-ritegno-attacchi-femmina--femmina-3047-caleffi-304740>

CALEFFI. (s.d.). *Vaso di espansione saldato, per impianti di riscaldamento, certificato CE*. Tratto da caleffi.com: <https://www.caleffi.com/it-it/vaso-di-espansione-saldato-per-impianti-di-riscaldamento-certificato-ce-556-caleffi-556300>

CALEFFI. (s.d.). *Z-one, Valvola di zona motorizzata a due vie*. Tratto da caleffi.com: <https://www.caleffi.com/it-it/valvola-di-zona-motorizzata-a-due-vie-642-caleffi-642042>

CLIVET. (s.d.). Bollettino tecnico pompa di calore ad alta efficienza condensata ad aria per installazione interna. *CLIVET-ELFO Energy Duct Medium*.

Comune di Milano. (s.d.). Allegato B. *Regolamento del Servizio Idrico Integrato della città di Milano*.

Comune di Milano. (s.d.). Art. 107: AERAZIONE DEI SERVIZI IGIENICI. *Regolamento edilizio*.

CORDIVARI. (s.d.). *BOLLY 1 ST FB*. Tratto da cordivari.it: <https://www.cordivari.it/prodotto/bolly-1-st-fb/>

DAB Pumps. (s.d.). *Gruppi elettronici di pressione*. Tratto da dabpumps.com: https://www.dabpumps.com/it/prodotti/gruppi-di-pressione/gruppi-di-pressione-elettronici/1_2_3_4_NKVE_-_10_15_20_32_45_-_MCE-P#download

DAIKIN. (s.d.). Catalogo dati tecnici. *Mini chiller condensato ad aria, con Inverter*.

EMIFLEX. (s.d.). *Giunti in gomma*. Tratto da emiflex.eu: https://en.emiflex.eu/docs/859/Giunti_in_gomma.pdf

FDB ITALIA. (s.d.). *PHEx-Scambiatori di calore a piastre*. Tratto da fdb.it: <https://www.fdb.it/it/phex/scambiatori-di-calore-a-piastre/>

Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana. (s.d.). *DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA 26 Agosto 1993, n. 412*. Tratto da gazzettaufficiale.it: <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/1993/10/14/093G0451/sg>

GEBERIT. (s.d.). Scarico e pluviali. *Manuale tecnico di progettazione*.

GEBERIT. (s.d.). *Tubo Geberit PE*. Tratto da geberit.it: https://catalog.geberit.it/it-IT/product/PRO_101538

GEBERIT. (s.d.). *Tubo Geberit silent PP*. Tratto da geberit.it: <https://www.geberit.it/sistemi-sanitari-e-tubazioni/sistemi-per-impianti-di-scarico/geberit-silent-pp/>

GIACOMINI. (s.d.). *tubo multistrato metallo-plastico PEX-b/Al/PEX-b coibentato*. Tratto da it.giacomini.com: <https://it.giacomini.com/prodotto/R999I>

- HOVAL. (s.d.). *UltraGas 125-500*. Tratto da Hoval.it: https://www.hoval.it/it_IT/Tecnica-di-riscaldamento/Gas/Condensazione-di-gas/su-pavimento/UltraGas-2-%28125---1550%29/UltraGas-2/p/B_ultragas-2-larger-125-1
- Impianti di alimentazione e distribuzione d'acqua fredda e calda. (s.d.). *NORMA UNI 9182:2008*.
- ISTITUTO SUPERIORE PER LA PREVENZIONE E LA SICUREZZA DEL LAVORO. (s.d.). Fascicolo R.2. Dispositivi di sicurezza, protezione e controllo. *Raccolta R edizione 2009*.
- ISTITUTO SUPERIORE PER LA PREVENZIONE E LA SICUREZZA DEL LAVORO. (s.d.). Fascicolo R.3. Impianti. *Raccolta R edizione 2009*.
- LINDAB. (s.d.). *Diffusore lineare per alte portate*. Tratto da lindab.it: <https://www.lindab.it/catalogo/catalogo-prodotti/diffusione-aria/diffusori-lineari/kln/?sort=popularity&display=16&page=1>
- RDZ. (s.d.). *Bocchetta 400X100 univ. Ø 100*. Tratto da rdz.it: <https://www.rdz.it/it/catalogo/prodotti/bocchetta-400x100-univ-%C3%B8-100#descrizione-prodotto>
- RDZ. (s.d.). *Bocchetta di mandata e di ripresa borea*. Tratto da rdz.it: <https://www.rdz.it/it/catalogo/prodotti/bocchetta-di-mandata-e-ripresa-borea>
- SANITRIT. (s.d.). *Sanitop UP*. Tratto da sanitrit.it: <https://www.sanitrit.it/installare-un-wc/70-sanitop-up.html>
- Sistemi di scarico funzionanti a gravità all'interno degli edifici. (s.d.). *NORMA UNI 12056*.
- SYSTEMAIR. (s.d.). *RDR Regolatori a portata costante CAV*. Tratto da systemair.com: <https://www.systemair.com/it-it/prodotti/diffusione-aria/controllo-volume-aria/regolatori-a-portata-costante-cav/rdr>
- TROX. (s.d.). *Prese d'aria esterna NL*. Tratto da trox.it: <https://www.trox.it/prese-daria-esterna/nl-144a7fbe4e9b3c52>
- TROX. (s.d.). *Setti del silenziatore*. Tratto da trox.it: <https://www.trox.it/setti-del-silenziatore/xsa-068fc2414bf8bb11>
- WILO. (s.d.). *Stratos MAXO 50/0,5-14 PN 16*. Tratto da wilo.com: <https://wilo.com/it/it/Prodotti-e-competenze/it/prodotti-ed-expertise/wilo-stratos-maxo/stratos-maxo-50-0-5-14-pn-16>
- WILO. (s.d.). *Stratos MAXO 50/0,5-16 PN 16*. Tratto da wilo.com: <https://wilo.com/it/it/Prodotti-e-competenze/it/prodotti-ed-expertise/wilo-stratos-maxo/stratos-maxo-50-0-5-16-pn-16>
- WILO. (s.d.). *Stratos MAXO 50/0,5-16 PN6/10 R7*. Tratto da wilo.com: <https://wilo.com/it/it/Prodotti-e-competenze/it/prodotti-ed-expertise/wilo-stratos-maxo/stratos-maxo-50-0-5-16-pn6-10-r7?param10=%7B%22dutyPoint%22%3A%7B%22Flow%22%3A8.6,%22Head%22%3A15%7D,%22flowUnit%22%3A%22m%2C%2B3%2Fh%22,%22headUnit%22%3A%22m%22%7D>
- WILO. (s.d.). *Wilo-Drain TS/TSW 32*. Tratto da wilo.com: https://wilo.com/it/it/Prodotti-e-competenze/it/prodotti-ed-expertise/wilo-drain-ts-tsw-32?t=1#c40288a8a54ce361f0154de08399f035cTL4_range_description

WILO. (s.d.). *Yonos MAXO-D 30/0,5-10 PN10*. Tratto da wilo.com: <https://wilo.com/it/it/Prodotti-e-competenze/it/prodotti-ed-expertise/wilo-yonos-maxo-d/yonos-maxo-d-30-0-5-10-pn-10>

WILO. (s.d.). *Yonos MAXO-D 30/0,5-7 PN10*. Tratto da wilo.com: <https://wilo.com/it/it/Prodotti-e-competenze/it/prodotti-ed-expertise/wilo-yonos-maxo-d/yonos-maxo-d-30-0-5-7-pn-10>

ZEHNDER. (s.d.). *Scaldasalviette idronici Zehnder Aura*. Tratto da zehnder.it:
<https://www.zehnder.it/it/radiatori-decorativi/radiatori/radiatori-idronici/zehnder-aura-funzionamento-ad-acqua-calda>