



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche

Valutazione comparativa dei costi e delle prestazioni di impianti tecnologici meccanici a servizio di una struttura socio-educativa-riabilitativa per disabili

Comparative evaluation of the costs and performance of mechanical technological systems at the service of a socio-educational-rehabilitation facility for the disabled

Tesi di laurea di:

Paolo Pigni Campanari

Relatore: Chiar.mo

Prof. Paolo Principi

A.A. 2019/2020

ABSTRACT

Il presente lavoro si dirama attraverso alcuni aspetti progettuali significativi relativamente ad una struttura di tipo residenziale destinata all'ospitalità ed al supporto di persone con disabilità. Viene anzitutto affrontata la questione relativa alla sicurezza antincendio, di fondamentale importanza, dalla quale partono poi tutte le considerazioni aggiuntive che passano dalla scelta di un involucro edilizio coerente con i bisogni architettonici, strutturali, di sicurezza e termici, fino alla ricerca di una soluzione impiantistica adeguata al raggiungimento del comfort termo-igrometrico degli ospiti. Per ultimo si affrontano dei possibili ragionamenti di carattere economico attorno alla generazione di energia destinata all'edificio.

SOMMARIO

ABSTRACT	1
INTRODUZIONE	1
1 INQUADRAMENTO GENERALE	2
2 PROGETTAZIONE ANTINCENDIO	5
2.1 GENERALITÀ SULLA PREVENZIONE INCENDI.....	5
2.2 ATTIVITÀ SOGGETTE	7
2.2.1 Attività 68 – Strutture sanitarie	8
2.2.2 Attività 74 – Impianti per la produzione di calore.....	9
2.3 RIFERIMENTI NORMATIVI	10
2.4 D.M. 18/09/2002	11
2.4.1 Titolo I	12
2.4.2 Titolo II	13
2.4.2.1 Ubicazione ed accesso	14
2.4.2.2 Caratteristiche costruttive	14
2.4.2.3 Ascensore antincendio.....	17
2.4.2.4 Misure d’esodo	17
2.4.2.5 Impianti elettrici.....	19
2.4.2.6 IMPIANTI DI ESTINZIONE D’INCENDIO	19
2.4.2.7 Impianti IRAI di rivelazione ed allarme incendio.....	20
2.4.2.8 GSA – Gestione della sicurezza antincendio.....	21
2.5 D.M. 21/11/2019	22
2.5.1 Cucina.....	23
2.5.2 Caldaia a gas.....	24
2.6 SOLUZIONI PROGETTUALI.....	24
2.6.1 Interventi architettonici e strutturali.....	24
2.6.2 Sistemi di protezione attiva.....	27
2.6.2.1 Estintori.....	27
2.6.2.2 Rete idrica antincendio	27
2.6.2.2.1 Dimensionamento.....	28
2.6.2.2.2 Tipologia di rete	29
2.6.2.2.3 Alimentazione idrica.....	29
2.6.2.2.4 Perdite di carico distribuite	31
2.6.2.2.5 Perdite di carico localizzate.....	31
2.6.2.2.6 Terminali	32
2.6.2.2.7 Verifica della pressione residua	34
2.6.2.3 Impianto I.R.A.I. – rivelazione ed allarme incendio.....	37
3 STRUTTURE	41
3.1 MATERIALI E SCELTE COSTRUTTIVE	41
3.1.1 Struttura portante.....	41
3.1.2 Strutture opache non portanti	41
3.1.3 Isolanti.....	43
3.1.4 Serramenti.....	44
3.2 PARETE ESTERNA CON CAPPOTTO.....	48
3.3 PARETE DIVISORIA	50
3.4 SOLAIO CONTROTERRA	52
3.5 SOLAIO INTERPIANO.....	54

3.6	SOLAIO SOTTOTETTO.....	56
3.7	SOLAIO ESTERNO CON CAPPOTTO.....	58
4	CARICHI TERMICI.....	60
4.1	DISPERSIONI TERMICHE INVERNALI	60
4.1.1	<i>Dati di progetto.....</i>	60
4.1.2	<i>Trasmissione verso l'esterno</i>	63
4.1.3	<i>Trasmissione verso locali a temperatura esterna</i>	65
4.1.4	<i>Trasmissione verso locali non climatizzati</i>	66
4.1.5	<i>Ponti termici.....</i>	67
4.1.6	<i>Ventilazione.....</i>	68
4.1.7	<i>Fattore di ripresa.....</i>	69
4.1.8	<i>Risultati</i>	70
4.2	CARICHI TERMICI ESTIVI.....	74
4.2.1	<i>Dati di progetto.....</i>	74
4.2.2	<i>Trasmissione attraverso le strutture opache</i>	76
4.2.3	<i>Trasmissione attraverso gli infissi</i>	76
4.2.4	<i>Trasmissione solare attraverso i vetri</i>	77
4.2.5	<i>Carichi interni</i>	78
4.2.6	<i>Ventilazione.....</i>	79
4.2.7	<i>Risultati</i>	80
5	IMPIANTI.....	86
5.1	STRATEGIA IMPIANTISTICA.....	86
5.2	ACQUA CALDA SANITARIA	88
5.3	RISCALDAMENTO - RADIANTE A PAVIMENTO	90
5.3.1	<i>Caratteristiche d'impianto</i>	90
5.3.2	<i>Scelta dell'interasse.....</i>	92
5.3.2.1	<i>Fattore relativo al gradiente di temperatura</i>	93
5.3.2.2	<i>Fattore relativo alle caratteristiche del tubo</i>	94
5.3.2.3	<i>Resistenza termica del pavimento</i>	94
5.3.2.4	<i>Fattore di interasse dei tubi</i>	94
5.3.2.5	<i>Fattore relativo allo spessore del massetto</i>	95
5.3.2.6	<i>Fattore relativo al diametro esterno dei tubi.....</i>	95
5.3.2.7	<i>Calcolo delle potenze</i>	96
5.3.2.8	<i>Esempio di calcolo.....</i>	97
5.3.3	<i>Dimensionamento.....</i>	101
5.4	RAFFRESCAMENTO – VENTILCONVETTORI	105
5.4.1	<i>Scelta dei terminali.....</i>	105
5.4.2	<i>Tubazioni.....</i>	110
5.4.3	<i>Circolatore.....</i>	114
5.5	IMPIANTO AD ARIA	118
5.5.1	<i>Caratteristiche d'impianto</i>	118
5.5.2	<i>Valutazione della portata.....</i>	119
5.5.3	<i>Impianto di mandata</i>	122
5.5.4	<i>Impianto di ripresa</i>	127
5.5.5	<i>Canali di distribuzione dell'aria</i>	131
5.5.6	<i>Unità di trattamento dell'aria.....</i>	138
5.5.6.1	<i>Trattamento dell'aria in funzionamento invernale</i>	139
5.5.6.2	<i>Trattamento dell'aria in funzionamento estivo</i>	141
5.5.6.3	<i>Recuperatore di calore.....</i>	142

5.5.6.4	Ventilatori	143
6	FABBISOGNO ENERGETICO.....	149
6.1	METODO.....	149
6.1.1	<i>Scambio per trasmissione</i>	<i>149</i>
6.1.1.1	Coefficiente di scambio termico verso l'esterno.....	150
6.1.1.2	Coefficiente di scambio termico verso il terreno	152
6.1.1.3	Extra-flusso di radiazione infrarossa	153
6.1.2	<i>Scambio termico per ventilazione</i>	<i>153</i>
6.2	DISPERSIONI TERMICHE.....	154
6.3	APPORTI TERMICI INTERNI	156
6.4	APPORTI SOLARI	157
6.4.1	<i>Apporti solari tramite le superfici trasparenti.....</i>	<i>159</i>
6.4.2	<i>Apporti solari tramite le superfici opache.....</i>	<i>161</i>
6.5	SCHEMA DI CALCOLO.....	163
6.6	FABBISOGNO TERMICO MENSILE	168
7	ANALISI DEI CONSUMI.....	170
7.1	METODO	170
7.2	ALTERNATIVE PER LA GENERAZIONE.....	170
7.2.1	<i>Consumi energetici S1.....</i>	<i>171</i>
7.2.1.1	Consumi energetici invernali.....	175
7.2.1.2	Consumi energetici estivi	179
7.2.2	<i>Consumi energetici S2.....</i>	<i>180</i>
7.2.2.1	Consumi energetici invernali.....	180
7.2.2.2	Consumi energetici estivi	181
8	GENERATORE	182
8.1	POSSIBILI SCELTE A CONFRONTO.....	182
9	CONCLUSIONI.....	186
	BIBLIOGRAFIA.....	188

INTRODUZIONE

Il lavoro qui descritto nasce dall'esperienza di tirocinio svolta a cavallo tra il Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università Politecnica delle Marche e lo Studio di Progettazione MCPROGETTI, e dunque da un caso reale di progettazione.

Partendo da una base architettonico-strutturale pre-esistente, il lavoro segue tutte le fasi progettuali collegandole strettamente tra di loro in maniera interconnessa, passando attraverso la progettazione antincendio, la scelta delle stratigrafie, la proposta impiantistica per la climatizzazione, fino ad approdare alla valutazione dei bisogni energetici dell'edificio e ad un confronto dei consumi tra due possibili sistemi di generazione termica tra quelli solitamente presi in considerazione in progetti di questo tipo.

1 INQUADRAMENTO GENERALE

L'edificio oggetto di questo lavoro, isolato e costituito da due blocchi strutturali distinti, era risultato uno dei numerosi ad essere interessati dai forti danneggiamenti durante gli eventi sismici susseguitisi nel periodo tra l'estate e l'autunno 2016, in prossimità dell'Appennino marchigiano, a seguito dei quali si era ricorsi alla demolizione parziale di buona parte della struttura più datata, realizzata con pannelli portanti di muratura in laterizio a sacco e solai in laterocemento, mentre era stata preservata la parte più recente dell'edificio con danni circoscritti alle sole tamponature ed alle tramezze. L'analisi è partita sulla base di un progetto architettonico e strutturale preliminare prevedente la ricostruzione del plesso demolito, l'ampliamento dello stesso rispetto allo stato precedente, ed il recupero funzionale della struttura sana ancora presente; da un punto di vista funzionale si è prospettato il ripristino delle attività di tipo socio educativo e riabilitativo per persone con disabilità, come da funzione storica, con l'interazione di due strutture separate ma complementari, consistenti in un centro di assistenza diurno ed in una comunità a tempo pieno, siglati, come vedremo nei successivi paragrafi, rispettivamente C.S.E.R. e Co.S.E.R. In Fig. 1.1-1 è riportata, da progetto architettonico, la collocazione delle strutture all'interno della proprietà, le quali consistono in una superficie lorda complessiva di circa 1079 [m²] così distribuiti e le cui planimetrie sono raffigurate in Fig. 1.1-2:

- Piano Seminterrato: 218,8 [m²]
- Piano Terra: 406,6 [m²]
- Piano Primo: 402,5 [m²]

Al centro di assistenza diurno è dedicata l'ala dell'edificio preesistente, confacente il piano terra, quindi una parte minoritaria dell'interno

complesso. Qui oltre a dei locali di servizio è presente una sala da pranzo con angolo cottura e diversi ambienti di lavoro e polifunzionali a servizio degli ospiti.

Gli ambienti dedicati alla comunità invece occupano i restanti spazi; al piano seminterrato in particolare, accessibile anche dalle auto tramite rampa apposita, sono presenti una palestra per le attività motorie con annessi spogliatoi, un locale tecnico, una lavanderia e dei depositi ad uso principalmente alimentare. Al piano terra, adiacenti ai locali del centro diurno, si trovano la segreteria, che accoglie tutti gli ospiti, ed una cucina con tanto di sala mensa dedicata ed a servizio sia degli ospiti che dei visitatori. Il piano primo è infine dedicato al reparto camere/degenze, dove si trovano un totale di circa 21 posti letto, distribuiti principalmente su camere doppie.

Tutti i piani sono accessibili dall'esterno tramite accesso diretto, attraverso un loggiato al piano primo; per quanto riguarda invece la comunicazione interpiano avviene tramite un vano scale ove è presente anche un ascensore.

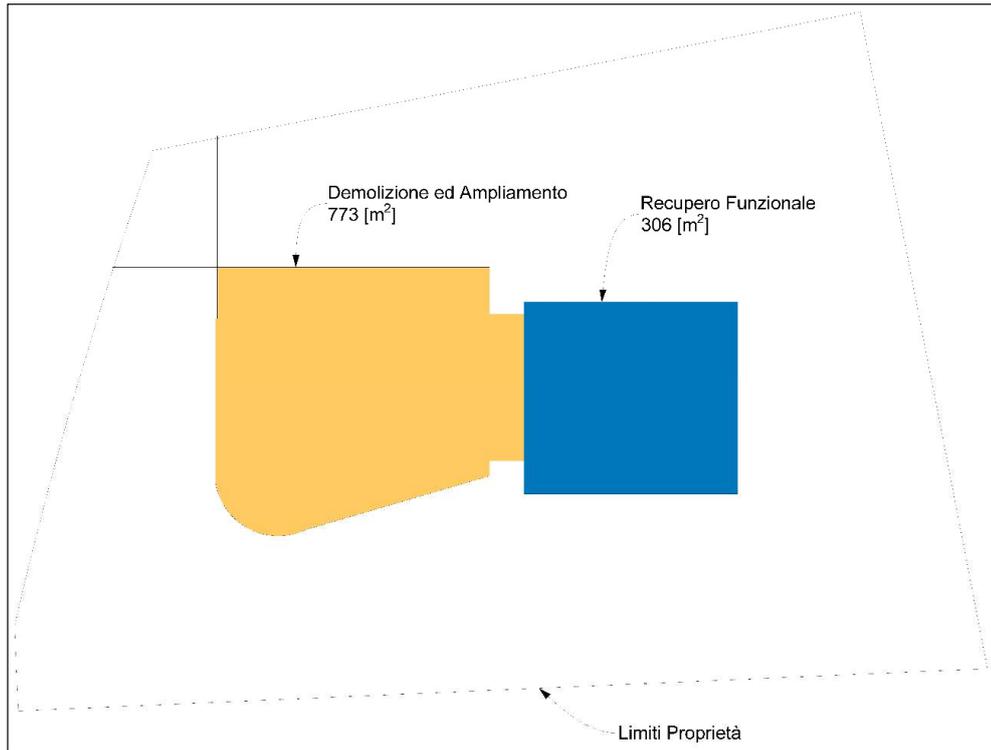


Fig. 2.1-1 Collocazione delle strutture all'interno della proprietà

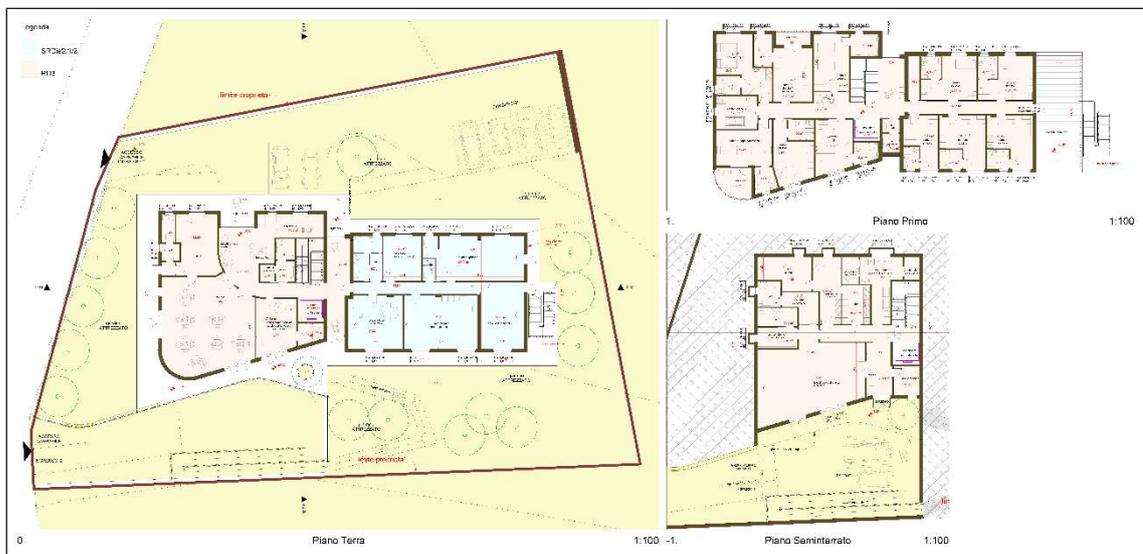


Fig. 2.1-2 Progetto architettonico preliminare - Planimetrie

2 PROGETTAZIONE ANTINCENDIO

2.1 GENERALITÀ SULLA PREVENZIONE INCENDI

La prevenzione incendi si differenzia molto dalla progettazione termotecnica, soprattutto a causa degli scopi cui si prefigge, e vive in forte legame con la normativa vigente; è importante dunque contornare le valutazioni progettuali con una visione chiara dello stato dei regolamenti. Sebbene le prime leggi in materia di sicurezza siano state emanate già da molti decenni, basti pensare al Decreto Ministeriale del 12 maggio 1937, che approvava norme da adottare per la lavorazione, l'immagazzinamento, l'impiego, la vendita od il trasporto degli oli minerali, tutt'ora in vigore seppur rivisitato più volte nel tempo, od anche la Direttiva Seveso, sviluppata nel 1982 dall'Unione Europea a seguito dell'omonimo disastro industriale, la progettazione incendi è entrata a far parte della pratica quotidiana, in Italia, solamente nell'ultimo ventennio o poco più.

Le attività che presentano dei rischi rilevanti di incendio, che vengono definite "soggette ai controlli dei Vigili del Fuoco" e che richiedono un progetto e delle specifiche prassi da seguire, sono, al presente, regolamentate dalla più recente legge in materia, ovvero il Decreto del Presidente della Repubblica n°151 del 2011, all'interno del quale si trovano elencate le attività "normate" suddivise in tre categorie a rischio crescente chiamate rispettivamente di tipo "A", "B" e "C". Per quel che riguarda le attività di minor rischio, le A, vengono richiesti dei documenti, incluso il progetto, e che vanno consegnati al Comando Provinciale dei Vigili del Fuoco sotto forma di segnalazione certificata di inizio attività, anche detta S.C.I.A., mentre salendo con il grado di rischio, e quindi per le attività B e

C, è richiesta, preliminarmente, la presentazione di un progetto che deve essere approvato dal Comando stesso. A tal proposito, si fa notare che sulla base di quanto sopra, risulta chiaro che qualsiasi ipotesi progettuale effettuata debba comunque passare attraverso il relativo iter procedurale, che, per attività di un certo rischio, equivale alla necessità di vaglio e approvazione del progetto da parte del Comando dei Vigili del Fuoco.

Nel 2015 avviene una rivoluzione nel panorama normativo dell'antincendio in Italia, grazie all'introduzione del D.M. 3 agosto 2015. Noto come Codice di Prevenzione Incendi, questo decreto ministeriale rappresenta in sostanza l'introduzione di un testo unico nell'ambito della prevenzione incendi, un riferimento normativo di tipo orizzontale a servizio di tutte le necessità progettuali ed applicabile a buona parte delle attività soggette secondo il D.P.R. 151/2011 sopracitato. Tale testo ha permesso all'Italia di allinearsi con il resto dei Paesi dell'Unione, fornendo da una parte delle indicazioni di tipo prescrittivo sempre più accurate e coerenti nel tempo, ed in parallelo fornendo anche maggiore libertà di lavoro al progettista tale da permettergli la ricerca di soluzioni ad hoc in base alle problematiche di progetto.

Il Codice di Prevenzione Incendi è stato ad oggi aggiornato all'ultima versione del novembre 2019 ed è affiancato da regole tecniche verticali, che si appoggiano ad esso e lo affiancano nel definire misure specifiche in attività di maggior rischio come quelle che riguardano gli edifici adibiti ad uffici, le autorimesse, i centri commerciali od altre attività ancora, una lista destinata ad allungarsi nel tempo. Attualmente l'applicabilità del testo è governata dal D.M. del 12 aprile 2019 [6], le quali prescrizioni sono riassunte in Tab. 2.1-1.

Tipologia di attività		Nuove attività	Attività esistenti
Attività Soggette	Regola tecnica verticale x	Regola tecnica verticale ✓	Codice di prevenzione incendi Se il codice non è compatibile con l'esistente allora regole tecniche verticali o riprogettazione dell'intera attività con il codice
	Regola tecnica verticale ✓	Codice di prevenzione incendi Regole tecniche tradizionali	
Attività non Soggette		Il codice di prevenzione incendi può essere applicato come riferimento con esonero dall'applicazione delle regole tecniche tradizionali	

Tab. 2.1-1 Schema riassuntivo di applicabilità del Codice di Prevenzione Incendi ai sensi del D.M. 12
aprile 2019

2.2 ATTIVITÀ SOGGETTE

Essendo la struttura dedicata ad ospitare un'attività con funzioni riconducibili ad un indirizzo clinico a supporto di persone con disabilità, essendo presenti ambulatori di assistenza agli ospiti ed in considerazione

della superficie occupata, si configura quella che viene identificata come Attività 68 ai sensi del D.P.R. 151/2011:

“strutture sanitarie che erogano prestazioni in regime di ricovero ospedaliero e/o residenziale a ciclo continuativo e/o diurno, case di riposo per anziani con oltre 25 posti letto; strutture sanitarie che erogano prestazioni di assistenza specialistica in regime ambulatoriale, ivi comprese quelle riabilitative, di diagnostica strumentale e di laboratorio, di superficie complessiva superiore a 500 m²”.

Va presa in considerazione, inoltre, la possibilità che si produca calore, per la generazione di acqua calda sanitaria, per gli impianti di riscaldamento ed infine per i servizi mensa presenti, tramite un impianto con funzionamento a combustibile; qualora la richiesta di calore venga sopperita tramite impianti alimentati a combustibile infatti, e la potenza richiesta superi il totale dei 116 [kW], si configura la presenza di Attività 74:

“impianti per la produzione di calore alimentati a combustibile solido, liquido o gassoso con potenzialità superiore a 116 kW”. Considerazioni precise al riguardo possono essere fatte solamente in base alla progettazione termo-impiantistica.

2.2.1 Attività 68 – Strutture sanitarie

Per una corretta individuazione della casistica in esame si deve ricorrere alla definizione delle categorie e delle sigle idonee per la struttura, e per fare questo si ricorre alla consultazione delle norme in materia della Regione Marche.

Secondo la L.R. n°21 del 2016 ed il Regolamento Regionale n°1 del 2018, la struttura si caratterizza, secondo Standard Assistenziali da DGR 1011/2013, DGR 1195/2013 e DGR 1331/2014, come un'unione di classi sanitarie coincidenti con le forme di tipo SRDis2.1/SRDis2.2, od ex C.S.E.R.

(Centro Diurno Socioeducativo Riabilitativo per Disabili), per un totale di 15 posti, e di tipo RD3, od ex Co.S.E.R. (Comunità Socioeducativa Riabilitativa per Disabili), per un totale di 21 posti letto. Dal momento in cui vengono fornite delle prestazioni di assistenza specialistica di tipo riabilitativo e dato che la superficie complessiva delle attività è distribuita su uno spazio superiore ai 1000 [m²], l'attività soggetta secondo il D.P.R. 151/2011 è la numero 68.4.B: "Strutture sanitarie che erogano prestazioni di assistenza specialistica in regime ambulatoriale, ivi comprese quelle riabilitative, di diagnostica strumentale e di laboratorio, di superficie complessiva superiore a 1000 [m²]", dunque un'attività di livello di rischio incendio pari a B, richiedente una Valutazione Progetto preliminare da parte del Comando dei VV.F.

2.2.2 Attività 74 – Impianti per la produzione di calore

Per quanto riguarda la produzione di calore tramite combustibili, si effettua una stima preliminare delle potenzialità richieste e delle possibili strategie di soddisfazione delle stesse, dato che al momento della progettazione antincendio, contemporanea a quella architettonica ed antecedente a quella termotecnica, non sono disponibili dati esaustivi, i quali tra l'altro vengono spesso modificati durante i lavori di costruzione. Nell'edificio è presente una cucina principale con annessa mensa a servizio sia del Co.S.E.R. che dello C.S.E.R. e degli eventuali ospiti, dove si prevede la necessità di riscaldare cibo ma anche di prepararlo in autonomia rispetto alla fornitura esterna utilizzando combustibile gassoso.

Non conoscendo in forma precisa le richieste termiche di tale locale, la potenza viene stimata sulla base di situazioni similari disponibili, come riassunto in Tab. 1.2-1.

Locale	Utenza	Potenza [kW]	Portata [m ³ /h]
Cucina	Forno	14,00	1,40
Cucina	Piano Cottura 2 Fuochi	10,50	1,05
Cucina	Cuocipasta	28,00	2,81
Cucina	Piano Cottura 6 Fuochi	36,00	3,61

Tab. 2.2-1 Stima delle potenze delle apparecchiature alimentate a gas nel locale cucina

A servizio del centro diurno C.S.E.R. è altresì presente anche un più piccolo angolo cottura per il quale si ipotizza però il funzionamento tramite un piano ad induzione elettrica.

Il totale di potenza raggiunge approssimativamente un valore di poco inferiore ai 90 [kW] e che supererebbe sicuramente il limite di assoggettabilità dell'attività alla prevenzione incendi, pari, come accennato in precedenza, a 116 [kW], nel caso di utilizzo di combustibile anche per la produzione di riscaldamento.

2.3 RIFERIMENTI NORMATIVI

Per quanto osservato, la progettazione antincendio fa riferimento all'attività principale numero 68.4.B secondo il D.P.R. 151/2011 [9]; tale attività richiede l'utilizzo di una specifica RTV (regola tecnica verticale), riferita agli ospedali e alle strutture sanitarie in genere, tuttavia al

momento del progetto non risultano pubblicate norme aggiornate compatibili con la RTO (regola tecnica orizzontale) rappresentata dal Codice di Prevenzione incendi, dunque, riprendendo la Tab. riassuntiva del D.M. 12/04/2019 si evince la necessità di ricorrere alla regola tecnica tradizionale più aggiornata, ovvero al D.M. 18/09/2002, coordinato nel marzo 2015 con le modifiche introdotte dal D.M. 19/03/2015 “Aggiornamento della regola di prevenzione incendi per la progettazione, la costruzione e l’esercizio delle strutture sanitarie pubbliche e private di cui al decreto 18/09/2002”.

Per la progettazione sono presi inoltre in esame altri decreti legge complementari, quali la vecchia regola tecnica orizzontale per i luoghi di lavoro, ovvero il D.M. 10/03/1998 “Criteri generali di sicurezza antincendio per la gestione dell’emergenza nei luoghi di lavoro”, od il D.M. 15/09/2005 “Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per i vani degli impianti di sollevamento ubicati nelle attività soggette ai controlli di prevenzione incendi”, a cui si fa riferimento nel D.M. 18/09/2002, od ancora la UNI 10779 per la progettazione delle reti idriche antincendio.

Particolare attenzione va inoltre fatta al D.M. 21/11/2019 in riferimento agli impianti termici a gas, il quale impone delle prescrizioni relativamente agli impianti che eccedono una potenzialità, per la produzione di calore tramite combustibile gassoso, di 35 [kW], quindi anche qualora la potenza complessiva non superi i 116 [kW] per i quali si configura attività soggetta.

2.4 D.M. 18/09/2002

Il D.M. del 2002 [7], riferimento per le strutture ospedaliere, si rivolge ad una varietà di casistiche che interessano questo lavoro solo nei capitoli che seguono:

- TITOLO I – Definizioni e classificazione
- TITOLO II – Strutture di nuova costruzione che erogano prestazioni in regime di ricovero ospedaliero e/o in regime residenziale a ciclo continuativo e/o diurno
- TITOLO IV, CAPO IV – Strutture di nuova costruzione che erogano prestazioni di assistenza specialistica in regime ambulatoriale aventi superficie maggiore di 1000 [m²]
- TITOLO V – Sistema di gestione della sicurezza finalizzato all'adeguamento antincendio

2.4.1 Titolo I

In base alla destinazione d'uso dei locali, questa parte del decreto prevede, essenzialmente, l'individuazione di specifiche "aree di rischio" dal punto di vista dell'antincendio, le quali sono state riassunte in Tab. 2.4-1, facendo riferimento alla lista di locali presenti nella struttura elencati nel capitolo relativo all'inquadramento.

Area D.M. 2002	Descrizione	Locali individuati
A	Aree od impianti a rischio specifico, classificati come soggetti.	-
B	Aree a rischio specifico accessibili al solo personale dipendente.	Deposito alimenti; magazzino; lavanderia; locale tecnico.
C	Aree destinate a prestazioni medico-sanitarie di tipo ambulatoriale	Ambulatorio.
D	Aree destinate a ricovero in regime ospedaliero e/o residenziale nonché aree adibite ad unità speciali.	Camere.
E	Aree destinate ad altri servizi pertinenti.	Cucina; mensa; sala d'attesa; segreteria.

Tab. 2.4-1 Aree di rischio secondo il D.M. 18 settembre 2002

2.4.2 Titolo II

Il secondo capitolo del decreto ministeriale è dedicato alle attività di nuova costruzione, tra le quali rientra anche il caso in esame; qui viene analizzato ogni aspetto critico ritenuto importante dal legislatore per il raggiungimento di opportune condizioni di sicurezza relativamente al possibile svilupparsi di incendi.

2.4.2.1 *Ubicazione ed accesso*

Da un punto di vista dell'ubicazione e delle comunicazioni la struttura sanitaria risulta essere correttamente posizionata dal momento in cui occupa un edificio isolato all'interno del quale non sono presenti altre attività soggette, fatta eccezione la possibile presenza di un impianto di riscaldamento a gas che, per il p.to 2 del paragrafo 2.1 del Titolo II, risulta incompatibile con l'ubicazione nel medesimo edificio e per il quale andrebbe eventualmente previsto un impianto esterno; è assicurato l'accesso all'area da parte dei mezzi di soccorso grazie alla presenza dei requisiti minimi come di seguito indicati:

- larghezza dell'accesso $\geq 3,5$ [m];
- altezza libera > 4 [m];
- raggio di svolta > 13 [m];
- pendenza $< 10\%$;
- resistenza al carico > 20 [t];
- possibilità di accesso delle autoscale ad almeno una finestra od un balcone di ciascun piano.

2.4.2.2 *Caratteristiche costruttive*

Tutti gli elementi strutturali devono possedere dei requisiti di resistenza al fuoco del tipo R/REI 120 per quel che riguarda i piani interrati, R/REI 90 per quanto riguarda invece i piani terra e fuori terra; vanno inoltre previste compartimentazioni per le aree di tipo E, mentre non sono richieste per le aree di tipo C e di tipo D in quanto di "metratura" inferiore ai limiti imposti, tuttavia esistono specifiche valutazioni anche in merito alle aree di tipo B che sono a rischio specifico e vanno senz'altro previste delle compartimentazioni almeno REI 90 anche per quel che riguarda la zona lavanderia ubicata nel piano seminterrato. Ovviamente tutto quel che riguarda gli impianti accessori dell'edificio, a partire dal condizionamento

e dalla ventilazione, deve permettere il mantenimento delle condizioni di compartimentazione imposte secondo le specifiche qui determinati, questo per evitare il ricircolo o la diffusione nei locali serviti dei prodotti della combustione e dei fumi, così come per evitare la propagazione delle fiamme.

La comunicazione delle camere da letto, ovvero le aree di tipo D, così come le scale che le servono, deve essere tramite filtro a prova di fumo e di tipo protetto, questo significa predisporre dei varchi di tipo RE con congegni di auto-chiusura, ma anche la necessità di prevedere un accesso da disimpegno aperto su spazio scoperto e dotato di parapetto a giorno; si prevede anche un'apertura autonoma in sommità del vano scale per l'evacuazione dei fumi dal momento in cui è assente un'apertura verso l'esterno.

Dal punto di vista della reazione al fuoco si impongono invece i seguenti requisiti ai materiali di interesse presenti all'interno della struttura o sulla stessa (Tab. 2.4-2):

Descrizione	Classi di reazione
Materiali nei locali di passaggio.	1 per massimo il 50% della superficie totale, il restante in 0.
Pavimentazioni	2
Rivestimenti	1
Isolanti a vista o rivestimenti combustibili	Aderenza ad elementi costruttivi di classe 0, senza intercapedini
Controsoffitti	1 o 1-1 ed omologati
Tendaggi	1
Mobili imbottiti	1 IM
Isolanti in vista esposti alle fiamme	1
Sedie non imbottite	2
Rivestimenti lignei	1
Isolanti in intercapedini	Non combustibili

Tab. 2.4-2 Classi di reazione al fuoco dei materiali

2.4.2.3 *Ascensore antincendio*

I normali ascensori non sono adatti al funzionamento in caso d'incendio, sia perché potrebbero bloccarsi in caso di interruzione dell'alimentazione elettrica, sia perché non dispongono di sufficienti accortezze di sicurezza, in ogni caso richiedono delle caratteristiche definite di tipo protetto, ovvero con peculiarità di resistenza al fuoco coerenti con gli elementi strutturali dell'edificio che vanno a servire. Per le strutture di tipo sanitario come questa, ove sono presenti aree di tipo D, viene però richiesta la presenza di almeno un ascensore monta-lettighe antincendio, rispondente alle richieste del Decreto Ministeriale del 15 settembre 2005. Tale ascensore deve servire tutti i piani dell'edificio, la sua uscita deve immettere in un luogo sicuro posto all'esterno dell'edificio, o direttamente o tramite un percorso non superiore ai 15 [m], deve essere correttamente compartimentato in base alle caratteristiche della struttura, o come minimo REI 60, deve avere una linea di alimentazione dedicata, deve possedere un'alimentazione secondaria di emergenza che deve scattare in maniera automatica nel caso di assenza della primaria, deve avere uno spazio di sbarco protetto e che consenta un accesso sicuro per tutto il tempo richiesto alle strutture di resistere, ed infine deve avere un'area dedicata di almeno 5 [m²] all'uscita di ogni piano ed altre misure di carattere costruttivo come una cabina di dimensioni minime pari ad 1,10 [m] * 2,10 [m], od un'altezza di cabina pari a 2,15 [m] e larghezza di accesso, posto sul lato inferiore, pari ad 1 [m].

2.4.2.4 *Misure d'esodo*

Nell'edificio non vi sono problematiche relative all'affollamento, dal momento che si prevede un numero di ospiti abbastanza costante nel corso dell'anno e assolutamente inferiore ai massimali consentiti per le

strutture sanitarie, anche perché la normativa regionale di riferimento risulta essere più restrittiva del decreto relativo.

Un aspetto importante da prendere in considerazione è la necessità di realizzare una condizione di “esodo orizzontale progressivo”, per le aree D, che in parole povere significa la realizzazione di compartimenti multipli che permettano, in caso di emergenza, di evacuare gli ospiti delle camere in un luogo sicuro, rappresentato dall'altra ala del piano. Questo è un punto importante da assicurare dal momento in cui ci si trova a lavorare con persone che possono avere disabilità importanti che non ne permettono una veloce reazione ed una spedita capacità di esodo dall'edificio e potrebbero dover attendere l'arrivo dei soccorsi. Ciascuno dei compartimenti in cui il piano è suddiviso, in questo caso 2, deve dunque poter ospitare tutte le persone presenti nell'altra metà del piano; i numeri che vengono presi a riferimento sono di almeno 0,7 [m²/persona], che però vanno portati ad 1,5 [m²/persona] se l'esodo prevede anche l'utilizzo di barelle.

Naturalmente anche i percorsi d'esodo sono normati, dunque si prevedono ad esempio delle scale con pedata ed alzata costante e che presentino sufficiente spazio per la manovra delle barelle, ma anche delle lunghezze d'esodo che non superino i 30 [m] verso scale protette, i 40 [m] verso luoghi sicuri, e che comunque abbiano corridoi ciechi inferiori ad i 15 [m].

Per le porte si richiedono delle dimensioni minime d'uscita, anche in relazione al numero di occupanti che in questo caso risulta essere contenuto; vanno ovviamente previsti dei dispositivi ad apertura facilitata a semplice spinta. Si prevede l'installazione di porte, lungo le vie d'esodo, che rimangano aperte tramite meccanismo elettromagnetico fintanto che non sussistano condizioni di pericolo, questo per garantire una mobilità facilitata all'interno dell'edificio, soprattutto per gli ospiti costretti alla

sedia a rotelle; tali meccanismi devono comunque garantire una compartimentazione immediata nel caso dello scoppio di un incendio grazie anche al collegamento all'impianto di rivelazione incendi. Si suppone per ciascun piano la presenza di almeno due uscite di sicurezza in punti ragionevolmente contrapposti.

2.4.2.5 Impianti elettrici

Vanno prese in considerazione tutte quelle caratteristiche che rendono gli impianti elettrici sicuri e che quindi non costituiscano causa primaria di incendio ed esplosione, che assicurino i servizi richiesti nelle emergenze ma anche che non costituiscano pericolo nelle fasi di spegnimento. Per la tipologia di strutture prese in esame è richiesta la presenza di idonei impianti di illuminazione, idonei impianti di rivelazione incendio con annessi allarmi, oltre al già citato montacarichi antincendio. I dispositivi come le luci o gli allarmi richiedono un'alimentazione autonoma a batteria che si attivi con una breve interruzione ($< 0,5$ [s]) per gli impianti di illuminazione ed allarme, o con un'interruzione media (< 15 [s]) per gli altri impianti. Gli accumulatori devono permettere la ricarica automatica, la quale deve avvenire in massimo 12 [h], l'autonomia deve essere poi garantita per almeno 2 [h], fatto salvo per l'impianto di allarme che deve essere assicurato per soli 30 minuti.

2.4.2.6 IMPIANTI DI ESTINZIONE D'INCENDIO

Gli estintori sono strumenti utilizzati per estinguere dei principi d'incendio, per questo motivo vanno posizionati in prossimità delle porte e delle vie d'esodo e devono comunque essere accessibili facilmente in caso di necessità. Per rispettare tali condizioni gli estintori portatili, di capacità estinguente pari ad almeno 34A - 144BC, ma più comunemente oggi rimpiazzati, per l'ambito residenziale, dai 34A - 233BC, disposti

almeno uno ogni 100 [m²], oltre a postazioni ulteriori in prossimità dei luoghi a rischio specifico (lavanderia, locale tecnico ecc.). All'interno dell'ambiente cucina ed angolo cottura, prevedendo la possibilità di oli bollenti, si richiede la predisposizione di estintori dedicati di classe F.

Parallelamente agli estintori si ricorre, per le strutture in questione, anche alla presenza di un impianto di spegnimento incendio almeno di tipo manuale, quindi una rete idrica antincendio. Le prestazioni richieste variano in funzione del numero di posti letto presenti; nel caso in esame, essendo inferiore ai 100 posti si ricade nella prima fascia, ovvero in quella che prevede un impianto costituito da naspi con diametro nominale pari a 25, tra le soluzioni più comuni per l'ambito residenziale, i quali devono assicurare le seguenti prestazioni minime (Tab. 2.4-3):

NASPI SIMULTANEAMENTE OPERATIVI	PORTATA MINIMA [l/min]	PRESSIONE RESIDUA DI LAVORO [bar]
4	60	2

Tab. 2.4-3 Prestazioni minime richieste ai terminali della rete idrica antincendio

2.4.2.7 Impianti IRAI di rivelazione ed allarme incendio

Gli impianti di allarme hanno due funzioni di fondamentale importanza:

- permettere la rivelazione di fumo tossico o fiamme che possano svilupparsi in aree non presidiate;
- avvertire prontamente tutti gli occupanti della struttura affinché possano evacuare in sicurezza la struttura, ed entro i tempi previsti in fase di progettazione, evitando ritardi che potrebbero risultare fatali.

Trattandosi di una struttura in cui avviene il pernottamento, ed in cui oltretutto gli ospiti con disabilità potrebbero presentare delle difficoltà e

dei ritardi di movimento, se non addirittura la dipendenza da altri, a maggior ragione l'impianto di allarme risulta essere uno strumento di primaria importanza, pertanto se ne richiede l'utilizzo in tutte le aree dell'edificio. Nel particolare si prevede sia un impianto con segnalatori a pulsante manuale, sia ovviamente delle attivazioni automatiche collegate elettronicamente ai sensori di rivelazione fiamme e/o fumo. A livello gestionale ogni azionamento automatico dei dispositivi trasmette un segnale elettronico alla centrale di controllo. L'azionamento vero e proprio dell'allarme antincendio parte:

- dopo un primo intervallo qualora arrivi un segnale positivo da due o più rivelatori o da un qualunque pulsante manuale;
- dopo un secondo intervallo di tempo qualora provenga un segnale positivo da qualunque operatore ed il personale preposto non taciti la segnalazione, così da evitare falsi positivi.

La valutazione degli intervalli di tempo deve essere decisa in funzione dell'attività e delle sue caratteristiche specifiche.

All'impianto di allarme vengono collegate tutte le funzioni accessorie che permettono la sicurezza nell'edificio, ed in particolare la chiusura automatica delle porte tagliafuoco che normalmente sono aperte, ma anche la disattivazione degli impianti di ventilazione e condizionamento e la segnalazione di allarme alla centrale di competenza.

Per la ricezione degli allarmi vengono utilizzati dei dispositivi acustici ed ottici in grado di segnalare il pericolo a tutti gli occupanti.

2.4.2.8 GSA – Gestione della sicurezza antincendio

La parte della gestione della sicurezza ha assunto un'importanza crescente negli anni, fino ad aver assunto un ruolo primario con la versione del Codice di Prevenzione Incendi aggiornata al 2019; nonostante per l'attività in questione non sia possibile applicare il Testo Unico, le normative in

questione andrebbero comunque prese in considerazione per fornire una gestione della sicurezza di concezione attuale.

Per una gestione ottimale della sicurezza all'interno della struttura sanitaria si richiede la predisposizione di un piano di emergenza aggiornato dove vengano indicate le azioni che deve mettere in atto il personale per la salvaguardia dei degenti ma anche dei visitatori alla struttura, così come le procedure dettagliate per l'esodo. Deve essere presente inoltre un centro di gestione delle emergenze, necessario al coordinamento delle operazioni in caso di emergenza, e nel caso in esame viene concesso in portineria a causa del numero ridotto di posti letto occupati. All'interno del centro vengono inoltre archiviate tutte le documentazioni necessarie in caso di emergenza come le planimetrie ed il piano di emergenza.

Sempre per garantire un'ottimale gestione dell'emergenza si prevede una formazione del personale secondo il D.M. 10/03/1998, così come delle precise istruzioni, anche grafiche, poste in corrispondenza di ciascun piano in prossimità delle vie d'esodo, infine i visitatori devono essere correttamente informati delle procedure e delle vie d'esodo stesse.

2.5 D.M. 21/11/2019

Dal punto di vista normativo si deve tenere in considerazione anche il Decreto Ministeriale del 21/11/2019 [6], il quale, all'Art.1, riporta come campo di applicazione anche quello relativo agli impianti per la produzione del calore extradomestici di portata termica complessiva maggiore di 35 [kW] alimentati da combustibili gassosi asserviti, quindi seppur tra le altre cose (non solo), alla climatizzazione degli edifici, alla produzione di acqua calda o per la cottura degli alimenti nelle cucine. All'interno dell'edificio si prevede sicuramente la presenza di una cucina

alimentata a gas di potenza pari a circa 80 [kW], quindi superiore al limite di 35 [kW] del citato decreto, tuttavia si deve prendere in considerazione anche la possibilità dell'eventuale installazione di una caldaia alimentata a metano, per la produzione di calore finalizzato alla produzione di acqua calda sanitaria o per il riscaldamento e vedere cosa questo comporti.

2.5.1 Cucina

Nella Sezione 7.2 del D.M. 21/11/2019 vengono riportate le disposizioni relative ad "impianti per la cottura di alimenti (/cucine) e lavaggio stoviglie, anche nell'ambito dell'ospitalità professionale, di comunità e ambiti similari. Installazione in apposito locale inserito nella volumetria del fabbricato servito".

In aggiunta alle limitazioni riportate nel D.M. del 2002 sugli ospedali, sono presenti le seguenti limitazioni aggiuntive:

- il piano di calpestio più basso dei locali non può essere ubicato a quota inferiore a -5 [m] rispetto al piano di riferimento;
- il locale deve possedere una parete esterna la cui lunghezza minima non deve essere inferiore al 15% del perimetro;
- il locale deve essere dotato di aperture di aerazione realizzate su pareti esterne;
- la superficie complessiva minima S [m²] delle aperture di aerazione permanenti deve essere determinata tramite la formula:

$$S \geq k * z * Q$$

Dove,

- Q [kW] ~ portata termica
- $k \sim 0,0010$ per il locale fuori terra
- $z \sim 0,8$ per il locale fuori terra e la presenza di elettrovalvola automatica collegata all'impianto di rivelazione del gas

2.5.2 Caldaia a gas

Nell'eventualità di utilizzo di un impianto di riscaldamento dell'acqua a gas, sopra i 35 [kW], l'unica potenziale limitazione problematica per il progetto in esame risulta essere l'ubicazione di tale impianto all'interno del locale tecnico presente al piano seminterrato dell'edificio, che deve essere ad uso esclusivo di centrale termica, come richiesto al punto 3.3 del D.M. 21/11/2019 [6]; se non si potesse rispettare tale condizioni si dovrebbe ricorrere ad un'installazione in un nuovo "locale centrale termica" ubicato esternamente e non previsto nel progetto architettonico iniziale.

Non risultano esserci problematiche di ubicazione nello stesso edificio dell'Attività 68 per il decreto in questione, tuttavia tale condizione non è accettata dal decreto relativo agli ospedali, come spiegato nel paragrafo 2.4.2.1.

2.6 SOLUZIONI PROGETTUALI

La prevenzione incendi, come descritto fin qui, consiste in una somma di azioni su più livelli di intervento, nel senso che è costituita non tanto da sole progettazioni impiantistiche ma da una moltitudine di interventi che partono da una fase preliminare di analisi fino a raggiungere una corretta gestione una volta che l'attività si trovi effettivamente in esercizio; sono qui illustrate tuttavia buona parte delle soluzioni più importanti da adottare per il raggiungimento degli obiettivi che la stessa prevenzione si prefigge.

2.6.1 Interventi architettonici e strutturali

Come spesso accade, anche in questo lavoro il punto di partenza è quello di una base architettonica che persegue alcune caratteristiche funzionali

ed estetiche che devono interfacciarsi ed accordarsi con altre esigenze come quelle dell'antincendio.

Mentre l'architettura si rivolge agli spazi presenti nell'edificio soprattutto in termini di destinazioni d'uso ed usabilità degli stessi, la prevenzione incendi ingloba i suoi principi nella costituzione di compartimenti antincendio. Rispetto alla situazione di partenza si prevedono le seguenti compartimentazioni:

- PIANO SEMINTERRATO:
 - EI/REI 120, Area B relativa ai magazzini
 - EI/REI 120, Area B relativa alla lavanderia
 - EI/REI 120, Area B relativa al locale tecnico
 - EI/REI 120, Scale di comunicazione
- PIANO TERRA:
 - EI/REI 90, Area E, cucina e sala mensa
 - EI/REI 90, Area E, zona comune d'ingresso
 - EI/REI 90, Area C, ambulatorio
 - EI/REI 90, Scale di comunicazione
- PIANO PRIMO:
 - EI/REI 90, Scale di comunicazione
 - EI/REI 90, Divisorio piano per esodo orizzontale progressivo

Ulteriori compartimentazioni devono essere inoltre realizzate per proteggere le vie d'esodo esterne all'edificio sulla parete NE dell'esodo, anche in corrispondenza del loggiato per il quale si prevede una destinazione a luogo sicuro temporaneo.

L'ingresso al piano camere, ovvero alle aree D, non può essere gestito tramite la sola interposizione di un ambiente scale compartimentato, ma, dovendo questo spazio essere utilizzato come zona sicura per l'esodo deve anche presentare delle caratteristiche a prova di fumo, per raggiungere le quali si deve realizzare un parapetto aperto a livello delle scale ed

un'apertura, sia manuale che automatica, di almeno 1 [m²] per l'espulsione dei fumi direttamente in testa alle scale. Anche nella zona d'ingresso alla cucina viene realizzato un allargamento del locale del progetto architettonico per far posto ad un filtro a prova di fumo regolamentare.

Oltre a queste modifiche si prevede inoltre il rispetto di tutte quelle soluzioni richieste dalla normativa, come, a titolo di esempio, le dimensioni normate di pedate ed alzate delle scalinate o la limitazione delle lunghezze d'esodo e di "corridoio cieco".

Un'ultima, ed importante, modifica, riguarda poi la realizzazione di un ascensore antincendio, che si ritiene necessario non solo per richiesta normativa, ma anche per motivi di effettiva sicurezza in relazione alla costituzione dell'edificio, questo perché, sebbene le compartimentazioni del primo piano siano molto utili a mettere temporaneamente in sicurezza gli occupanti fino all'arrivo dei soccorsi in caso d'incendio, considerate le possibili condizioni di difficoltà deambulatorie degli ospiti della struttura, non avere un mezzo di trasporto idoneo all'evacuazione e funzionante in caso d'incendio delineerebbe possibili ritardi nell'evacuazione stessa. La prima ipotesi plausibile ed efficace, in termini economici, è quella di sostituire l'ascensore nella scalinata centrale, già previsto, con un altro ascensore idoneo, tuttavia quest'idea non risulta applicabile per mancanza di spazi sufficienti, come esposto tra le condizioni citate nel paragrafo relativo al D.M. del 2002; modifiche importanti delle strutture divisorie interne non sarebbero inoltre adeguate a causa della presenza dei pilastri strutturali e di spazi necessari ad ospitare le camere da letto. Dopo attenta analisi della struttura, l'unica soluzione plausibile risulta essere quella della realizzazione di un ascensore antincendio esterno, a servizio del primo piano, servito dal loggiato esterno che costituisce un luogo sicuro temporaneo.

2.6.2 Sistemi di protezione attiva

2.6.2.1 Estintori

Per la soppressione di principi di incendio si prevede l'installazione di estintori di capacità 34A 233BC, scartando soluzioni diverse poiché ormai soppiantate da questo standard con buon rapporto tra prestazioni e facilità di utilizzo, riscontrando anche maggiori facilitazioni manutentive per la larga diffusione.

Gli estintori a polvere vanno evitati negli interni poiché produrrebbero inquinanti fastidiosi per gli occupanti e renderebbero difficoltoso l'esodo, oltre ad avere effetti negativi sulla possibilità di ripulire i locali una volta finito il pericolo, per questo la soluzione che si ritiene ottimale è quella degli estintori a schiuma. Ulteriori estintori dedicati si prevedono in prossimità del posizionamento di grandi quadri elettrici, a CO₂, oltre a degli estintori di classe F idonei all'uso con oli bollenti in prossimità delle cucine. Il posizionamento degli estintori è stabilito nel rispetto delle massime distanze di raggiungimento, nel rispetto delle compartimentazioni ed infine nel rispetto della logica dell'esodo. Complessivamente si prevedono 17 estintori a schiuma distribuiti tra i piani dell'edificio, a cui si aggiungono quelli per le cucine e l'eventuale quadro elettrico.

2.6.2.2 Rete idrica antincendio

L'altro importante presidio attivo di protezione presente nell'edificio è quello relativo della rete idrica dedicata, la quale deve avere, in relazione al numero di posti letto inferiore a 25, le seguenti caratteristiche:

- deve essere costituita da nastri DN 25; si esclude l'utilizzo di idranti DN 45 per le applicazioni residenziali sotto i 100 posti letto;
- l'impianto deve permettere una portata minima pari a:

$$Q_{min} = 60 \left[\frac{l}{min} \right]$$

- l'operatività dei naspi deve essere assicurata per almeno tre terminali in operatività contemporanea, considerando quelli in posizione più sfavorita;
- deve avere un'autonomia pari ad almeno 60 [min]
- deve essere assicurata una pressione di alimentazione minima residua pari ad almeno:

$$p_{min,residua} = 0,2 [MPa]$$

- la caratteristica di alimentazione deve essere di tipo singolo;
- il livello di pericolosità è imposto pari ad un valore 2.

Tali richieste vanno poi applicate tramite il testo normativo di riferimento che è la norma UNI 10779 di ultimo aggiornamento.

2.6.2.2.1 Dimensionamento

Nel caso di reti idriche antincendio non si fa un vero e proprio dimensionamento ma piuttosto una verifica d'impianto. Si sceglie un diametro, tra quelli comunemente usati nella pratica del settore e commercialmente disponibile, e se ne verifica poi l'adeguatezza tramite la verifica della pressione residua, che, qualora non accettabile, comporterebbe un processo reiterativo di calcolo con la selezione di un diametro più grande. Più raramente anche un diametro troppo grande potrebbe essere scartato e portare ad un processo reiterativo con selezione di un diametro inferiore, per ottimizzare i costi dell'impianto.

Nel caso in esame si ipotizza un passaggio dal punto di allaccio all'interno dell'edificio tramite posa in terra di tubo in PeAD 90, dal quale si stacca una montante interna all'edificio in acciaio zincato per l'alimentazione di tutti i sei terminali.

2.6.2.2.2 *Tipologia di rete*

La rete idranti prevista è di tipo ordinario, ovvero destinata alla protezione di attività ubicata all'interno dell'edificio, con un livello di pericolosità pari a 2; non è prevista rete idrica esterna poiché resta assicurato l'accesso ai soccorsi.

2.6.2.2.3 *Alimentazione idrica*

L'alimentazione a servizio della rete si realizza secondo i criteri di buona tecnica tali da soddisfare le caratteristiche di sicurezza ed affidabilità dell'impianto:

- alimentazione di tipo dedicato che viene direttamente derivata dall'acquedotto pubblico, tramite valvola di intercettazione ubicata in camera di presa nella proprietà privata; la pressione statica garantita è di almeno 4 [bar] e la lunghezza equivalente delle tubazioni in PeAD, DN 160, è stimata essere, con congruo margine di sicurezza, pari a 10 [km];
- nel punto di allaccio dell'acquedotto è presente una valvola di intercettazione, un attacco di mandata per l'autopompa DN 70, una valvola di sicurezza ed altri dispositivi necessari, come schematizzato nella Fig. 2.6-1 presa dalla sopra-citata normativa:

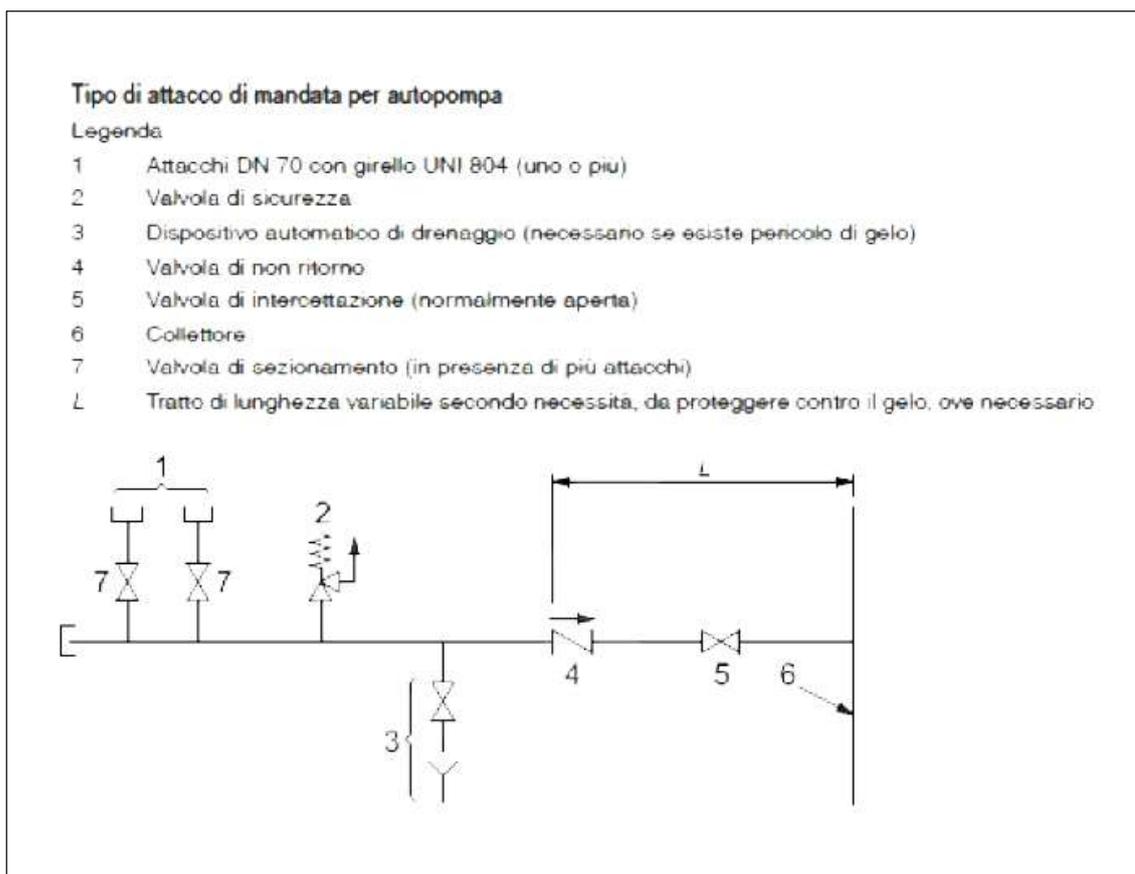


Fig. 2.6-1 Componenti idrauliche dell'allaccio acquedotto-rete idrica antincendio

L'attacco di mandata per l'autopompa va contrassegnato tramite specifica cartellonistica del tipo in Tab. 2.6-1.

ATTACCO DI MANDATA PER AUTOPOMPA
Pressione massima 1,2 [MPa]
RETE IDRANTI ANTINCENDIO

Tab. 2.6-1 Cartellonistica attacco autopompa

Altre considerazioni in relazione all'alimentazione idrica sono che:

- la valvola di sicurezza viene regolata ad 1,2 [MPa];
- è presente valvola di non ritorno atta ad evitare la fuoriuscita d'acqua dall'impianto in pressione;

- la valvola di intercettazione, normalmente aperta e conforme alla UNI 11443, consente l'intervento di manutenzione sui componenti senza svuotare l'impianto;
- è presente dispositivo di drenaggio automatico nel caso di possibilità di gelo.

2.6.2.2.4 Perdite di carico distribuite

Le perdite di carico distribuite sono calcolate utilizzando la formula di Hazen Williams:

$$p = \frac{6,05 * Q^{1,85} * 10^9}{C^{1,85} * D^{4,87}}$$

Dove,

- p [mm c.a.] ~ perdita di carico unitaria
- Q [l/min] ~ portata
- C ~ costante dipendente dalla natura del tubo
- D [mm] ~ diametro interno della tubazione

2.6.2.2.5 Perdite di carico localizzate

Le perdite di carico localizzate sono espresse come lunghezze equivalenti in relazione alla tipologia che costituiscono e al diametro interno delle stesse, come indicato nella normativa. La tabella riassuntiva dei valori di lunghezza equivalente è riportata in Tab. 2.6-2.

Tab. 2.6-2 Lunghezze equivalenti perdite di carico localizzate

Tipo di accessorio	DN											
	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300
curva 45° - (45°)	0,3	0,3	0,6	0,6	0,9	0,9	1,2	1,5	2,1	2,7	3,3	3,9
curva 90° - (90°)	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	3	3,6	4,2	5,4	6,6	8,1
curva 90° lungo raggio - (90°LR)	0,6	0,6	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,4	2,7	3,9	4,8	5,4
Pezzo a T o raccordo a croce - (T)	1,5	1,8	2,4	3	3,6	4,5	6	7,5	9	10,5	15	18
Saracinesca - (S)	-	-	-	0,3	0,3	0,3	0,6	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8
Valvola di non ritorno - (NR)	1,5	2,1	2,7	3,3	4,2	4,8	6,6	8,3	10,4	13,5	16,5	19,5

2.6.2.2.6 Terminali

Come richiesto dalla specifica norma tecnica verticale e come opportuno nell'utilizzo in ambito residenziale, si prevedono dei terminali di tipo Naspo DN 25, presenti in tutti e tre i piani dell'edificio, che verificano l'area di copertura secondo raggio $R = 20$ [m] e massima distanza di raggiungimento secondo regola del filo teso.

In prossimità dei terminali si prevede l'installazione dei manometri atti alla valutazione della pressione residua effettiva, tramite la quale risulta determinata la portata dei naspi stessi in funzione del coefficiente caratteristico di erogazione, variabile in funzione della lancia montata.

È possibile valutare il K minimo richiesto per erogare la portata minima necessaria come:

$$K = \frac{Q}{\sqrt{10 * P}}$$

Dove,

- $P \sim 0,2$ [MPa]
- $Q \sim 60$ [l/min]

Il valore di K risulta pertanto pari a:

$$K = \frac{60}{\sqrt{10 * 0,2}} = 42,4$$

Si prevede dunque l'utilizzo di lance con coefficiente di erogazione superiore al valore appena determinato di 42,4.

In totale si ipotizza di installare sei naspi all'interno dell'edificio:

- Naspo n°1: Piano Seminterrato
- Naspo n°2, 3, 4: Piano Terra
- Naspo n° 5, 6: Piano Primo

Da ogni punto dell'area protetta (tutto l'edificio), risulta raggiungibile un naspo con percorso geometrico di massimo 20 [m], mentre sono previste tubazioni semirigide di lunghezza massima pari a 30 [m], e comunque non superiore alla massima consentita dai limiti di stendimento dovuti alla presenza di ostacoli.

I naspi si posizionano considerando anche la presenza di filtri a prova di fumo separanti compartimenti di cui si è parlato nei precedenti paragrafi, questo perché i terminali debbono essere presenti su entrambi i lati del filtro stesso.

Le posizioni e le relative aree di influenza dei naspi antincendio, che soddisfano i requisiti di protezione dell'edificio, sono riportati in Fig. 2.6-2.

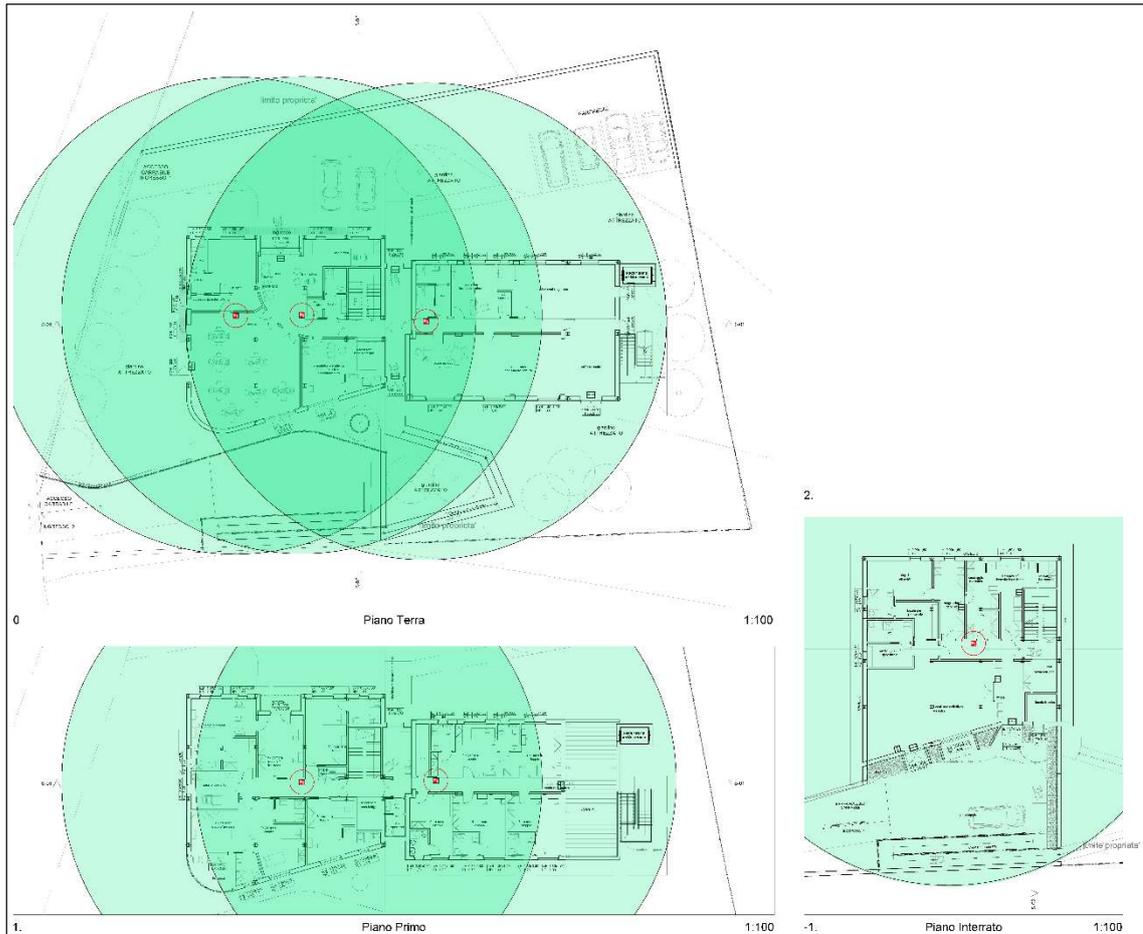


Fig. 2.6-2 Raggi di influenza dell'impianto a naspi - Planimetrie

2.6.2.2.7 Verifica della pressione residua

Una volta determinate le caratteristiche della rete si procede alla verifica della pressione residua di alimentazione. Il terminale più sfavorito risulta essere il naspo N5 ubicato al primo piano e collegato tramite il tratto di tubazione più lungo. Il calcolo delle perdite di carico distribuite viene fatto in funzione di una portata pari a 240 [l/min], ovvero a quattro volte il valore di portata del singolo terminale, immaginando il funzionamento di quattro terminali in contemporanea.

I tratti di tubazione considerati sono rispettivamente:

A_B ~ linea di alimentazione dall'acquedotto fino al punto di allaccio, ipotizzando, cautelativamente, una pressione di alimentazione statica pari a 4 [bar];

B_0 ~ linea sotterranea fra il punto di allaccio all'acquedotto e l'ingresso in edificio situato nel locale tecnico;

0_N5 ~ linea tra il locale tecnico di ingresso in edificio ed il terminale più sfavorito.

Il calcolo è effettuato tramite un foglio di calcolo riassunto in Tab. 2.6-3.

Tratto Rete Idrica	Material e	C	L [m]	Q _{eff} [l/min]	Q _{eff} [m ³ /h]	Q _{eff} [m ³ /s]	DN	D _i [mm]	D _i [m]
A_B	Acciaio	120	10000	240	14,4	0,004	200	176,2	0,18
B_0	PeAD	150	24,9	240	14,4	0,004	90	72,6	0,07
0_N5	Acciaio zincato	120	21,3	240	14,4	0,004	90	72,6	0,07
Tratto Rete Idrica	v [m/s]	Δp _d [mm c.a./m]	Pezzi Speciali (DN 80)	Δp _c (L _{eq}) ** [m]	m (%)	Δp _{tot} [m c.a.]	Δp _{tot} [bar]	Δp _z [bar]	p _{eff} [bar]
A_B	0,16	0,25	\	0	1	2,52	0,25	0,74	2,89
B_0	0,97	12,49	2*45°+1*90°+2*S+1*NR	10,218	1,51	0,44	0,04		
0_N5	0,97	18,88	4*90°+2*T+2*S+1*NR	22,8	1	0,82	0,08		

Tab. 2.6-3 Calcolo della pressione residua della rete

Dove,

- C ~ costante dipendente dal materiale utilizzato per la tubazione;
- m ~ coefficiente correttivo per le perdite concentrate dipendente dal materiale utilizzato per la tubazione.
- Δp_d ~ perdite di carico distribuite
- Δp_c ~ perdite di carico concentrate
- P_{eff} ~ pressione residua

Risulta dunque verificato il valore minimo di pressione residua al terminale più sfavorito:

$$p_{eff} = 2,47 \text{ [bar]} > 2,00 \text{ [bar]}$$

La schematizzazione unifilare della rete idrica antincendio è riportata qui di seguito (Fig. 2.6-3; Fig. 2.6-4; Fig. 2.6-5):

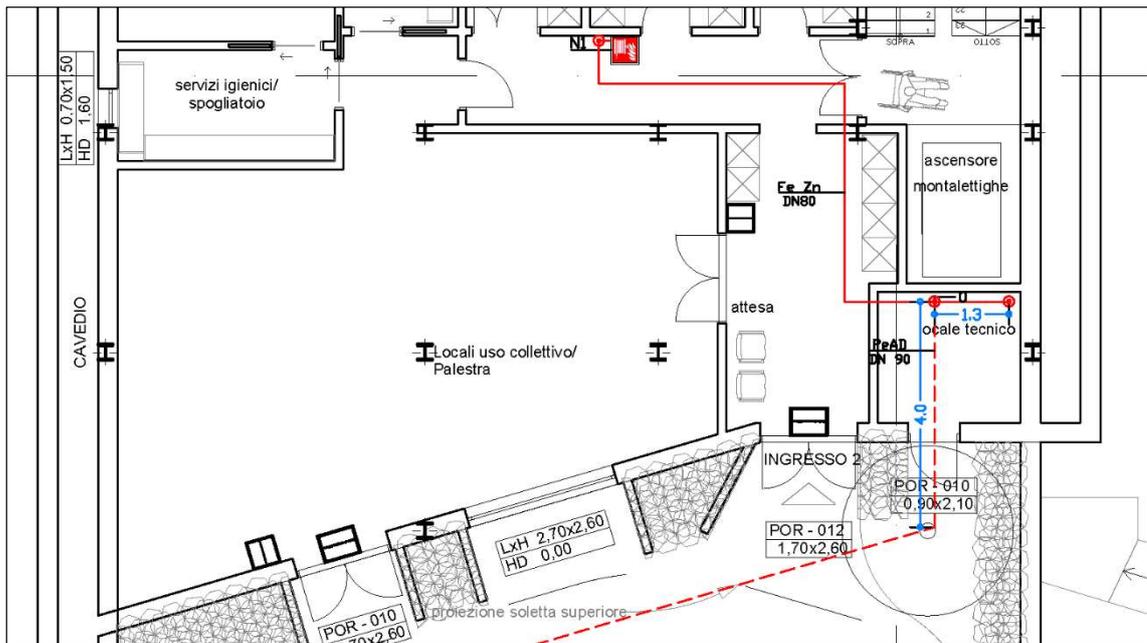


Fig. 2.6-3 Rete idrica antincendio – Planimetria piano seminterrato

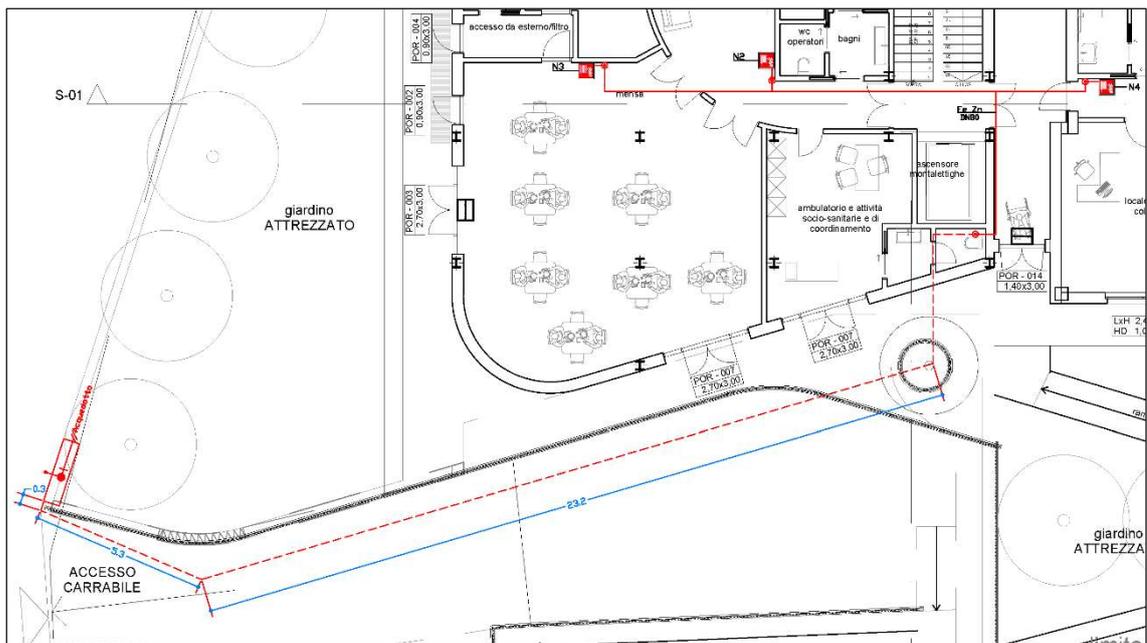


Fig. 2.6-4 Rete idrica antincendio – Planimetria piano terra

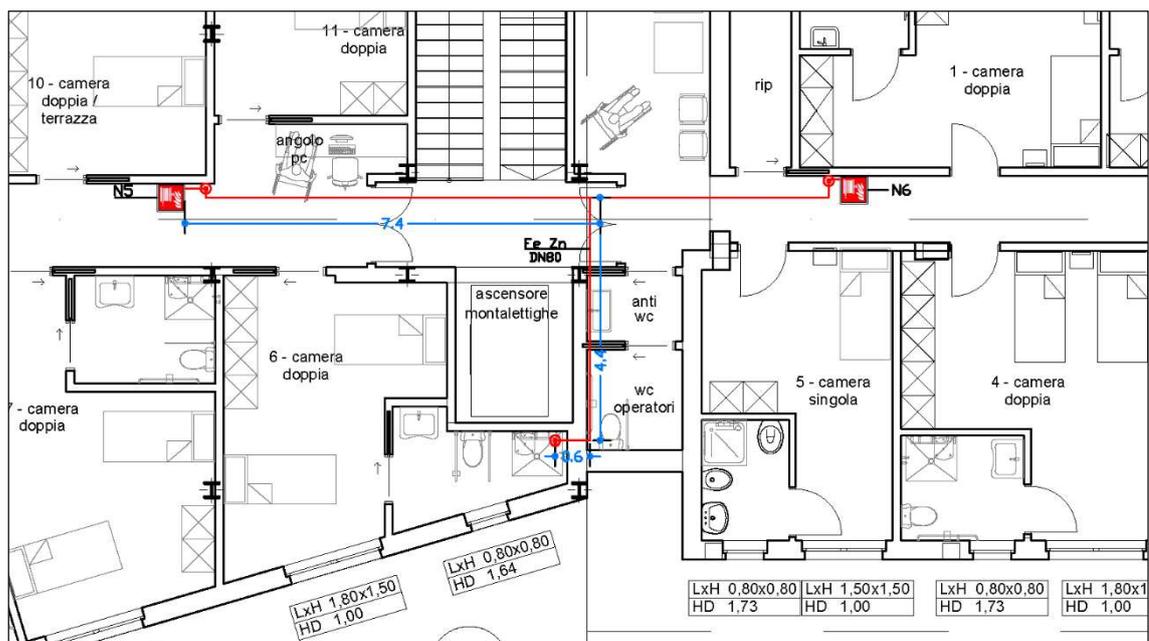


Fig. 2.6-5 Rete idrica antincendio – Planimetria piano primo

2.6.2.3 Impianto I.R.A.I. – rivelazione ed allarme incendio

Una precoce rivelazione con conseguente allarme d'incendio risultano fondamentali in una struttura ove si trovino persone in pernottamento, urgenza maggiorata tanto più se gli occupanti presentano problemi di disabilità di vario genere e per i quali una tempestiva attuazione della procedura di evacuazione può fare la differenza nell'ottica di preservare la salute degli ospiti.

Per quanto riguarda la rivelazione si fa riferimento sia alla possibilità di avvistamento manuale, sia alla possibilità di sistemi automatici costituiti da rivelatori puntiformi di fumo distribuiti in tutto l'edificio, compresi i locali del seminterrato che potrebbero risultare vuoti durante le ore notturne. All'interno del locale cucina al piano terra si ritiene opportuno l'utilizzo di anche un rivelatore di gas nel caso di fuoriuscite indesiderate. Per quanto riguarda l'allarme invece si mettono a disposizione degli occupanti delle apposite pulsantiere dedicate alla segnalazione manuale, oltre ovviamente ad un collegamento con l'impianto di rivelazione con le

modalità di ingaggio segnalate nel D.M. del 2002 e precedentemente analizzate, in funzionamento coordinato con la centrale antincendio che si ritiene opportuno posizionare tra la segreteria di accoglienza e la sala d'attesa all'ingresso del piano terra. L'avviso d'incendio viene dato agli occupanti tramite apposite targhe ottico-acustiche, mentre la segnalazione delle vie d'esodo e delle uscite d'emergenza è garantita tramite apposite plafoniere con batterie integrate nel rispetto delle autonomie richieste dalla normativa, ovvero pari ad 1 [h].

In Fig. 2.6-6 è rappresentata la legenda delle successive immagini che rappresentano rispettivamente gli impianti I.R.A.I. relativi ai tre piani (Fig. 2.6-7; Fig. 2.6-8; Fig. 2.6-9).

LEGENDA					
SIMBOLI		DESCRIZIONE	SIMBOLI		DESCRIZIONE
		QUADRO ELETTRICO			RIVELATORE PUNTIFORME DI FUMO- ENTRO IL CONTROSOFFITTO CON LED SEGNAZIONE LUMINOSA
		PLAFONIERA DI EMERGENZA SE DA 8W LED 170 LUMEN IP40 CON AUTONOMIA 1h.			PULSANTE DI ALLARME MANUALE
		PLAFONIERA DI EMERGENZA SA DA 8W LED 170 LUMEN IP40 CON AUTONOMIA 1h.			PANNELLO SEGNALE OTTICO ACUSTICO
		RIVELATORE PUNTIFORME DI FUMO			CENTRALE ANTINCENDIO A 2 ZONE
		RIVELATORE DI GAS			

Fig. 2.6-6 Legenda impianti I.R.A.I.

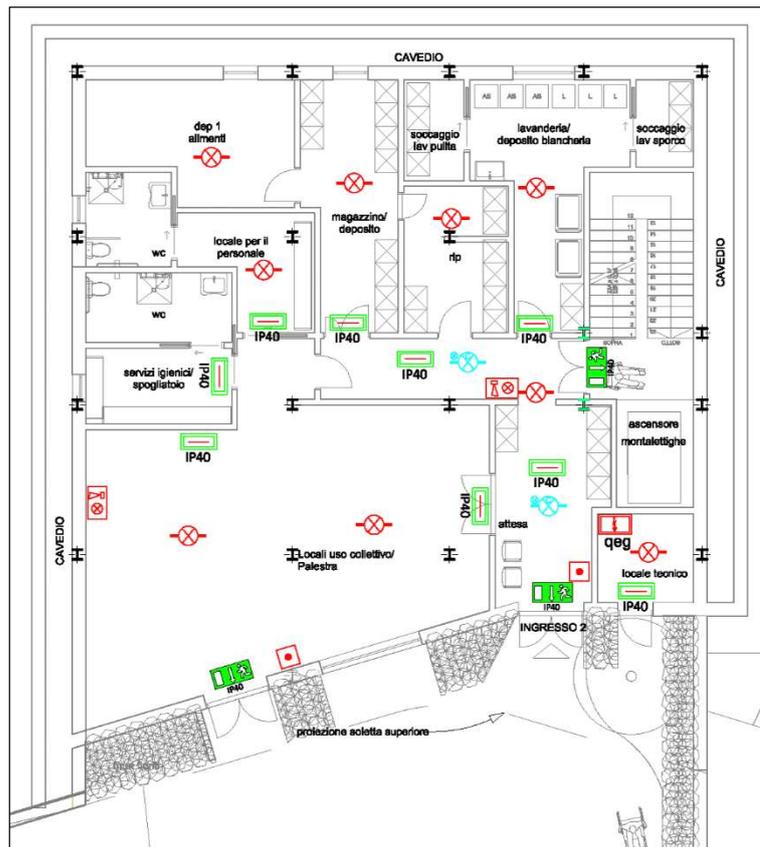


Fig. 2.6-7 I.R.A.I. – Planimetria piano seminterrato



Fig. 2.6-8 I.R.A.I. – Planimetria piano terra



Fig. 2.6-9 I.R.A.I. – Planimetria piano primo

3 STRUTTURE

L'edificio è costituito da sette componenti costruttivi di tipo opaco, tutti di nuova costruzione ad eccezione della struttura portante della parte di edificio soggetta a recupero funzionale e strutturale.

La scelta delle strutture è fatta tenendo a mente i seguenti obiettivi:

- raggiungere delle prestazioni di resistenza al fuoco nel rispetto del progetto antincendio;
- rispettare il più possibile gli spazi definiti dal progetto architettonico;
- ottenere delle caratteristiche termiche di alto livello sia come grado di isolamento, sia come massa superficiale, sia come capacità termica areica.

3.1 MATERIALI E SCELTE COSTRUTTIVE

3.1.1 Struttura portante

Le considerazioni riguardanti l'involucro edilizio, partono dalle informazioni, relative alla struttura portante, ricevute tramite il progetto architettonico/strutturale. Secondo le norme sismiche vigenti e le norme tecniche per le costruzioni (D.M. 17/01/2018), viene richiesto che la struttura portante dell'edificio sia di classe d'uso IV, ovvero equiparata ad un edificio di importanza strategica con vita nominale di 50 [anni]; la scelta pertanto è ricaduta su una struttura in calcestruzzo armato, costituita da setti e pilastri in elevazione e travi di piano; nel piano interrato si prevedono setti-pilastri interni.

3.1.2 Strutture opache non portanti

Per le pareti esterne non portanti, ovvero le tamponature, si valuta l'utilizzo di blocchi in laterizio forato di tipo Poroton e di spessore intermedio; il motivo della scelta risiede da una parte nel fatto di essere

tra le più comuni, diffuse e validate nelle costruzioni residenziali italiane, dall'altra nelle buone caratteristiche, sia costruttive che termiche, oggi raggiunte da questi materiali in relazione al loro prezzo, lasciandosi preferire a soluzioni più moderne a pannelli.

Si prevede inoltre l'utilizzo di una contro-parete interna in cartongesso, utile principalmente per lasciare un'intercapedine dove far passare l'impiantistica nell'ottica di facilitare la manutenzione nel medio e lungo periodo ed evitando eccessive sotto-tracce. In base a questa scelta si deve considerare l'impossibilità di applicare l'intonaco a calce direttamente sulle lastre della parete per via della differente rigidità dei materiali che tenderebbero a scollarsi. Le lastre si devono montare dunque su una struttura di supporto ancorata alla parete principale intonacata, procedendo poi con la stuccatura delle giunzioni tra i punti di contatto perimetrale delle lastre, per concludere con un nastro di armatura e sopra una mano di stucco. La superficie interna verso i locali viene preparata con un primer di tipo a tinta od acrilico, sopra il quale si stende dell'aggrappante per l'intonachino di calce in varie passate con un'armatura in fibra di vetro o composito.

L'intonaco in calce-cemento anche non può essere applicato direttamente sull'isolante del cappotto all'esterno, per questo si prevede l'utilizzo di un rasante, anche a base cemento, dato in più mani con armatura in mezzo, sopra il quale si stende un miscelato con la tinta finale di tipo idro-siliconica od acrilica.

Alle pareti divisorie e ad i solai interni non sono affidati compiti di isolamento termico, dal momento in cui la quasi totalità dei locali è previsto essere climatizzata, si è però comunque scelto di isolare, almeno in parte, da un punto di vista acustico e di resistenza al fuoco.

Grazie ad una valutazione incrociata con la parte impiantistica si possono poi ipotizzare dei massetti finalizzati ad ospitare degli impianti radianti a

pavimento, quindi con caratteristiche di facile stesura e bassa inerzia termica.

Per quanto riguarda il solaio contro-terra si richiede particolare attenzione nella ricerca di una soluzione efficace nell'evitare la formazione di risalite di condensa ma anche di gas dal terreno.

3.1.3 Isolanti

Ricercando delle buone prestazioni termiche ma anche delle soluzioni pratiche e concrete, si valutano numerose tipologie di isolanti:

- Isolanti naturali
 - Pannelli in fibra di legno
 - Cotone
 - Sughero
 - Calce espansa
 - Perlite
 - Cellulosa
 - Lana di pecora
- Isolanti sintetici:
 - Polistirene espanso sinterizzato
 - Polistirene estruso
 - Poliuretano
- Isolanti minerali:
 - Lana di roccia
 - Lana di vetro

Alcuni materiali, come la lana di pecora, risultano essere delle scelte spesso costose e appropriate solo in corretti contesti territoriali, altre come il sughero sono delle soluzioni valide ma spesso non ottimali da un punto di vista economico, mentre materiali come la fibra di legno presentano delle qualità come alta capacità termica, a discapito però di un po' di

capacità isolante rispetto a materiali sintetici. Anche le caratteristiche di resistenza e reazione al fuoco vanno ovviamente prese in considerazione. A livello applicativo ci si indirizza verso un cappotto esterno in grado di eliminare completamente i ponti termici e permettere delle eccellenti prestazioni senza influenzare troppo gli spazi interni, scelta permessa dal fatto di trattarsi di una struttura principalmente di nuova costruzione e quindi con vincoli preesistenti nulli o quasi.

Particolare attenzione va prestata nella selezione di un isolamento nel rispetto delle più recenti normative in riferimento alla trasmittanza termica.

All'interno della Zona Climatica D, in cui si trova l'edificio, vanno presi i seguenti parametri limite di trasmittanza termica (Tab. 3.1-1):

Elemento	U_{lim} [W/m ² K]
Strutture Verticali Opache	0,29
Strutture Orizzontali Opache	0,29
Copertura	0,26

Tab. 3.1-1 Trasmittanze delle strutture

3.1.4 Serramenti

Per le finestrate la scelta del materiale dei telai si pensa possa indirizzarsi su infissi in PVC con telaio in alluminio di produzione industriale o semi-artigianale che mantengano delle qualità strutturali e di tenuta nel tempo con problematiche di deformazione termica limitate anche nel medio-lungo periodo e trattamenti protettivi contro la

radiazione ultravioletta dannosa per i materiali plastici. Un buon isolamento termico è assicurato grazie agli elementi di taglio termico nel telaio che riducono anche i ponti termici, insieme a delle vetrocamere a triplo vetro con intercapedine in gas Argon.

Nel Prospetto in Fig. 3.1-1 sono riassunti graficamente i principali infissi (porte incluse) derivanti dal progetto architettonico.

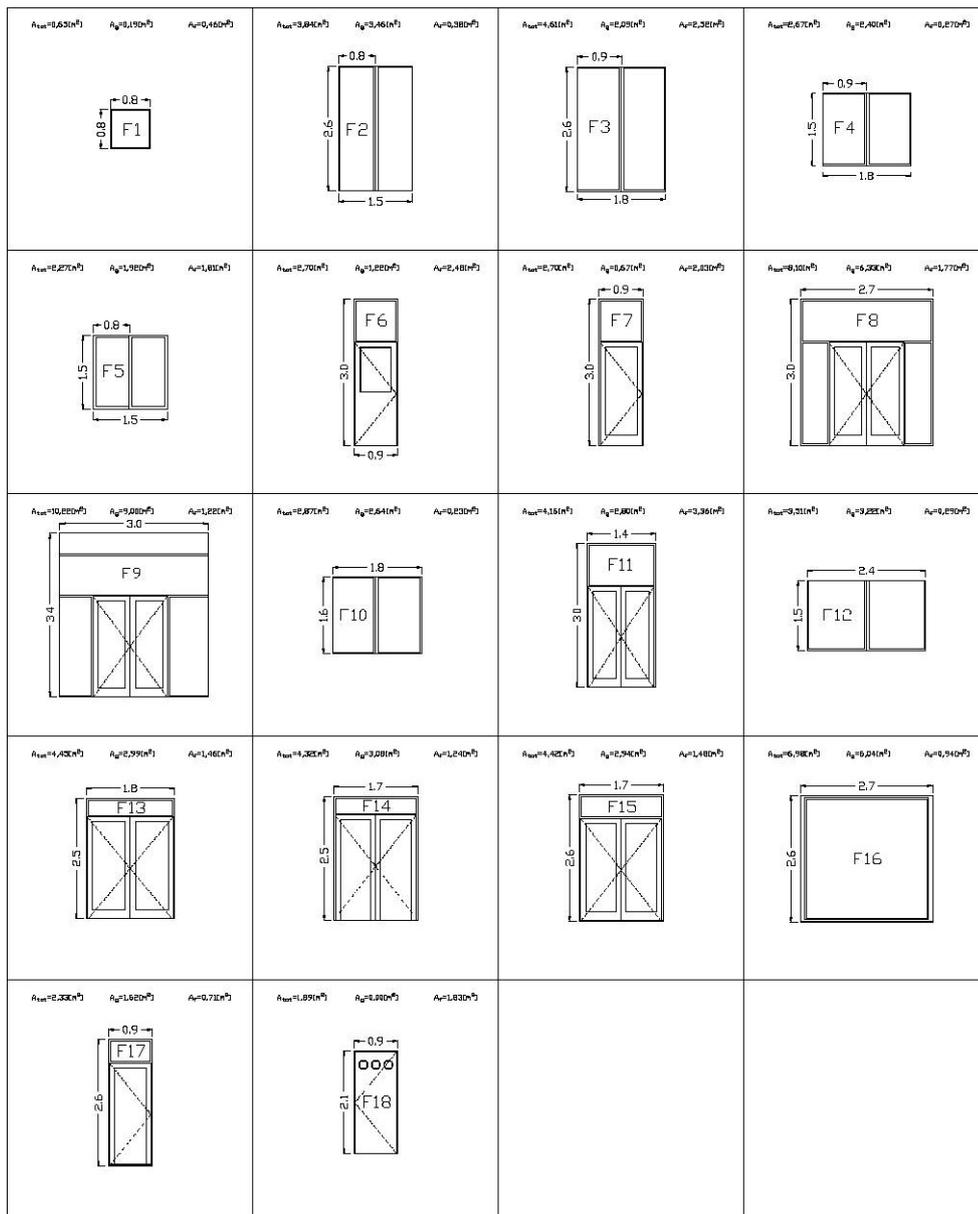


Fig. 3.1-1 Prospetto geometrico degli infissi F1:F18

Il calcolo delle caratteristiche di trasmittanza e resistenza termica degli infissi è eseguito per ogni elemento presente nell'involucro edilizio tramite tabelle del tipo riportato in esempio in Tab. 3.1-2.

CODICE			
F5			
Elemento	Caratteristiche	U_g [W/m ² K]	A_g [m ²]
Vetro - Glass	vetrocamera - triplo vetro - Argon	0,7	1,92
Elemento	Caratteristiche	U_f [W/m ² K]	A_f [m ²]
Telaio - Frame	PVC - struttura alluminio - taglio termico	1,6	1,81
Elemento	Caratteristiche	Ψ_g [W/m ² K]	l_g [m ²]
Ponte Termico	UNI 10077-1	0,08	9,2
			A_w [m ²]
			3,73
			U_w [W/m ² K]
			1,33

Tab. 3.1-2 Calcolo della trasmittanza di F5

Nella successiva Tab. 3.1-3 è riportato il complesso di tutti i valori relativi agli infissi; per le superfici trasparenti vanno ovviamente presi in considerazione anche i ponti termici tra telaio e vetro, assenti invece nel caso delle porte.

CODI CE	U_g [W/m ² K]	A_g [m ²]	U_f [W/m ² K]	A_f [m ²]	Ψ_i [W/m ² K]	l_i [m ²]	A_w [m ²]	U_w [W/m ² K]
F1	0,7	0,19	1,6	0,46	0,08	3,2	0,65	1,73
F2	0,7	3,46	1,6	0,38	0,08	13,6	3,84	1,07
F3	0,7	2,09	1,6	2,32	0,08	14	4,41	1,43
F4	0,7	2,4	1,6	0,27	0,08	9,6	2,67	1,08
F5	0,7	1,92	1,6	1,81	0,08	9,2	3,73	1,33
F6	0,7	1,22	1,6	2,48	0,08	6,7	3,7	1,45
F7	0,7	0,67	1,6	2,03	0,08	7,38	2,7	1,60
F8	0,7	6,33	1,6	1,77	0,08	16,2	8,1	1,06
F9	0,7	9	1,6	1,22	0,08	30,6	10,22	1,05
F10	0,7	2,64	1,6	0,23	0,08	10	2,87	1,05
F11	0,7	2,6	1,6	1,6	0,08	15,8	4,2	1,34
F12	0,7	3,22	1,6	0,29	0,08	7,2	3,51	0,94
F13	0,7	2,99	1,6	1,46	0,08	16,4	4,45	1,29
F14	0,7	3,08	1,6	1,24	0,08	16	4,32	1,25
F15	0,7	2,94	1,6	1,48	0,08	16,2	4,42	1,29
F16	0,7	6,04	1,6	0,94	0,08	10,6	6,98	0,94
F17	0,7	1,62	1,6	0,71	0,08	8,8	2,33	1,28
F18	0,7	0	1,6	1,83	0,08	0	1,83	1,60
F19	0,7	0,93	1,6	0,12	0,08	4,4	1,05	1,14
F20	0,7	1,2	1,6	0,15	0,08	4,8	1,35	1,08
F21	0,7	2,01	1,6	0,39	0,08	9,2	2,4	1,15
CODI CE							A_d [m ²]	U_d [W/m ² K]
POR IN POR ES POR EI							1,89	6,00
							1,89	4,20
							1,89	1,80

Tab. 3.1-3 Schema riassuntivo della trasmittanza e delle caratteristiche degli infissi

3.2 PARETE ESTERNA CON CAPPOTTO

CODICE		NOME							
PAR EC		Parete Esterna con Cappotto							
Elemento	ρ [kg/m ³]	γ [kJ/kgK]	C [kJ/K]	s [m]	σ [W/mK]	m [kg/m ²]	μ_s	μ_u	R [m ² K/W]
INTERNO									
strato liminare interno									0,130
intonaco interno	1600	0,84	24,192	0,018	0,7	28,8	15	15	0,026
cartongesso EI (2 lastre)	680	1	17	0,025	0,2	17	370	370	0,125
intercapedine d'aria	1,255	1	0,03765	0,03	0,1	0,038	0	0	0,300
malta di rasatura	1840	0,88	8,096	0,005	0,5	9,2	5	20	0,010
forato: Poroton P700 TS		0,18	39,6	0,25	0,108	220	5	10	2,315
malta di rasatura	1840	0,84	7,728	0,005	0,5	9,2	5	20	0,010
isolante: EPS _{grafite}	40	0,85	4,08	0,12	0,031	4,8	20	30	3,871
intonaco esterno	1800	0,84	45,36	0,03	1	54	19	19	0,030
strato liminare esterno									0,040
ESTERNO									
C [kJ/K]									146,094
m [kg/m ²]									343,038
R _i [m ² K/W]									6,856
U _t [m ² K/W]									0,146

Tab. 3.2-1 Tabella di calcolo delle proprietà di PAR EC

Nella Tab. 3.2-1 sopra sono riassunte tutte le caratteristiche essenziali della stratigrafia relativa alle tamponature, ai materiali utilizzati e alle loro proprietà combinate.

Per le contro-pareti in cartongesso si selezionano delle soluzioni attente alla reazione al fuoco in caso di incendio.

Al riguardo dell'isolante infatti viene scelto uno spessore importante pari a 12 [cm], in modo da assicurare prestazioni termiche di qualità in linea con una struttura attuale. Inizialmente si era preso in considerazione l'utilizzo di lana di roccia, tra i migliori materiali da un punto di vista termico e di caratteristiche solitamente più "ecologiche" rispetto ai derivati del petrolio, tuttavia si ritiene fondamentale evitare qualsivoglia problema di afflosciamento verso il basso da parte dell'isolante, problema comune alla lana minerale nel medio/lungo periodo nelle pareti verticali, con rischio di sviluppo di ponti termici indesiderati specialmente nella parte prossima al solaio interpiano, pertanto risulta preferibile rivolgersi ad un materiale a struttura rigida come l'EPS additivato di grafite.

3.3 PARETE DIVISORIA

CODICE		NOME							
PAR DV		Divisori							
Elemento	ρ [kg/m ³]	γ [kJ/kgK]	C [kJ/K]	s [m]	σ [W/mK]	m [kg/m ²]	μ_s	μ_u	R [m ² K/W]
INTERNO									
strato liminare interno									0,130
intonaco calce	1600	0,84	20,16	0,015	0,8	24	15	15	0,019
cartongesso EI (2 lastre)	680	1	17	0,025	0,2	17	10	4	0,125
isolante: vetro cellulare	115	0,85	5,865	0,06	0,041	6,9	100000	100000	1,463
cartongesso EI (2 lastre)	680	1	17	0,025	0,2	17	10	4	0,125
intonaco calce	1600	0,84	20,16	0,015	0,8	24	15	15	0,019
strato liminare interno									0,130
ESTERNO									
			C [kJ/K]						80,185
			m [kg/m ²]						88,900
			R _t [m ² K/W]						2,011
			U _t [m ² K/W]						0,497

Tab. 3.3-1 Tabella di calcolo delle proprietà di PAR DV

Nel caso in esame si ritiene necessario rivolgersi a delle pareti divisorie con pannelli in cartongesso di tipo EI, come visibile in Tab. 3.3-1, nel rispetto delle caratteristiche di reazione e resistenza al fuoco richieste dal relativo progetto affrontato nei capitoli precedenti.

L'isolante viene valutato sia per evitare qualunque tipo di sviluppo di sostanze e fumi tossici nel caso d'incendio, sia con l'idea di fornire un buon isolamento acustico agli occupanti dell'edificio.

3.4 SOLAIO CONTROTERRA

CODICE		NOME							
SOL CT		Solaio Controterra							
Elemento	ρ [kg/m ³]	γ [kJ/kgK]	C [kJ/K]	s [m]	σ [W/mK]	m [kg/m ²]	μ_s	μ_u	R [m ² K/W]
INTERNO									
strato liminare interno									0,100
pavimento in gomma		1,2	3,72	0,00 2	0,17	3,1	10000 0	10000 0	0,012
massetto autolivellante		0,65	58,5	0,05	1,9	90			0,026
protettivo isolante		1,2	1,14	0,00 1	0,35	0,95			0,003
isolante: XPS	50	0,85	5,95	0,14	0,036	7	8	8	3,889
barriera al vapore		0,89	0						0,000
massetto armato	2400	0,65	312	0,2	1,91	480			0,105
igloo molto areato		1	0	0,2					0,000
strato liminare "interno"									0,100
magrone				0,1					
ESTERNO									
			C [kJ/K]						381,310
			m [kg/m ²]						581,050
			R _t [m ² K/W]						4,235
			U _t [m ² K/W]						0,236

Tab. 3.4-1 Tabella di calcolo delle proprietà di SOL CT

La particolarità del solaio contro-terra, di stratigrafia riassunta nella Tab. 3.4-1 sopra, è quella di essere a forte rischio risalita di gas Radon sottosuolo e di condensa proveniente per effetto capillare dalle fondazioni. A tali problematiche si va incontro valutando un solaio posato su una struttura ad igloo molto areato, e di altezza pari a 20 [cm], insieme all'utilizzo di un polistirene espanso estruso, anche detto XPS, dalle ottime caratteristiche di resistenza al passaggio di vapore grazie alla sua conformazione a celle chiuse, che gli conferiscono inoltre delle qualità isolanti costanti nel tempo.

Per le pavimentazioni, dopo aver valutato una classica soluzione a piastrelle si preferisce indirizzarsi verso materiale gommato adeguato all'utilizzo di tipo residenziale ed ospedaliero e compatibile sia con il riscaldamento a pavimento sia con le caratteristiche di reazione al fuoco ricercate.

3.5 SOLAIO INTERPIANO

CODICE		NOME								
SOL IN		Solaio Interpiano								
Elemento	ρ [kg/m ³]	γ [kJ/kgK]	C [kJ/K]	s [m]	α [W/mK]	m [kg/m ²]	μ_s	μ_u	R [m ² K/W]	
INTERNO INFERIORE										
strato liminare interno									0,100	
intonaco calce	1600	0,88	21,12	0,01 5	0,8	24	15	15	0,019	
isolante: EPS	40	0,85	1,02	0,03	0,031	1,2	30	70	0,968	
laterocemento: interposto		0,65	59,8	0,24	0,46	92			0,522	
caldana	2000	1	60	0,03	1,1	60			0,027	
massetto autolivellante		0,65	58,5	0,05	1,9	90			0,026	
pavimento in gomma		1,2	3,72	0,00 2	0,17	3,1	10000 0	10000 0	0,012	
strato liminare interno									0,100	
ESTERNO										
			C [kJ/K]						204,160	
			m [kg/m ²]						270,300	
			R _t [m ² K/W]						1,774	
			U _t [m ² K/W]						0,564	

Tab. 3.5-1 Tabella di calcolo delle proprietà di SOL IN

Per quel che concerne i solai interpiano si deve evitare l'utilizzo di un eccessivo isolamento termico dal momento che tutti e tre i piani dell'edificio risultano essere isolati. Da un punto di vista termico inoltre i controsoffitti presenti nei piani sono considerati nella volumetria complessiva delle stanze e non come ambienti separati. Alla stregua dei divisori si ritiene opportuno comunque prevedere un certo grado di isolamento di tipo acustico per migliorare il comfort degli occupanti (Tab. 3.5-1).

3.6 SOLAIO SOTTOTETTO

CODICE		NOME								
SOL ST		Solaio Sottotetto								
Elemento	ρ [kg/m ³]	γ [kJ/kgK]	C [kJ/K]	s [m]	ϕ [W/mK]	m [kg/m ²]	μ_s	μ_u	R [m ² K/W]	
INTERNO INFERIORE										
strato liminare interno									0,100	
intonaco calce	1600	0,88	21,12	0,015	0,8	24	15	15	0,019	
isolante: EPS		0,85	0	0,03	0,031	0	30	70	0,968	
laterocemento: interposto		0,65	59,8	0,24	0,46	92			0,522	
caldana	2000	0,65	39	0,03	1,1	60			0,027	
strato liminare interno									0,100	
ESTERNO										
			C [kJ/K]						119,920	
			m [kg/m ²]						152,000	
			R _t [m ² K/W]						1,736	
			U _t [m ² K/W]						0,576	

Tab. 3.6-1 Tabella di calcolo delle proprietà di SOL ST

In Tab. 3.6-1 sono riportate le caratteristiche stratigrafiche relative al sottotetto, comunicante con l'intercapedine ivi presente. La composizione è sostanzialmente equivalente agli altri interpiani solo che risulta assente il massetto autolivellante dal momento in cui non qui non si prevede il posizionamento di un impianto radiante, a beneficio anche di un minore peso specifico delle strutture.

3.7 SOLAIO ESTERNO CON CAPPOTTO

CODICE		NOME								
SOL EC		Solaio Esterno con Cappotto								
Elemento	ρ [kg/m ³]	γ [kJ/kgK]	C [kJ/K]	s [m]	α [W/mK]	m [kg/m ²]	μ_s	μ_{ta}	R [m ² K/W]	
INTERNO										
strato liminare interno									0,100	
intonaco calce	1600	0,88	21,12	0,015	0,8	24	15	15	0,019	
laterocemento: interposto		0,65	59,8	0,24	0,46	92			0,522	
caldana/cappa armata	2400	0,65	78	0,05	1,1	120			0,045	
barriera al vapore		0,89	1,246	0,001	0,16	1,4			0,006	
isolante: Lana Roccia-APPmm	150	0,85	19,125	0,15	0,031	22,5	30	70	4,839	
sottofondo alleggerito	600	0,65	19,5	0,05	0,142	30	6		0,352	
guaina impermeabile									0,000	
tegole									0,000	
strato liminare esterno									0,040	
ESTERNO										
			C [kJ/K]						198,791	
			m [kg/m ²]						289,900	
			R _t [m ² K/W]						5,923	
			U _t [m ² K/W]						0,169	

Tab. 3.7-1 Tabella di calcolo delle proprietà di SOL EC

Trattandosi di una struttura orizzontale (Tab. 3.7-1), la copertura non presenta i rischi di afflosciamento per gli isolanti non rigidi, inoltre non essendo a contatto con il terreno non presenta neanche particolari rischi di formazioni di umidità, per questo ci si indirizza verso l'utilizzo di isolanti a pannelli in lana di roccia con membrana impermeabile pre-assemblata forniti dagli stessi produttori degli isolanti in polistirene e poliuretano. La membrana è stata selezionata in base al luogo di applicazione della stessa, e considerando un clima freddo ma non estremo si è preferito rivolgersi ad una bituminosa in plastica APP anziché in gomma sintetica SBS.

4 CARICHI TERMICI

Caratterizzato l'involucro edilizio, il primo passo verso la definizione dell'impiantistica di climatizzazione dell'edificio è sicuramente quello di valutare la potenzialità termica necessaria a sopperire ai carichi che squilibrano le condizioni di comfort, definite secondo dati di progetto. La valutazione è effettuata sia per il periodo invernale quando è richiesto il riscaldamento, sia per il periodo estivo, quando è richiesto il raffrescamento, secondo gli specifici metodi.

4.1 DISPERSIONI TERMICHE INVERNALI

Il principale testo di riferimento per il calcolo delle dispersioni termiche invernali è la norma UNI EN 12831 [14], nella quale è possibile trovare il metodo di calcolo ma anche i principali coefficienti utili a tal fine.

4.1.1 Dati di progetto

Per prima cosa è necessaria una corretta individuazione dei singoli locali che permetta un riferimento coerente per la strategia impiantistica, un approccio un po' differente rispetto a quello antincendio, affrontato nel relativo capitolo, ove il ragionamento è portato avanti sulla base dei compartimenti.

La nomenclatura in questo caso utilizza la lettera "S" in riferimento ai locali del seminterrato, la lettera "T" in riferimento a quelli del piano terra e la lettera "P" in riferimento a quelli del primo piano; la lettera è affiancata da una numerazione. In Fig. 4.1-1 è ad esempio individuato il locale n° 10 relativo al piano seminterrato, corrispondente da un punto di vista architettonico e funzionale ad un locale di servizi igienici/spogliatoio.

La lista completa dei locali e le caratteristiche principali di climatizzazione sono invece riportate in Tab. 4.1-1.

Trattandosi di un edificio predisposto a residenza e prevedendo un utilizzo completo dell'edificio per gran parte del tempo, si ritiene opportuno ipotizzare un riscaldamento di tutti i locali dell'edificio, anche quelli di passaggio come le scale, per evitare discomfort termici agli occupanti; a questa scelta fanno eccezione solo i locali S01, S02 ed S03, adibiti a deposito alimenti ed utilità, ed il locale P21, un ripostiglio.

Le condizioni termo-igrometriche interne dei locali riscaldati, scelta progettuale, sono così definite:

- Temperatura dei locali standard θ_i [°C]: 20
- Temperatura dei locali adibiti a servizi igienici θ_i [°C]: 24
- Umidità Relativa U.R. [%]: 50 ± 10



Fig. 4.1-1 Locale S10 – Planimetria

CODICE	DESTINAZIONE	TIPOLOGIA	S [m ²]	V [m ³]
S01	DEPOSITO ALIMENTI	Non Riscaldato	14,8	44,4
S02	MAGAZZINO/DEPOSITO	Non Riscaldato	15,4	46,2
S03	RIPOSTIGLIO	Non Riscaldato	10,2	30,6
S04	STOCCAGGIO LAVANDERIA PULITO	Riscaldato_20	4,1	12,3
S05	LAVANDERIA	Riscaldato_20	18,3	54,9
S06	STOCCAGGIO LAVANDERIA SPORCO	Riscaldato_20	3,4	10,2
S07	BAGNO OPERATORI	Riscaldato_24	5,4	16,2
S08	LOCALE OPERATORI	Riscaldato_24	5,9	17,7
S09	BAGNO	Riscaldato_24	7,0	21,0
S10	SPOGLIATOIO	Riscaldato_24	7,6	22,8
S11	PALESTRA	Riscaldato_20	72,6	217,9
S12	SALA D'ATTESA	Riscaldato_20	27,7	83,1
S13	LOCALE TECNICO	Non Riscaldato	5,9	17,7
S14	VANO SCALE	Riscaldato_20	17,5	52,5
T01	BAGNO	Riscaldato_24	3,5	10,5
T02	ARMADI	Riscaldato_20	3,1	9,3
T03	FILTRO	Riscaldato_20	4,4	13,2
T04	CUCINA	Riscaldato_20	20,6	61,8
T05	MENSA	Riscaldato_20	78,6	235,8
T06	INGRESSO/SALA DI ATTESA	Riscaldato_20	39,4	118,2
T07	SEGRETERIA	Riscaldato_20	10,3	30,9
T08	BAGNO OPERATORI	Riscaldato_24	2,2	6,6
T09	BAGNO	Riscaldato_24	3,7	11,1
T10	ANTIBAGNO	Riscaldato_24	3,5	10,5
T11	AMBULATORIO	Riscaldato_20	21,0	63,0
T12	ANTIBAGNO AMBULATORIO	Riscaldato_24	2,1	6,3
T13	BAGNO AMBULATORIO	Riscaldato_24	2,1	6,3
T14	VANO SCALE	Riscaldato_20	17,5	52,5
T15	DISIMPEGNO	Riscaldato_20	18,6	55,8
T16	BAGNO C.S.E.R.	Riscaldato_24	4,6	13,8
T17	BAGNO C.S.E.R.	Riscaldato_24	4	12
T18	ANTIBAGNO C.S.E.R.	Riscaldato_24	2,1	6,3
T19	CORRIDOIO	Riscaldato_20	14,7	44,1
T20	LOCALE AD USO COLLETTIVO	Riscaldato_20	27,2	81,6
T21	LOCALE PER INTERVENTI MIRATI	Riscaldato_20	16,1	48,3
T22	SALA LAVORI DI GRUPPO	Riscaldato_20	40	120
T23	BAGNO OPERATORI C.S.E.R.	Riscaldato_24	2,5	7,5
T24	ANGOLO COTTURA	Riscaldato_20	37,3	111,9
T25	SALA POLIFUNZIONALE	Riscaldato_20	27,2	81,6
P01	CAMERA DOPPIA - 9	Riscaldato_20	21,5	64,5
P02	BAGNO - 9	Riscaldato_24	4,5	13,5
P03	BAGNO ASSISTITO	Riscaldato_24	12,6	37,8
P04	CAMERA DOPPIA - 8	Riscaldato_20	19,4	58,2
P05	TERRAZZA - 8	Riscaldato_20	9,9	29,7
P06	BAGNO - 8	Riscaldato_24	4,9	14,7
P07	BAGNO - 10	Riscaldato_24	5,6	16,8
P08	TERRAZZA - 10	Riscaldato_20	4,2	12,6
P09	CAMERA DOPPIA - 10	Riscaldato_20	19,7	59,1

P10	CORRIDOIO	Riscaldato_20	15,8	47,4
P11	CAMERA DOPPIA - 7	Riscaldato_20	18,4	55,2
P12	BAGNO - 7	Riscaldato_24	4,6	13,8
P13	CAMERA DOPPIA - 11	Riscaldato_20	19,0	57,0
P14	BAGNO - 11	Riscaldato_24	5,8	17,4
P15	CAMERA DOPPIA - 6	Riscaldato_20	18,0	54
P16	BAGNO - 6	Riscaldato_24	4,7	14,1
P17	VANO SCALE	Riscaldato_20	17,5	52,5
P18	DISIMPEGNO	Riscaldato_20	12,5	37,5
P19	ANTIBAGNO OPERATORI	Riscaldato_24	2	6
P20	BAGNO OPERATORI	Riscaldato_24	3,1	9,3
P21	RIPOSTIGLIO	Non Riscaldato	4,8	14,4
P22	CAMERA SINGOLA - 5	Riscaldato_20	13,7	41,1
P23	BAGNO - 5	Riscaldato_24	3,3	9,9
P24	BAGNO - 1	Riscaldato_24	4,3	12,9
P25	CAMERA DOPPIA - 1	Riscaldato_20	18,6	55,8
P26	CORRIDOIO	Riscaldato_20	14,9	44,7
P27	CAMERA DOPPIA - 4	Riscaldato_20	18,4	55,2
P28	BAGNO - 4	Riscaldato_24	4,1	12,3
P29	BAGNO - 2	Riscaldato_24	4,2	12,6
P30	CAMERA DOPPIA - 2	Riscaldato_20	18,5	55,5
P31	CAMERA DOPPIA - 3	Riscaldato_20	18,6	55,8
P32	BAGNO - 3	Riscaldato_24	4,1	12,3
P33	LOGGIA	Riscaldato_20	51,2	153,6

Tab. 4.1-1 Descrizione dei locali presente nell'edificio

Per quel che riguarda i dati ambientali esterni, questi sono invece individuati nella sopracitata UNI EN 12831 per il territorio della provincia di Macerata:

- Temperatura esterna θ_e [°C]: -2
- Umidità Relativa U.R. [%]: 50

I dati sopra sono utilizzati all'interno di specifici fogli di calcolo elettronici suddivisi in sotto-moduli.

4.1.2 Trasmissione verso l'esterno

La trasmissione verso l'esterno rappresenta il primo contributo preso in considerazione ed anche il più ovvio per le dispersioni termiche invernali. Questo rappresenta il calore disperso attraverso le superfici opache e

trasparenti verso l'ambiente esterno ed è fortemente dipendente dalle qualità isolanti dell'edificio.

La formula utilizzata per il calcolo della potenza, espressa in [W], è la seguente:

$$Q_1 = \sum_i A_i * U_i * e * \Delta T$$

dove:

- A_i [m²] ~ superficie della superficie i-esima
- U_i [W/m²K] ~ trasmittanza della superficie i-esima
- e ~ coefficiente di esposizione geografica della superficie
- ΔT [°C] ~ gradiente termico tra la temperatura interna e quella esterna
- 22 [°C] per i locali standard
- 26 [°C] per i locali adibiti a servizi igienici

I valori di esposizione sono ricavati dalla UNI EN 12831 e sono riassunti in Tab. 4.1-2.

Coefficiente di esposizione	
Esposizione	Fattore
N	1,2
NE	1,2
E	1,15
SE	1,1
S	1
SO	1,05
O	1,1
NO	1,15

Tab. 4.1-2 Coefficienti di esposizione geografica UNI EN 12831

Un'applicazione di quanto sopra è riportata a titolo di esempio in Tab. 4.1-3

TRASMISSIONE VERSO ESTERNO								
Codice Struttura	Esposizione	e	A _i [m ²]	U _i [W/m ² *K]	A _i *U _i *e [W/K]	ΔT	Q ₁ [W]	
PAR EC	SE	1,1	26,95	0,15	4,32	22	95,1	
F15	SE	1,1	4,42	1,29	6,29	22	138,5	
F16	SE	1,1	6,98	0,94	7,24	22	159,2	
PAR EC	SO	1,05	26,72	0,15	4,09	22	90,0	
SOL CT	SE	1,1	72,63	0,24	18,87	22	415,1	
		-				22		
		-				22		
		-				22		

Tab. 4.1-3 Esempio di calcolo della trasmissione verso l'esterno

4.1.3 Trasmissione verso locali a temperatura esterna

Questo modulo permette l'individuazione di tutte le dispersioni che intercorrono fra i locali a temperatura differente; nella pratica una parte della potenza adibita indirizzata ai locali adibiti ai servizi igienici viene dispersa verso i locali standard e questo effetto va tenuto in considerazione in tutti i locali soggetti.

La formula di calcolo è sostanzialmente identica a quella vista nel paragrafo precedente solo che non si tiene ovviamente conto dell'effetto dell'esposizione:

$$Q_2 = \sum_i A_i * U_i * \Delta T$$

dove:

- A_i [m²] ~ superficie della superficie i-esima
- U_i [W/m²K] ~ trasmittanza della superficie i-esima
- ΔT [°C] ~ gradiente termico tra la temperatura interna e quella esterna
- -4 [°C] per i locali standard

- [°C] per i locali adibiti a servizi igienici

Similmente a quanto sopra si riporta un esempio di calcolo in Tab. 4.1-4.

TRASMISSIONE VERSO LOCALI A TEMPERATURA DIVERSA						
Codice Struttura		A _i [m ²]	U _i [W/m ² *K]	A _i *U _i [W/K]	ΔT	Q ₂ [W]
POR IN		1,89	6,00	11,34	-4	-45,4
PAR DV		6,30	0,50	3,13	-4	-12,5

Tab. 4.1-4 Esempio di calcolo della trasmissione verso locali a temperatura diversa

4.1.4 Trasmissione verso locali non climatizzati

La trasmissione verso i locali non climatizzati (Tab. 4.1-5) viene supposta come quella verso l'ambiente esterno a cui però vengono applicati dei coefficienti correttivi in base alla tipologia di locale considerato. A titolo di esempio, un locale non climatizzato senza aperture verso l'esterno tenderà a disperdere molto meno calore di un locale con due superfici a contatto con l'ambiente esterno. I coefficienti utilizzati sono espressi tramite il simbolo b_u e sono riassunti in Tab. 4.1-6.

$$Q_3 = \sum_i b_u * A_i * U_i * \Delta T$$

TRASMISSIONE VERSO LOCALI NON CLIMATIZZATI							
Codice Struttura		b_u	A_i [m ²]	U_i [W/m ² *K]	A_i*U_i [W/K]	ΔT	Q_3 [W]
PAR DV		0,50	11,66	0,50	2,90	26	75,4
						26	
						26	
						26	
						26	
						26	
						26	
						26	

Tab. 4.1-5 Esempio di calcolo della trasmissione verso locali non climatizzati

Dispersioni verso locali non riscaldati	
Tipo di vano	b_u
Locali del vano rivolti verso l'ambiente esterno: con una parete esterna	0,4
Locali del vano rivolti verso l'ambiente esterno: senza serramenti esterni e con almeno due pareti esterne	0,5
Locali del vano rivolti verso l'ambiente esterno: con serramenti esterni e con almeno due pareti esterne	0,6
Locali del vano rivolti verso l'ambiente esterno: con tre pareti esterne	0,8
Cantine senza finestre	0,5
Cantine con finestre	0,8
Sottotetti a tasso di ventilazione elevato	1
Sottotetti con tetti non isolati	0,9
Sottotetti con tetti isolati	0,7
Disimpegni interni senza muri esterni e con bassa ventilazione (minore di 0,5 [V/h])	\
Disimpegni interni ventilati [aperture/volume maggiore di 0,005 [m ² /m ³]	1
Solette sospese	0,8

Tab. 4.1-6 Coefficienti correttivi per locali a temperatura diversa

4.1.5 Ponti termici

La presenza di ponti termici generalmente peggiora in maniera significativa le prestazioni di isolamento termico in edifici apparentemente ben isolati, costituendo delle vie preferenziali al passaggio di vapore. Come accennato nel paragrafo relativo agli isolanti,

nella scelta del tipo di costruzione si è valutata l'idea di utilizzare un cappotto di tipo esterno proprio perché a differenza di quello interno permette in sostanza di rendere trascurabili, o nulli, gli effetti dei ponti termici, usando come riferimento la norma UNI EN ISO 14683 [16].

4.1.6 Ventilazione

La norma UNI 10339 [13] fornisce i coefficienti necessari al calcolo dei ricambi d'aria richiesti per mantenere la stessa in condizioni di salubrità. Il riferimento utilizzato nel caso in esame è quello relativo ad "Ospedali, cliniche, case di cura ed assimilabili" e a "Palestre ed assimilabili", e la valutazione della portata di ricambio viene effettuata sia in base all'affollamento dei locali, sia in base al volume degli stessi, a seconda della destinazione d'uso predisposta. Per gli spogliatoi ed i servizi ad esempio si valuta un riferimento volumetrico, mentre nel caso delle palestre, dove non c'è alcun bisogno di purificare l'aria nel caso di scarsa occupazione si preferisce riferirsi all'affollamento del locale più che alla volumetria. I valori assunti per i ricambi d'aria sono riassunti in Tab. 4.1-7, mentre quelli per il calcolo dell'affollamento nella successiva Tab. 4.1-8, tuttavia gli indici di affollamento possono essere modificati sulla base di necessità specifiche dell'edificio.

Indici di ricambio d'aria		
Ospedali, Cliniche, Case di cura ed assimilabili	Q_{op} [$10^{-3} \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{persona})$]	Q_{os} [$10^{-3} \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$]
degenze (2-3 letti)	11	-
sale mediche/soggiorni	8,5	-
terapie fisiche	11	-
servizi	-	8
corridoi/vani scale	-	0,5
cucine	-	16,5
sala mensa	10	-
uffici	11	-
Palestre ed assimilabili		
palestre - campi da gioco	16,5	-
spogliatoi	-	8

Tab. 4.1-7 Indici di ricambio aria

Indici di affollamento Ospedali, Cliniche, Case di cura ed assimilabili		ns
degenze (2-3 letti)		0,08
sale mediche/soggiorni		0,05
terapie fisiche		0,2
servizi		-
sale in genere		0,3
sale pranzo ristoranti		0,6
Palestre ed assimilabili		
palestre - campi da gioco		0,2
spogliatoi		-

Tab. 4.1-8 Indici di affollamento

A titolo di esempio un calcolo della potenza richiesta alla ventilazione è riportato sotto (Tab. 4.1-9):

VENTILAZIONE (UNI 10339)							
Tipologia							
Ricambi/Volume	V [m ³]	n [V/h]	V [m ³ /s]	ρ [kg/m ³]	c _p [I/(kg*K)]	ΔT	Q _v [W]
✓	16,2	8	0,04	1,2	1005	26	1128,8
Ricambi/Persone	Persone [n°]	n [l/(s*persone)]	V [m ³ /s]	ρ [kg/m ³]	c _p [I/(kg*K)]	ΔT	Q _v [W]
				1,2	1005	26	

Tab. 4.1-9 Esempio di calcolo della ventilazione

Dove,

$$Q_V = V * \rho * c_p * \Delta T$$

4.1.7 Fattore di ripresa

L'ultimo parametro da prendere in considerazione nel calcolo delle dispersioni termiche invernali è il cosiddetto fattore di presa, il quale prende in considerazione la massa dell'edificio, quindi indirettamente la sua inerzia termica, e la caduta di temperatura durante il funzionamento intermittente. Il calcolo è effettuato secondo i parametri riassunti in Tab. 4.1-10 tramite la specifica formula:

Fattore di ripresa - 8 [h] inattività	
Caduta di temperatura [K]	1
Tempo di ripresa	2
Massa dell'edificio	Alta
f_{RH} [W/m ²]	6

Tab. 4.1-10 Fattore di ripresa

FATTORE DI RIPRESA			
	Superficie [m ²]	f_{RH} [W/m ²]	Q_{rip} [W]
	3,4	6	20,4

Tab. 4.1-11 Esempio di calcolo del fattore di ripresa

Dove, Q_{rip} in Tab. 4.1-11 è calcolato secondo:

$$Q_{rip} = S * f_{RH}$$

4.1.8 Risultati

Le potenze ricavate tramite i metodi descritti fin qui sono riassunte in specifiche tabelle riepilogative generate all'interno dei fogli elettronici di calcolo relativi a ciascun piano, rispettivamente il seminterrato (Tab. 4.1-12), il piano terra (Tab. 4.1-13) ed il piano primo (Tab. 4.1-14).

LOCALE		Carico _{T+rip} [W/m ²]	Carico _v [W/m ²]	Carico _{TOT} [W/m ²]	Q _{T+rip} [W]	Q _v [W]	Q _{TOT} [W]	V _{TOT} [m ³ /h]	V _{TOT,S} [m ³ /h]	Q _{TOT,S} [kW]
S01	Non Riscaldato	6,00	11,06	17,06	88,80	163,61	252,41	33,55		
S02	Non Riscaldato	6,00	11,06	17,06	92,40	170,25	262,65	34,91		
S03	Non Riscaldato	6,00	11,06	17,06	61,20	112,76	173,96	23,12		
S04	Riscaldato_20	25,43	11,06	36,49	104,28	45,33	149,61	19,89		
S05	Riscaldato_20	18,76	11,06	29,81	343,26	202,31	545,57	72,51		
S06	Riscaldato_20	25,39	11,06	36,45	86,34	37,59	123,93	16,47		
S07	Riscaldato_24	37,29	209,04	246,33	201,37	1128,82	1330,19	149,60		
S08	Riscaldato_24	47,54	209,04	256,58	280,47	1233,34	1513,80	170,25	1847,63	14,86
S09	Riscaldato_24	15,93	209,04	224,97	111,50	1463,28	1574,78	177,11		
S10	Riscaldato_24	31,65	209,04	240,69	240,57	1588,70	1829,27	205,73		
S11	Riscaldato_20	18,22	60,28	78,49	1323,00	4377,78	5700,78	757,73		
S12	Riscaldato_20	25,54	11,06	36,60	707,59	306,22	1013,81	134,75		
S13	Non Riscaldato									
S14	Riscaldato_20	11,30	11,06	22,35	197,74	193,46	391,20	52,00		

Tab. 4.1-12 Dispersioni invernali del piano seminterrato

LOCALE		Carico _{T+rip} [W/m ²]	Carico _v [W/m ²]	Carico _{TOT} [W/m ²]	Q _{T+rip} [W]	Q _v [W]	Q _{TOT} [W]	V _{TOT} [m ³ /h]	V _{TOT,T} [m ³ /h]	Q _{TOT,T} [kW]
T01	Riscaldato_24	58,36	209,04	267,40	204,25	731,64	935,89	105,26		
T02	Riscaldato_20	4,14	11,06	15,19	12,83	34,27	47,10	6,26		
T03	Riscaldato_20	37,36	11,06	48,42	164,39	48,64	213,03	28,32		
T04	Riscaldato_20	15,18	364,82	379,99	312,69	7515,19	7827,88	1040,45		
T05	Riscaldato_20	15,10	60,76	75,86	1186,80	4775,76	5962,56	792,52		
T06	Riscaldato_20	17,06	11,06	28,11	672,15	435,57	1107,71	147,23		
T07	Riscaldato_20	25,78	29,19	54,97	265,56	300,61	566,17	75,25		
T08	Riscaldato_24	19,21	209,04	228,25	42,27	459,89	502,16	56,48		
T09	Riscaldato_24	16,88	176,88	193,76	62,44	654,46	716,90	80,63		
T10	Riscaldato_24	21,36	209,04	230,40	74,77	731,64	806,41	90,70		
T11	Riscaldato_20	15,16	32,22	47,38	318,31	676,57	994,88	132,24		
T12	Riscaldato_24	53,14	209,04	262,18	111,59	438,98	550,58	61,92		
T13	Riscaldato_24	28,64	209,04	237,68	60,14	438,98	499,13	56,14	5440,24	42,04
T14	Riscaldato_20	3,59	11,06	14,65	62,87	193,46	256,33	34,07		
T15	Riscaldato_20	23,56	11,06	34,62	438,29	205,62	643,91	85,59		
T16	Riscaldato_24	35,16	209,04	244,20	161,72	961,58	1123,30	126,34		
T17	Riscaldato_24	20,43	209,04	229,47	81,71	836,16	917,87	103,23		
T18	Riscaldato_24	41,35	209,04	250,39	86,84	438,98	525,83	59,14		
T19	Riscaldato_20	3,69	11,06	14,75	54,25	162,51	216,76	28,81		
T20	Riscaldato_20	17,04	67,66	84,70	463,46	1840,26	2303,72	306,20		
T21	Riscaldato_20	16,32	67,66	83,98	262,83	1089,27	1352,10	179,72		
T22	Riscaldato_20	26,10	67,66	93,75	1043,89	2706,26	3750,16	498,46		
T23	Riscaldato_24	43,69	209,04	252,73	109,23	522,60	631,83	71,06		
T24	Riscaldato_20	20,42	159,19	179,61	761,59	5937,86	6699,45	890,47		
T25	Riscaldato_20	26,56	79,60	106,16	722,46	2165,01	2887,47	383,79		

Tab. 4.1-13 Dispersioni invernali del piano terra

LOCALE		Carico _{T+rip} [W/m ²]	Carico _v [W/m ²]	Carico _{TOT} [W/m ²]	Q _{T+rip} [W]	Q _v [W]	Q _{TOT} [W]	V _{TOT} [m ³ /h]	V _{TOT,P} [m ³ /h]	Q _{TOT,P} [kW]
P01	Riscaldato_20	17,05	27,15	44,19	366,47	583,70	950,18	126,29		
P02	Riscaldato_24	45,82	209,04	254,86	206,19	940,68	1146,87	128,99		
P03	Riscaldato_24	27,52	209,04	236,56	346,70	2633,90	2980,61	335,22		
P04	Riscaldato_20	21,89	30,09	51,98	424,74	583,70	1008,45	134,04		
P05	Riscaldato_20									
P06	Riscaldato_24	48,95	209,04	257,99	239,84	1024,30	1264,14	142,17		
P07	Riscaldato_24	50,10	209,04	259,14	280,54	1170,62	1451,16	163,21		
P08	Riscaldato_20									
P09	Riscaldato_20	22,10	29,63	51,73	435,28	583,70	1018,98	135,44		
P10	Riscaldato_20	10,53	11,06	21,58	166,35	174,67	341,02	45,33		
P11	Riscaldato_20	18,56	31,72	50,28	341,50	583,70	925,21	122,97		
P12	Riscaldato_24	38,64	209,04	247,68	177,77	961,58	1139,35	128,14		
P13	Riscaldato_20	19,01	30,72	49,73	361,20	583,70	944,91	125,59		
P14	Riscaldato_24	45,26	209,04	254,30	262,52	1212,43	1474,95	165,88		
P15	Riscaldato_20	17,68	32,43	50,10	318,18	583,70	901,89	119,88		
P16	Riscaldato_24	52,29	209,04	261,33	245,79	982,49	1228,27	138,14		
P17	Riscaldato_20	12,95	11,06	24,00	226,54	193,46	420,00	55,82	3505,73	29,03
P18	Riscaldato_20	21,95	11,06	33,01	274,43	138,19	412,62	54,84		
P19	Riscaldato_24	51,39	209,04	260,43	102,78	418,08	520,86	58,58		
P20	Riscaldato_24	32,12	209,04	241,16	99,57	648,02	747,60	84,08		
P21	Non Riscaldato	6,00	11,06	17,06	28,80	53,06	81,86	10,88		
P22	Riscaldato_20	20,41	21,30	41,72	279,66	291,85	571,51	75,96		
P23	Riscaldato_24	61,20	209,04	270,24	201,94	689,83	891,78	100,30		
P24	Riscaldato_24	57,23	209,04	266,27	246,10	898,87	1144,98	128,77		
P25	Riscaldato_20	17,31	31,38	48,69	321,98	583,70	905,68	120,38		
P26	Riscaldato_20	22,72	11,06	33,78	338,57	164,72	503,29	66,90		
P27	Riscaldato_20	16,64	31,72	48,37	306,22	583,70	889,93	118,29		
P28	Riscaldato_24	53,23	209,04	262,27	218,25	857,06	1075,31	120,94		
P29	Riscaldato_24	52,23	209,04	261,27	219,35	877,97	1097,32	123,41		
P30	Riscaldato_20	19,88	31,55	51,43	367,73	583,70	951,43	126,46		
P31	Riscaldato_20	20,30	31,38	51,68	377,62	583,70	961,33	127,78		
P32	Riscaldato_24	53,46	209,04	262,50	219,19	857,06	1076,26	121,04		
P33	Riscaldato_20									

Tab. 4.1-14 Dispersioni invernali del primo piano

4.2 CARICHI TERMICI ESTIVI

Il calcolo dei carichi termici estivi, a differenza di quello delle dispersioni invernali, è di tipo dinamico, ed in quanto tale effettuato ora per ora, mentre vengono presi in considerazione sia i carichi termici dovuti allo scambio di calore sensibile, sia quelli dovuti allo scambio di calore latente. Il metodo utilizzato per il calcolo è quello derivante dalla normativa americana e usualmente indicato come “Metodo ASHRAE”; un utile riferimento che si è seguito in questo lavoro, è quello della famosa pubblicazione AERMEC [1].

Per il calcolo, similmente a quanto già visto per le dispersioni termiche invernali, sono stati utilizzati dei fogli elettronici, due per ogni locale per la precisione, uno con riassunti i coefficienti e le tabelle di calcolo come riportati da normativa, quindi i coefficienti di radiazione solare per data latitudine, i fattori correttivi di ombreggiamento e materiale, i coefficienti di potenza relativi alle persone ed ai carichi interni, i valori di carico di ventilazione orario e così via, l’altro dove sono effettivamente realizzati i calcoli.

4.2.1 Dati di progetto

I riferimenti grafici, le superfici ed i volumi dei locali e l’affollamento risultano in sostanza gli stessi delle dispersioni termiche, cambiano invece ovviamente i dati climatici per la differente stagione, individuabili attraverso la norma UNI 10339 relativamente alla località considerata. Tali dati sono riportati, per ogni locale, nel primo blocco del foglio elettronico denominato “localizzazione” (Tab. 4.2-1).

LOCALIZZAZIONE									
Codice Stanza	Piano	Destinazione	Affollamento	Superficie [m ²]	Volume [m ³]				
S11	SEMIN.	PALESTRA	0,2	217,5	652,5				
T int [°C]	26	U.R. int [%]	50		T est max [°C]	31,2	ΔT est [°C]	12	

Tab. 4.2-1 Localizzazione e dati di progetto

4.2.2 Trasmissione attraverso le strutture opache

Alle pareti ed ai solai vengono associati non solo le “metrature” ed i coefficienti di trasmittanza utilizzati nel capitolo delle dispersioni termiche, ma anche l’orientamento geografico, al fine di valutare correttamente l’esposizione all’irraggiamento solare che, in base alla massa superficiale, incide sulla trasmissione di calore attraverso la muratura e variabile nel corso della giornata.

Il calcolo di trasmissione attraverso le superfici opache è esemplificato in Tab. 4.2-2.

TRASMISSIONE STRUTTURE OPACHE					
Codice Struttura		Orientamento	Massa [kg/m ²]	Ai [m ²]	Ui [W/m ² K]
PAR EC		Est	343	26,952	0,15
PAR EC		Est	343	26,724	0,15

Tab. 4.2-2 Esempio di calcolo della trasmissione attraverso le strutture opache

4.2.3 Trasmissione attraverso gli infissi

La trasmissione di calore attraverso tutti gli infissi, sia quelli di tipo opaco che quelli trasparenti, avviene in maniera analoga al caso invernale ed è esemplificata in Tab. 4.2-3, questo poiché la massa superficiale degli stessi non comporta uno sfasamento di rilievo rispetto a quanto avviene per le strutture opache.

TRASMISSIONE INFISSI			
Codice Struttura		Aw,i [m ²]	Uw,i [W/m ² K]
F15		4,42	1,29
F16		6,98	0,94

Tab. 4.2-3 Esempio di calcolo della trasmissione attraverso gli infissi

4.2.4 Trasmissione solare attraverso i vetri

A differenza delle strutture opache, la radiazione solare non solo viene riflessa ed assorbita dalla superficie, ma in parte passa anche attraverso l'elemento trasparente in funzione del tipo di struttura con cui è realizzato. Per la trasmissione della radiazione solare risultano influenti differenti parametri, tra i quali:

- massa superficiale del solaio interno
- orientamento geografico
- fattore correttivo FCR-1 relativo ai materiali
- tipo di vetrocamera utilizzata
- tipo di oscuramento presente

I valori tipici applicati in questo contesto sono rilevabili nella Tab. 4.2-4 di esempio.

TRASMISSIONE SOLARE VETRI							
Codice Struttura	Massa Struttura/Pavimento [kg/m ²]	Orientamento	Ag, i [m ²]	FC R1-PV C	Tipo di vetro - Vetrocamera	Oscuramento	
F15	581	Est	2,94	No	Vetro triplo	Veneziana/Tenda Interna	
F16	581	Est	6,04	No	Vetro triplo	Veneziana/Tenda Interna	
				No	Vetro triplo	Veneziana/Tenda Interna	
				No	Vetro triplo	Veneziana/Tenda Interna	
				No	Vetro triplo	Veneziana/Tenda Interna	

Tab. 4.2-4 Esempio di calcolo della trasmissione solare attraverso i vetri

4.2.5 Carichi interni

I carichi interni possono essere sia relativi a del calore sensibile, come ad esempio la presenza di un certo tipo di illuminazione o di elettrodomestici in funzione, sia relativi a del calore latente, solitamente il vapore acqueo risultante dalla respirazione o proveniente dalle cucine.

Per quel che riguarda le persone si prendono in considerazione le attività da esse svolta ed il metabolismo medio ad esse associato.

L'illuminazione, non nota durante la fase preliminare di progetto, viene stimata in base alla tecnologia utilizzata, attualmente quella LED, in relazione alla superficie da illuminare. In questo contesto si è ipotizzato un valore pari a 20 [W/m²].

Oltre all'illuminazione si valutano poi i carichi relativi alle postazioni computer ed ufficio, assunte pari a 250 [W/cad], ed ulteriori carichi specifici valutati in base al locale relativamente a macchine di altro tipo come gli elettrodomestici (Tab. 4.2-5).

CARICHI INTERNI						
CARICO	ATTIVITA'	Q.tà	Sensibile [W/cad]	Latente [W/cad]	Sensibile [W]	Latente [W]
Persone - Tipo 1	Lavoro molto pesante - Sport	43,5	185	340	8047,5	14790
Persone - Tipo 2						
CARICO	Tipologia	Superficie Pavimento [m ²]	Sensibile [W/m ²]	Sensibile [W]		
1	Illuminazione	217,5	20	4350		
CARICO	Tipologia	Numero di postazioni		Sensibile [W]		
2	Computer/Zona Lavoro					
CARICO	Tipologia	Valore Stimato		Sensibile [W]		
3	Carico Generico (Cucina, Lavanderia ecc.)					

Tab. 4.2-5 Esempio di calcolo dei carichi interni

4.2.6 Ventilazione

Anche gli aspetti relativi alla ventilazione sono trattati in maniera analoga a quanto fatto per la stagione invernale, solamente che i dati vengono utilizzati non solo per valutare i ricambi d'aria minimi per il mantenimento della salubrità ambientale, ma anche per il calcolo dei carichi, sia sensibili che latenti, da compensare tramite gli impianti; questo è dovuto al fatto che a differenza del periodo invernale i carichi considerati sono a spesa dell'edificio e non a favore dello stesso. La norma di riferimento è sempre la UNI 10339 ed un possibile calcolo è riportato in Tab. 4.2-6.

VENTILAZIONE (UNI 10339)			
Ricambi/Volume	Volume [m ³]	n [m ³ /h]	V [m ³ /s]
Ricambi/Persone	Persone [n°]	n [l/(spers)]	V [m ³ /s]
	10	16,5	0,165

Tab. 4.2-6 Esempio di calcolo della ventilazione

4.2.7 Risultati

I risultati sono calcolati per la parte principale di utilizzo dell'edificio in relazione alle ore di irraggiamento solare, quindi tra le ore 6 della mattina fino alle ore 17 del pomeriggio, incluse.

I valori di trasmissione relativi alle superficie opache sono ottenuti moltiplicando il prodotto tra l'area della superficie ed il coefficiente di trasmittanza, con il gradiente termico equivalente in considerazione dell'influenza solare:

$$Q = A_i * U_i * \Delta T_{eq}$$

Per quel che riguarda gli infissi, i valori sono calcolati considerando il gradiente termico che intercorre tra la temperatura esterna, variabile nel corso della giornata, e la temperatura interna fissata a 26 [°C] da progetto:

$$Q = A_i * U_i * (T_e - T_i)$$

Sempre in relazione alle superfici sono infine calcolati gli apporti solari in base alla superficie di trasmissione dei vetri e alla radiazione solare massima mensile, corretta tramite i vari fattori correttivi:

$$Q = R * S * FCR_1 * FCR_2 * FCR_3$$

Dove,

- FCR₁ ~ fattore correttivo relativo a telaio, foschia ed altitudine
- FCR₂ ~ fattore correttivo relativo alla tipologia di vetro e alle schermature

- FCR_3 ~ fattore correttivo relativo all'accumulo

Passando ai carichi relativi alle persone si utilizzano semplicemente dei coefficienti che, in relazione alla tipologia di attività svolta, individuano da bibliografia un certo tipo di metabolismo e dunque dei valori di emissione di calore sensibile e latente. Il valore finale non è altro che la somma del carico relativo a tutte le persone presenti e risulta costante nel corso della giornata dal momento in cui si presuppone la temperatura interna pari al valore di progetto.

Anche gli altri carichi interni risultano costanti al passare delle ore e non sono ovviamente influenzati dagli apporti solari esterni; il calcolo è effettuato come esposto nel relativo paragrafo ed il risultato finale non è altro che una sommatoria delle singole componenti.

Infine, i valori di portata di rinnovo dell'aria, espressi in $[m^3/s]$, moltiplicati per la densità dell'aria e per i coefficienti di carico sensibili e latenti espressi in $[kJ/kg]$, forniscono i contributi relativi alla ventilazione, necessari alla deumidificazione dell'aria e a fornire il salto termico dai $31,2 [^{\circ}C]$ medi esterni individuati tramite la normativa, ai $26 [^{\circ}C]$ interni.

Una volta effettuati i calcoli si individuano i picchi di potenza giornaliera, evidenziati in verde nell'esempio in Tab. 4.2-7, utili alla determinazione del carico massimo estivo complessivo, quando quello locale potrebbe avvenire in base alla stanza, in orari differenti e dunque senza contemporaneità.

RISULTATI [W]												
h	Trasmissione		Apporti Solari	Persone		Illuminazione	Apparecchiature	Ventilazione		Complessivo		TOT
	S.Opache	Infissi		Sens.	Lat.			Sens.	Lat.	Sens.	Lat.	
6	-23	-81	1.147							1.043		1.043
7	51	-73	1.480					-1.192	14	265	14	279
8	87	-60	1.605	8.04	14.79	4.350		-971	221	13.05	15.01	28.06
9	96	-41	1.530	8.04	14.79	4.350		-649	680	13.33	15.47	28.80
10	100	-19	1.280	8.04	14.79	4.350		-279	1.258	13.48	16.04	29.52
11	60	6	889	8.04	14.79	4.350		144	2.085	13.49	16.87	30.37
12	42	30	644	8.04	14.79	4.350		541	2.821	13.65	17.61	31.26
13	35	48	578	8.04	14.79	4.350		840	3.504	13.89	18.29	32.19
14	30	60	542	8.04	14.79	4.350		1.038	3.847	14.06	18.63	32.70
15	31	64	483	8.04	14.79	4.350		1.110	3.889	14.08	18.67	32.76
16	32	60	439	8.04	14.79	4.350		1.032	3.571	13.96	18.36	32.32
17	29	49	381	8.04	14.79	4.350		860	3.300	13.71	18.09	31.80

Tab. 4.2-7 Esempio di calcolo dei carichi termici estivi relativamente ad un locale

Proprio come nel caso invernale, le potenze ricavate tramite i metodi descritti sono state riassunte in specifiche tabelle riepilogative (rispettivamente Tab. 4.2-8 per il piano seminterrato, Tab. 4.2-9 per il piano terra, Tab. 4.2-10 per il primo piano) all'interno dei rispettivi fogli di calcolo, dopo aver determinato l'orario di picco del carico che risulta essere alle ore 15.

CODICE	Ora di Picco	Q_{SENSIBILE,h15} [W]	Q_{LATENTE,h15} [W]	V_{TOT} [m³/h]	Q_{TOT,h15} [W]	Q_{TOT,h15,S} [kW]
S01	15,00	420,36	324,15	207,34	744,50	48,28
S02	15,00	437,40	337,29	215,74	774,69	
S03	15,00	289,70	223,40	142,89	513,10	
S04	15,00	93,49	40,27	37,25	133,76	
S05	15,00	1355,38	456,07	504,47	1811,45	
S06	15,00	77,53	33,39	30,89	110,92	
S07	15,00	350,13	848,61	333,84	1198,74	
S08	15,00	1506,45	1194,46	752,18	2700,91	
S09	15,00	502,87	1205,75	475,84	1708,62	
S10	15,00	1652,38	1538,62	888,66	3191,00	
S11	15,00	14085,50	18679,47	9124,75	32764,96	
S12	14,00	999,33	385,64	385,70	1384,96	
S13	15,00	137,06		38,17	137,06	
S14	15,00	574,04	530,63	307,64	1104,68	

Tab. 4.2-8 Carichi termici estivi del piano seminterrato

CODICE	Ora di Picco	Q _{SENSIBILE,h15} [W]	Q _{LATENTE,h15} [W]	V _{TOT} [m ³ /h]	Q _{TOT,h15} [W]	Q _{TOT,h15,T} [kW]
T01	15,00	304,41	602,88	252,67	907,29	
T02	14,00	97,85	30,45	35,73	128,30	
T03	14,00	226,29	43,22	75,06	269,51	
T04	15,00	38402,65	7060,08	12660,96	45462,73	
T05	15,00	4162,02	5476,05	2684,12	9638,08	
T06	16,00	2622,46	548,52	883,09	3170,98	
T07	16,00	936,00	422,61	378,36	1358,61	
T08	15,00	158,05	378,95	149,55	537,00	
T09	15,00	265,80	637,33	251,51	903,13	
T10	15,00	251,44	602,88	237,92	854,31	
T11	14,00	1171,27	757,10	537,03	1928,37	
T12	15,00	153,58	361,73	143,51	515,31	
T13	15,00	151,89	361,73	143,04	513,61	101,25
T14	15,00	574,04	530,63	307,64	1104,68	
T15	16,00	1148,59	463,55	448,97	1612,14	
T16	15,00	381,21	792,35	326,83	1173,56	
T17	15,00	287,36	689,00	271,91	976,36	
T18	15,00	150,86	361,73	142,75	512,59	
T19	15,00	482,20	445,73	258,42	927,93	
T20	15,00	1581,70	2867,15	1238,97	4448,85	
T21	15,00	1302,48	1218,93	702,19	2521,41	
T22	15,00	2484,48	4216,40	1866,13	6700,88	
T23	15,00	179,60	430,63	169,94	610,22	
T24	15,00	3853,73	6439,29	2866,51	10293,02	
T25	15,00	1838,19	2347,84	1165,77	4186,03	

Tab. 4.2-9 Carichi termici estivi del piano terra

CODICE	Ora di Picco	Q_{SENSIBILE,h15} [W]	Q_{LATENTE,h15} [W]	V_{TOT} [m³/h]	Q_{TOT,h15} [W]	Q_{TOT,h15,P} [kW]
P01	16,00	1616,82	622,60	623,66	2239,41	
P02	15,00	351,16	775,13	313,66	1126,29	
P03	15,00	990,78	2282,09	911,47	3272,88	
P04	14,00	1376,52	622,60	556,74	1999,11	
P05	6,00					
P06	15,00	393,77	844,03	344,71	1237,80	
P07	15,00	447,64	964,60	393,30	1412,24	
P08	6,00					
P09	15,00	1216,59	622,60	512,20	1839,19	
P10	15,00	1082,28	531,09	449,31	1613,36	
P11	14,00	1306,98	622,60	537,37	1929,57	
P12	15,00	330,46	792,35	312,69	1122,81	
P13	15,00	1191,81	622,60	505,29	1814,40	
P14	15,00	468,43	999,05	408,68	1467,48	
P15	14,00	1297,96	622,60	534,86	1920,55	
P16	15,00	360,66	809,58	325,90	1170,24	
P17	15,00	574,04	530,63	307,64	1104,68	44,15
P18	16,00	922,81	311,52	343,75	1234,34	
P19	15,00	143,68	344,50	135,95	488,18	
P20	15,00	226,05	533,98	211,66	760,02	
P21	15,00	109,45	47,15	43,61	156,60	
P22	14,00	792,45	311,30	307,38	1103,75	
P23	15,00	255,82	568,43	229,55	824,25	
P24	15,00	354,37	740,68	304,96	1095,05	
P25	16,00	1540,77	622,60	602,48	2163,37	
P26	15,00	1039,24	451,80	415,24	1491,04	
P27	15,00	1290,73	622,60	532,84	1913,32	
P28	15,00	812,09	665,64	411,53	1477,72	
P29	15,00	346,88	723,45	298,08	1070,33	
P30	16,00	1541,40	622,60	602,65	2163,99	
P31	15,00	1298,75	622,60	535,08	1921,34	
P32	15,00	314,55	706,23	284,28	1020,77	
P33	6,00					

Tab. 4.2-10 Carichi termici estivi del primo piano

5 IMPIANTI

5.1 STRATEGIA IMPIANTISTICA

Determinate le potenzialità richieste per la climatizzazione estiva ed invernale dell'edificio si passa all'individuazione di un'impiantistica in grado di soddisfarle.

Come già accennato nei capitoli precedenti, l'edificio costituisce sostanzialmente un ambiente residenziale a permanenza sia diurna che notturna, dunque a carattere continuativo, questione che permette di escludere una funzionalità intermittente dell'impiantistica. Per questo motivo e trattandosi di una struttura di dimensioni tutto sommato limitate, non si evidenziano necessità di una suddivisione in sottozone funzionali. Sebbene infatti i tre piani abbiano delle caratteristiche differenti, con il primo piano adibito a zona notte per gli ospiti, il piano terra a zona giorno e a servizio del centro diurno, infine il piano seminterrato ove sono presenti principalmente la palestra ed i locali di servizio, si ipotizza un'occupazione dei locali piuttosto continua nel corso del giorno, con personale di servizio in assistenza ai disabili presente anche nelle ore notturne.

Fatta questa premessa si sono prese in considerazione varie possibilità impiantistiche, tutte con l'obiettivo di raggiungere condizioni ambientali di comfort adeguate alla tipologia di residenza e di occupanti della stessa, tenendo quindi presente la probabile presenza di persone con problemi di carattere anche motorio.

Inizialmente si è valutata l'idea di un impianto per la climatizzazione tutt'aria, il quale tuttavia presenta degli svantaggi in termine di comfort (profilo di temperatura non ottimale), degli svantaggi di carattere

impiantistico (grandi ingombri dei canali) come anche un maggior rischio di un impianto acusticamente troppo rumoroso. Una seconda possibilità valutata è stata quella di un impianto misto aria-acqua con terminali di tipo ventilconvettore, soluzione che tuttavia presenta alcuni svantaggi in comune con la precedente casistica. Per risolvere questi problemi, escluso un impianto a "radiatori", per ovvi motivi, si è valutato un impianto misto aria-acqua sfruttante delle travi radianti "fredde"[20], soluzione molto comune in Scandinavia, tuttavia dopo una ricerca è risultato essere un impianto poco utilizzato, quantomeno in Centro-Italia, anche per delle grandi difficoltà nel bilanciare l'impianto con l'aria primaria. La soluzione più ovvia è stata allora quella di indirizzarsi verso un più classico impianto radiante, con il vantaggio di ottenere un profilo termico ottimale, di abbassare la temperatura operativa dei locali con la necessità di un minore dispendio energetico per raggiungere le condizioni di comfort, ma anche per avere un impianto efficiente e funzionante a bassa temperatura. A causa dei maggiori costi e della non necessità di grandi potenze termiche si è deciso di indirizzarsi verso impianto radiante a pavimento, senza la necessità di realizzare pannelli a parete o a soffitto, tuttavia questo ha comportato il doversi rivolgere a differenti terminali per il funzionamento estivo visto il grande rischio di condensa con un eventuale raffrescamento a pavimento.

La scelta finale ricade dunque, per il periodo invernale in un impianto radiante a pavimento finalizzato alla compensazione delle dispersioni termiche sensibili, ed in un ricambio dell'aria, trattata tramite l'UTA, attraverso dei diffusori a soffitto e delle aspirazioni a soffitto o parete; gli stessi diffusori sono in realtà dei diffusori di tipo fancoil alimentati ad aria primaria miscelata funzionanti anche nel periodo estivo per il raffrescamento grazie a delle batterie fredde.

5.2 ACQUA CALDA SANITARIA

Per il dimensionamento dell'impianto sanitario esistono diversi metodi utilizzati comunemente nella pratica; tra questi si preferisce seguire le note indicazioni fornite dalla Caleffi [5].

L'utenza tipica presa in considerazione è quella relativa alle cliniche e per la quale si prevedono dei consumi giornalieri per persona di circa 150 [l], che per un totale di 21 utenze, quelle previste da progetto, comportano un consumo complessivo giornaliero pari a 3150 [l], includendo anche i consumi relativi agli operatori di servizio. Tale stima può essere migliorata tramite conoscenza approfondita delle necessità effettive degli occupanti che però non sono note.

La temperatura di "pozzo" per l'acqua fredda dell'acquedotto, considerando l'ambiente pedemontano del Centro Italia è presa pari a 13 [°C], mentre si ipotizza un accumulo a 65 [°C] (fanno ovviamente eccezione i trattamenti termico-sanitari) ed un utilizzo a 40 [°C].

Tutti i dati di progetto sono meglio riassunti in Tab. 5.2-1, dove il calore orario è calcolato secondo la formula:

$$Q_h = C * \frac{(T_u - T_f)}{t_{pr} + t_{pu}}$$

mentre per quel che riguarda il volume del bollitore:

$$V_B = \frac{(Q_h * t_{pr})}{T_a - T_f}$$

Acqua Calda Sanitaria			
Tipo Utenza	Clinica	e_B - Coefficiente Espansione Acqua Accumulo	0,017
Cs [l/cad] - Consumo Specifico	150	e_0 - Coefficiente Espansione Acqua Fredda	0,0005
n° - Numero Utenze	21	Pa [bar] - Pressione Alimentazione	3
C [l] - Consumo Punta	3150	Pe [bar] - Pressione Esercizio	7,3
Q _h [kcal/h] - Calore Orario	14175	Vv [l] - Volume Espansione	15
Q _h [kW] - Calore Orario	16,5		
T _u [°C] - Temperatura Utilizzo	40		
T _f [°C] - Temperatura Acqua Fredda	13		
T _a [°C] - Temperatura Accumulo	65		
t _{pu} [h] - Periodo Punta	4		
t _{pr} [h] - Periodo Preriscaldamento	2		
V _B [l] - Volume Minimo Bollitore	545		

Tab. 5.2-1 Dati di progetto per il calcolo dell'acqua calda sanitaria

In base a tali considerazioni si arriva alla scelta di un bollitore in acciaio inox con volume di accumulo pari ad 800 [l] e con ampie superficie di scambio, pari a 6 [m²], generalmente più indicate per l'utilizzo con pompa di calore ma comunque in generale migliori.

Con i dati così a disposizione si procede con il fabbisogno energetico richiesto per la produzione di tutta l'acqua calda, mese per mese, come da Tab. 5.2-2.

Fabbisogno Energetico												
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
Giorni [g/mese]	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
C [l/giorno]	3150	3150	3150	3150	3150	3150	3150	3150	3150	3150	3150	3150
C [kg/giorno]	3150	3150	3150	3150	3150	3150	3150	3150	3150	3150	3150	3150
T _{acquadotto} [°C]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
T _u [°C]	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
ΔT	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
c _p [Wh/kg°C]	1,162	1,162	1,162	1,162	1,162	1,162	1,162	1,162	1,162	1,162	1,162	1,162
Q _{gn} [kWh]	2837	2562	2837	2745	2837	2745	2837	2837	2745	2837	2745	2837

Tab. 5.2-2 Fabbisogno energetico per l'acqua calda sanitaria

5.3 RISCALDAMENTO - RADIANTE A PAVIMENTO

5.3.1 Caratteristiche d'impianto

L'impianto radiante a pavimento, come precedentemente accennato, è stato scelto per i moltissimi vantaggi che presenta oggi a fronte di pochi svantaggi. La prima cosa da tenere in conto è che grazie al funzionamento con scambio radiativo è possibile in sostanza andare a lavorare con una temperatura del fluido più bassa di un classico impianto a radiatori (funzionamento principalmente convettivo) a parità di temperatura operativa all'interno dell'ambiente, che è un po' la stessa faccia della medaglia del risparmio energetico. La qualità dell'aria anche beneficia molto dagli impianti radianti a pavimento perché oltre a non alzare il pulviscolo per effetti convettivi (che comunque entrerebbero in gioco in ogni caso a causa dell'impianto ad aria), non raggiungono temperature tali da "bruciare" lo stesso, evitando così la formazione di odori e sporco nell'aria. A tutto questo va aggiunto il fatto che ad oggi la tecnologia utilizzata ha raggiunto la piena maturità, grazie a tubazioni sempre più flessibili, facilmente posizionabili e resistenti nel tempo, grazie alla standardizzazione dei processi di lavaggio dell'impianto idrico chiuso tramite prodotti di pulizia adeguati, grazie a dei massetti a bassa inerzia termica che permettono di evitare sovra-riscaldamenti indesiderati, che in precedenza erano fonte di problemi soprattutto nelle mezze stagioni, per concludere con accoppiamenti sempre migliori con le macchine di generazione del calore a bassa temperatura.

Il processo utilizzato per il dimensionamento dell'impianto, in coerenza con quanto perseguito in tutto il lavoro di tesi, è quello dei fogli di calcolo elettronici, specificatamente realizzati, anche se la regola de facto della progettazione professionale è quella dell'utilizzo di software con

inserimento dati o calcoli effettuati direttamente dal fornitore dell'impianto.

Come per il calcolo relativo all'acqua calda dell'impianto sanitario si è proceduto utilizzando a riferimento il metodo messo a disposizione da Caleffi [12].

Il primo passo è quello di selezionare delle posizioni adeguate per i collettori d'impianto, necessari per equilibrare le portate d'acqua che fluiscono in ciascun tubo ed in ciascun locale, dunque per effettuare la regolazione. I collettori a 12 attacchi (12 mandate, 12 ritorni) sono schematizzati nelle Fig. 5.3-1; Fig. 5.3-2 e Fig. 5.3-3, insieme alle partenze dei tubi necessarie al calcolo della lunghezza di adduzione verso i locali.

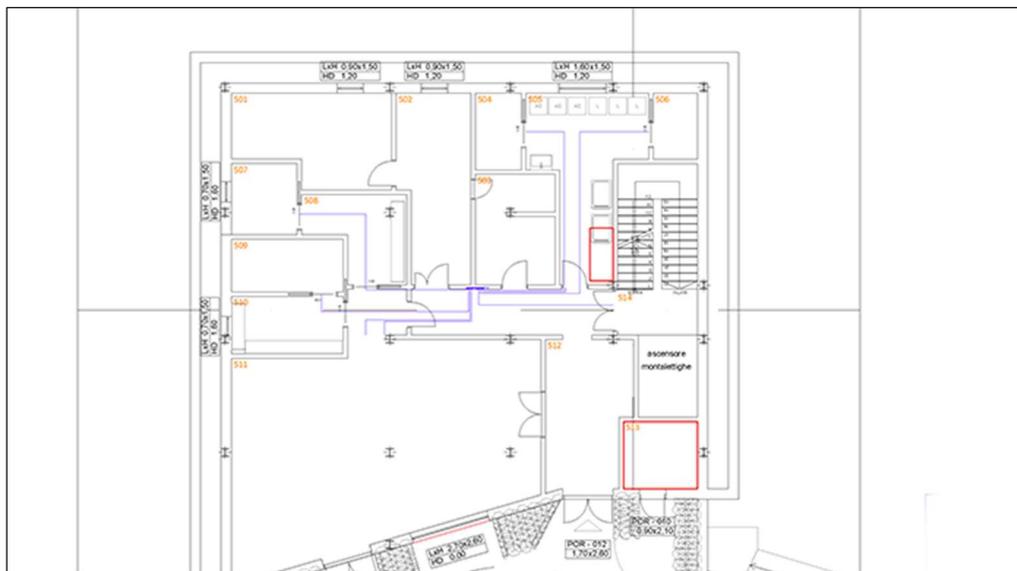


Fig. 5.3-1 Collettori dell'impianto radiante a pavimento nel piano seminterrato

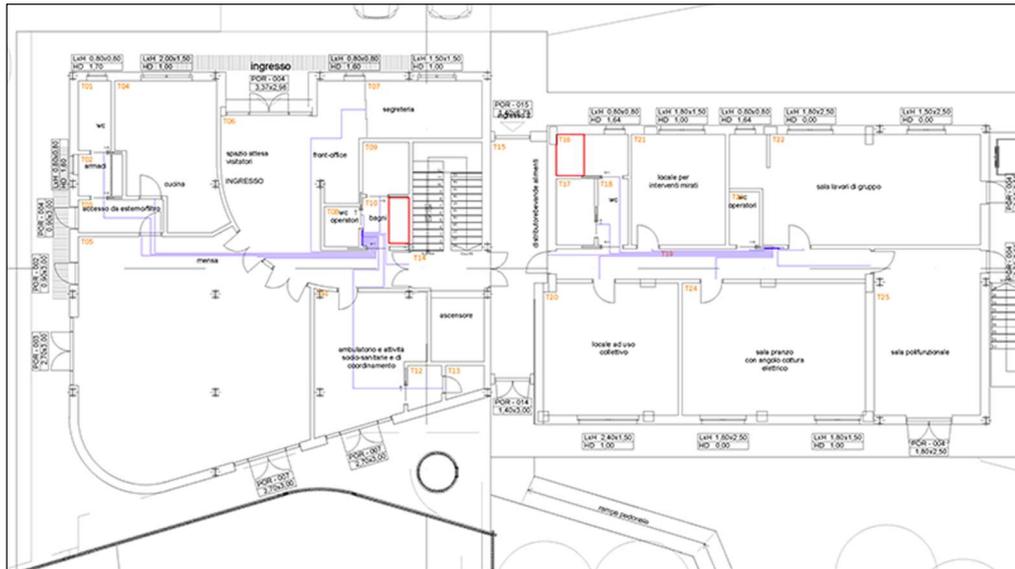


Fig. 5.3-2 Collettori dell'impianto radiante a pavimento nel piano terra

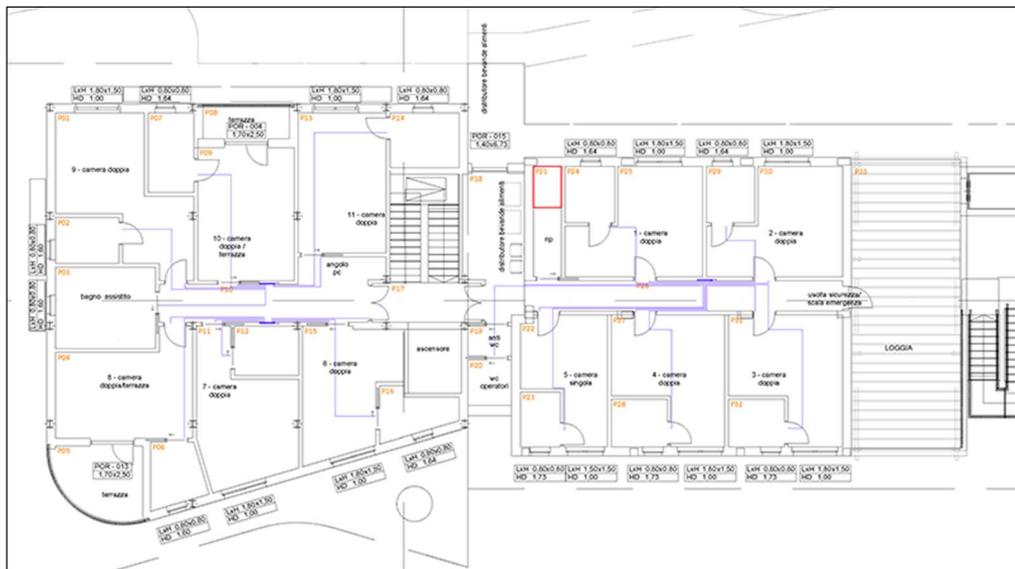


Fig. 5.3-3 Collettori dell'impianto radiante a pavimento nel primo piano

5.3.2 Scelta dell'interasse

La scelta dell'interasse è un processo iterativo piuttosto lungo che risulta completo una volta che si verificano due condizioni necessarie:

- il calore sviluppato dai pannelli nel locale ed emesso verso l'alto risulta sufficiente a compensare le richieste di potenza termica:

$$Q > Q_{T+ri}$$

- la velocità del fluido termovettore nell'impianto risulta all'interno di un range di valori appropriato assunto pari a:

$$0,05 \left[\frac{m}{s} \right] \leq v < 0,75 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Per l'ottenimento di queste condizioni sono utilizzati cinque fogli di calcolo distinti, uno per ogni interasse tubi scelto fra i seguenti valori: 0,375 – 0,300 – 0,225 – 0,100 – 0,050.

Per ciascun foglio di calcolo è si realizza inoltre un foglio di raccolta con tutti i parametri richiesti.

5.3.2.1 *Fattore relativo al gradiente di temperatura*

La temperatura di mandata del fluido è assunta pari al valore utilizzato anche per l'acqua calda sanitaria, ovvero pari a 40 [°C] (valori consigliati per le pompe di calore non oltre i 45 [°C]); per quel che riguarda il ritorno alcuni software permettono di farne variare la temperatura a seconda delle necessità, mentre nel caso specifico si è deciso di imporre un gradiente termico circa costante e pari ad 8 [°C], sia per non abbassare troppo la temperatura media del fluido, e dunque la resa termica del pannello, sia per evitare superfici a riscaldamento disuniforme, per una temperatura risultante di ritorno pari a 32 [°C], per un gradiente logaritmico risultante pari a 15,7 [°C]:

$$\Delta t = \frac{t_e - t_u}{\ln \left(\frac{t_e - t_a}{t_u - t_a} \right)}$$

Per quel che riguarda invece le temperature superficiali del pavimento, queste vengono imposte da normativa, per motivi di salute, pari ai valori limite e consigliati, corrispondenti a 29 [°C] per gli ambienti climatizzati a 20 [°C] e 33 [°C] per i locali adibiti a servizi e climatizzati a 24 [°C], valori dai quali derivano anche le potenze specifiche limite di 100 [W/m²]. Per il periodo invernale si assume infine una temperatura del terreno pari a 10 [°C].

5.3.2.2 *Fattore relativo alle caratteristiche del tubo*

Il dimensionamento dei tubi non viene effettuato per l'impianto radiante a pavimento, per il quale si assumono dei tubi in PEX multistrato di diametro standard pari a 0,02 [m] con 0,002 [m] di spessore e con un fattore caratteristico che ne esprime la trasmittanza [W/m²K]:

$$B = 6,7$$

5.3.2.3 *Resistenza termica del pavimento*

La resistenza termica del pavimento è espressa tramite un parametro chiamato F_p e che è calcolato tramite la formula seguente:

$$F_p = \frac{\frac{1}{\alpha} + \frac{S_{m\theta}}{\lambda_{m\theta}}}{\frac{1}{\alpha} + \frac{S_{m\theta}}{\lambda_{m\theta}} + R_p}$$

Tale fattore è dunque dipendente dall'adduttanza di riferimento indicata con α , dallo spessore e la conducibilità di riferimento $S_{m\theta}$ e $\lambda_{m\theta}$ ed infine dalla resistenza termica del pavimento.

5.3.2.4 *Fattore di interasse dei tubi*

In base al valore di resistenza termica del pavimento si ricavano i coefficienti A_i (Tab. 5.3-1) che influenzano il fattore di interasse dei tubi:

A _i			
R _p = 0,00	R _p = 0,05	R _p = 0,10	R _p = 0,15
A _i = 1,230	A _i = 1,188	A _i = 1,156	A _i = 1,134

Tab. 5.3-1 Coefficienti A_i

Il fattore di interasse è espresso come:

$$F_i = A_i^x$$

Dove l'esponente x va definito caso per caso in base all'interasse tra i tubi preso in considerazione:

$$x = 1 - \frac{l}{0,075}$$

5.3.2.5 Fattore relativo allo spessore del massetto

Similarmente a quanto visto per l'interasse, anche per lo spessore del massetto si ha un coefficiente A_m (Tab. 5.3-2) ricavabile da apposite tabelle in funzione della resistenza termica del pavimento, ma anche dell'interasse:

A_m					
I [m]	R_p [m ² K/W]				
	0,000	0,012	0,050	0,100	0,150
0,050	1,069	1,066	1,056	1,043	1,037
0,075	1,066	1,063	1,053	1,041	1,035
0,100	1,063	1,060	1,050	1,039	1,034
0,150	1,057	1,054	1,046	1,035	1,031
0,200	1,054	1,051	1,041	1,032	1,028
0,225	1,048	1,046	1,038	1,030	1,026
0,300	1,040	1,037	1,031	1,024	1,021
0,375	1,030	1,029	1,024	1,018	1,016

Tab. 5.3-2 Coefficienti A_m

Il fattore relativo allo spessore del massetto è espresso come:

$$F_m = A_m^y$$

Dove l'esponente y va definito caso per caso in base allo spessore del massetto preso in considerazione e che è pari a 0,05 [m]:

$$y = 100 * (0,045 - s_m)$$

Dunque,

$$y = -0,5$$

5.3.2.6 Fattore relativo al diametro esterno dei tubi

L'ultimo fattore preso in considerazione segue lo stesso percorso di quello relativo allo spessore del massetto, dunque va selezionato un apposito coefficiente dipendente dall'interasse tra i tubi e dalla resistenza termica del pavimento chiamato A_d (Tab. 5.3-3):

A _d					
I [m]	R _p [m ² K/W]				
	0,000	0,012	0,050	0,100	0,150
0,050	1,013	1,013	1,013	1,012	1,011
0,075	1,021	1,021	1,019	1,016	1,014
0,100	1,029	1,028	1,025	1,022	1,018
0,150	1,040	1,039	1,034	1,029	1,024
0,200	1,046	1,045	1,040	1,035	1,030
0,225	1,049	1,048	1,043	1,038	1,033
0,300	1,053	1,052	1,049	1,044	1,039
0,375	1,056	1,055	1,051	1,046	1,042

Tab. 5.3-3 Coefficienti A_d

Una volta scelto il valore si utilizza la formula di calcolo del fattore:

$$F_d = A_d^z$$

Dove l'esponente z va definito caso per caso in base al diametro esterno dei tubi che si è detto essere costante e pari a 0,002 [m]:

$$z = 250 * (D_e - 0,020)$$

Dunque,

$$z = -4,5$$

5.3.2.7 Calcolo delle potenze

La potenza emessa da un pannello ed espressa in [W], anche chiamata flusso di calore, è calcolata tramite la moltiplicazione di tutti i fattori sopra espressi per la superficie di azione del pannello ed è un valore che tiene in considerazione solamente l'energia emessa verso l'alto, quindi al netto delle perdite nella direzione del massetto:

$$Q = S * \Delta t * B * F_p * F_i * F_m * F_d$$

Volendo invece calcolare il flusso di calore totale emesso dal pannello va prima ricavata la portata di fluido che lo attraversa ed espressa in [l/h]:

$$G = \frac{Q}{(t_e - t_u) * 1,16} * \left[1 + \frac{\frac{1}{\alpha} + R_p + \frac{S_m}{\lambda_m}}{R_s} + \frac{S * (t_a - t_s)}{Q * R_s} \right]$$

Dalla quale si deriva il calore totale:

$$Q_t = (t_e - t_u) * G * 1,16$$

Va tenuto in considerazione che nel rispetto della massima temperatura superficiale del pavimento la normativa impone 100 [W/m²] di potenza massima diretta verso l'alto:

$$t_p = t_a + \left(\frac{q_{max}}{8,92}\right)^{\frac{1}{1,1}}$$

Per questo motivo vengono scartate tutte le scelte di interassi che portano ad un eccesso di potenza specifica e che non sarebbero pertanto accettabili.

5.3.2.8 Esempio di calcolo

Sulla base di quanto detto, per ciascun possibile interesse viene definita una tabella dinamica con tutti i parametri di calcolo necessari e della quale si riporta l'esempio per l'interasse pari a 37,5 [cm] (Tab. 4.3-4). Tali fattori costituiscono i dati immessi nel foglio di calcolo, riportato come esempio per l'interasse corrispondente.

All'interno del foglio di calcolo anzitutto si verifica che:

la potenza specifica per area di superficie, richiesta per bilanciare i carichi relativi alle dispersioni termiche e di ripresa (Q_{T+rip}), sia sempre inferiore al valore limite individuato in 100 [W/m²] per non oltrepassare la temperatura superficiale di normativa.

Tale condizione risulta confermata poiché il caso più sfavorito è quello relativo al locale P23 ove la richiesta è di appena 61,20 [W/m²]. Tali valori sono una derivazione del fatto che l'edificio di nuova costituzione è ben isolato e le dispersioni termiche invernali sono piuttosto contenute, dunque l'impianto di riscaldamento radiante a pavimento riesce a fornire dei valori di potenza sufficienti alle esigenze a cui è preposto e non si richiedono impianti supplementari.

Per la scelta dell'interasse da utilizzare all'interno del locale si verificano poi le due condizioni necessarie citate ad inizio capitolo e riportate per comodità:

- il calore sviluppato dai pannelli nel locale ed emesso verso l'alto risulta sufficiente a compensare le richieste di potenza termica:

$$Q > Q_{T+rip}$$

- la velocità del fluido termovettore nell'impianto risulta all'interno di un range di valori appropriato assunto pari a:

$$0,05 \left[\frac{m}{s} \right] \leq v < 0,75 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Dove la velocità effettiva è ricavata come rapporto tra la portata di fluido termovettore e la sezione del tubo.

I valori di interassi accettati sono evidenziati in verde nella seconda parte della Tab. 5.3-4.

c [J/kg°C]	calore specifico dell'acqua									
t_{max} [°C]	temperatura massima di progetto									
P_s [W/m²]	potenza termica specifica massima									
I	interasse tubi									
L_a [m]	lunghezza di adduzione (andata e ritorno) fra collettore e pannello									
L [m]	lunghezza pannello									
t_e [°C]	temperatura di mandata del fluido									
t_u [°C]	temperatura di ritorno del fluido									
t_a [°C]	temperatura media dell'ambiente									
$t_{s,CT}$ [°C]	temperatura del locale o del terreno sottostante									
$t_{s,IN}$ [°C]	temperatura del locale o del terreno sottostante									
Δt	gradiente logaritmico									
B	fattore di tubo									
s_t [m]	spessore del tubo									
l_t [W/mK]	conducibilità termica del tubo									
D_e [m]	diametro esterno del tubo									
F_p	$((1/\alpha)+(s_{m\theta}/l_{m\theta}))/((1/\alpha)+(s_{m\theta}/l_{m\theta})+R_p)$									
α	adduttanza di riferimento									
l_p [W/mK]	conducibilità termica del pavimento									
R_p [m²K/W]	resistenza termica del pavimento									
$s_{m\theta}$ [m]	spessore del massetto di riferimento									
$l_{m\theta}$ [W/mK]	conducibilità del massetto di riferimento									
s_m [m]	spessore del massetto									
$l_{m,CT}$ [W/mK]	conducibilità del massetto CT									
$l_{m,IN}$ [W/mK]	conducibilità del massetto IN									
F_i	A_i^x									
x	esponente del coefficiente del fattore relativo all'interasse dei tubi									
A_i	coefficiente del fattore relativo interasse dei tubi									
F_m	A_m^y									
y	esponente del coefficiente del fattore relativo allo spessore del massetto									
A_m (I)	coefficiente del fattore relativo allo spessore del massetto									
F_d	A_d^z									
z	esponente del coefficiente del fattore relativo al diametro esterno dei tubi									
A_d (I)	coefficiente del fattore relativo al diametro esterno dei tubi									
$R_{s,CT}$ [m²K/W]	resistenza termica del sottopannello CT									
$R_{s,IN}$ [m²K/W]	resistenza termica del sottopannello IN									
S [m²]	Carico _{T+rip} [W/m²]	Q _{T+rip} [W]	I [m]	L_a [m]	L [m]	G [l/h]	Q [W]	Q_t [W]	G [m³/s]	v [m/s]
14,8	6,00	88,80								
15,4	6,00	92,40								
10,2	6,00	61,20								
4,1	25,43	104,28	0,375	19,08	30,01	23,04	206,75	213,80	6,400E-06	0,03
18,3	18,76	343,26	0,375	6,22	55,02	102,66	922,81	952,72	2,852E-05	0,14
3,4	25,39	86,34	0,375	22,82	31,89	19,11	171,45	177,37	5,309E-06	0,03
5,4	37,29	201,37	0,375	16,66	31,06	30,33	272,30	281,45	8,425E-06	0,04
5,9	47,54	280,47	0,375	6,98	22,71	33,13	297,52	307,46	9,203E-06	0,05
7,0	15,93	111,50	0,375	12,84	31,51	39,30	352,99	364,70	1,092E-05	0,05
7,6	31,65	240,57	0,375	10,00	30,27	42,66	383,24	395,93	1,185E-05	0,06
72,6	18,22	1323,00	0,375	10,28	203,96	407,31	3662,48	3779,87	1,131E-04	0,56
27,7	25,54	949,99	0,375	0,16	74,03	155,37	1396,81	1441,86	4,316E-05	0,21
5,9										
17,5	11,30	197,74	0,375	10,24	56,91	98,18	882,46	911,09	2,727E-05	0,14
3,5	58,36	204,25	0,375	30,72	40,05	19,67	176,49	182,58	5,465E-06	0,03

3,1	4,14	12,83	0,375	27,14	35,41	17,43	156,32	161,76	4,842E-06	0,02
4,4	37,36	164,39	0,375	21,74	33,47	24,72	221,88	229,41	6,867E-06	0,03
20,6	15,18	312,69	0,375	22,58	77,51	115,56	1038,79	1072,40	3,210E-05	0,16
78,6	15,10	1186,80	0,375	11,48	221,08	440,79	3963,52	4090,52	1,224E-04	0,61
39,4	17,06	672,15	0,375	2,00	107,07	220,98	1986,80	2050,69	6,138E-05	0,31
10,3	25,78	265,56	0,375	21,16	48,63	57,80	519,39	536,43	1,606E-05	0,08
2,2	19,21	42,27	0,375	1,54	7,41	12,38	110,94	114,93	3,440E-06	0,02
3,7	16,88	62,44	0,375	4,24	14,11	20,80	186,58	192,98	5,777E-06	0,03
3,5	21,36	74,77	0,375	0,10	9,43	19,67	176,49	182,58	5,465E-06	0,03
21,0	15,16	318,31	0,375	8,08	64,08	117,80	1058,96	1093,22	3,272E-05	0,16
2,1	53,14	111,59	0,375	18,88	24,48	11,82	105,90	109,73	3,284E-06	0,02
2,1	28,64	60,14	0,375	21,90	27,50	11,82	105,90	109,73	3,284E-06	0,02
17,5	3,59	62,87	0,375	6,10	52,77	98,18	882,46	911,09	2,727E-05	0,14
18,6	23,56	438,29	0,375	18,00	67,60	104,35	937,93	968,33	2,898E-05	0,14
4,6	35,16	161,72	0,375	17,86	30,13	25,84	231,96	239,82	7,178E-06	0,04
4	20,43	81,71	0,375	16,28	26,95	22,48	201,71	208,60	6,244E-06	0,03
2,1	41,35	86,84	0,375	0,10	5,70	11,82	105,90	109,73	3,284E-06	0,02
14,7	3,69	54,25	0,375	15,90	55,10	82,48	741,27	765,39	2,291E-05	0,11
27,2	17,04	463,46	0,375	9,36	81,89	152,57	1371,60	1415,84	4,238E-05	0,21
16,1	16,32	262,83	0,375	2,18	45,11	90,33	811,87	838,24	2,509E-05	0,12
40	26,10	1043,89	0,375	1,44	108,11	224,34	2017,06	2081,91	6,232E-05	0,31
2,5	43,69	109,23	0,375	6,88	13,55	14,07	126,07	130,54	3,907E-06	0,02
37,3	20,42	761,59	0,375	8,68	108,15	209,20	1880,91	1941,41	5,811E-05	0,29
27,2	26,56	722,46	0,375	8,68	81,21	152,57	1371,60	1415,84	4,238E-05	0,21
21,5	17,05	366,47	0,375	6,80	64,13	120,61	1084,17	1119,24	3,350E-05	0,17
4,5	45,82	206,19	0,375	16,34	28,34	25,28	226,92	234,61	7,023E-06	0,03
12,6	27,52	346,70	0,375	10,16	43,76	70,70	635,37	656,11	1,964E-05	0,10
19,4	21,89	424,74	0,375	8,24	59,97	108,83	978,27	1009,96	3,023E-05	0,15
9,9										
4,9	48,95	239,84	0,375	16,00	29,07	27,52	247,09	255,43	7,646E-06	0,04
5,6	50,10	280,54	0,375	14,06	28,99	31,45	282,39	291,85	8,736E-06	0,04
4,2										
19,7	22,10	435,28	0,375	2,02	54,55	110,51	993,40	1025,57	3,070E-05	0,15
15,8	10,53	166,35	0,375	0,10	42,23	88,65	796,74	822,63	2,462E-05	0,12
18,4	18,56	341,50	0,375	4,04	53,11	103,22	927,85	957,92	2,867E-05	0,14
4,6	38,64	177,77	0,375	6,56	18,83	25,84	231,96	239,82	7,178E-06	0,04
19,0	19,01	361,20	0,375	6,50	57,17	106,59	958,10	989,14	2,961E-05	0,15
5,8	45,26	262,52	0,375	21,02	36,49	32,57	292,47	302,26	9,048E-06	0,04
18,0	17,68	318,18	0,375	4,52	52,52	100,98	907,68	937,11	2,805E-05	0,14
4,7	52,29	245,79	0,375	15,92	28,45	26,40	237,00	245,02	7,334E-06	0,04
17,5	12,95	226,54	0,375	8,18	54,85	98,18	882,46	911,09	2,727E-05	0,14
12,5	21,95	274,43	0,375	7,06	40,39	70,14	630,33	650,91	1,948E-05	0,10
2	51,39	102,78	0,375	10,92	16,25	11,26	100,85	104,52	3,129E-06	0,02
3,1	32,12	99,57	0,375	13,46	21,73	17,43	156,32	161,76	4,842E-06	0,02
4,8	6,00	28,80								
13,7	20,41	279,66	0,375	15,52	52,05	76,87	690,84	713,35	2,135E-05	0,11
3,3	61,20	201,94	0,375	24,66	33,46	18,55	166,41	172,17	5,154E-06	0,03
4,3	57,23	246,10	0,375	11,84	23,31	24,16	216,83	224,21	6,711E-06	0,03
18,6	17,31	321,98	0,375	4,02	53,62	104,35	937,93	968,33	2,898E-05	0,14
14,9	22,72	367,37	0,375	0,10	39,83	83,60	751,36	775,79	2,322E-05	0,12
18,4	16,64	306,22	0,375	8,00	57,07	103,22	927,85	957,92	2,867E-05	0,14
4,1	53,23	218,25	0,375	18,02	28,95	23,04	206,75	213,80	6,400E-06	0,03
4,2	52,23	219,35	0,375	10,22	21,42	23,60	211,79	219,00	6,555E-06	0,03
18,5	19,88	367,73	0,375	5,00	54,33	103,79	932,89	963,13	2,883E-05	0,14
18,6	20,30	377,62	0,375	6,22	55,82	104,35	937,93	968,33	2,898E-05	0,14
4,1	53,46	219,19	0,375	20,16	31,09	23,04	206,75	213,80	6,400E-06	0,03
51,2										

Tab. 5.3-4 Parametri di calcolo per l'interasse 0,375 e foglio di calcolo relativo

5.3.3 Dimensionamento

Una volta assegnato ciascun pannello radiante al rispettivo collettore è possibile definire la portata complessiva di fluido termovettore passante attraverso questi (Tab. 5.3-5):

Collettori					
C1 - V [m ³ /h]	C2 - V [m ³ /h]	C3 - V [m ³ /h]	C4 - V [m ³ /h]	C5 - V [m ³ /h]	C6 - V [m ³ /h]
0,99	1,29	1,14	0,61	0,52	0,89

Tab. 5.3-5 Portate relative a ciascun collettore

Per la determinazione del volume di fluido presente all'interno di ciascun pannello è sufficiente conoscere la potenza di ciascun terminale una volta assegnato il valore del coefficiente specifico: 15 [l/kW].

Per la determinazione delle prevalenze da fornire all'impianto per la circolazione del fluido si calcolano invece anzitutto le perdite di carico distribuite come prodotto fra il valore della perdita di carico lineare di progetto, pari a 0,01 [mm c.a./m] o 98,10 [Pa/m], ed il valore di lunghezza di ciascun tubo derivato dalla somma della lunghezza di adduzione più la lunghezza effettiva nel locale trovata in relazione alla superficie dell'ambiente e all'interasse scelto. Alle perdite di carico vanno poi sommate le perdite di carico concentrate, assunte approssimativamente pari al 60% di quelle distribuite, con un extra di 50 [Pa] relativi alla valvola termostatica di regolazione al collettore.

Sommando tutti i contributi si ricava la prevalenza prestabilita per ciascun collettore, tramite la quale si può scegliere una prevalenza di zona, comune a tutti gli attacchi del collettore, solitamente attestata nel range tra i 1500 ed i 5000 [mm c.a.] (Tab. 5.3-6).

RADIANTE A PAVIMENTO											
	Collettori e Perdite di Carico				Prevalenza Richiesta					Prevalenza Prestabilita	Prevalenza di Zona
COD ICE	V [m ³ /h]	V [kg/h]	Collettore	Le [m]	Δp _c [Pa]	Δp _a [Pa]	Δp _{TOT} [mm c.a.]	Δp _{TOT} [Pa]	Δp _{TOT} [bar]	Δp _{pre} [mm c.a.]	Δp _{zona} [mm c.a.]
S01											
S02											
S03											
S04	0,04	40,56	C1	60,0 8	3536, 31	5893, 85	961,28	9430,1 6	0,09	1211,28	2200,00
S05	0,10	102,6 6	C1	55,0 2	3238, 48	5397, 46	880,32	8635,9 4	0,09	1130,32	2200,00
S06	0,03	33,64	C1	56,8 2	3344, 43	5574, 04	909,12	8918,4 7	0,09	1159,12	2200,00
S07	0,04	35,39	C1	34,6 6	2040, 09	3400, 15	554,56	5440,2 3	0,05	804,56	2200,00
S08	0,03	33,13	C1	22,7 1	1336, 91	2228, 18	363,41	3565,0 8	0,04	613,41	2200,00
S09	0,04	39,30	C1	31,5 1	1854, 48	3090, 80	504,11	4945,2 9	0,05	754,11	2200,00
S10	0,04	42,66	C1	30,2 7	1781, 50	2969, 16	484,27	4750,6 6	0,05	734,27	2200,00
S11	0,41	407,3 1	C1	104, 25	6136, 16	10226 ,93	1668,00	16363, 08	0,16	1918,00	2200,00
S12	0,16	155,3 7	C1	74,0 3	4357, 21	7262, 02	1184,43	11619, 23	0,12	1434,43	2200,00
S13											
S14	0,10	98,18	C1	56,9 1	3349, 53	5582, 54	910,51	8932,0 7	0,09	1160,51	2200,00
T01	0,03	34,63	C2	65,7 2	3868, 28	6447, 13	1051,52	10315, 41	0,10	1301,52	2200,00
T02	0,03	34,00	C2	89,1 4	5246, 78	8744, 63	1426,24	13991, 41	0,14	1676,24	2200,00
T03	0,03	33,65	C2	41,3 0	2430, 66	4051, 09	660,73	6481,7 5	0,06	910,73	2200,00
T04	0,12	115,5 6	C2	77,5 1	4562, 43	7604, 06	1240,21	12166, 49	0,12	1490,21	2200,00
T05	0,44	440,7 9	C2	116, 14	6836, 00	11393 ,33	1858,24	18229, 33	0,18	2108,24	2200,00
T06	0,22	220,9 8	C2	107, 07	6301, 94	10503 ,24	1713,07	16805, 18	0,17	1963,07	2200,00
T07	0,06	57,80	C2	48,6 3	2862, 17	4770, 28	778,03	7632,4 4	0,08	1028,03	2200,00
T08	0,02	24,13	C2	45,5 4	2680, 48	4467, 47	728,64	7147,9 6	0,07	978,64	2200,00
T09	0,04	36,61	C2	41,2 4	2427, 39	4045, 64	659,84	6473,0 3	0,06	909,84	2200,00
T10	0,03	34,63	C2	35,1 0	2065, 99	3443, 31	561,60	5509,3 0	0,06	811,60	2200,00
T11	0,12	117,8 0	C2	64,0 8	3771, 75	6286, 25	1025,28	10058, 00	0,10	1275,28	2200,00
T12	0,02	23,04	C2	42,0 0	2472, 12	4120, 20	672,00	6592,3 2	0,07	922,00	2200,00
T13	0,02	23,04	C2	63,9 0	3761, 15	6268, 59	1022,40	10029, 74	0,10	1272,40	2200,00
T14	0,10	98,18	C2	52,7 7	3105, 85	5176, 41	844,27	8282,2 6	0,08	1094,27	2200,00
T15	0,10	104,3 5	C3	67,6 0	3978, 94	6631, 56	1081,60	10610, 50	0,11	1331,60	2200,00
T16	0,04	35,18	C3	38,3 0	2254, 60	3757, 67	612,87	6012,2 7	0,06	862,87	2200,00

T17	0,04	39,57	C3	56,2 8	3312, 64	5521, 07	900,48	8833,7 1	0,09	1150,48	2200,00
T18	0,02	23,04	C3	42,1 0	2478, 01	4130, 01	673,60	6608,0 2	0,07	923,60	2200,00
T19	0,08	82,48	C3	55,1 0	3243, 19	5405, 31	881,60	8648,5 0	0,09	1131,60	2200,00
T20	0,15	152,5 7	C3	81,8 9	4820, 24	8033, 74	1310,29	12853, 98	0,13	1560,29	2200,00
T21	0,09	90,33	C3	45,1 1	2655, 37	4425, 62	721,81	7080,9 9	0,07	971,81	2200,00
T22	0,22	224,3 4	C3	108, 11	6363, 16	10605 ,26	1729,71	16968, 42	0,17	1979,71	2200,00
T23	0,03	27,42	C3	56,8 8	3347, 96	5579, 93	910,08	8927,8 8	0,09	1160,08	2200,00
T24	0,21	209,2 0	C3	108, 15	6365, 51	10609 ,19	1730,35	16974, 70	0,17	1980,35	2200,00
T25	0,15	152,5 7	C3	81,2 1	4780, 22	7967, 03	1299,41	12747, 24	0,13	1549,41	2200,00
P01	0,12	120,6 1	C4	64,1 3	3774, 89	6291, 48	1026,13	10066, 37	0,10	1276,13	1500,00
P02	0,03	34,41	C4	36,3 4	2138, 97	3564, 95	581,44	5703,9 3	0,06	831,44	1500,00
P03	0,07	70,70	C4	43,7 6	2575, 71	4292, 86	700,16	6868,5 7	0,07	950,16	1500,00
P04	0,11	108,8 3	C5	59,9 7	3530, 03	5883, 38	959,57	9413,4 1	0,09	1209,57	1500,00
P05											
P06	0,04	37,47	C5	37,7 8	2223, 60	3706, 00	604,44	5929,6 0	0,06	854,44	1500,00
P07	0,04	36,70	C4	32,7 3	1926, 29	3210, 49	523,63	5136,7 8	0,05	773,63	1500,00
P08											
P09	0,11	110,5 1	C4	54,5 5	3211, 01	5351, 68	872,85	8562,6 9	0,09	1122,85	1500,00
P10	0,09	88,65	C4	42,2 3	2485, 85	4143, 09	675,73	6628,9 4	0,07	925,73	1500,00
P11	0,10	103,2 2	C5	53,1 1	3125, 86	5209, 76	849,71	8335,6 2	0,08	1099,71	1500,00
P12	0,04	35,18	C5	27,0 0	1589, 48	2649, 14	432,07	4238,6 2	0,04	682,07	1500,00
P13	0,11	106,5 9	C4	57,1 7	3364, 83	5608, 05	914,67	8972,8 8	0,09	1164,67	1500,00
P14	0,04	38,01	C4	40,3 5	2375, 20	3958, 66	645,65	6333,8 6	0,06	895,65	1500,00
P15	0,10	100,9 8	C5	52,5 2	3091, 33	5152, 21	840,32	8243,5 4	0,08	1090,32	1500,00
P16	0,04	35,94	C5	36,8 1	2166, 57	3610, 95	588,94	5777,5 2	0,06	838,94	1500,00
P17	0,10	98,18	C5	54,8 5	3228, 27	5380, 46	877,55	8608,7 3	0,09	1127,55	1500,00
P18	0,07	70,14	C6	40,3 9	2377, 55	3962, 59	646,29	6340,1 4	0,06	896,29	1700,00
P19	0,02	21,94	C6	50,9 2	2997, 15	4995, 25	814,72	7992,4 0	0,08	1064,72	1700,00
P20	0,03	34,00	C6	75,4 6	4441, 58	7402, 63	1207,36	11844, 20	0,12	1457,36	1700,00
P21											
P22	0,08	76,87	C6	52,0 5	3063, 86	5106, 43	832,85	8170,2 9	0,08	1082,85	1700,00
P23	0,03	32,65	C6	57,6 6	3393, 87	5656, 45	922,56	9050,3 1	0,09	1172,56	1700,00
P24	0,03	32,88	C6	30,9 5	1821, 78	3036, 30	495,22	4858,0 9	0,05	745,22	1700,00

P25	0,10	104,35	C6	53,62	3156,07	5260,12	857,92	8416,20	0,08	1107,92	1700,00
P26	0,08	83,60	C6	39,83	2344,59	3907,65	637,33	6252,24	0,06	887,33	1700,00
P27	0,10	103,22	C6	57,07	3358,94	5598,24	913,07	8957,18	0,09	1163,07	1700,00
P28	0,04	40,56	C6	59,02	3473,92	5789,86	944,32	9263,78	0,09	1194,32	1700,00
P29	0,04	41,55	C6	52,22	3073,67	5122,78	835,52	8196,45	0,08	1085,52	1700,00
P30	0,10	103,79	C6	54,33	3198,06	5330,10	869,33	8528,16	0,09	1119,33	1700,00
P31	0,10	104,35	C6	55,82	3285,57	5475,94	893,12	8761,51	0,09	1143,12	1700,00
P32	0,04	40,56	C6	61,16	3599,88	5999,80	978,56	9599,67	0,10	1228,56	1700,00
P33											

Tab. 5.3-6 Calcolo delle perdite di carico e delle prevalenze richieste

Una volta individuato il terminale più sfavorito, la sua posizione rispetto alla centrale e stimate le perdite di carico, si può ipotizzare un circolatore adatto al funzionamento dell'impianto, come visionabile in Tab. 5.3-7.

Pompa - Mandata																
Terminale	Elemento	Tipologia	L [m]	D [m]	Δp [Pa]	r [Pa/m]	v [m/s]	v^2 [m ² /s ²]	V [m ³ /h]	ξ	z [Pa]	z_g [Pa]	H [Pa]	H [bar]	V_{TOT} [m ³ /h]	Pompa
P20	terminale - zona	dist.	75,46		15000,00	0,80	0,05	0,00			15000,00					
	valvola termostatica	conc.								\	50,00					
	collettore C6	conc.								\						
	RP1-RP6	dist.	31,60	40-33	370,00	1,17	0,18	0,03	0,89		370,00					
	10 * curva a 90°	conc.								15,00	243,00	66708,00	82484,40	0,82	5,44	32-909 [V]
	valvola a sfera a passaggio totale	conc.									0,20					
	valvola a farfalla	conc.									2,00	32,40				
	valvola a ritegno	conc.									2,00	32,40				
	passaggio attraverso caldaia	conc.									3,00	48,60				

Tab. 5.3-7 Scelta del circolatore

5.4 RAFFRESCAMENTO – VENTILCONVETTORI

Il raffrescamento, nel corso dei mesi estivi, è realizzato tramite un impianto a ventilconvettori, anche detti “fancoil”, di tipo abbastanza inusuale. Questi sono delle classiche cassette da controsoffitto con all'interno delle batterie fredde attraverso le quali passa il fluido termovettore, solo che l'alimentazione aeraulica non è fatta solo con aria ambiente miscelata, ma avviene principalmente con il flusso d'aria proveniente dall'UTA e dunque con l'aria primaria, la quale va poi a miscelarsi con l'aria ambiente. Questa tipologia di terminali, seppur un po' più costosi ed ingombranti di altri, permette di utilizzare un unico elemento sia per l'impianto di raffrescamento sia per la distribuzione dell'aria. Durante il periodo invernale il terminale continua a lavorare semplicemente con il fermo del funzionamento delle batterie a fluido termovettore.

In base alla tipologia di impianto si preferisce evitare di assegnare il compito della deumidificazione ambientale a questi terminali, la quale avverrebbe in maniera incontrollabile ed inefficiente, con oltretutto problemi di smaltimento della condensa, a favore di un controllo dell'umidità effettuato dall'UTA che vedremo nel prossimo capitolo. Per evitare problemi di condensa ai fancoil la soluzione adottata è quella di inviare il fluido termovettore ad una temperatura più alta rispetto a quella standard di 7 [°C], ed in particolare pari a 12 [°C], che, mantenendo il gradiente termico dei 5 [°C] standard comporta una temperatura di ritorno del fluido a 17 [°C].

5.4.1 Scelta dei terminali

È importante notare che le differenti temperature di lavoro si devono tenere in considerazione al momento della scelta dei terminali che

generalmente esprimono delle potenze termiche alla temperatura di 7 [°C]; essendo raramente disponibili, nei cataloghi dei produttori, i valori espressi a temperature differenti, si utilizza un coefficiente correttivo dei valori di potenza del 37%, dato dal rapporto tra i rispettivi gradienti termici di lavoro (temperatura di mandata rispetto alla temperatura ambientale nelle due casistiche) con l'intento di tener conto del minore scambio termico con alimentazione a 12 [°C] rispetto ai 7 [°C] di listino.

Come già indicato, ai ventilconvettori spetta il compito della compensazione dei carichi termici nel periodo estivo; questi sono associati al carico sensibile calcolato nel relativo capitolo, mentre la compensazione del calore latente è affidata all'impianto ad aria.

La scelta dei terminali è ricaduta su dei fancoil particolari poiché alimentati ad aria primaria, proveniente dall'UTA, miscelata in loco con l'aria presente in ambiente. Questo tipo di ventilconvettori è un po' più grande e costoso di alternative classiche ma permette un utilizzo condiviso con l'impianto di distribuzione dell'aria, come si vedrà nel successivo capitolo dedicato. La grandezza dei modelli scelti ed il numero di terminali presenti in ambiente è effettuata tramite il foglio di calcolo riportato sommariamente in Tab. 5.4-1 , cercando di eguagliare la potenza termica richiesta dal singolo ambiente con quella erogata dall'impianto di raffrescamento.

VENTILCONVETTORI									
CODICE	Q _{SENSIBILE,h15} [W]	Terminale	n°	Q [kW]	Q _{effettiva} [kW]	Q _{TOT} [kW]	Q _{TOT} [W]	Q _{TOT} [kW]	ΔQ [kW]
S01	420,36	CCN 13_1	1,00	0,64	0,40	0,40	403,20		-0,02
S02	437,40	CCN 13_1	1,00	0,64	0,40	0,40	403,20		-0,03
S03	289,70								
S04	93,49								
S05	1355,38	CCN 33_4	1,00	2,45	1,54	1,54	1543,50		0,02
S06	77,53								
S07	350,13								
S08	1506,45	CCN 34_5	1,00	2,91	1,83	1,83	1833,30		-0,02
S09	502,87								
S10	1652,38	CCN 34_6	1,00	3,17	2,00	2,00	1997,10		-0,16
S11	14085,50	CCN 34_6	7,00	3,17	2,00	13,98	13979,70		-0,11
S12	999,33	CCN 14_3	2,00	1,04	0,66	1,31	1310,40		0,02
S13	137,06								
S14	574,04	CCN 13_1	1,00	0,64	0,40	0,40	403,20		-0,17
T01	304,41								
T02	97,85								
T03	226,29	CCN 23_1	1,00	0,98	0,62	0,62	617,40		-0,01
T04	38402,65								
T05	4162,02	CCN 24_2	6,00	1,21	0,76	4,57	4573,80		0,41
T06	2622,46	CCN 23_3	3,00	1,43	0,90	2,70	2702,70		0,08
T07	936,00	CCN 23_3	1,00	1,43	0,90	0,90	900,90		-0,04
T08	158,05							72,44	
T09	265,80								
T10	251,44	CCN 24_2	1,00	1,21	0,76	0,76	762,30		0,09
T11	1171,27	CCN 13_2	3,00	0,79	0,50	1,49	1493,10		0,02
T12	153,58								
T13	151,89								
T14	574,04	CCN 13_1	1,00	0,64	0,40	0,40	403,20		-0,17
T15	1148,59	CCN 14_3	2,00	1,04	0,66	1,31	1310,40		0,16
T16	381,21								
T17	287,36								
T18	150,86	CCN 24_2	1,00	1,21	0,76	0,76	762,30		-0,06
T19	482,20	CCN 13_1	1,00	0,64	0,40	0,40	403,20		-0,26
T20	1581,70	CCN 13_2	3,00	0,79	0,50	1,49	1493,10		-0,09
T21	1302,48	CCN 13_1	3,00	0,64	0,40	1,21	1209,60		-0,09
T22	2484,48	CCN 13_2	5,00	0,79	0,50	2,49	2488,50		0,00
T23	179,60								
T24	3853,73	CCN 24_3	4,00	1,51	0,95	3,81	3805,20		-0,05
T25	1838,19	CCN 24_3	2,00	1,51	0,95	1,90	1902,60		0,06
P01	1616,82	CCN 24_3	2,00	1,51	0,95	1,90	1902,60		-0,07
P02	351,16								
P03	990,78								
P04	1376,52	CCN 24_3	2,00	1,51	0,95	1,90	1902,60		0,13

P05									
P06	393,77								
P07	447,64								
P08									
P09	1216,59	CCN 24_3	2,00	1,51	0,95	1,90	1902,60		0,24
P10	1082,28	CCN 24_2	3,00	1,21	0,76	2,29	2286,90		0,21
P11	1306,98	CCN 14_3	2,00	1,04	0,66	1,31	1310,40		0,00
P12	330,46								
P13	1191,81	CCN 24_3	2,00	1,51	0,95	1,90	1902,60		0,24
P14	468,43								
P15	1297,96	CCN 24_3	2,00	1,51	0,95	1,90	1902,60		0,24
P16	360,66								
P17	574,04	CCN 13_1	1,00	0,64	0,40	0,40	403,20		-0,17
P18	922,81	CCN 13_2	2,00	0,79	0,50	1,00	995,40		0,07
P19	143,68	CCN 13_1	1,00	0,64	0,40	0,40	403,20		0,03
P20	226,05								
P21	109,45								
P22	792,45	CCN 24_3	2,00	1,51	0,95	1,90	1902,60		0,85
P23	255,82								
P24	354,37								
P25	1540,77	CCN 24_3	2,00	1,51	0,95	1,90	1902,60		0,01
P26	1039,24	CCN 14_3	2,00	1,04	0,66	1,31	1310,40		0,16
P27	1290,73	CCN 24_3	2,00	1,51	0,95	1,90	1902,60		-0,20
P28	812,09								
P29	346,88								
P30	1541,40	CCN 24_3	2,00	1,51	0,95	1,90	1902,60		0,01
P31	1298,75	CCN 24_3	2,00	1,51	0,95	1,90	1902,60		0,29
P32	314,55								
P33									

Tab. 5.4-1 Calcolo delle potenze dei ventilconvettori

Una volta selezionati i terminali è necessario, vista la connessione tra raffrescamento e ricambio dell'aria in ambiente, prendere in considerazione le portate d'aria primaria elaborate da ciascun terminale, le quali devono essere coerenti ed accettabili da parte dell'impianto ad aria collegato alla centrale di trattamento dell'aria. I valori di portata relativi ai fancoil sono riassunti in Tab. 5.4-2.

VENTILCONVETTORI					
CODICE	V _{acqua} [m ³ /h]	V _{fc} [m ³ /h]	V _{fc,TOT} [m ³ /h]	Δp [kPa]	L _{wa} [dB]
S01	0,07	140,00	140,00	2,40	26,00
S02	0,07	140,00	140,00	2,40	26,00
S03					
S04					
S05	0,27	540,00	540,00	19,40	39,00
S06					
S07					
S08	0,32	620,00	620,00	15,50	46,00
S09					
S10	0,34	680,00	680,00	15,50	46,00
S11	2,40	680,00	3808,00	15,50	46,00
S12	0,23	220,00	440,00	9,20	37,00
S13					
S14	0,07	140,00	140,00	2,40	26,00
T01					
T02					
T03	0,11	200,00	200,00	2,90	24,00
T04					
T05	0,79	240,00	1440,00	6,00	27,00
T06	0,46	305,00	915,00	5,50	33,00
T07	0,15	305,00	305,00	5,50	33,00
T08					
T09					
T10	0,13	240,00	240,00	6,00	27,00
T11	0,26	180,00	540,00	3,30	32,00
T12					
T13					
T14	0,07	140,00	140,00	2,40	26,00
T15	0,23	220,00	440,00	9,20	37,00
T16					
T17					
T18	0,13	240,00	240,00	6,00	27,00
T19	0,07	140,00	140,00	2,40	26,00
T20	0,26	180,00	540,00	3,30	32,00
T21	0,21	140,00	420,00	2,40	26,00
T22	0,43	180,00	900,00	3,30	32,00
T23					
T24	0,65	305,00	1220,00	8,60	33,00
T25	0,33	305,00	610,00	8,60	33,00
P01	0,33	305,00	610,00	8,60	33,00
P02					
P03					
P04	0,33	305,00	610,00	8,60	33,00
P05					
P06					
P07					
P08					

P09	0,33	305,00	610,00	8,60	33,00
P10	0,39	240,00	720,00	6,00	27,00
P11	0,23	220,00	440,00	9,20	37,00
P12					
P13	0,33	305,00	610,00	8,60	33,00
P14					
P15	0,33	305,00	610,00	8,60	33,00
P16					
P17	0,07	140,00	140,00	2,40	26,00
P18	0,17	180,00	360,00	3,30	32,00
P19	0,07	140,00	140,00	2,40	26,00
P20					
P21					
P22	0,33	305,00	610,00	8,60	33,00
P23					
P24					
P25	0,33	305,00	610,00	8,60	33,00
P26	0,23	220,00	440,00	9,20	37,00
P27	0,33	305,00	610,00	8,60	33,00
P28					
P29					
P30	0,33	305,00	610,00	8,60	33,00
P31	0,33	305,00	610,00	8,60	33,00
P32					
P33					

Tab. 5.4-2 Calcolo delle portate dei ventilconvettori

5.4.2 Tubazioni

Per l'alimentazione dei fancoil si scelgono delle tubazioni in multistrato, le quali sono dimensionate con il metodo a "perdita di carico costante", assumendo una perdita lineare specifica di progetto pari a 12 [mm c.a./m] che viene utilizzata per l'ingresso nei diagrammi di calcolo insieme alle portate di fluido termovettore, e nel rispetto del range ottimale di velocità del fluido termovettore:

- $0,6 \text{ [m/s]} < v_{f.\text{termovettore}} < 4,6 \text{ [m/s]}$

Per l'individuazione delle tubazioni si utilizza poi un sistema di identificazione dei nodi e dei terminali, con corrispondenza grafica, tramite la seguente nomenclatura:

- I ~ nodi delle tubazioni

- F ~ nodi dei canali di ripresa
- S ~ prefisso dei terminali ubicati nel piano seminterrato
- T ~ prefisso dei terminali ubicati al piano terra
- P ~ prefisso dei terminali ubicati al piano primo

In Tab. 5.4-3 si riporta il foglio di calcolo relativo al dimensionamento delle tubazioni di mandata, assumendo come del tutto analogo quello relativo al ritorno.

Idronico							Idronico						
PRINCIPAL I	L [m]	V _{acqua} [m ³ /h]	D [mm]	Δp [m c.a.]	r [m c.a.]	v [m/s]	SECONDAR I	L [m]	V _{acqua} [m ³ /h]	D [mm]	Δp [m c.a.]	r [m c.a.]	v [m/s]
IS-IS1	5,7	3,77	50-42	99	17,3 2	0,76	IS8-FS1	4,9	0,07	14-10	72	14,7 7	0,25
IS1-IS2	0,5	2,40	50-42	4	7,86	0,48	IS7-FS2	0,5	0,12	16- 11,5	10	19,5 3	0,32
IS2-IS3	1,7	1,03	32-26	30	17,4 5	0,54	IS10-FS3	0,1	0,12	16- 11,5	2	19,5 3	0,32
IS3-IS4	2,5	0,69	32-26	22	8,66	0,36	IS12-FS4	2,1	0,27	26-20	12	5,83	0,24
IS2-IS5	1,7	1,37	40-33	16	9,26	0,44	IS12-FS5	2,1	0,07	14-10	31	14,7 7	0,25
IS5-IS6	6,3	0,69	32-26	55	8,66	0,36	IS12-FS6	6,0	0,07	14-10	89	14,7 7	0,25
IS1-IS7	2,8	1,37	40-33	26	9,26	0,44	IS11-FS7	2,9	0,32	26-20	23	7,84	0,28
IS7-IS8	3,6	1,26	40-33	29	8	0,41	IS11-FS8	3,1	0,34	26-20	27	8,72	0,3
IS8-IS9	2,0	1,19	40-33	14	7,24	0,39	IS6-FS9	0,3	0,34	26-20	3	8,72	0,3
IS9-IS10	0,4	0,78	32-26	4	10,7 3	0,41	IS5-FS10	0,3	0,34	26-20	3	8,72	0,3
IS10-IS11	3,3	0,66	32-26	26	8,01	0,35	IS6-FS11	0,3	0,34	26-20	3	8,72	0,3
IS9-IS12	5,8	0,41	26-20	70	12,1	0,36	IS5-FS12	0,3	0,34	26-20	3	8,72	0,3
							IS4-FS13	4,0	0,34	26-20	35	8,72	0,3
							IS3-FS14	0,3	0,34	26-20	3	8,72	0,3
							IS4-FS15	1,5	0,34	26-20	13	8,72	0,3
IT-IT1	3,7	4,28	63-51	32	8,6	0,58	IT2-FT1	2,3	0,12	16- 11,5	45	19,5 3	0,32
IT1-IT2	2,3	2,20	50-42	16	6,75	0,44	IT2-FT2	2,3	0,12	16- 11,5	45	19,5 3	0,32
IT2-IT3	2,8	1,97	40-33	49	17,4 9	0,64	IT3-FT3	0,6	0,07	14-10	9	14,7 7	0,25
IT3-IT4	2,2	1,90	40-33	36	16,4 2	0,62	IT4-FT4	1,4	0,13	20-15	9	6,36	0,2
IT4-IT5	2,1	0,26	26-20	11	5,45	0,23	IT5-FT5	1,1	0,09	16- 11,5	13	11,8	0,24
IT4-IT6	1,9	1,51	40-33	21	10,9 8	0,49	IT5-FT6	0,5	0,09	16- 11,5	13	11,8	0,24
IT6-IT7	1,6	1,36	40-33	15	9,14	0,44	IT5-FT7	3,5	0,09	16- 11,5	13	11,8	0,24
IT7-IT8	7,2	0,79	32-26	79	10,9 7	0,41	IT6-FT8	0,5	0,15	20-15	4	8,17	0,24
IT8-IT9	3,3	0,26	26-20	18	5,45	0,23	IT12-FT9	0,3	0,15	20-15	4	8,17	0,24
IT8-IT10	0,6	0,53	26-20	11	18,9 7	0,47	IT9-FT10	0,7	0,13	20-15	4	6,36	0,2
IT10-IT11	1,1	0,26	26-20	6	5,45	0,23	IT9-FT11	0,7	0,13	20-15	4	6,36	0,2
IT7-IT12	2,0	0,57	32-26	12	6,2	0,3	IT10-FT12	0,7	0,13	20-15	4	6,36	0,2
IT12-IT13	5,7	0,30	26-20	40	7,01	0,27	IT10-FT13	0,7	0,13	20-15	4	6,36	0,2
IT1-IT14	1,8	2,08	40-33	35	19,2 3	0,68	IT11-FT14	3,2	0,13	20-15	20	6,36	0,2
IT14-IT15	2,0	0,26	26-20	11	5,45	0,23	IT11-FT15	3,2	0,13	20-15	20	6,36	0,2
IT14-IT16	0,1	1,82	40-33	2	15,2 3	0,59	IT12-FT16	7,2	0,11	16- 11,5	121	16,7 7	0,29
IT15-IT17	2,6	1,69	40-33	35	13,3 7	0,55	IT13-FT17	0,7	0,15	20-15	6	8,17	0,24
IT17-IT18	3,1	0,21	20-15	46	14,7 2	0,33	IT13-FT18	3,6	0,15	20-15	29	8,17	0,24

IT17-IT19	0,5	1,48	40-33	5	10,6	0,48	IT16-FT19	1,8	0,13	20-15	11	6,36	0,2
IT19-IT20	2,4	1,41	40-33	23	9,74	0,46	IT15-FT20	1,2	0,09	16-11,5	14	11,8	0,24
IT20-IT21	3,2	1,32	40-33	28	8,68	0,43	IT15-FT21	1,2	0,09	16-11,5	14	11,8	0,24
IT21-IT22	5,9	0,65	32-26	46	7,8	0,34	IT15-FT22	2,3	0,09	16-11,5	27	11,8	0,24
IT22-IT23	1,4	0,33	26-20	12	8,28	0,29	IT19-FT23	0,4	0,07	14-ott	6	14,7 7	0,25
IT22-IT24	1,4	0,33	26-20	12	8,28	0,29	IT18-FT24	2,3	0,07	14-ott	34	14,7 7	0,25
IT21-IT25	1,8	0,67	32-26	15	8,22	0,35	IT18-FT25	2,3	0,07	14-ott	34	14,7 7	0,25
IT25-IT26	3,0	0,34	26-20	26	8,72	0,3	IT18-FT26	1,0	0,07	14-ott	15	14,7 7	0,25
IT26-IT27	1,5	0,17	20-15	15	10,1 7	0,27	IT20-FT27	4,1	0,09	16-11,5	48	11,8	0,24
IT26-IT28	1,5	0,17	20-15	15	10,1 7	0,27	IT24-FT28	1,4	0,16	20-15	13	9,15	0,25
IT25-IT29	6,3	0,33	26-20	52	8,28	0,29	IT24-FT29	1,4	0,16	20-15	13	9,15	0,25
							IT23-FT30	1,4	0,16	20-15	13	9,15	0,25
							IT23-FT31	1,4	0,16	20-15	13	9,15	0,25
							IT27-FT32	1,2	0,09	16-11,5	14	11,8	0,24
							IT27-FT33	1,2	0,09	16-11,5	14	11,8	0,24
							IT28-FT34	1,2	0,09	16-11,5	14	11,8	0,24
							IT28-FT35	1,2	0,09	16-11,5	14	11,8	0,24
							IT29-FT36	1,8	0,17	20-15	18	10,1 7	0,27
							IT29-FT37	1,8	0,17	20-15	18	10,1 7	0,27
IP-IP1	3,7	4,39	63-51	33	8,99	0,6	IP2-FP1	0,3	0,06	14-10	3	11,2 8	0,21
IP1-IP2	1,2	2,51	50-42	10	8,5	0,5	IP3-FP2	2,4	0,06	14-10	27	11,2 8	0,21
IP2-IP3	0,4	2,45	50-42	3	8,15	0,49	IP3-FP31	2,8	0,06	14-10	32	11,2 8	0,21
IP3-IP4	3,1	2,34	50-42	23	7,52	0,47	IP4-FP3	0,1	0,07	14-10	1	14,7 7	0,25
IP4-IP5	2,9	2,27	50-42	21	7,13	0,46	IP5-FP4	0,9	0,13	20-15	6	6,36	0,2
IP5-IP6	3,8	2,14	50-42	24	6,43	0,43	IP7-FP5	2,1	0,13	20-15	13	6,36	0,2
IP6-IP7	0,7	1,15	40-33	5	6,82	0,37	IP7-FP6	2,1	0,13	20-15	13	6,36	0,2
IP7-IP8	3,1	0,89	32-26	42	13,5 1	0,47	IP9-FP7	1,4	0,17	20-15	14	10,1 7	0,27
IP8-IP9	3,4	0,33	26-20	28	8,28	0,29	IP9-FP8	1,4	0,17	20-15	14	10,1 7	0,27
IP8-IP10	2,1	0,56	32-26	13	6,01	0,29	IP10-FP9	1,8	0,12	16-11,5	35	19,5 3	0,3
IP10-IP11	3,6	0,33	26-20	30	8,28	0,29	IP10-FP10	2,9	0,12	16-11,5	57	19,5 3	0,32
IP6-IP12	4,5	0,99	32-26	73	16,2 8	0,52	IP11-FP11	1,9	0,17	20-15	19	10,1 7	0,27
IP12-IP13	4,1	0,33	26-20	34	8,28	0,29	IP11-FP12	1,9	0,17	20-15	19	10,1 7	0,27
IP12-IP14	0,8	0,66	32-26	6	8,01	0,35	IP13-FP13	2,5	0,17	20-15	25	10,1 7	0,27
IP14-IP15	4,8	0,33	26-20	40	8,28	0,29	IP13-FP14	2,5	0,17	20-15	25	10,1 7	0,27

IP1-IP16	0,9	1,88	40-33	15	16,1 2	0,61	IP14-FP15	1,4	0,17	20-15	14	10,1 7	0,27
IP16-IP17	1,0	1,77	40-33	15	14,5	0,57	IP14-FP16	1,4	0,17	20-15	14	10,1 7	0,27
IP17-IP18	1,6	0,33	26-20	13	8,28	0,29	IP15-FP17	1,4	0,17	20-15	14	10,1 7	0,27
IP17-IP19	4,0	1,44	40-33	40	10,1 1	0,47	IP15-FP18	1,4	0,17	20-15	14	10,1 7	0,27
IP19-IP20	2,5	0,33	26-20	21	8,28	0,29	IP18-FP19	1,8	0,17	20-15	18	10,1 7	0,27
IP19-IP21	0,9	1,11	32-26	18	19,8 9	0,58	IP18-FP20	2,7	0,17	20-15	27	10,1 7	0,27
IP21-IP22	1,4	0,33	26-20	12	8,28	0,29	IP16-FP21	0,5	0,12	20-15	5	10,1 7	0,27
IP21-IP23	4,1	0,78	32-26	44	10,7 3	0,41	IP20-FP22	4,0	0,17	20-15	41	10,1 7	0,27
IP23-IP24	0,5	0,66	32-26	4	8,01	0,35	IP20-FP23	1,1	0,17	20-15	11	10,1 7	0,27
IP24-IP25	2,5	0,33	26-20	21	8,28	0,29	IP22-FP24	1,2	0,17	20-15	12	10,1 7	0,27
IP25-IP26	1,4	0,33	26-20	12	8,28	0,29	IP22-FP25	3,0	0,17	20-15	31	10,1 7	0,27
							IP23-FP26	0,9	0,12	16- 11,5	18	19,5 3	0,32
							IP25-FP27	4,0	0,17	20-15	41	10,1 7	0,27
							IP25-FP28	1,1	0,17	20-15	11	10,1 7	0,27
							IP26-FP29	1,2	0,17	20-15	12	10,1 7	0,27
							IP26-FP30	3,0	0,17	20-15	31	10,1 7	0,27

Tab. 5.4-3 Dimensionamento delle tubazioni dei ventilconvettori

5.4.3 Circolatore

Una volta individuato il terminale più sfavorito tra i ventilconvettori presenti nell'edificio, si valutano le perdite distribuite considerando gli effettivi valori di perdita lineare specifica, i quali possono differire in parte dal valore di progetto di 12 [mm c.a./m] in funzione del diametro commerciale del tubo selezionato, in ogni tratto che intercorre fra la centrale termica e suddetto terminale.

$$\Delta p_d = \sum_i r_i * L_i$$

Dove,

- Δp_d ~ perdite di carico distribuite
- r_i [mm c.a./m] o [Pa/m] ~ perdita di carico specifica per metro lineare del tratto di tubazione i-esima

- L_i [m] ~ lunghezza del tratto di tubazione i-esima

Per quanto riguarda le perdite concentrate invece, queste vengono determinate su base approssimativa individuando i possibili elementi “speciali” di disturbo del flusso d’acqua, utilizzando i coefficienti di perdita ξ presenti nelle tabelle messe a disposizione dalla Caleffi e di cui si riporta un esempio in Fig. 5.4-1 [11] per le tubazioni in materiale plastico. Da ogni coefficiente è possibile ricavare il corrispondente valore di perdita di carico in [Pa] tramite la formula:

$$\Delta p_c = \frac{\rho_a * \xi * v^2}{2}$$

Dove,

- Δp_c [Pa] ~ perdite di carico concentrate
- ρ_a [kg/m³] ~ densità dell’aria
- ξ ~ coefficiente di perdita relativo al “pezzo speciale”
- v [m/s] ~ velocità del flusso d’aria nel tratto ove presente il “pezzo speciale”

Valori del coefficiente di perdita localizzata ξ (reti di distribuzione)

Diametro interno tubi in acciaio inox, rame e materiale plastico		8 - 16 mm	18 - 28 mm	30 - 54 mm	> 54 mm	
Diametro tubi in acciaio		3/8" - 1/2"	3/4" - 1"	1 1/4" - 2"	> 2"	
Tipo di resistenza localizzata		Simbolo				
Curva stretta a 90°	$r/d = 1,5$		2,0	1,5	1,0	0,8
Curva normale a 90°	$r/d = 2,5$		1,5	1,0	0,5	0,4
Curva larga a 90°	$r/d > 3,5$		1,0	0,5	0,3	0,3
Curva stretta a U	$r/d = 1,5$		2,5	2,0	1,5	1,0
Curva normale a U	$r/d = 2,5$		2,0	1,5	0,8	0,5
Curva larga a U	$r/d > 3,5$		1,5	0,8	0,4	0,4
Allargamento			1,0			
Restringimento			0,5			
Diramazione semplice con T a squadra			1,0			
Confluenza semplice con T a squadra			1,0			
Diramazione doppia con T a squadra			3,0			
Confluenza doppia con T a squadra			3,0			
Diramazione semplice con angolo inclinato (45° - 60°)			0,5			
Confluenza semplice con angolo inclinato (45° - 60°)			0,5			
Diramazione con curve d'invito			2,0			
Confluenza con curve d'invito			2,0			

46-1

46-1

Fig. 5.4-1 Perdite di carico localizzate nelle tubazioni [11]

La prevalenza richiesta al circolatore e la portata da esso elaborata è calcolata nella Tab. 5.4-4.

Circolatore - Mandata														
T	Tratto	Elemento	Tip o	L [m]	D [mm]	Δp [Pa]	r [Pa/m]	v ² [m ² /s ²]	ξ	z [Pa]	z _g [Pa]	H [Pa]	V _{TOT_ripres} [m ³ /h]	
FP1 1	FP11	terminale	c							0,5	18,2	66708, 0	72381, 9	12,5
	IP11 - FP11	rettilineo	d	0,2	20-15	19,0 0	10,17	0,07			19,00			
	IP11 - FP11	diramazione doppia a T	c							3	109,4			
	IP10- IP11	rettilineo	d	3,6	26-20	30,0 0	8,28	0,08			30,00			
	IP10- IP11	curva a 90°	c							1,5	63,1			
	IP10- IP11	restringiment o	c							0,5	21,0			
	IP10- IP11	diramazione semplice a T	c							1	42,1			
	IP8- IP10	rettilineo	d	2,1	32-26	13,0 0	6,01	0,08			13,00			
	IP8- IP10	curva a 90°	c							1,5	63,1			
	IP8- IP10	restringiment o	c							0,5	21,0			
	IP8- IP10	diramazione semplice a T	c							1	42,1			
	IP7- IP8	rettilineo	d	3,1	32-26	42,0 0	13,51	0,22			42,00			
	IP7- IP8	restringiment o	c							0,5	55,2			
	IP7- IP8	diramazione semplice a T	c							1	110,5			
	IP6- IP7	rettilineo	d	0,7	40-33	5	6,82	0,14			5,00			
	IP6- IP7	restringiment o	c							0,5	34,2			
	IP6- IP7	diramazione semplice a T	c							1	68,5			
	IP5- IP6	rettilineo	d	3,8	50-42	24	6,43	0,18			24,00			
	IP5- IP6	restringiment o	c							0,5	46,2			
	IP5- IP6	diramazione semplice a T	c							1	92,5			
IP4- IP5	rettilineo	d	2,9	50-42	21	7,13	0,21			21,00				
IP4- IP5	restringiment o	c							0,5	52,9				
IP4- IP5	diramazione semplice a T	c							1	105,8				
IP3- IP4	rettilineo	d	3,1	50-42	23	7,52	0,22			23,00				
IP3- IP4	restringiment o	c							0,5	55,2				
IP3- IP4	diramazione semplice a T	c							1	110,5				
IP2- IP3	rettilineo	d	0,4	50-42	3	8,15	0,24			3,00				

IP2- IP3	restringiment o	c						0,5	60,0			
IP2- IP3	diramazione semplice a T	c						1	120,1			
IP1- IP2	rettilineo	d	1,2	50-42	10	8,5	0,25		10,00			
IP1- IP2	restringiment o	c						0,5	62,5			
IP1- IP2	diramazione semplice a T	c						1	125,0			
IP-IP1	rettilineo	d	3,7	63-51	33,0	9,0	0,4		33,0			
IP-IP1	restringiment o	c						0,5	90,0			
IP-IP1	diramazione semplice a T	c						1	180,0			
IPs1- IP	rettilineo	d	3,7	63-51	33,0	9,0	0,4		33,0			
IPs1- IP	curva a 90°	c						1,5	270,0			
IPs1- IP	curva a 90°	c						1,5	270,0			
IPS- IPS1	rettilineo	d	3,7	63-51	33,0	9,0	0,4		33,0			
IPS- IPS1	curva a 90°	c						1,5	270,0			
IPS- IPS1	curva a 90°	c						1,5	270,0			
\	valvola a sfera a passaggio totale	c						0,2	36			
\	valvola a farfalla	c						2,0	360			
\	valvola a ritegno	c						2,0	360			
\	valvola a tre vie	c						10, 0	1800			

Tab. 5.4-4 Calcolo della prevelanza e della portata associate al circolatore

5.5 IMPIANTO AD ARIA

5.5.1 Caratteristiche d'impianto

Per il raggiungimento di un comfort di alto livello è necessario non solo assicurare i ricambi minimi di aria per le condizioni di salubrità della stessa, ma anche effettuare un controllo accurato dell'umidità; a questo scopo risulta insufficiente l'utilizzo di semplice ventilazione meccanica ed

è per questo che ci si rivolge all'utilizzo di un'unità di trattamento dell'aria con annessa distribuzione.

Le finalità dell'UTA (Unità di Trattamento dell'Aria) variano in base al periodo di funzionamento: invernale od estivo.

Nel periodo freddo dell'anno, infatti, il compito di riscaldare i locali e portarli alla temperatura di progetto è assegnato all'impianto di riscaldamento tramite pannelli radianti a pavimento, ciò che spetta all'UTA è dunque l'effettuazione del ricambio dell'aria primaria dall'esterno, la quale viene immessa nell'edificio direttamente alle condizioni di temperatura e di umidità prestabilite.

Durante la stagione estiva il raffrescamento è invece solo parzialmente a carico dell'impianto a ventilconvettori, questo perché all'UTA non solo è affidato il compito del ricambio d'aria ma anche la compensazione di tutto il calore latente prodotto, il quale non viene considerato nel periodo invernale quando rappresenta un apporto positivo al sistema.

Per le distinzioni sopra riportate si prevede una differenza di carico importante nei due periodi dell'anno, i quali tuttavia non risultano problematici grazie ai sistemi di regolazione elettronici ad inverter.

Il dimensionamento dell'impianto è realizzato prendendo in considerazione il periodo estivo nel quale la portata elaborata dal sistema è maggiore.

5.5.2 Valutazione della portata

La portata d'aria transitante attraverso l'UTA si assume di valore pari al massimo tra il minimo valore di ricambio dell'aria ed il valore richiesto per la compensazione del carico latente nel periodo estivo, quest'ultimo calcolato tramite la formula inversa della formula della potenza:

$$\dot{V} = \frac{Q_{LATENTE}}{\rho * c_p * \Delta T}$$

Dove,

- ρ [kg/m³] ~ densità dell'aria
- c_p [J/kgK] ~ calore specifico dell'aria
- ΔT [K] ~ salto termico

Tale portata risulta sempre maggiore di quella richiesta per il ricambio minimo, come è possibile vedere in Tab. 5.5-1, pertanto si assume a riferimento per il dimensionamento dell'impianto.

Nel calcolo della portata complessiva si esclude il valore richiesto dal locale cucina per il quale si prevede un impianto dedicato con cappe a recupero di calore, questo per non sbilanciare eccessivamente l'impianto principale con carichi intermittenti ed importanti come quello in questione.

UTA - ESTIVO							
CODI CE	Q _{LATENTE,h15} [W/m ²]	Q _{LATENTE,h15} [W]	V _{PRIMARIA} [m ³ /h]	V _{TOT,PRIMARIA} [m ³ /h]	V _{LATENTE} [m ³ /h]	V _{TOT,i} [m ³ /h]	V _{immissione} [m ³ /s]
S01	21,90	324,15	22,20		84,14		0,036
S02	21,90	337,29	23,10		87,55		0,037
S03	21,90	223,40	15,30		57,99		0,025
S04	9,82	40,27	6,15		10,45		0,004
S05	24,92	456,07	27,45		118,38		0,050
S06	9,82	33,39	5,10		8,67		0,004
S07	157,15	848,61	129,60		220,28		0,094
S08	202,45	1194,46	141,60		310,05		0,132
S09	172,25	1205,75	168,00		312,98		0,133
S10	202,45	1538,62	182,40		399,38		0,170
S11	85,88	18679,47	594,00		4848,66		2,065
S12	13,92	385,64	41,55		100,10		0,043
S13							
S14	30,32	530,63	26,25		137,74		0,059
T01	172,25	602,88	84,00		156,49		0,067
T02	9,82	30,45	4,65		7,90		0,003
T03	9,82	43,22	6,60		11,22		0,005
T04	342,72	7060,08	1019,70		1832,60		0,781
T05	69,67	5476,05	648,00		1421,43		0,605
T06	13,92	548,52	59,10		142,38		0,061
T07	41,03	422,61	40,79		109,70		0,047
T08	172,25	378,95	52,80	7458,22	98,36	19982,74	0,042
T09	172,25	637,33	88,80		165,43		0,070
T10	172,25	602,88	84,00		156,49		0,067
T11	36,05	757,10	91,80		196,52		0,084
T12	172,25	361,73	50,40		93,89		0,040
T13	172,25	361,73	50,40		93,89		0,040
T14	30,32	530,63	26,25		137,74		0,059
T15	24,92	463,55	27,90		120,32		0,051
T16	172,25	792,35	110,40		205,67		0,088
T17	172,25	689,00	96,00		178,85		0,076
T18	172,25	361,73	50,40		93,89		0,040
T19	30,32	445,73	22,05		115,70		0,049
T20	105,41	2867,15	249,70		744,23		0,317
T21	75,71	1218,93	147,80		316,40		0,135
T22	105,41	4216,40	367,20		1094,46		0,466
T23	172,25	430,63	60,00		111,78		0,048
T24	172,64	6439,29	805,68		1671,46		0,712
T25	86,32	2347,84	293,76		609,43		0,260
P01	28,96	622,60	79,20		161,61		0,069
P02	172,25	775,13	108,00		201,20		0,086
P03	181,12	2282,09	302,40		592,37		0,252
P04	32,09	622,60	79,20		161,61		0,069

P05					
P06	172,25	844,03	117,60	219,09	0,093
P07	172,25	964,60	134,40	250,38	0,107
P08					
P09	31,60	622,60	79,20	161,61	0,069
P10	33,61	531,09	23,70	137,85	0,059
P11	33,84	622,60	79,20	161,61	0,069
P12	172,25	792,35	110,40	205,67	0,088
P13	32,77	622,60	79,20	161,61	0,069
P14	172,25	999,05	139,20	259,33	0,110
P15	34,59	622,60	79,20	161,61	0,069
P16	172,25	809,58	112,80	210,14	0,090
P17	30,32	530,63	26,25	137,74	0,059
P18	24,92	311,52	18,75	80,86	0,034
P19	172,25	344,50	48,00	89,42	0,038
P20	172,25	533,98	74,40	138,60	0,059
P21	9,82	47,15	7,20	12,24	0,005
P22	22,72	311,30	39,60	80,80	0,034
P23	172,25	568,43	79,20	147,55	0,063
P24	172,25	740,68	103,20	192,26	0,082
P25	33,47	622,60	79,20	161,61	0,069
P26	30,32	451,80	22,35	117,27	0,050
P27	33,84	622,60	79,20	161,61	0,069
P28	162,35	665,64	98,40	172,78	0,074
P29	172,25	723,45	100,80	187,79	0,080
P30	33,65	622,60	79,20	161,61	0,069
P31	33,47	622,60	79,20	161,61	0,069
P32	172,25	706,23	98,40	183,32	0,078
P33					

Tab. 5.5-1 Calcolo delle portate di aria per la Centrale di Trattamento dell' Aria

5.5.3 Impianto di mandata

La portata così calcolata nel paragrafo precedente, si ripartisce attraverso due tipologie di terminali; si considera anzitutto la portata nominale che ciascuna cassetta va effettivamente a lavorare, mentre la portata in difetto viene compensata attraverso ulteriori diffusori dedicati.

Come affermato nel relativo capitolo, i terminali di mandata sono perlopiù gli stessi ventilconvettori, ovvero delle cassette con batteria funzionante solamente nel periodo estivo, con alimentazione ad aria primaria proveniente dall'UTA e con capacità di miscelazione; a questi sono

affiancati ulteriori diffusori dedicati per l'uso esclusivo nei locali ove la portata gestita dai terminali sopra risulta insufficiente. I diffusori supplementari sono delle cassette rettangolari, multi-ugello, adagiate anch'esse nel controsoffitto e configurabili in varie modalità di emissione, sia con lo sfruttamento dell'Effetto Coanda, per il periodo estivo, sia con la diffusione verticale per l'inverno.

Come appare chiaro dalla successiva Tab. 5.5-2, per la determinazione della portata inviata ai terminali aggiuntivi, viene calcolato prima, l'eccesso od il difetto di portata d'aria facendo la differenza tra quella effettivamente disponibile tramite i fancoil e quella teoricamente richiesta.

$$\Delta\dot{V} = \dot{V}_{FC} - \dot{V}_{immissione}$$

Un'ulteriore accortezza progettuale, le cui motivazioni sono spiegate nel successivo capitolo della ripresa, è quella di non effettuare immissione d'aria nei locali adibiti a bagni, dove il ricambio d'aria è assicurato tramite i passaggi d'aria dagli altri locali tramite griglie di passaggio.

UTA - ESTIVO									
Dati		Aeraulico Mandata							
CODI CE	V _{immissione} [m ³ /h]	V _{fc_TOT} [m ³ /h]	ΔV [m ³ /h]	Deficit [m ³ /h]	V _{cappa} [m ³ /h]	V _{mancante} [m ³ /h]	n °	V _{aggiunta} [m ³ /h]	Deficit [m ³ /h]
S01	129,0	140,0	11,0						
S02	134,3	140,0	5,7						
S03	88,9								
S04	16,0								
S05	210,9	540,0	329,1						
S06	13,3								
S07	337,8			-43,2					-43,2
S08	813,3	620,0	-193,3						
S09	480,0								
S10	1092,4	680,0	-412,4						
S11	3717,7	3808,00	90,3						
S12	242,4	440,0	197,6						
S13									
S14	211,2	140,0	-71,2						
T01	240,0								
T02	132,1								
T03	142,2	200,0	57,8						
T04	2810,3				2810,3				
T05	2179,8	1440,0	-739,8						
T06	218,3	915,0	696,7						
T07	168,2	305,0	136,8						
T08	150,8								
T09	253,7								
T10	644,5	240,0	-404,5						
T11	373,4	540,0	166,6						
T12	216,0								
T13	144,0			-4525,4					-183,2
T14	211,2	140,0	-71,2						
T15	184,5	440,0	255,5						
T16	315,4								
T17	274,3								
T18	438,8	240,0	-198,8						
T19	1451,9	140,0	-1311,9			1311,9	2	1388,0	
T20	1141,3	540,0	-601,3			601,3	1	585,0	
T21	485,2	420,0	-65,2						
T22	1678,4	900,0	-778,4			778,4	1	694,0	
T23	171,4								
T24	2563,2	1220,0	-1343,2		1343,2				
T25	934,6	610,0	-324,6			324,6	1	332,0	
P01	556,4	610,0	53,6						
P02	308,5								
P03	908,4								
P04	583,8	610,0	26,2	315,6					732,6
P05									
P06	336,0								

P07	384,0					
P08						
P09	631,8	610,0	-21,8			
P10	1119,8	720,0	-399,8	399,8	1	417,0
P11	563,2	440,0	-123,2			
P12	315,4					
P13	645,5	610,0	-35,5			
P14	397,7					
P15	570,1	610,0	39,9			
P16	322,3					
P17	211,2	140,0	-71,2			
P18	124,0	360,0	236,0			
P19	349,7	140,0	-209,7			
P20	212,6					
P21	18,8					
P22	350,2	610,0	259,8			
P23	226,3					
P24	294,8					
P25	542,7	610,0	67,3			
P26	198,6	440,0	241,4			
P27	512,8	610,0	97,2			
P28	265,0					
P29	288,0					
P30	535,8	610,0	74,2			
P31	528,9	610,0	81,1			
P32	281,1					
P33						

Tab. 5.5-2 Calcolo della portata effettiva richiesta dall'impianto ad aria

Rispettivamente nelle Fig. 5.5-1, Fig. 5.5-2 e Fig. 5.5-3 , è rappresentato l'impianto di distribuzione e diffusione dell'aria attraverso i fancoil (terminali celesti) e le normali cassette (terminali in arancio), dei piani seminterrato, terra e primo piano.

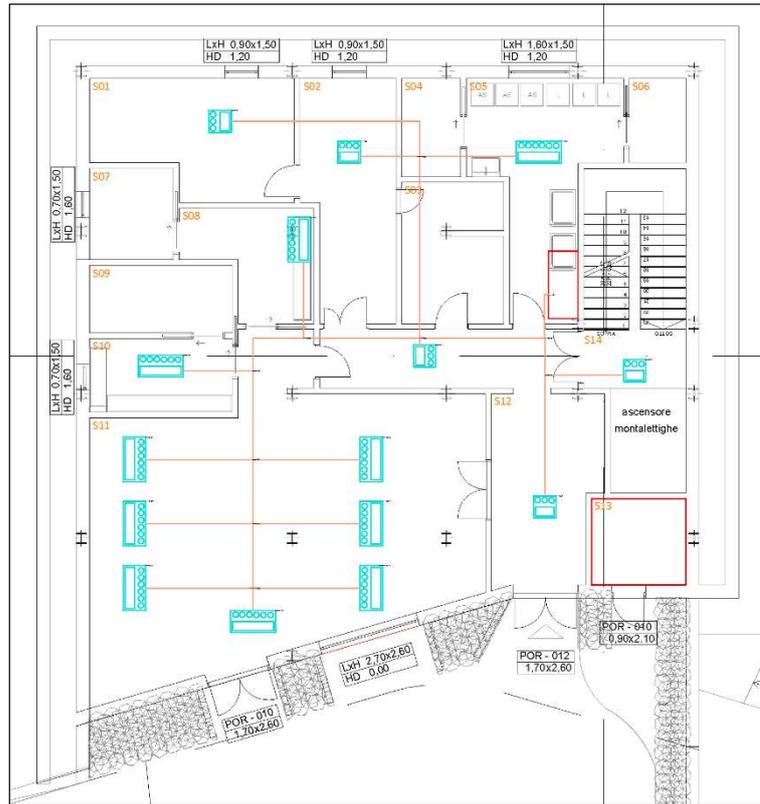


Fig. 5.5-1 Impianto di distribuzione e diffusione dell'aria del piano seminterrato

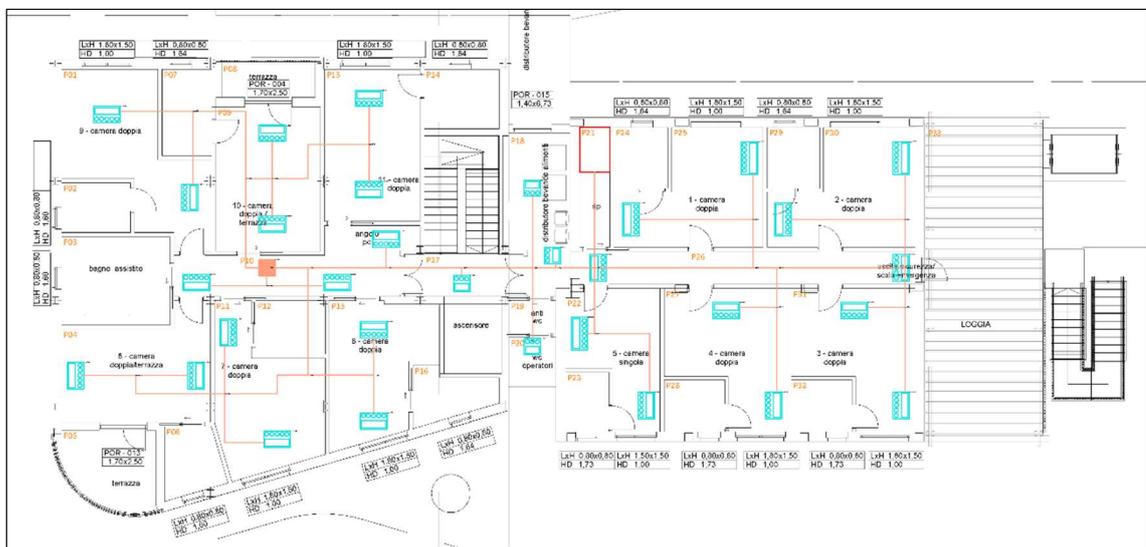


Fig. 5.5-2 Impianto di distribuzione e diffusione dell'aria del piano terra

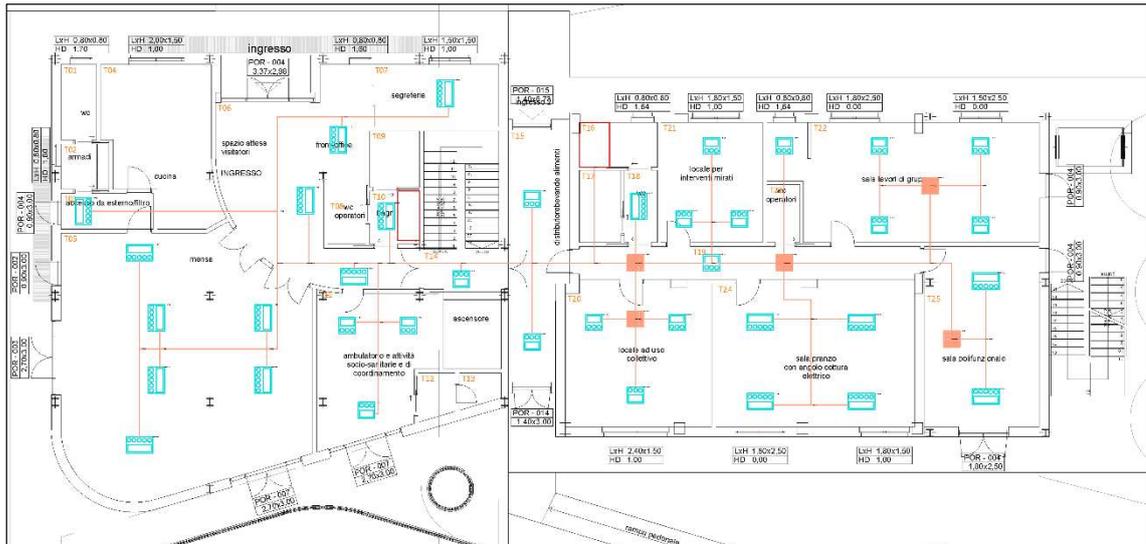


Fig. 5.5-3 Impianto di distribuzione e diffusione dell'aria del primo piano

5.5.4 Impianto di ripresa

Passando alla ripresa il discorso si complica con lo scopo di raggiungere una condizione di sovrappressione differenziale dei locali al fine di regolare correttamente il percorso dell'aria che deve fluire dalle stanze principali di frequentazione degli occupanti, quindi le camere ma anche la sala mensa o gli ambulatori, verso i locali di servizio ed in particolare verso i bagni. Per raggiungere questo obiettivo si adotta la tecnica dell'estrazione differenziale, per la quale nei locali primari (camere, uffici, ambulatori ecc.) viene effettuata un'estrazione d'aria pari all'80% di quella immessa, che sale al 90% nei locali di transizione e di passaggio che chiamiamo secondari (principalmente corridoi e scale), per salire al 100% nei locali terziari di servizio (bagni, cucine ecc.) la cui aria esausta si vuole evitare possa fluire verso le altre stanze.

In Tab. 5.5-3 troviamo indicati i seguenti termini:

- $V_{80\%}$ ~ portata estratta dai locali primari
- $V_{20\%}$ ~ portata di passaggio dai locali primari verso quelli secondari
- V_{-2} ~ portata totale nei locali secondari

- $V_{90\%}$ ~ portata estratta dai locali secondari
- $V_{10\%}$ ~ portata di passaggio dai locali secondari verso quelli terziari
- $V_{_3}$ ~ portata totale nei locali terziari
- $V_{100\%}$ ~ portata estratta dai locali terziari

UTA - ESTIVO												
Dati		Aeraulico Mandata		Aeraulico Ripresa								
CO DIC E	V _{immissione} [m³/h]	V _{aggiunta} [m³/h]	Δp [mm c.a.]	n	V _{80%} [m³/h]	V _{-20%} [m³/h]	V ₋₂ [m³/h]	V _{90%} [m³/h]	V _{-10%} [m³/h]	V ₃ [m³/h]	V _{100%} [m³/h]	V _{TOT} [m³/h]
S01	129,0		1	1						140,0	140,0	
S02	134,3		1	1						140,0	140,0	
S03	88,9											
S04	16,0											
S05	210,9		2	1						540,0	540,0	
S06	13,3											
S07	337,8		2	1					649,0	649,0	649,0	
S08	813,3						620,0		620,0			
S09	480,0		1	1					709,0	709,0	709,0	
S10	1092,4						680,0		680,0			
S11	3717,7		1	4						3808,0	3808,0	
S12	242,4		3	1			440,0	396,0	44,0			
S13												
S14	211,2		3	1			140,0	126,0	14,0			
T01	240,0		5	1					200,0	200,0	200,0	
T02	132,1											
T03	142,2						200,0		200,0			
T05	2179,8		1	2			1440,0	1296,0	144,0			
T06	218,3		1	1		61,0	976,0	878,4	97,6			
T07	168,2		5	1	244,0	61,0						
T08	150,8		5	1					240,8	240,8	240,8	
T09	253,7		5	1					240,8	240,8	240,8	
T10	644,5						240,0		240,0			
T11	373,4		3	1	432,0	108,0						
T12	216,0					108,0	108,0		108,0			
T13	144,0		3	1					108,0	108,0	108,0	
T14	211,2		5	1			140,0	126,0	14,0			
T15	184,5		3	1			440,0	396,0	44,0			
T16	315,4		5	1					177,5	177,5	177,5	
T17	274,3		5	1					177,5	177,5	177,5	
T18	438,8						240,0		240,0			
T19	1451,9	1388,0	1	2		816,2	2344,2	2109,8	234,4			
T20	1141,3	585,0	1	1	900,0	225,0						
T21	485,2		3	1	336,0	84,0						
T22	1678,4	694,0	1	2	1275,2	318,8						
T23	171,4		5	1					177,5	177,5	177,5	
T24	2563,2		1	1						1220,0	1220,0	
T25	934,6	332,0	1	2	753,6	188,4						
P01	556,4		1	1			610,0	549,0	61,0			
P02	308,5		3	1					61,0	61,0	61,0	
P03	908,4		3	1					113,7	113,7	113,7	
P04	583,8		1	1			610,0	549,0	61,0			
P05												
P06	336,0		3	1					61,0	61,0	61,0	
P07	384,0		3	1					61,0	61,0	61,0	
P08												
P09	631,8		1	1			610,0	549,0	61,0			
P10	1119,8	417,0	1	1			720,0	1023,3	113,7			
P11	563,2		3	1			440,0	396,0	44,0			
P12	315,4		3	1					44,0	44,0	44,0	
P13	645,5		1	1			610,0	549,0	61,0			
P14	397,7		3	1					61,0	61,0	61,0	
P15	570,1		1	1			610,0	549,0	61,0			

26510,0

P16	322,3	3	1			61,0	61,0	61,0
P17	211,2	5	1	140,0	126,0	14,0		
P18	124,0	5	1	360,0	324,0	36,0		
P19	349,7	3	1	140,0		140,0		
P20	212,6	3	1			190,0	190,0	190,0
P21	18,8							
P22	350,2	1	1	610,0	549,0	61,0		
P23	226,3	3	1			61,0	61,0	61,0
P24	294,8	3	1			61,0	61,0	61,0
P25	542,7	1	1	610,0	549,0	61,0		
P26	198,6	3	1	440,0	396,0	44,0		
P27	512,8	1	1	610,0	549,0	61,0		
P28	265,0	3	1			61,0	61,0	61,0
P29	288,0	3	1			61,0	61,0	61,0
P30	535,8	1	1	610,0	549,0	61,0		
P31	528,9	1	1	610,0	549,0	61,0		
P32	281,1	3	1			61,0	61,0	61,0
P33								

Tab. 5.5-3 Calcolo delle portate di ripresa dell'aria

Rispettivamente nelle Fig. 5.5-4, Fig. 5.5-5, Fig. 5.5-6, è rappresentato l'impianto di ripresa dell'aria, attraverso le apposite griglie, dei piani seminterrato, terra e primo piano.

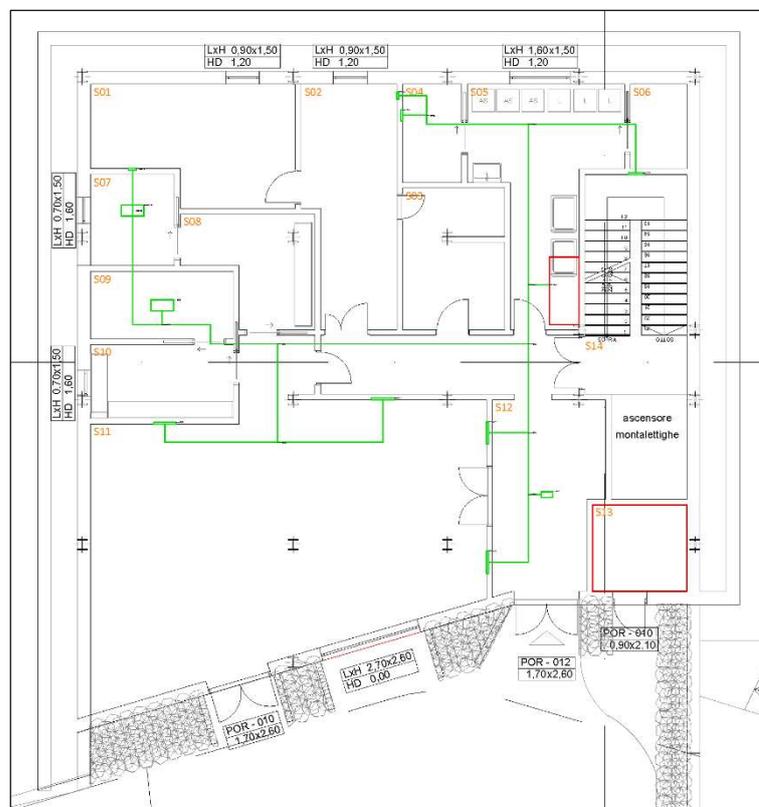


Fig. 5.5-4 Impianto di ripresa dell'aria del piano seminterrato

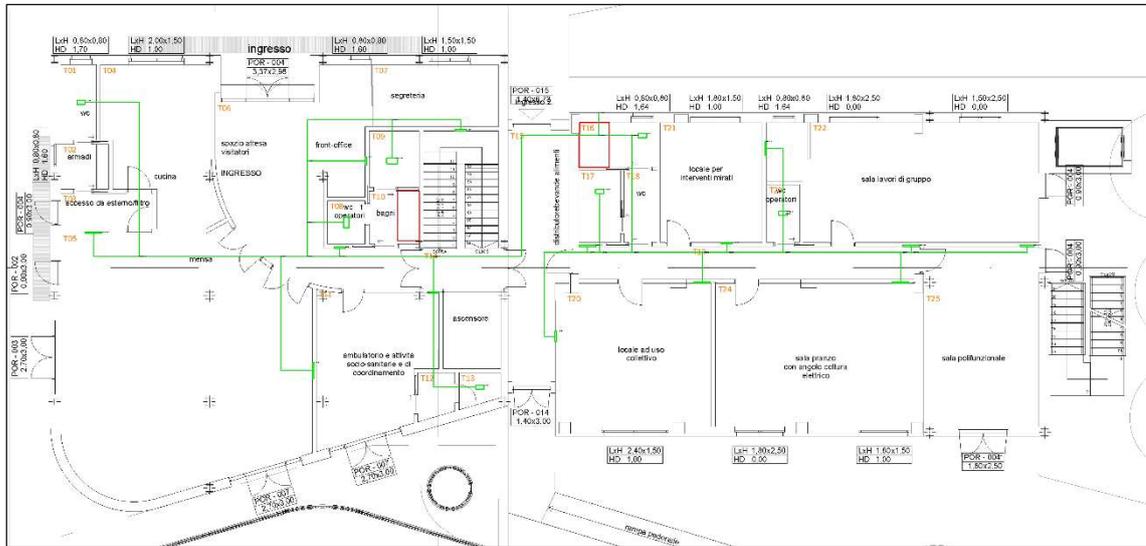


Fig. 5.5-5 Impianto di ripresa dell'aria del piano terra

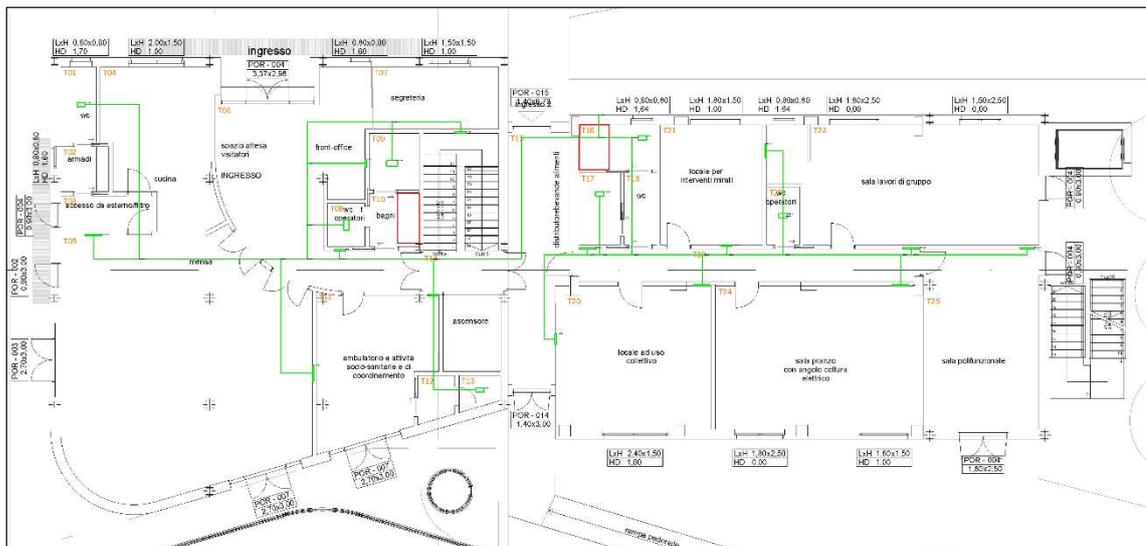


Fig. 5.5-6 Impianto di ripresa dell'aria del primo piano

5.5.5 Canali di distribuzione dell'aria

Il metodo utilizzato per il dimensionamento dei canali è quello a “perdita di carico costante”, per il quale si assume come perdita di carico lineare di progetto il valore di 0,05 [mm c.a./m], valore approssimato ricavato

prendendo in considerazione il dimensionamento del primo tratto di canale all'uscita dall'UTA, riportato graficamente in Fig. 5.5-7: "diagramma Caleffi – Condotte lisce" [10].

Tale valore rappresenta il valore utilizzato in "ingresso" nel diagramma di calcolo delle condotte, utilizzato per il dimensionamento dei canali, insieme ai valori di portata e nel rispetto delle massime velocità accettate per l'edificio adibito a residenza/clinica:

- $v_{\max_principali} < 5,0:6,0$ [m/s] ~ massima velocità dell'aria nei canali principali
- $v_{\max_secondari} < 4,0:5,0$ [m/s] ~ massima velocità dell'aria nei canali secondari
- $v_{\max_ripresa} < 3,5$ [m/s] massima velocità dell'aria nei canali di ripresa

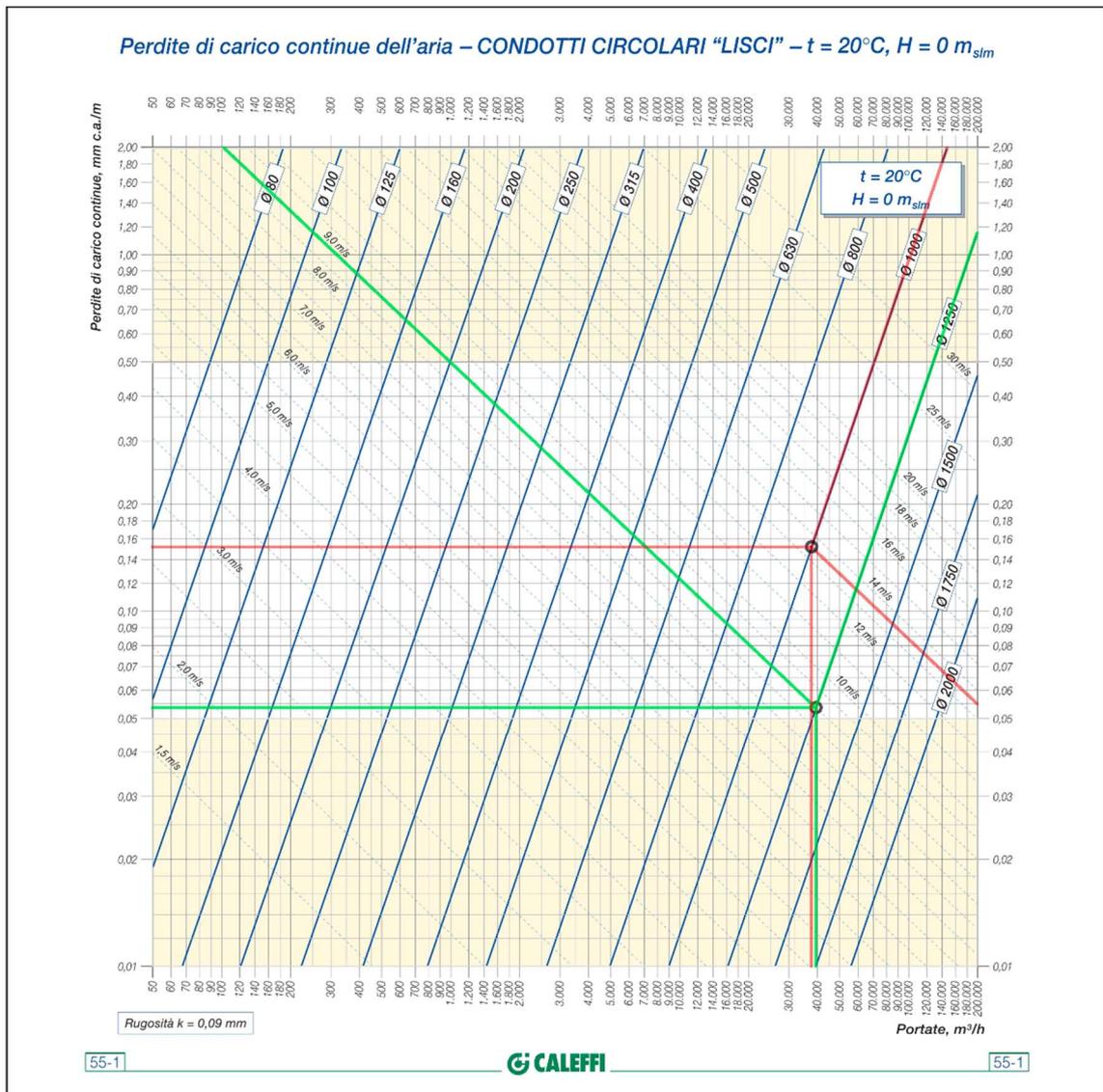


Fig. 5.5-7 Diagramma per il calcolo dei diametri dei canali [10]

Per l'individuazione dei canali si utilizza un sistema di identificazione dei nodi e dei terminali, con corrispondenza grafica, tramite la seguente nomenclatura:

- N ~ nodi dei canali di mandata
- NR ~ nodi dei canali di ripresa
- F ~ prefisso dei terminali di mandata
- G ~ prefisso dei terminali di ripresa
- S ~ prefisso dei terminali ubicati nel piano seminterrato
- T ~ prefisso dei terminali ubicati al piano terra

- P ~ prefisso dei terminali ubicati al piano primo

Nella Tab. 5.5-4 sono riportati i diametri risultanti dei canali circolari calcolati, tuttavia tutte le canalizzazioni principali vengono realizzate in lamiera zincate rettangolari, pertanto i diametri devono essere convertiti in valori equivalenti tramite apposite tabelle (Fig. 5.5-8).

Canali rettangolari: diametri equivalenti per la determinazione delle perdite di carico continue

a, b = dimensioni rettangolo/quadrato, mm		Φ_e = diametro equivalente, mm													f = fattore correttivo velocità			
b	a	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	a	b
100	Φ_e	109	133	152	169	183	195	207	217	227	236	245	253	261	268	275	Φ_e	100
	f	0,94	0,93	0,91	0,89	0,87	0,86	0,84	0,82	0,81	0,80	0,79	0,77	0,76	0,75	0,74	f	
150	Φ_e	133	164	189	210	229	245	260	274	287	299	310	321	331	341	350	Φ_e	150
	f	0,93	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,82	0,81	0,80	f	
200	Φ_e	152	189	219	244	266	286	305	321	337	352	365	378	391	402	414	Φ_e	200
	f	0,91	0,93	0,94	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86	0,86	0,85	0,84	f	
250	Φ_e	169	210	244	273	299	322	343	363	381	398	414	429	443	457	470	Φ_e	250
	f	0,89	0,92	0,94	0,94	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90	0,89	0,88	0,87	0,87	0,86	f	
300	Φ_e	183	229	266	299	328	354	378	400	420	439	457	474	490	506	520	Φ_e	300
	f	0,87	0,91	0,93	0,94	0,94	0,94	0,93	0,92	0,92	0,91	0,90	0,90	0,89	0,89	0,88	f	
350	Φ_e	195	245	286	322	354	383	409	433	455	477	496	515	533	550	567	Φ_e	350
	f	0,86	0,90	0,92	0,93	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,90	f	
400	Φ_e	207	260	305	343	378	409	437	464	488	511	533	553	573	592	609	Φ_e	400
	f	0,84	0,89	0,91	0,93	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93	0,92	0,92	0,92	0,91	f	
450	Φ_e	217	274	321	363	400	433	464	492	518	543	567	589	610	630	649	Φ_e	450
	f	0,82	0,87	0,90	0,92	0,93	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93	0,93	0,92	0,92	f	
500	Φ_e	227	287	337	381	420	455	488	518	547	573	598	622	644	666	687	Φ_e	500
	f	0,81	0,86	0,89	0,91	0,92	0,92	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93	0,93	0,93	f	
550	Φ_e	236	299	352	398	439	477	511	543	573	601	628	653	677	700	722	Φ_e	550
	f	0,80	0,85	0,88	0,90	0,92	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93	f	
600	Φ_e	245	310	365	414	457	496	533	567	598	628	656	683	708	732	755	Φ_e	600
	f	0,79	0,84	0,87	0,90	0,91	0,92	0,93	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,93	f	
650	Φ_e	253	321	378	429	474	515	553	589	622	653	683	711	737	763	787	Φ_e	650
	f	0,77	0,83	0,86	0,89	0,90	0,92	0,92	0,93	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	f	
700	Φ_e	261	331	391	443	490	533	573	610	644	677	708	737	765	792	818	Φ_e	700
	f	0,76	0,82	0,86	0,88	0,90	0,91	0,92	0,93	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	f	
750	Φ_e	268	341	402	457	506	550	592	630	666	700	732	763	792	820	847	Φ_e	750
	f	0,75	0,81	0,85	0,87	0,89	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	f	
800	Φ_e	275	350	414	470	520	567	609	649	687	722	755	787	818	847	875	Φ_e	800
	f	0,74	0,80	0,84	0,87	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,93	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94	f	
850	Φ_e	282	359	424	482	534	582	626	668	706	743	778	811	842	872	901	Φ_e	850
	f	0,74	0,79	0,83	0,86	0,88	0,89	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93	0,93	0,94	0,94	0,94	f	
900	Φ_e	289	367	435	494	548	597	643	686	726	763	799	833	866	897	927	Φ_e	900
	f	0,73	0,79	0,82	0,85	0,87	0,89	0,90	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93	0,93	0,94	0,94	f	
950	Φ_e	295	376	445	506	561	612	659	703	744	783	820	855	889	921	952	Φ_e	950
	f	0,72	0,78	0,82	0,85	0,87	0,88	0,90	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93	0,93	0,94	0,94	f	
1000	Φ_e	301	384	454	517	574	626	674	719	762	802	840	876	911	944	976	Φ_e	1000
	f	0,71	0,77	0,81	0,84	0,86	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93	0,93	0,94	f	
1100	Φ_e	313	399	473	538	598	652	703	751	795	838	878	916	953	988	1.022	Φ_e	1100
	f	0,70	0,76	0,80	0,83	0,85	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93	0,93	f	
1200	Φ_e	324	413	490	558	620	677	731	780	827	872	914	954	993	1.030	1.066	Φ_e	1200
	f	0,69	0,74	0,79	0,82	0,84	0,86	0,87	0,89	0,90	0,90	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93	f	
1300	Φ_e	334	426	506	577	642	701	757	808	857	904	948	990	1.031	1.069	1.107	Φ_e	1300
	f	0,67	0,73	0,77	0,80	0,83	0,85	0,86	0,88	0,89	0,90	0,90	0,91	0,92	0,92	0,92	f	
1400	Φ_e	344	439	522	595	662	724	781	835	886	934	980	1.024	1.066	1.107	1.146	Φ_e	1400
	f	0,66	0,72	0,76	0,79	0,82	0,84	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,91	0,92	0,92	f	
1500	Φ_e	353	452	536	612	681	745	805	860	913	963	1.011	1.057	1.100	1.143	1.183	Φ_e	1500
	f	0,65	0,71	0,75	0,79	0,81	0,83	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,91	0,92	f	
1600	Φ_e	362	463	551	629	700	766	827	885	939	991	1.041	1.088	1.133	1.177	1.219	Φ_e	1600
	f	0,64	0,70	0,74	0,78	0,80	0,82	0,84	0,85	0,87	0,88	0,89	0,89	0,90	0,91	0,91	f	
1700	Φ_e	371	475	564	644	718	785	849	908	964	1.018	1.069	1.118	1.164	1.209	1.253	Φ_e	1700
	f	0,64	0,69	0,74	0,77	0,79	0,81	0,83	0,85	0,86	0,87	0,88	0,88	0,89	0,90	0,91	f	
1800	Φ_e	379	485	577	660	735	804	869	930	988	1.043	1.096	1.146	1.195	1.241	1.286	Φ_e	1800
	f	0,63	0,69	0,73	0,76	0,79	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,90	f	
1900	Φ_e	387	496	590	674	751	823	889	952	1.012	1.068	1.122	1.174	1.224	1.271	1.318	Φ_e	1900
	f	0,62	0,68	0,72	0,75	0,78	0,80	0,82	0,83	0,85	0,86	0,87	0,88	0,88	0,89	0,90	f	
2000	Φ_e	395	506	602	688	767	840	908	973	1.034	1.092	1.147	1.200	1.252	1.301	1.348	Φ_e	2000
	f	0,61	0,67	0,71	0,74	0,77	0,79	0,8	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,89	f	
2200	Φ_e	410	525	625	715	797	874	945	1.013	1.076	1.137	1.195	1.251	1.305	1.356	1.406	Φ_e	2200
	f	0,60	0,66	0,70	0,73	0,76	0,78	0,80	0,81	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,88	f	

80-1a



80-1a

Fig. 5.5-8 Diagramma di calcolo dei diametri equivalenti dei canali [10]

Aeraulico						Aeraulico					
Mandata						Mandata					
PRINCIPALI	L [m]	V [m³/h]	D [mm]	Δp [mm c.a.]	v [m/s]	SECONDARI	L [m]	V [m³/h]	D [mm]	Δp [mm c.a.]	v [m/s]
NS-NS1	1,1	6508,0	630	0,05	5,8	NS2-FS1	2,1	140,0	160	0,08	1,94
NS1-NS2	1,0	360,0	200	0,07	3,19	NS2-FS2	3,2	220,0	200	0,09	1,95
NS1-NS3	3,3	6148,0	630	0,15	5,48	NS3-FS3	0,2	220,0	200	0,01	1,95
NS3-NS4	4,8	820,0	315	0,16	2,93	NS4-FS4	2,6	540,0	250	0,12	3,06
NS3-NS5	3,1	5108,0	630	0,1	4,56	NS4-FS5	1,6	140,0	160	0,06	1,94
NS5-NS6	2,2	4488,0	630	0,06	4	NS4-FS6	5,9	140,0	160	0,21	1,94
NS6-NS7	2,4	3808,0	500	0,14	5,39	NS5-FS7	2,0	620,0	250	0,12	3,51
NS7-NS8	1,7	2720,0	500	0,05	3,85	NS6-FS8	1,9	680,0	250	0,14	3,85
NS8-NS9	1,7	1632,0	400	0,06	3,61	NS7-FS9	2,8	544,0	250	0,13	3,08
						NS7-FS10	2,8	544,0	250	0,13	3,08
						NS8-FS11	2,8	544,0	250	0,13	3,08
						NS8-FS12	2,8	544,0	250	0,13	3,08
						NS9-FS13	2,8	544,0	250	0,13	3,08
						NS9-FS14	2,8	544,0	250	0,13	3,08
						NS9-FS15	0,6	544,0	250	0,03	3,08
NT-NT1	3,5	11279,0	1000	0,05	3,99	NT2-FT1	2,0	220,0	200	0,06	1,95
NT1-NT2	2,3	4220,0	500	0,24	5,97	NT2-FT2	2,6	220,0	200	0,07	1,95
NT2-NT3	2,6	3780,0	500	0,15	5,35	NT3-FT3	0,3	140,0	160	0,01	1,94
NT3-NT4	2,6	3640,0	500	0,14	5,15	NT4-FT4	1,2	240,0	200	0,04	2,12
NT4-NT5	0,4	3400,0	500	0,02	4,81	NT6-FT5	0,8	180,0	160	0,05	2,49
NT5-NT6	2,2	540,0	250	0,1	3,06	NT6-FT6	0,8	180,0	160	0,05	2,49
NT5-NT7	0,9	2860,0	500	0,03	4,05	NT6-FT7	3,4	180,0	160	0,19	2,49
NT7-NT8	1,6	2555,0	500	0,04	3,62	NT7-FT8	0,2	305,0	200	0,01	2,7
NT8-NT9	1,1	2250,0	400	0,07	4,98	NT8-FT9	1,8	305,0	200	0,09	2,7
NT9-NT10	3,5	1440,0	400	0,1	3,19	NT10-FT10	0,7	240,0	200	0,02	2,12
NT10-NT11	3,9	960,0	315	0,17	3,42	NT10-FT11	0,7	240,0	200	0,02	2,12
NT11-NT12	0,7	480,0	250	0,03	2,72	NT11-FT12	0,7	240,0	200	0,02	2,12
NT9-NT13	1,9	810,0	315	0,06	2,89	NT11-FT13	0,7	240,0	200	0,02	2,12
NT13-NT14	5,7	610,0	250	0,34	3,45	NT12-FT14	3,2	240,0	200	0,1	2,12
NT1-NT15	1,5	7059,0	800	0,03	3,9	NT12-FT15	3,2	240,0	200	0,1	2,12
NT15-NT16	2,0	1125,0	315	0,12	4,01	NT13-FT16	6,7	200,0	160	0,46	2,77
NT15-NT17	2,8	5240,0	630	0,09	4,67	NT14-FT17	0,4	305,0	200	0,02	2,7
NT17-NT18	1,5	420,0	250	0,05	2,38	NT14-FT18	4,3	305,0	200	0,21	2,7
NT17-NT19	2,6	4680,0	630	0,07	4,17	NT15-DT1	0,3	694,0	250	0,02	3,93
NT19-NT20	3,0	1220,0	315	0,2	4,35	NT15-FT19	1,6	240,0	200	0,05	2,12
NT20-NT21	3,1	610,0	250	0,18	3,45	NT16-DT2	0,3	585,0	250	0,02	3,31
NT19-NT22	5,3	2586,0	500	0,15	3,66	NT16-FT20	1,2	180,0	160	0,07	2,49
NT22-NT23	2,8	1414,0	400	0,08	3,13	NT16-FT21	1,2	180,0	160	0,07	2,49
NT23-NT24	1,8	360,0	200	0,12	3,19	NT16-FT22	2,5	180,0	160	0,14	2,49
NT23-NT25	1,8	360,0	200	0,12	3,19	NT17-FT23	0,3	140,0	160	0,01	1,94
NT22-NT26	3,6	932,0	315	0,15	3,32	NT18-FT24	0,7	140,0	160	0,03	1,94
NT26-NT27	1,2	1388,0	400	0,03	3,07	NT18-FT25	0,7	140,0	160	0,03	1,94

						NT18-FT26	2,5	140,0	160	0,09	1,94
						NT19-DT3	0,3	694,0	250	0,02	3,93
						NT19-FT27	4,0	180,0	160	0,23	2,49
						NT20-FT28	1,4	305,0	200	0,07	2,7
						NT20-FT29	1,4	305,0	200	0,07	2,7
						NT21-FT30	1,4	305,0	200	0,07	2,7
						NT21-FT31	1,4	305,0	200	0,07	2,7
						NT23-DT4	0,3	694,0	250	0,02	3,93
						NT24-FT32	1,2	180,0	160	0,07	2,49
						NT24-FT33	1,2	180,0	160	0,07	2,49
						NT25-FT34	1,2	180,0	160	0,07	2,49
						NT25-FT35	1,2	180,0	160	0,07	2,49
						NT26-DT5	0,3	322,0	200	0,02	2,85
						NT27-FT36	1,8	305,0	200	0,09	2,7
						NT27-FT37	1,8	305,0	200	0,09	2,7
NP-NP1	3,5	8617,0	800	0,09	4,77	NP2-FP1	0,2	120,0	160	0,01	1,66
NP1-NP2	1,4	5625,0	800	0,02	3,11	NP3-FP2	2,6	120,0	160	0,07	1,66
NP2-NP3	0,9	5505,0	630	0,03	4,91	NP3-FP31	2,6	120,0	160	0,07	1,66
NP3-NP4	2,6	5265,0	630	0,09	4,7	NP4-FP3	2,6	140,0	160	0,09	1,94
NP4-NP5	2,7	5125,0	630	0,09	4,57	NP5-FP4	0,4	240,0	200	0,01	2,12
NP5-NP6	2,8	4885,0	630	0,08	4,36	NP11-DP1	0,7	417,0	250	0,02	2,36
NP6-NP7	3,9	1660,0	400	0,15	3,67	NP12-FP5	2,1	240,0	200	0,07	2,12
NP7-NP8	2,4	610,0	250	0,14	3,45	NP12-FP6	2,1	240,0	200	0,07	2,12
NP7-NP9	3,7	1050,0	315	0,19	3,75	NP8-FP7	1,4	305,0	200	0,07	2,7
NP9-NP10	3,9	610,0	250	0,23	3,45	NP8-FP8	1,4	305,0	200	0,07	2,7
NP6-NP11	2,2	3225,0	500	0,09	4,57	NP9-FP9	1,8	220,0	200	0,05	1,95
NP11-NP12	0,7	480,0	250	0,03	2,72	NP9-FP10	3,2	220,0	200	0,09	1,95
NP11-NP13	1,0	2328,0	500	0,02	3,3	NP10-FP11	1,9	305,0	200	0,09	2,7
NP13-NP14	1,0	610,0	250	0,06	3,45	NP10-FP12	1,9	305,0	200	0,09	2,7
NP13-NP15	4,5	1220,0	315	0,31	4,35	NP14-FP13	2,6	305,0	200	0,13	2,7
NP15-NP16	3,8	610,0	250	0,23	3,45	NP14-FP14	2,6	305,0	200	0,13	2,7
NP1-NP17	2,4	610,0	250	0,14	3,45	NP15-FP15	1,4	305,0	200	0,07	2,7
NP1-NP18	5,7	2162,0	400	0,34	4,78	NP15-FP16	1,4	305,0	200	0,07	2,7
NP18-NP19	1,8	610,0	250	0,11	3,45	NP16-FP17	1,4	305,0	200	0,07	2,7
NP18-NP20	0,9	2050,0	400	0,05	4,54	NP16-FP18	1,4	305,0	200	0,07	2,7
NP20-NP21	1,4	610,0	250	0,08	3,45	NP17-FP19	0,3	305,0	200	0,01	2,7
NP20-NP22	4,6	1440,0	400	0,13	3,19	NP17-FP20	2,1	305,0	200	0,1	2,7
NP22-NP23	1,4	610,0	250	0,08	3,45	NP1-FP21	0,3	220,0	200	0,01	1,95
NP22-NP24	1,8	610,0	250	0,11	3,45	NP19-FP22	4,1	305,0	200	0,2	2,7
						NP19-FP23	1,6	305,0	200	0,08	2,7
						NP21-FP24	1,4	305,0	200	0,07	2,7
						NP21-FP25	3,1	305,0	200	0,15	2,7
						NP21-FP26	0,3	220,0	200	0,01	1,95
						NP22-FP27	4,1	305,0	200	0,2	2,7
						NP22-FP28	1,6	305,0	200	0,08	2,7
						NP23-FP29	1,3	305,0	200	0,06	2,7

							NP23-FP30	3,1	305,0	200	0,15	2,7	
Aeraulico							Aeraulico						
Ripresa							Ripresa						
PRINCIPALI	L [m]	V [m³/h]	D [mm]	Δp [mm c.a.]	r [mm c.a.]	v [m/s]	SECONDARI	L [m]	V [m³/h]	D [mm]	Δp [mm c.a.]	r [mm c.a.]	v [m/s]
NRS-NRS1	0,6	6508,0	1000		0,01	2,3	NRS5-GS1	4,1	126,0	160	0,12	0,03	1,74
NRS1-NRS2	1,6	5702,0	800	0,02	0,01	3,15	NRS6-GS2	0,6	540,0	250	0,03	0,05	3,06
NRS2-NRS3	2,4	2300,0	500	0,05	0,02	3,26	NRS6-GS3	1,2	140,0	160	0,04	0,04	1,94
NRS3-NRS4	1,6	1348,0	400	0,04	0,03	2,98	NRS3-GS4	1,1	952,0	315	0,05	0,04	3,4
NRS1-NRS5	4,3	806,0	315	0,14	0,03	2,88	NRS4-GS5	0,4	396,0	250	0,01	0,03	2,24
NRS5-NRS6	2,9	680,0	315	0,07	0,02	2,43	NRS4-GS6	2,9	952,0	315	0,13	0,04	3,4
NRS2-NRS7	6,6	3402,0	630	0,1	0,02	3,03	NRS8-GS7	3,5	952,0	315	0,15	0,04	3,4
NRS7-NRS8	2,6	1904,0	500	0,04	0,02	2,7	NRS8-GS8	3,9	952,0	315	0,17	0,04	3,4
NRS7-NRS9	3,6	1498,0	400	0,11	0,03	3,31	NRS9-GS9	0,4	709,0	315	0,01	0,03	2,53
NRS9-NRS10	3,8	789,0	315	0,12	0,03	2,81	NRS10-GS10	0,3	649,0	315	0,01	0,02	2,32
							NRS10-GS11	1,1	140,0	160	0,04	0,04	1,94
NRT-NRT1	0,8	12459,1	1250		0,01	2,82	NRT3-GT1	0,3	432,0	250	0,01	0,03	2,45
NRT1-NRT2	10,4	4936,0	800	0,1	0,01	2,73	NRT3-GT2	5,0	108,0	125	0,38	0,08	2,45
NRT2-NRT3	1,3	540,0	250	0,06	0,05	3,06	NRT4-GT3	0,3	439,2	250	0,01	0,03	2,49
NRT2-NRT4	3,4	4396,0	800	0,03	0,01	2,43	NRT6-GT4	1,3	240,8	200	0,04	0,03	2,13
NRT4-NRT5	1,2	3956,8	800	0,01	0,01	2,19	NRT7-GT5	2,1	439,2	250	0,07	0,03	2,49
NRT5-NRT6	1,2	1164,8	400	0,02	0,02	2,58	NRT8-GT6	1,4	240,8	200	0,05	0,03	2,13
NRT6-NRT7	2,2	924,0	315	0,09	0,04	3,3	NRT8-GT7	2,8	244,0	200	0,09	0,03	2,16
NRT7-NRT8	4,6	484,8	250	0,18	0,04	2,75	NRT9-GT8	5,2	1296,0	400	0,12	0,02	2,87
NRT5-NRT9	1,0	2792,0	630	0,01	0,01	2,49	NRT10-GT9	2,4	200,0	160	0,17	0,07	2,77
NRT9-NRT10	5,1	1496,0	400	0,16	0,03	3,31	NRT10-GT10	8,0	1296,0	400	0,19	0,02	2,87
NRT1-NRT11	1,2	7523,1	1000	0,01	0,01	2,66	NRT11-GT11	0,2	177,5	160	0,01	0,06	2,45
NRT11-NRT12	4,3	7345,6	1000	0,03	0,01	2,6	NRT13-GT12	2,1	177,5	160	0,12	0,06	2,45
NRT12-NRT13	1,2	1628,4	500	0,01	0,01	2,31	NRT14-GT13	0,2	1054,9	400		0,02	2,33
NRT13-NRT14	0,4	1450,9	400	0,01	0,03	3,21	NRT14-GT14	5,0	396,0	200	0,25	0,05	2,71
NRT12-NRT15	2,5	5717,2	500	0,01	0,01	2,31	NRT15-GT15	1,1	900,0	315	0,04	0,04	3,21
NRT15-NRT16	0,9	4817,2	800	0,01	0,01	2,66	NRT16-GT16	3,1	336,0	200	0,18	0,06	2,97
NRT16-NRT17	2,0	4481,2	800	0,02	0,01	2,48	NRT18-GT17	0,3	177,5	160	0,02	0,06	2,45
NRT17-NRT18	1,4	1452,7	400	0,04	0,03	3,21	NRT18-GT18	3,0	1275,2	400	0,07	0,02	2,82
NRT18-NRT19	4,2	3028,5	630	0,05	0,01	2,7	NRT19-GT19	1,1	1220,0	400	0,02	0,02	2,7
NRT19-NRT20	0,4	1808,5	500	0,01	0,01	2,56	NRT20-GT20	0,2	1054,9	400		0,02	2,33
							NRT20-GT21	4,4	753,6	315	0,12	0,03	2,69
NRP-NRP1	4,6	8713,0	1000	0,04	0,01	3,08	NRP2-GP1	4,1	190,0	160	0,26	0,06	2,63
NRP1-NRP2	0,4	4943,0	800	0,004	0,01	2,73	NRP4-GP2	0,6	549,0	250	0,03	0,05	3,11
NRP2-NRP3	7,5	4753,0	800	0,07	0,01	2,63	NRP5-GP3	0,5	549,0	250	0,02	0,05	3,11
NRP3-NRP4	0,7	2308,3	500	0,02	0,02	3,27	NRP5-GP4	2,7	1023,3	400	0,04	0,02	2,26

NRP4-NRP5	1,0	1759,3	500	0,01	0,01	2,49	NRP6-GP5	0,3	61,0	125	0,01	0,03	1,38
NRP5-NRP6	8,6	187,0	160	0,53	0,06	2,59	NRP6-GP6	1,3	126,0	160	0,04	0,03	1,74
NRP3-NRP7	1,7	2444,7	500	0,04	0,03	3,46	NRP8-GP7	0,3	44,0	100	0,01	0,04	1,56
NRP7-NRP8	2,5	1111,0	400	0,04	0,02	2,46	NRP9-GP8	1,3	396,0	250	0,04	0,03	2,24
NRP8-NRP9	1,5	1067,0	400	0,02	0,02	2,36	NRP10-GP9	5,9	61,0	125	0,16	0,03	1,38
NRP9-NRP10	1,1	671,0	315	0,03	0,02	2,39	NRP11-GP10	1,4	549,0	250	0,07	0,05	3,11
NRP10-NRP11	1,3	610,0	250	0,08	0,06	3,45	NRP11-GP11	4,6	61,0	125	0,13	0,03	1,38
NRP7-NRP12	6,2	1333,7	400	0,15	0,02	2,95	NRP13-GP12	0,3	113,7	160	0,01	0,03	1,57
NRP12-NRP13	0,7	662,7	315	0,02	0,02	2,36	NRP13-GP13	3,5	549,0	250	0,17	0,05	3,11
NRP12-NRP14	1,9	671,0	315	0,04	0,02	2,39	NRP14-GP14	0,7	61,0	125	0,02	0,03	1,38
NRP14-NRP15	3,4	610,0	250	0,2	0,06	3,45	NRP15-GP15	2,4	61,0	125	0,07	0,03	1,38
NRP1-NRP16	3,1	3770,0	630	0,06	0,02	3,36	NRP15-GP16	2,5	549,0	250	0,12	0,05	3,11
NRP16-NRP17	0,3	781,0	315	0,01	0,03	2,79	NRP17-GP17	0,3	396,0	250	0,01	0,03	2,24
NRP17-NRP18	3,4	385,0	250	0,09	0,03	2,18	NRP18-GP18	0,3	61,0	125	0,01	0,03	1,38
NRP16-NRP19	1,5	1220,0	400	0,03	0,02	2,7	NRP18-GP19	3,1	324,0	200	0,17	0,06	2,87
NRP19-NRP20	2,4	671,0	315	0,06	0,02	2,39	NRP19-GP20	0,7	549,0	250	0,03	0,05	3,11
NRP20-NRP21	1,4	122,0	160	0,04	0,03	1,69	NRP20-GP21	0,8	549,0	250	0,04	0,05	3,11
NRP16-NRP22	4,9	1769,0	500	0,07	0,01	2,5	NRP21-GP22	1,9	61,0	125	0,05	0,03	1,38
NRP22-NRP23	1,0	1159,0	400	0,02	0,02	2,56	NRP21-GP23	1,8	61,0	125	0,05	0,03	1,38
NRP23-NRP24	2,8	610,0	250	0,17	0,06	3,45	NRP23-GP24	0,5	549,0	250	0,02	0,05	3,11
NRP22-NRP25	3,9	549,0	250	0,19	0,05	3,11	NRP24-GP25	0,6	61,0	125	0,02	0,03	1,38
							NRP24-GP26	2,3	549,0	250	0,11	0,05	3,11
							NRP25-GP27	0,5	549,0	250	0,02	0,05	3,11
							NRP25-GP28	2,9	61,0	125	0,08	0,03	1,38

Tab. 5.5-4 Dimensionamento dei canali di mandata e di ripresa dell'impianto ad aria

5.5.6 Unità di trattamento dell'aria

I canali utilizzati per la distribuzione dell'aria vengono alimentati da un'UTA posizionata nell'area verde circondante l'edificio e lontano da fonti inquinanti.

All'UTA spettano i compiti di circolazione dell'aria, tramite due ventilatori, e trattamento della stessa, da un punto di vista igienico-sanitario tramite l'utilizzo di filtri e sistemi ad azione germicida, da un punto di vista termo-igrometrico tramite l'adozione di batterie a fluido termovettore e mezzi di gestione dell'umidità. La macchina è costituita

da moduli assemblabili ed in grado di ospitare ogni sezione di lavoro, le quali sono state riassunte in Tab. 5.5-5 insieme ad altre caratteristiche.

		DIMENSIONI		
Modello	Vulcan Pro 350-250			
Larghezza [m]	2,175			
Altezza [m]	1,525			
	Tipologia	Δp [Pa]	Lunghezza [m]	
Sezione 1	Ventilatore di ripresa	100	2,44	
Sezione 2	Recuperatore rotativo entalpico 70%	100	1,53	
Sezione 3	Camera di miscela/espulsione	60	1,83	
Sezione 4	Filtri a bassa efficienza	60	0,61	
Sezione 5	Filtri ad alta efficienza	120	0,35	
Sezione 6	Batteria calda	80	0,305	
Sezione 7	Umidificatore	100	1,22	
Sezione 8	Batteria fredda	100	0,305	
Sezione 9	Separatore di gocce	80	1,22	
Sezione 10	Batteria di post	80	0,305	
Sezione 11	Ventilatore di mandata	100	2,44	
Lunghezza lineare	Totale	980,00	12,56	
Isolamento	Lana Minerale 90 [kg/m ²]			
v_{\min} [m/s] - Batterie	0,30			
v_{\max} [m/s] - Batterie	2,40			

Tab. 5.5-5 Caratteristiche dell'UTA

5.5.6.1 *Trattamento dell'aria in funzionamento invernale*

Nel periodo invernale l'aria trattata dall'UTA viene immessa nell'ambiente interno alle stesse condizioni di progetto, ovvero ad una temperatura pari a 20 [°C] ed umidità relativa prossima al 50%. Il trattamento termo-igrometrico è applicato a tutta aria esterna alle condizioni esterne chiamate E (Fig. 5.5-8 [2]), senza alcun ricircolo, e consiste in un riscaldamento sensibile iniziale a titolo di vapore x costante fino ad un punto R, seguito da una saturazione adiabatica effettuata tramite un umidificatore e da un ulteriore riscaldamento sensibile a titolo x costante fino alle condizioni di immissione, C, corrispondenti alle stesse condizioni ambientali chiamate A. Il punto R non è altro che l'intersezione fra la retta al titolo iniziale e la curva dell'adiabatica passante per il punto di saturazione con titolo pari alle condizioni ambientali.

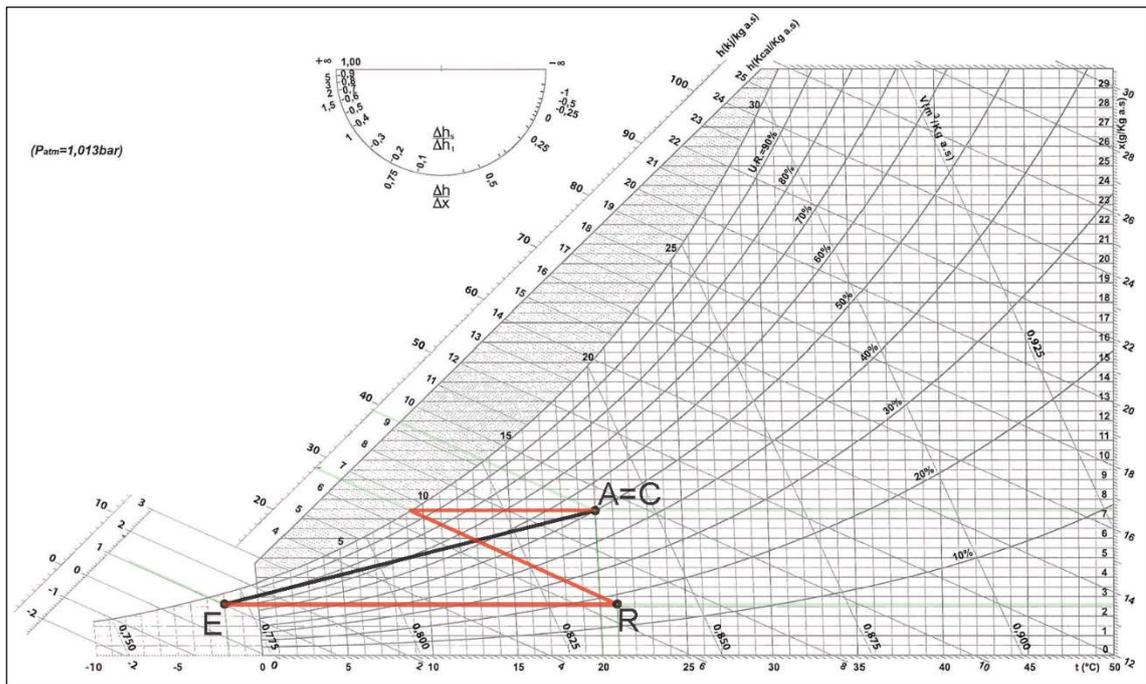


Fig. 5.5-9 Diagramma psicrometrico per il periodo invernale [2]

La potenza della batteria di pre-riscaldamento invernale (BC_{1_I}) e di quella di riscaldamento (BC_{2_I}), sono calcolate in base al salto entalpico delle trasformazioni effettuate (Tab. 5.5-6):

$$\dot{Q}_{BC_{1_I}} = \rho_a * \dot{V}_{TOT} * (h_R - h_E)$$

$$\dot{Q}_{BC_{2_I}} = \rho_a * \dot{V}_{TOT} * (h_R - h_A)$$

Dove l'entalpia del punto R è la stessa del punto di saturazione della retta a titolo ambiente.

TRASFORMAZIONI/BATTERIE - INVERNALE									
	Punto	Temperatura [°C]	U.R. [%]	x [g _{vap} /kg _{aria}]	h [kJ/kg _{gas}]		Q _{BC1_I} [kW]	Q _{BC2_I} [kW]	V _{TOT,I} [m ³ /h]
Ambiente Esterno	A	20	50	7,4	39				
Riscaldamento	E	-2	80	2,6	1				
Immissione	R	21	18	2,6	28		72,3	29,4	7458
	C	20	50	7,4	39				

Tab. 5.5-6 Punti di lavoro dell'UTA nel periodo invernale e potenza delle batterie

5.5.6.2 *Trattamento dell'aria in funzionamento estivo*

Una prima distinzione con il funzionamento invernale è che l'aria trattata dall'UTA consiste in una portata molto più grande e che in gran parte proviene dal ricircolo dell'aria ambiente, detta secondaria. Nel periodo estivo l'aria viene immessa a delle condizioni C differenti da quelle ambientali A. Essendo l'aria trattata costituita sia da aria di ricircolo alle condizioni ambientali A, sia da aria primaria alle condizioni esterne E, le trasformazioni termo-igrometriche vengono effettuate a partire dalle condizioni di miscelazione M individuate nella retta di intersezione A-E in funzione del rapporto fra le portate di rinnovo rispetto all'aria primaria (Fig. 5.5-9 [2]). L'aria miscelata subisce un raffreddamento prima sensibile grazie ad una batteria fredda, seguito da una deumidificazione con condensazione alle condizioni di saturazione, per concludere con un post-riscaldamento fino alle condizioni di immissione in ambiente, determinate attraverso l'uso della "retta ambiente" di pendenza pari a $\Delta h_s/\Delta h_l$, ovvero al rapporto tra il calore sensibile e quello latente. I punti di funzionamento possono essere in realtà infiniti e dipendono dal valore R a cui si decide di raffreddare tramite la deumidificazione, solitamente assunto tra i 13 ed i 17 [°C], e che nel caso in esame è stato assunto pari a 14 [°C].

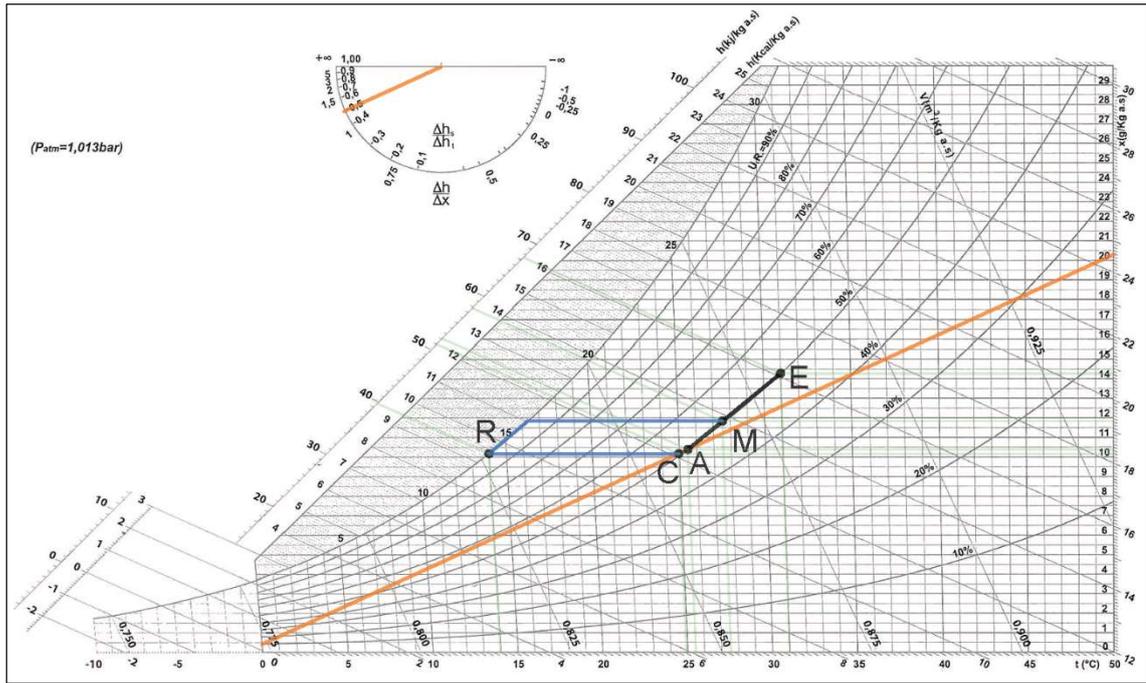


Fig. 5.5-10 Diagramma psicrometrico per il periodo estivo [2]

La potenza della batteria fredda estiva (BF_E) e di quella di post-riscaldamento (BC_POST_E), sono calcolate in base al salto entalpico delle trasformazioni effettuate (Tab. 5.5-7):

$$\dot{Q}_{BF_E} = \rho_a * \dot{V}_{TOT} * (h_M - h_R)$$

$$\dot{Q}_{BC_POST_E} = \rho_a * \dot{V}_{TOT} * (h_C - h_R)$$

TRASFORMAZIONI/BATTERIE - ESTIVO										
	Punto	Temperatura [°C]	U. R. [%]	x [g _{vap} /kg _a aria]	h [kJ/kg as]	Δh (M-C) [kJ/kg as]	Miscela rinnovo/primaria	Q _{BF_E} [kW]	Q _{BC_POS T_E} [kW]	V _{TOT,i} [m ³ /h]
Ambiente Esterno	A	25,5	50	10,4	52					
Miscela	M	27,6	50	11,8	58	7	1,7	246,8	150,8	38199
Raffreddamento	R	14	100	10,1	40					
Immissione	C	24,9	51	10,1	51					

Tab. 5.5-7 Punti di lavoro dell'UTA nel periodo estivo e potenza delle batterie

5.5.6.3 Recuperatore di calore

Le potenze delle batterie fin qui trovate non tengono conto del fatto che all'interno dei moduli dell'UTA, dopo il ventilatore di ripresa ed in

corrispondenza della sezione di miscelazione, è posizionato un recuperatore di calore di tipo rotativo-entalpico che permette di recuperare gran parte del calore presente nell'aria di ricircolo prima dell'eventuale espulsione in favore della parte di aria primaria. Il recuperatore rotativo è un rotatore con dei vantaggi soprattutto in termini di efficienza, la quale, con la possibilità di recuperare anche il calore di condensa, può raggiungere picchi dell'80%. Con sé, questa scelta porta alcuni svantaggi, come dei possibili trafilamenti di aria impura, che però non vengono ritenuti fondamentali per l'applicazione di questo lavoro, non trattandosi ad esempio di una struttura ospedaliera ad alto rischio ma di una più semplice struttura di ospitalità clinica in ambito residenziale e dove comunque parte dell'aria è comunque fatta ricircolare, oppure anche il fatto che è necessario posizionare i due flussi di aria, primaria e di ricircolo, controcorrente ed in forte prossimità tra di loro, con ovvie necessità di spazi ed ingombri. Le potenze risultanti per le batterie dell'UTA sono riassunte nella Tab. 5.5-8, dove si suppone un rendimento pari al 70%.

	POTENZE CON RECUPERATORE ROTATIVO ENTALPICO [η 70%]
Q_{BF} [kW]	74,0
Q_{BC_POST} [kW]	45,2
Q_{BC1_I} [kW]	21,7
Q_{BC2_I} [kW]	8,8

Tab. 5.5-8 Potenze effettive richieste delle batterie al netto del recuperatore di calore

5.5.6.4 Ventilatori

La tipologia di impianto utilizzato richiede l'uso di due ventilatori per la circolazione dell'aria, uno adibito al ricircolo dell'aria, l'altro alla mandata. Una volta individuato il terminale più sfavorito servito dall'UTA, per prima cosa si valutano le perdite distribuite considerando gli effettivi valori di perdita lineare specifica, i quali possono differire in parte dal

valore di progetto di 0,05 [mm c.a./m], in ogni tratto di distribuzione dell'aria tra la centrale di trattamento dell'aria ed il terminale scelto:

$$\Delta p_d = \sum_i r_i * L_i$$

Dove,

- Δp_d ~ perdite di carico distribuite
- r_i [mm c.a./m] o [Pa/m] ~ perdita di carico specifica per metro lineare del tratto di canale i-esimo
- L_i [m] ~ lunghezza del tratto di canale i-esimo

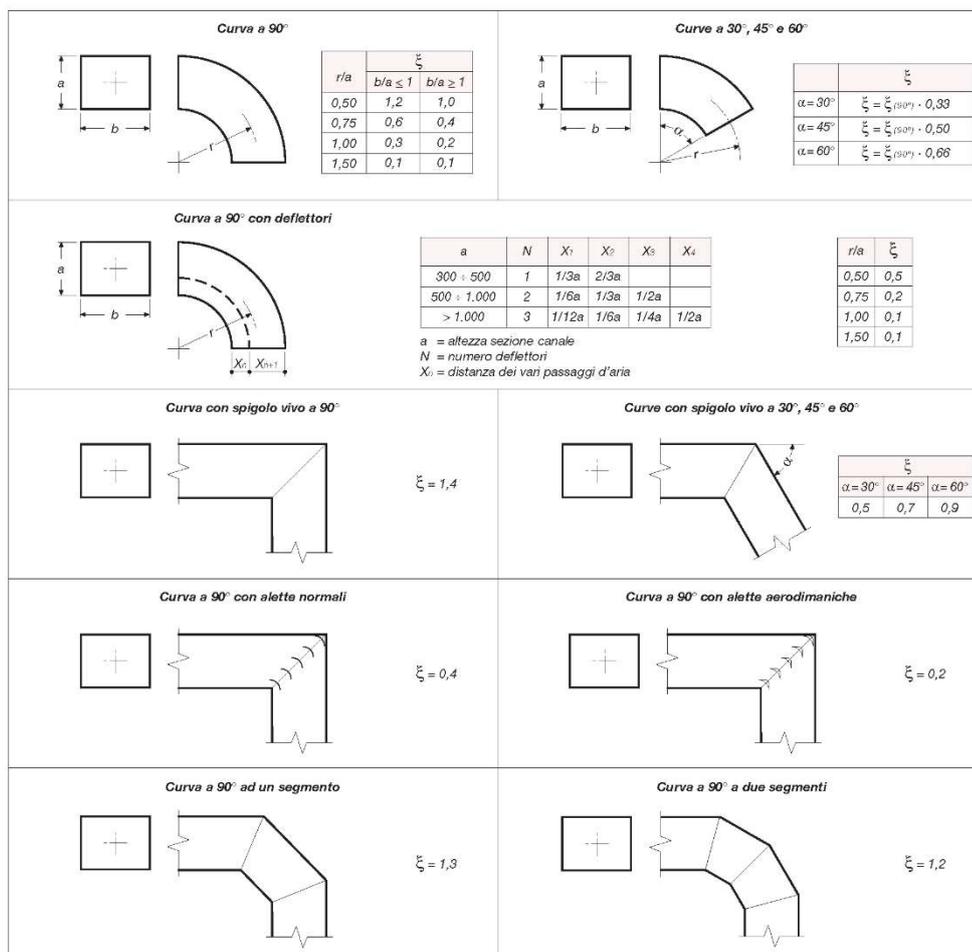
Per quanto riguarda le perdite concentrate invece, queste sono determinate su base approssimativa individuando i possibili elementi "speciali" di disturbo del flusso d'aria nel sistema di trattamento e distribuzione dell'aria, ed utilizzando i coefficienti di perdita ξ presenti nelle tabelle messe a disposizione dalla Caleffi di cui si riporta un esempio in Fig. 5.5-10 per i canali rettangolari. Da ogni coefficiente è possibile ricavare il corrispondente valore di perdita di carico in [Pa] tramite la formula:

$$\Delta p_c = \frac{\rho_a * \xi * v^2}{2}$$

Dove,

- Δp_c [Pa] ~ perdite di carico concentrate
- ρ_a [kg/m³] ~ densità dell'aria
- ξ ~ coefficiente di perdita relativo al "pezzo speciale"
- v [m/s] ~ velocità del flusso d'aria nel tratto ove presente il "pezzo speciale"

Canali rettangolari - valori indicativi dei coefficienti ξ - curve



92-2

CALEFFI

92-2

Fig. 5.5-11 Perdite di carico localizzate relative ai canali rettangolari

Il calcolo delle prevalenze per il ventilatore di mandata e quello di ripresa, sono riportati rispettivamente in Tab. 5.5-9 e Tab. 5.5-10.

Ventilatore - Mandata										
T	Tratto	Elemento	Tipo	L [m]	Δp [Pa]	r [Pa/m]	v^2 [m ² /s ²]	ξ	z [Pa]	H [Pa]
FP11	FP11	serranda + batteria	c					4,8	21,0	999,4
	NP10 - FP11	rettilineo	d	1,9	0,90	0,5	7,29		0,90	
	NP10 - FP11	deviazione a 90°_riduzione sezione_tratto deviato	c					0,5	2,2	
	NP9-NP10	rettilineo	d	3,9	0,23	0,6	11,90		0,23	
	NP9-NP10	curva a 90°_spigolo vivo	c					1,4	10,0	
	NP9-NP10	deviazione a 90°_riduzione sezione_tratto deviato	c					0,5	3,6	
	NP7-NP9	rettilineo	d	3,7	0,19	0,5	14,06		0,19	
	NP7-NP9	curva a 90°_spigolo vivo	c					1,4	11,8	
	NP7-NP9	curva a 90°_spigolo vivo	c					1,4	11,8	
	NP6-NP7	rettilineo	d	3,9	0,15	0,4	13,47		0,15	
	NP6-NP7	deviazione a 90°_riduzione sezione_tratto deviato	c					0,5	4,0	
	NP5-NP6	rettilineo	d	2,8	0,08	0,3	19,01		0,08	
	NP5-NP6	deviazione a 90°_riduzione sezione_tratto rettilineo	c					0,4	4,6	
	NP4-NP5	rettilineo	d	2,7	0,09	0,3	20,88		0,09	
	NP4-NP5	deviazione a 90°_riduzione sezione_tratto rettilineo	c					0,4	5,0	
	NP3-NP4	rettilineo	d	2,6	0,09	0,3	22,09		0,09	
	NP3-NP4	deviazione a 90°_riduzione sezione_tratto rettilineo	c					0,4	5,3	
	NP2-NP3	rettilineo	d	0,9	0,03	0,4	24,11		0,03	
NP2-NP3	deviazione a 90°_riduzione sezione_tratto rettilineo	c					0,4	5,8		
NP1-NP2	rettilineo	d	1,4	0,02	0,1	9,67		0,02		
NP1-NP2	deviazione a 90°_riduzione sezione_tratto deviato	c					0,5	2,9		
NP-NP1	rettilineo	d	3,5	0,09	0,3	22,75		0,09		
NP-NP1	deviazione a 90°_riduzione sezione_tratto deviato	c					0,5	6,8		
	UTA-M-NP	rettilineo	d	30,0	2,70	0,9	22,75		2,70	

UTA-M-NP	\	c	20,0
Recuperatore rotativo entalpico 70%		c	100,0
Camera di miscela/espulsione		c	60,0
Filtri a bassa efficienza		c	60,0
Filtri ad alta efficienza		c	120,0
Batteria calda		c	80,0
Umidificatore		c	100,0
Batteria fredda		c	100,0
Separatore di gocce		c	80,0
Batteria di post		c	80,0
Ventilatore di mandata		c	100,0

Tab. 5.5-9 Calcolo della prevalenza per il ventilatore di mandata

Ventilatore - Ripresa										
T	Tratto	Elemento	Tipo	L [m]	Δp [Pa]	r [Pa/m]	v^2 [m ² /s ²]	ξ	z [Pa]	H [Pa]
GP16	GP16	serranda	c					1,8	10,4	165,2
	NRP15-GP16	rettilineo	d	2,5	0,12	0,05	9,67		0,12	
	NRP15-GP16	curva a 90°_spigolo vivo	c					1,4	8,12	
	NRP15-GP16	deviazione a 90°_riduzione sezione_tratto rettilineo	c					0,4	2,32	
	NRP14-NRP15	rettilineo	d	3,4	0,20	0,06	11,90		0,12	
	NRP14-NRP15	deviazione a 90°_riduzione sezione_tratto rettilineo	c					0,4	2,9	
	NRP12-NRP14	rettilineo	d	1,9	0,04	0,02	5,71		0,12	
	NRP12-NRP14	derivazione a T	c					1,4	4,8	
	NRP7-NRP12	rettilineo	d	6,2	0,15	0,02	8,70		0,12	
	NRP7-NRP12	deviazione a 90°_riduzione sezione_tratto rettilineo	c					0,4	2,1	
	NRP3-NRP7	rettilineo	d	1,7	0,15	0,02	8,70		0,12	
	NRP3-NRP7	deviazione a 90°_riduzione sezione_tratto rettilineo	c					0,4	2,1	
	NRP2-NRP3	rettilineo	d	7,5	0,07	0,01	6,92		0,12	
	NRP2-NRP3	deviazione a 90°_riduzione sezione_tratto rettilineo	c					0,4	1,7	
	NRP1-NRP2	rettilineo	d	0,4	0,004	0,01	7,45		0,12	
	NRP1-NRP2	deviazione a 90°_riduzione sezione_tratto rettilineo	c					0,4	1,8	
	NRP-NRP1	rettilineo	d	4,6	0,04	0,01	9,49		0,12	
NRP-NRP1	derivazione a T	c					1,4	8,0		
UTA-R-NRP	rettilineo	d	35,0	0,35	0,01	9,49		0,12		
UTA-R-NRP	\	c						20,0		
Ventilatore di Ripresa			c						100,0	

Tab. 5.5-10 Calcolo della prevalenza per il ventilatore di ripresa

6 FABBISOGNO ENERGETICO

6.1 METODO

Effettuati tutti i dimensionamenti di rilievo, si vuole valutare “in linea di massima”, ovvero al netto di alcune semplificazioni, il comportamento integrato di involucro edilizio ed impiantistica, per fornire una panoramica dei consumi energetici annuali.

Il riferimento valutativo utilizzato è quello delle normative UNI/TS 11300 [17], ed in particolare la Parte 1: “determinazione del fabbisogno di energia termica dell’edificio per la climatizzazione estiva ed invernale”. Lo scopo è quello di individuare i consumi energetici dell’edificio su base mensile in relazione ai carichi presenti ed in parte comuni a quanto già visto per il calcolo di potenza nel capitolo 4, ed in particolare vengono analizzati i carichi termici per trasmissione e ventilazione, i carichi interni e quelli dovuti agli apporti solari, ed infine i rispettivi fattori di utilizzazione, con ovvio distinguo tra il periodo invernale e quello estivo [4] [21].

6.1.1 Scambio per trasmissione

Lo scambio per trasmissione, dipendente dalle caratteristiche dell’involucro edilizio, è dato da quattro fattori, rispettivamente:

- H_D [W/K] ~ coefficiente di scambio termico verso l’esterno
- H_g [W/K] ~ coefficiente di scambio termico verso il terreno
- H_A [W/K] ~ coefficiente di scambio termico verso altre zone
- H_U [W/K] ~ coefficiente di scambio termico attraverso ambienti non climatizzati

La somma dei fattori sopra, tenendo in considerazione il gradiente effettivo di temperatura tra ambiente interno ed esterno, dà luogo al coefficiente globale di scambio termico per trasmissione:

$$Q_{H,tr,adj} = H_D + H_g + H_A + H_U$$

All'atto pratico si possono preliminarmente considerare nulli gli ultimi due addendi, da un lato perché la zona climatica considerata è una soltanto, dall'altro perché il coefficiente di scambio termico attraverso ambienti non climatizzati è complessivamente trascurabile e relativo ad un numero molto ridotto di ambienti.

Al valore di coefficiente di scambio termico per trasmissione va poi aggiunto quel che viene chiamato "extra-flusso di radiazione infrarossa", il quale prende in considerazione le dispersioni dovute all'emissione di radiazione infrarossa verso la volta celeste.

6.1.1.1 Coefficiente di scambio termico verso l'esterno

Note le proprietà delle superfici opache e trasparenti dell'involucro edilizio, la trasmissione complessiva è data dalla sommatoria di tutti i contributi verso l'ambiente esterno.

Per evitare sottodimensionamenti del coefficiente si preferisce tenere in considerazione i valori di trasmittanza al lordo degli ombreggiamenti ed anche le esposizioni contro-terra (Tab. 6.1-1).

$$H_D = \sum_i^n A_{i,n} U_i (1 - f_{shut})$$

Componenti Opachi											
Descrizione	Esposizione		A _{i,n}	U _i						A _{i,n} *U _i	H _b
			[m ²]	[W/m ² K]						[W/K]	[W/K]
PAR EC	Sud		137,56	0,146						20,08	272,53
PAR EC	Est		287,036	0,146						41,91	
PAR EC	Nord		111,72	0,146						16,31	
PAR EC	Ovest		276,64	0,146						40,39	
PAR EC	Controtterra		37,4	0,146						5,46	
SOL CT	Controtterra		434	0,236						102,42	
SOL EC	Falda Sud		72,3	0,17						12,29	
SOL EC	Falda Est		75	0,17						12,75	
SOL EC	Falda Nord		50	0,17						8,50	
SOL EC	Falda Ovest		73	0,17						12,41	
Componenti Trasparenti											
Descrizione	Esposizione	n°	A _w	U _w	U _{w+shut}	1-f _{shut}	f _{shut}	A _{i,n} *U _w *(1-f _{shut})	A _{i,n} *U _{w+shut} *f _{shut}	H _b	
			[m ²]	[W/m ² K]	[W/m ² K]			[W/K]	[W/K]	[W/K]	
F1	Sud	3	0,65	1,73	1,47	0,4	0,6	1,35	0,57	61,96	
F1	Est	5	0,65	1,73	1,47	0,4	0,6	2,25	0,57		
F1	Ovest	8	0,65	1,73	1,47	0,4	0,6	3,60	0,57		
F2	Ovest	1	3,84	1,07	0,91	0,4	0,6	1,65	2,10		
F3	Ovest	1	4,41	1,43	1,21	0,4	0,6	2,52	3,21		
F4	Ovest	6	2,67	1,08	0,92	0,4	0,6	6,91	1,47		
F5	Ovest	1	3,73	1,33	1,13	0,4	0,6	1,99	2,54		
F6	Sud	1	3,7	1,45	1,23	0,4	0,6	2,14	2,73		
F7	Sud	1	2,7	1,60	1,36	0,4	0,6	1,72	2,20		
F7	Nord	2	2,7	1,60	1,36	0,4	0,6	3,45	2,20		
F8	Sud	1	8,1	1,06	0,90	0,4	0,6	3,42	4,37		
F8	Est	2	8,1	1,06	0,90	0,4	0,6	6,85	4,37		
F10	Est	2	2,87	1,05	0,89	0,4	0,6	2,41	1,54		
F11	Est	1	4,2	1,34	1,14	0,4	0,6	2,26	2,88		
F13	Est	1	4,45	1,29	1,10	0,4	0,6	2,30	2,93		
F14	Est	1	4,32	1,25	1,07	0,4	0,6	2,17	2,76		
F14	Ovest	1	4,32	1,25	1,07	0,4	0,6	2,17	2,76		
F15	Est	2	4,42	1,29	1,10	0,4	0,6	4,58	2,92		
F16	Est	1	6,98	0,94	0,80	0,4	0,6	2,63	3,36		
F17	Nord	1	2,33	1,28	1,08	0,4	0,6	1,19	1,52		
F18	Est	1	1,83	1,60	1,36	0,4	0,6	1,17	1,49		
F19	Sud	2	1,05	1,14	0,97	0,4	0,6	0,96	0,61		
F20	Sud	2	1,35	1,08	0,92	0,4	0,6	1,17	0,75		
F21	Sud	1	2,4	1,15	0,98	0,4	0,6	1,11	1,41		

Tab. 6.1-1 Calcolo del coefficiente di scambio termico verso l'esterno

6.1.1.2 Coefficiente di scambio termico verso il terreno

Similmente a quanto visto sopra, il coefficiente di scambio verso il terreno (Tab. 6.1-2) prende in considerazione la trasmittanza termica dell'elemento e la moltiplica per la sua superficie. Una differenza risiede nel fatto che questo coefficiente tiene in considerazione un coefficiente correttivo dipendente dal tipo di intercapedine presente fra superficie e terreno; tale coefficiente, indicato con $b_{tr,g}$, è assunto pari a 0,8 nel caso dei vespai areati scelti in questo progetto.

$$H_g = \sum_i^n b_{tr,g} A_i U_i$$

Solaio Controtterra		
Descrizione	Vs. Terreno	
Tipologia	Su Vespaio	
Area pavimento A	434	[m ²]
Perimetro esposto pavimento P	124	[m]
Struttura perimetrale	SOL CT	
Conduttività termica del terreno λ	2000	[W/mK]
Velocità del vento v	0	[m/s]
Altezza h	0,69	[m]
Area unitaria aperture ventilazione ϵ	0,02	[m ² /m]
Profondità z	0,7	[m]
Resistenza termica della stratigrafia della fondazione R_f	0,37	[m ² K/W]
Trasmittanza termica U	0,236	[W/m ² K]
Coefficiente di accoppiamento termico in regime stazionario H_g	81,94	[W/K]
Parete Controtterra		
Descrizione	Vs. Terreno	
Tipologia	Su Vespaio	
Area pavimento A	38,08	[m ²]
Perimetro esposto pavimento P	28,8	[m]
Struttura perimetrale	PAR EC	
Conduttività termica del terreno λ	2000	[W/mK]
Posizione del fabbricato	Campagna	
Altezza h	0,48	[m]
Area unitaria aperture ventilazione ϵ	0,02	[m ² /m]
Profondità z	0,7	[m]
Resistenza termica della stratigrafia della fondazione R_f	0,37	[m ² K/W]
Trasmittanza termica U	0,146	[W/m ² K]
Coefficiente di accoppiamento termico in regime stazionario H_g	4,45	[W/K]

Tab. 6.1-2 Calcolo del coefficiente di scambio termico verso terra

6.1.1.3 Extra-flusso di radiazione infrarossa

Per il calcolo dell'extra-flusso è necessario considerare diversi aspetti. Anzitutto la dispersione dipende dal fattore di forma che intercorre tra la volta celeste e gli elementi dell'edificio, che nel caso specifico sono il tetto a falda e le pareti esterne.

$$F_r = F_{sh,ob,dif} * \frac{1 + \cos S}{2}$$

Il fattore di forma va moltiplicato per il termine di flusso termico relativo ad ogni superficie presa in considerazione:

$$\sum_k F_{r,k} * \phi_{r.mn.k}$$

Il cui flusso vale:

$$\phi_{r,mn,k} = R_{se} * U_{c,k} * A_{c,k} * h_r * \Delta\theta_{er}$$

Dove,

- $F_{sh,ob,dif} = 1$ ~ fattore di ombreggiatura
- S ~ angolo di inclinazione del componente rispetto all'orizzontale
- $R_{se} = 0,04$ [m²K/W] ~ è la resistenza termica superficiale esterna
- $U_{c,k}$ [W/m²K] ~ è la trasmittanza termica del componente edilizio
- $A_{c,k}$ [m²] ~ superficie di scambio termico del componente edilizio
- $\Delta\theta_{er} = 11$ [K] ~ gradiente fra l'aria esterna e la temperatura apparente del cielo;
- $h_r = 5\varepsilon$ [W/m²K] ~ emissività per irraggiamento termico delle superfici
- $\varepsilon = 0,9$ ~ emissività media dei materiali da costruzione

6.1.2 Scambio termico per ventilazione

Il ricambio di aria avviene in maniera distinta tra estate ed inverno, questo perché come già visto nella strategia impiantistica in inverno si richiede solo la ventilazione di aria primaria per un discorso sanitario, mentre in estate l'aria viene anche deumidificata e l'impianto ad UTA deve

soddisfare tutti i carichi fuorché il termico, compito dei ventilconvettori a batteria.

In questo frangente si deve comunque tener presente che nell'impianto è presente un recuperatore di calore che permette un forte smorzamento del carico termico richiesto allo stesso, e ciò dipende dall'efficienza del recuperatore di calore rotativo, ipotizzata pari al 70%, equivalente ad un coefficiente correttivo pari a 0,3 sul calcolo finale. A questo vanno aggiunti il coefficiente correttivo relativo alla frazione di portata che attraversa il recuperatore, pari ad 1 (tutta la portata di ripresa attraversa il recuperatore) e quello relativo alla temperatura di ingresso dell'aria, pari a 0,6.

Le portate da considerare risultano complessivamente in:

Ventilazione meccanica invernale: $q_{ve,k,mn} = 7458 \text{ [m}^3/\text{h]}$

Ventilazione meccanica estiva: $q_{ve,k,mn} = 26554 \text{ [m}^3/\text{h]}$

Il coefficiente globale di scambio termico per ventilazione risulta dalla formula:

$$H_{ve,adj} = (\rho_a * c_a * \sum b_{ve,k} * q_{ve,k,mn})$$

Dove:

- $\rho_a * c_a$ ~ prodotto tra densità e calore specifico dell'aria
- $b_{ve,k}$ ~ coefficiente correttivo del recuperatore di calore
- $q_{ve,k,mn}$ ~ portata d'aria mensile

La ventilazione verso altre zone $H_{ve,zy}$ non viene ovviamente presa in considerazione trattandosi di un edificio ad unica zona.

6.2 DISPERSIONI TERMICHE

In considerazione di quanto espresso nei paragrafi precedenti si riportano i valori dei carichi relativi alla trasmissione termica e alla ventilazione nel

corso dell'anno in Tab. 6.2-1 e rispettivamente relativi all'extra-flusso termico di radiazione infrarossa in Tab. 6.2-2.

Coefficienti di Dispersione Termica - Invernale					
Mese	H _D [W/K]	H _G [W/K]	H _{tr,zy} [W/K]	H _{tr,adj} [W/K]	
Ott	335,00	87	0	422	
Nov	335,00	87	0	422	
Dic	335,00	87	0	422	
Gen	335,00	87	0	422	
Feb	335,00	87	0	422	
Mar	335,00	87	0	422	
Apr	335,00	87	0	422	
Coefficienti di Ventilazione - Invernale					
Mese		H _{ve,adj} [W/K]		H _{ve,zy} [W/K]	
Ott		746		0	
Nov		746		0	
Dic		746		0	
Gen		746		0	
Feb		746		0	
Mar		746		0	
Apr		746		0	
q _{ve,k,mn}	7458,00				
Q _a *Ca	1200				
b _{ve,k,est}	0,30				
Coefficienti di Dispersione Termica - Estivo					
Mese	H _D [W/K]	H _G [W/K]	H _{tr,zy} [W/K]	H _{tr,adj} [W/K]	
Ott	335	87	0	422	
Nov	335	87	0	422	
Dic	335	87	0	422	
Gen	335	87	0	422	
Feb	335	87	0	422	
Mar	335	87	0	422	
Apr	335	87	0	422	
Coefficienti di Ventilazione - Estivo					
Mese		H _{ve,adj} [W/K]		H _{ve,zy} [W/K]	
Ott		2655		0	
Nov		2655		0	
Dic		2655		0	
Gen		2655		0	
Feb		2655		0	
Mar		2655		0	
Apr		2655		0	
q _{ve,k,mn}	26554,00				
Q _a *Ca	1200				
b _{ve,k,est}	0,30				

Tab. 6.2-1 Dispersioni termiche e di ventilazione complessive

	S	F _r	R _{se}	U	A	h _r	Δθ _{er}	Φ _r	Φ _r *F _r	(Φ _r *F _r) _{TOT}
	[°]		[m ² K/W]	[W/m ² K]	[m ²]	[W/m ² K]	[K]	[W]	[W]	[W]
PAR EC	90	0,5	0,04	0,146	813	4,5	11	235,02	117,51	
SOL EC	20	0,97	0,04	0,17	270	4,5	11	90,88	88,16	
F1	90	0,5	0,04	1,73	0,65	4,15	11	2,05	1,03	
F2	90	0,5	0,04	1,07	3,84	4,15	11	7,52	3,76	
F3	90	0,5	0,04	1,43	4,41	4,15	11	11,49	5,75	
F4	90	0,5	0,04	1,08	2,67	4,15	11	5,26	2,63	
F5	90	0,5	0,04	1,33	3,73	4,15	11	9,09	4,54	
F6	90	0,5	0,04	1,45	3,7	4,15	11	9,78	4,89	
F7	90	0,5	0,04	1,60	2,7	4,15	11	7,87	3,93	
F8	90	0,5	0,04	1,06	8,1	4,15	11	15,63	7,81	
F9	90	0,5	0,04	1,05	10,22	4,15	11	19,54	9,77	
F10	90	0,5	0,04	1,05	2,87	4,15	11	5,51	2,75	292,46
F11	90	0,5	0,04	1,34	4,2	4,15	11	10,31	5,15	
F12	90	0,5	0,04	0,94	3,51	4,15	11	6,01	3,01	
F13	90	0,5	0,04	1,29	4,45	4,15	11	10,48	5,24	
F14	90	0,5	0,04	1,25	4,32	4,15	11	9,90	4,95	
F15	90	0,5	0,04	1,29	4,42	4,15	11	10,45	5,22	
F16	90	0,5	0,04	0,94	6,98	4,15	11	12,02	6,01	
F17	90	0,5	0,04	1,28	2,33	4,15	11	5,43	2,72	
F18	90	0,5	0,04	1,60	1,83	4,15	11	5,35	2,67	
F19	90	0,5	0,04	1,14	1,05	4,15	11	2,18	1,09	
F20	90	0,5	0,04	1,08	1,35	4,15	11	2,67	1,34	
F21	90	0,5	0,04	1,15	2,4	4,15	11	5,05	2,53	

Tab. 6.2-2 Calcolo del coefficiente di extra-flusso verso la volta celeste

6.3 APPORTI TERMICI INTERNI

Gli apporti termici interni sono tutti quei carichi dovuti alla presenza di apparecchiature meccaniche od elettroniche, o quelli relativi al metabolismo degli occupanti della struttura, che generano calore, sia di tipo sensibile che latente.

Il calcolo di tali apporti viene fatto su base mensile tramite la formula:

$$Q_{int} = \left(\sum_k (\phi_{int,mn,k}) \right) * t$$

Dove,

- Φ_{int,mn,k} ~ potenza termica relativa ai carichi interni

- t [h] ~ numero di ore nel mese considerato

Per tali carichi si sceglie di utilizzare un valore di potenza specifica per superficie pari ad 8 [W/m²] di tipo standard per gli edifici utilizzati come cliniche (Tab. 6.3-1):

Apporto medio E.3 - Cliniche [W/m ²]	A [m ²]	$\Phi_{int,mn,k}$ [W]
8	956	7648

Tab. 6.3-1 Apporti termici interni

6.4 APPORTI SOLARI

Gli apporti solari inficiano sul calore complessivo scambiato dall'edificio, sia come ingresso positivo nel periodo invernale, sia come ingresso negativo nel periodo estivo.

La formula di calcolo di tali apporti è sostanzialmente analoga a quella dei carichi interni:

$$Q_{sol} = \left(\sum_k (\phi_{sol,mn,k}) \right) * t$$

Dove,

- $\Phi_{sol,mn,k}$ ~ potenza termica relativa agli apporti solari
- t [h] ~ numero di ore nel mese considerato

Il flusso termico non è in questo caso espresso secondo un valore tabellare ma richiede un calcolo tramite la formula:

$$\Phi_{sol,k} = F_{sh,ob,k} * A_{sol,k} * I_{sol,k}$$

Dove,

- $F_{sh,ob,k}$ ~ fattore di riduzione dell'area di captazione solare per ombreggiamento
- $A_{sol,k}$ ~ area di captazione solare effettiva dell'elemento k-esimo con dato orientamento ed angolo

- $I_{sol,k} \sim$ irradianza solare media mensile con dato orientamento ed angolo

I valori di irradianza solare in una data località e rispetto alle differenti superfici di esposizione sono ricavabili attraverso specifici database online, come quello messo a disposizione dall'ENEA [23]; tali valori sono riportati, su base mensile, insieme ad i dati climatici di zona, in Tab. 6.4-1.

Valori medi mensili della temperatura media giornaliera dell'aria esterna [°C]													
Località	Altitudine [m]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
Macerata	315	3,8	5,3	8,3	12,4	16,3	20,7	23,5	23,2	19,9	14,4	9,5	5,7
Irradiazione solare giornaliera media mensile diretta+diffusa sul piano orizzontale [MJ/m²]													
Località	Altitudine [m]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
Macerata	315	6,05	9,08	13,19	17,39	21,02	22,77	22,67	19,3	14,91	10,44	6,54	5,13
Irradiazione solare globale su superficie verticale esposta a Nord													
Località	Altitudine [m]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
Macerata	315	2,09	3,04	4,26	5,92	8,19	9,65	9,17	6,89	4,83	3,48	2,33	1,84
Irradiazione solare globale su superficie verticale esposta a Sud													
Località	Altitudine [m]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
Macerata	315	10,23	11,5	11,88	10,88	10,16	9,77	10,09	10,6	11,25	11,4	9,61	9,1
Irradiazione solare globale su superficie verticale esposta ad Est-Ovest													
Località	Altitudine [m]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
Macerata	315	4,78	6,8	9,36	11,7	13,62	14,49	14,56	12,77	10,31	7,62	5	4,07
Irradiazione solare globale su superficie verticale esposta a Nordest-Nordovest													
Località	Altitudine [m]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
Macerata	315	2,33	3,78	6,01	8,68	11,17	12,46	12,23	9,91	7,11	4,55	2,66	1,98
Irradiazione solare globale su superficie verticale esposta a Sudest-Sudovest													
Località	Altitudine [m]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
Macerata	315	6	8,78	12,43	16	19,03	20,45	20,45	17,63	13,89	9,97	6,38	5,1

Tab. 6.4-1 Dati climatici della località ed irradianza media mensile sulle varie superfici

Il calcolo delle superfici di captazione solare si differenzia invece tra quello relativo alle superfici trasparenti e quello relativo a quelle opache.

6.4.1 Apporti solari tramite le superfici trasparenti

L'area di captazione solare per le finestre si calcola tramite la formula:

$$A_{Sol} = F_{sh,gl} * g_{gl} * (1 - F_F) * A_{w,p}$$

Nella quale,

- $F_{sh,gl}$ ~ fattore di riduzione degli apporti solari sul vetro, equivalente a $F_{sh,ob}$
- $g_{gl} = 0,70$ ~ trasmittanza di energia solare del vetro (vetrocamera a triplo vetro)
- F_F ~ frazione di area relativa al telaio (rapporto fra l'area del telaio e l'area complessiva dell'infisso)
- $A_{w,p}$ ~ area proiettata dal componente trasparente

I valori di flusso di calore attraverso le superfici trasparenti sono ottenuti attraverso una tabella composita riportata a titolo esplicativo in Fig. 6.4-1, composta da un sotto-blocco per il calcolo dell'area di captazione solare e da un altro per il calcolo dei coefficienti di irradianza solare media mensile, riportati rispettivamente a titolo di esempio per la superficie F1 in Tab. 6.4-2

		Area di captazione solare componenti trasparenti																																
		Elemento																																
		F1	F1	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F7	F8	F8	F10	F11	F13	F14	F14	F15	F16	F17	F18	F19	F20	F21									
		Esposizione																																
		Sud	Est	Ovest	Ovest	Ovest	Ovest	Sud	Sud	Nord	Sud	Est	Est	Est	Est	Est	Ovest	Est	Est	Est	Est	Est	Est	Sud	Sud									
		n°	3	5	8	1	1	6	1	1	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1								
		A_w	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	3,84	4,41	2,67	3,73	3,70	2,70	2,70	8,10	8,10	2,87	4,20	4,20	4,45	4,32	4,32	4,42	6,98	2,33	1,83								
		$F_{sh,gl}$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00								
		g_{gl}	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63								
		F_F	0,71	0,71	0,71	0,10	0,53	0,10	0,49	0,67	0,75	0,22	0,12	0,08	0,38	0,08	0,33	0,29	0,29	0,33	0,13	0,30	1,00	0,11	0,11	0,16								
		$1-F_F$	0,29	0,29	0,29	0,90	0,47	0,90	0,51	0,33	0,25	0,78	0,88	0,92	0,62	0,92	0,67	0,71	0,71	0,67	0,87	0,70	0,00	0,89	0,89	0,84								
		$A_{w,p}$	0,65	0,65	0,65	3,84	3,84	4,41	2,67	3,73	3,70	2,70	2,70	8,10	10,22	2,87	4,20	3,51	4,45	4,45	4,32	4,42	6,98	2,33	1,83	1,05	1,35							
		A_{sol}	0,12	0,12	0,12	2,18	1,15	2,50	0,87	0,77	0,58	1,33	4,49	5,92	1,12	2,43	1,49	2,00	2,22	1,81	2,41	3,06	0,60	1,02	0,59	0,71								
		i_{sol} - Irradianza solare media mensile [MJ/m²]																																
		Mese	Sud	Est-Ovest	Nord	Nord-est-Nord-ovest	Sud-est-Sud-ovest	F_{totale}																										
		Ott	11,40	7,62	3,48	4,55	9,97	1	4,1	4,6	7,3	16,6	8,7	11,4	2,6	8,8	6,6	9,3	51,2	90,3	17,1	18,5	11,3	15,2	16,9	27,6	18,4	10,6	0,0	23,3	13,4	8,1	509	
		Nov	9,61	5,00	2,33	2,66	6,38	1	3,5	3,0	4,8	10,9	5,7	7,9	4,3	7,4	5,6	6,2	43,2	59,2	11,2	12,1	7,4	10,0	11,1	18,1	12,0	7,1	0,0	18,6	11,3	6,8	356	
		Dic	9,10	4,07	1,84	1,98	5,10	1	3,3	2,4	3,9	8,9	4,7	6,10	3,5	7,1	5,3	4,9	40,9	48,2	9,1	9,9	6,0	8,1	9,0	14,7	9,8	5,6	0,0	18,6	10,7	6,5	302	
		Inverno	Gen <td>10,23</td> <td>4,78</td> <td>2,09</td> <td>2,33</td> <td>6,00</td> <td>1</td> <td>3,7</td> <td>2,9</td> <td>4,6</td> <td>10,4</td> <td>5,5</td> <td>7,16</td> <td>4,1</td> <td>7,9</td> <td>5,9</td> <td>5,6</td> <td>46,0</td> <td>56,6</td> <td>10,7</td> <td>11,6</td> <td>7,1</td> <td>9,6</td> <td>10,6</td> <td>17,3</td> <td>11,5</td> <td>6,4</td> <td>0,0</td> <td>20,9</td> <td>12,0</td> <td>7,3</td> <td>350</td>	10,23	4,78	2,09	2,33	6,00	1	3,7	2,9	4,6	10,4	5,5	7,16	4,1	7,9	5,9	5,6	46,0	56,6	10,7	11,6	7,1	9,6	10,6	17,3	11,5	6,4	0,0	20,9	12,0	7,3	350
		Feb	11,50	4,78	3,04	3,78	8,78	1	4,1	2,9	4,6	10,4	5,5	7,16	4,1	8,9	6,7	8,1	51,7	56,6	10,7	11,6	7,1	9,6	10,6	17,3	11,5	9,3	0,0	23,5	13,5	8,2	368	
		Mar	11,88	9,36	4,26	6,01	12,43	1	4,3	5,6	9,0	20,4	10,7	140,3	8,1	9,2	6,9	11,3	53,4	110,9	21,0	22,7	13,9	18,7	20,8	33,9	22,6	13,0	0,0	24,3	14,0	8,5	603	
		Apr	10,88	11,70	5,92	8,68	16,00	1	3,9	7,0	11,2	25,5	13,4	175,3	10,1	8,4	6,3	15,7	48,9	138,6	26,2	28,4	17,4	23,4	26,0	42,4	28,2	18,1	0,0	22,2	12,8	7,7	717	
		θ_{sol}																																
		Apr	10,88	11,70	10,88	10,88	10,88	1	3,9	7,0	11,2	25,5	13,4	175,3	10,1	8,4	6,3	28,9	48,9	138,6	26,2	28,4	17,4	23,4	26,0	42,4	28,2	33,3	0,0	22,2	12,8	7,7	746	
		Mag	10,16	13,62	8,19	11,17	19,03	1	3,6	8,2	13,0	29,7	15,6	204,1	11,8	7,9	5,9	21,8	45,7	161,3	30,5	33,1	20,2	27,2	30,2	48,3	32,8	25,0	0,0	20,7	11,9	7,2	817	
		Giù	9,77	14,49	9,65	12,46	20,45	1	3,5	8,7	13,9	31,6	16,6	217,1	12,5	7,6	5,7	25,7	43,8	171,6	32,4	35,2	21,5	29,0	32,2	52,5	34,9	29,5	0,0	20,0	11,5	7,0	864	
		Estate	Lug <td>10,09</td> <td>14,56</td> <td>9,17</td> <td>12,23</td> <td>20,45</td> <td>1</td> <td>3,6</td> <td>8,7</td> <td>13,9</td> <td>31,7</td> <td>16,7</td> <td>218,2</td> <td>12,6</td> <td>7,8</td> <td>5,8</td> <td>24,4</td> <td>45,3</td> <td>172,5</td> <td>32,6</td> <td>35,3</td> <td>21,6</td> <td>29,1</td> <td>32,3</td> <td>52,7</td> <td>35,1</td> <td>28,0</td> <td>0,0</td> <td>20,6</td> <td>11,9</td> <td>7,2</td> <td>868</td>	10,09	14,56	9,17	12,23	20,45	1	3,6	8,7	13,9	31,7	16,7	218,2	12,6	7,8	5,8	24,4	45,3	172,5	32,6	35,3	21,6	29,1	32,3	52,7	35,1	28,0	0,0	20,6	11,9	7,2	868
		Ago	10,60	12,77	6,89	9,91	17,63	1	3,8	7,6	12,2	27,8	14,6	191,3	11,1	8,2	6,1	18,3	47,6	151,3	28,6	31,0	19,0	25,5	28,4	46,2	30,8	21,1	0,0	21,6	12,5	7,6	772	
		Set	11,25	10,31	4,83	7,11	13,89	1	4,0	6,2	9,9	22,5	11,8	154,5	8,9	8,7	6,5	12,8	50,6	122,1	23,1	25,0	15,3	20,6	22,9	37,3	24,8	14,8	0,0	23,0	13,2	8,0	647	
		Ott	11,40	11,70	11,40	11,40	11,40	1	4,1	7,0	11,2	25,5	13,4	175,3	10,1	8,8	6,6	30,3	51,2	138,6	26,2	28,4	17,4	23,4	26,0	42,4	28,2	34,9	0,0	23,3	13,4	8,1	754	

Fig. 6.4-1 Apporti solari attraverso le superfici trasparenti

								Area di Captazione					
								Elemento	F1	F1			F1
								Esposizione	Sud	Est	Ovest		
								n°	3	5	8		
								A _w	0,65	0,65	0,65		
								F _{sh,gl}	1,00	1,00	1,00		
								g _{gl}	0,63	0,63	0,63		
								F _F	0,71	0,71	0,71		
								1-F _F	0,29	0,29	0,29		
								A _{w,p}	0,65	0,65	0,65		
I _{sol,k} - Irradianza solare media mensile [MJ/m²]								A _{sol}	0,12	0,12	0,12		
								2	2	2			
	Mese	Sud	Est-Ovest	Nord	Nordest-Nordovest	Sudest-Sudovest	F _{sh,ob,k}	φ _{sol,k}			TOTALE [W]		
Inverno	Ott	11,40	7,62	3,48	4,55	9,97	1	4,1	4,6	7,3	509		
	Nov	9,61	5,00	2,33	2,66	6,38	1	3,5	3,0	4,8	356		
	Dic	9,10	4,07	1,84	1,98	5,10	1	3,3	2,4	3,9	302		
	Gen	10,23	4,78	2,09	2,33	6,00	1	3,7	2,9	4,6	350		
	Feb	11,50	4,78	3,04	3,78	8,78	1	4,1	2,9	4,6	368		
	Mar	11,88	9,36	4,26	6,01	12,43	1	4,3	5,6	9,0	603		
Apr	10,88	11,70	5,92	8,68	16,00	1	3,9	7,0	11,2	717			
Estate	Apr	10,88	11,70	10,88	10,88	10,88	1	3,9	7,0	11,2	746		
	Mag	10,16	13,62	8,19	11,17	19,03	1	3,6	8,2	13,0	817		
	Giu	9,77	14,49	9,65	12,46	20,45	1	3,5	8,7	13,9	864		
	Lug	10,09	14,56	9,17	12,23	20,45	1	3,6	8,7	13,9	868		
	Ago	10,60	12,77	6,89	9,91	17,63	1	3,8	7,6	12,2	772		
	Set	11,25	10,31	4,83	7,11	13,89	1	4,0	6,2	9,9	647		
Ott	11,40	11,70	11,40	11,40	11,40	1	4,1	7,0	11,2	754			

Tab. 6.4-2 Sotto-blocchi di calcolo degli apporti solari per le superfici F1

6.4.2 Apporti solari tramite le superfici opache

L'area di captazione solare per le murature si calcola tramite la formula:

$$A_{sol} = \alpha_{sol,c} * R_{se} * U_C * A_C$$

Nella quale,

- $\alpha_{sol,c}$ ~ fattore di assorbimento solare del componente opaco
- U_c ~ trasmittanza termica del componente opaco
- A_c ~ area proiettata dal componente opaco

I valori di flusso di calore attraverso le superfici opache sono ottenuti attraverso una tabella composita riportata in Im, composta da un sottoblocco per il calcolo dell'area di captazione solare e da un altro per il calcolo dei coefficienti di irradianza solare media mensile, riportati rispettivamente a titolo di esempio per la superficie PAR EC in Tab. 6.4-3

								Area di captazione solare componenti Opachi					
								Elemento	PAR EC	PAR EC	PAR EC		PAR EC
								Esposizione	Sud	Est	Ovest	Nord	
								$F_{sh,gl}$	1,00	1,00	1,00	1,00	
								A_c	137,56	287,04	276,64	111,72	
								$\alpha_{sol,c}$	0,30	0,30	0,30	0,30	
								U_c	0,15	0,15	0,15	0,15	
								R_{se}	0,04	0,04	0,04	0,04	
								A_{sol}	0,24	0,50	0,48	0,20	
I _{sol,k} - Irradianza solare media mensile													
	Me	Su	Est-	No	Nordest-	Sudest-	$F_{sh,o}$	$\varphi_{sol,k}$				TOTALE [W]	
	se	d	Ovest	rd	Nordovest	Sudovest	b,k						
Inverno	Ott	11,40	7,62	3,48	4,55	9,97	1	2,75	3,83	3,69	0,68	20	
	Nov	9,61	5,00	2,33	2,66	6,38	1	2,32	2,51	2,42	0,46	14	
	Dic	9,10	4,07	1,84	1,98	5,10	1	2,19	2,05	1,97	0,36	12	
	Gen	10,23	4,78	2,09	2,33	6,00	1	2,47	2,40	2,32	0,41	14	
	Feb	11,50	11,88	3,04	3,78	8,78	1	2,77	5,97	5,76	0,60	26	
	Mar	11,88	9,36	4,26	6,01	12,43	1	2,86	4,71	4,54	0,83	23	
	Apr	10,88	11,70	5,92	8,68	16,00	1	2,62	5,88	5,67	1,16	27	
Estate	Apr	10,88	11,70	10,88	10,88	10,88	1	2,62	5,88	5,67	2,13	29	
	Mag	10,16	13,62	8,19	11,17	19,03	1	2,45	6,85	6,60	1,60	30	
	Giug	9,77	14,49	9,65	12,46	20,45	1	2,35	7,29	7,02	1,89	32	
	Lug	10,09	14,56	9,17	12,23	20,45	1	2,43	7,32	7,06	1,79	32	
	Agosto	10,60	12,77	6,89	9,91	17,63	1	2,55	6,42	6,19	1,35	29	
	Set	11,25	10,31	4,83	7,11	13,89	1	2,71	5,18	5,00	0,95	24	
	Ott	11,40	11,70	11,40	11,40	11,40	1	2,75	5,88	5,67	2,23	29	

Tab. 6.4-3 Sotto-blocchi di calcolo degli apporti solari attraverso le superfici opache PAR EC

6.5 SCHEMA DI CALCOLO

Il calcolo del fabbisogno energetico dell'edificio è ottenuto tramite le formule seguenti, relative rispettivamente al periodo invernale, indicato con la lettera H, ed a quello estivo, indicato con la lettera C, dalle quali si può evincere che i carichi interni e quelli solari costituiscono degli apporti positivi (compensazioni) nel periodo invernale e degli apporti negativi (sovraccarichi) in quello estivo.

$$Q_{H,nd} = (Q_{H,tr} + Q_{H,ve}) - \eta_{H,gn} * (Q_{int} + Q_{sol})$$

$$Q_{C,nd} = (Q_{int} + Q_{sol}) - \eta_{C,ls} * (Q_{C,tr} + Q_{C,ve})$$

Nelle tabelle Tab. 6.5-1 e Tab. 6.5-2 sono riassunti tutti i coefficienti necessari al calcolo del fabbisogno ed esposti in senso logico dall'alto verso il basso per entrambe le stagioni.

Riscaldamento								
$Q_{H,nd}$ [kWh]	$Q_{H,ht}$ [kWh]	$Q_{H,tr}$ [kWh]	$Q_{H,ve}$ [kWh]	Q_{gn} [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{sol} [kWh]	$\eta_{H,gn}$ \	
Mensile*	Mensile*	Mensile*	Mensile*	Mensile*	Mensile*	Mensile*	Mensile*	
$Q_{H,ht}$ [kWh]	$Q_{H,tr}$ [kWh]	$Q_{H,ve}$ [kWh]	$H_{tr,adj}$ [W/K]	$H_{ve,adj}$ [W/K]	$\theta_{int,set,H}$ [K]	θ_e [K]	t [h]	H_{ext} [W]
Mensile*	Mensile*	Mensile*	420,88	746	293,15	Mensile*	Mensile*	292,46
$H_{tr,adj}$ [W/K]	H_b [W/K]	H_g [W/K]	H_U [W/K]	H_A [W/K]				
420,88	334,49	86,39	0	0				
H_{ext} [W]								
292,46								
$H_{ve,adj}$ [W/K]								
746								
Q_{gn} [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{sol} [kWh]	$\varphi_{int,mn,k}$ [W]	$\varphi_{sol,mn,k}$ [W]	t [h]			
Mensile*	Mensile*	Mensile*	7648	Mensile*	Mensile*			
$\varphi_{int,mn,k}$ [W]								
7648								
$\varphi_{sol,mn,k}$ [W]								
Mensile*								
	Mese	t [gg]	t [h]	$\varphi_{sol,mn,k,tr}$ [W]	$\varphi_{sol,mn,k,op}$ [W]			
Invernale	Ott	31	744	509	20			
	Nov	30	720	356	14			
	Dic	31	744	302	12			
	Gen	31	744	350	14			
	Feb	28	672	368	26			
	Mar	31	744	603	23			
	Apr	30	720	717	27			
$\eta_{H,gn}$ \	γ_H \	a_H \	a_{H+1} \					
Mensile*	Mensile*	11,13	1					
γ_H \	$Q_{H,ht}$ [kWh]	Q_{gn} [kWh]						
Mensile*	Mensile*	Mensile*						
a_H \	$a_{H,0}$ \	τ [h]	$\tau_{H,0}$ [h]					
11,13	1	152	15					
τ [h]	C_m [J/K]	$H_{tr,adj}$ [W/K]	$H_{ve,adj}$ [W/K]					
152	638155257	420,88	746					

Tab. 6.5-1 Schema di calcolo per il fabbisogno invernale di riscaldamento

Raffrescamento								
$Q_{C,nd}$ [kWh]	$Q_{C,ht}$ [kWh]	$Q_{C,tr}$ [kWh]	$Q_{C,ve}$ [kWh]	Q_{gn} [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{sol} [kWh]	$\eta_{C,ls}$ \	
Mensile*	Mensile*	Mensile*	Mensile*	Mensile*	Mensile*	Mensile*	Mensile*	
$Q_{C,ht}$ [kWh]	$Q_{C,tr}$ [kWh]	$Q_{C,ve}$ [kWh]	$H_{tr,adj}$ [W/K]	$H_{ve,adj}$ [W/K]	$\theta_{int,set,H}$ [K]	θ_e [K]	t [h]	H_{ext} [W]
Mensile*	Mensile*	Mensile*	420,88	2655	299,15	Mensile*	Mensile*	292,46
$H_{tr,adj}$ [W/K]	H_b [W/K]	H_g [W/K]	H_U [W/K]	H_A [W/K]				
420,88	334,49	86,39	0	0				
H_{ext} [W]								
292,46								
$H_{ve,adj}$ [W/K]								
746								
Q_{gn} [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{sol} [kWh]	$\varphi_{int,mn,k}$ [W]	$\varphi_{sol,mn,k}$ [W]	t [h]			
Mensile*	Mensile*	Mensile*	7648	Mensile*	Mensile*			
$\varphi_{int,mn,k}$ [W]								
7648								
$\varphi_{sol,mn,k}$ [W]								
Mensile*								
	Mese	t [gg]	t [h]	$\varphi_{sol,mn,k,tr}$ [W]	$\varphi_{sol,mn,k,op}$ [W]			
Estivo	Apr	30	720	746	29			
	Mag	31	744	817	30			
	Giu	30	720	864	32			
	Lug	31	744	868	32			
	Ago	31	744	772	29			
	Set	30	720	647	24			
	Ott	31	744	754	29			
$\eta_{C,ls}$ \	γ_C \	ac \	$ac+1$ \					
Mensile*	Mensile*	10,36	8					
γ_C \	$Q_{C,ht}$ [kWh]	Q_{gn} [kWh]						
Mensile*	Mensile*	Mensile*						
ac \	$ac,0$ \	τ [h]	$\tau_{C,0}$ [h]	k \	A_w [m ²]	A_f [m ²]		
10,36	8	58	17	13	83	956		
τ [h]	C_m [J/K]	$H_{tr,adj}$ [W/K]	$H_{ve,adj}$ [W/K]					
58	638155257	420,88	2655					

Tab. 6.5-2 Schema di calcolo per il fabbisogno estivo di raffrescamento

Per il calcolo invernale, in particolare:

- $\eta_{H,gn} \sim$ fattore di utilizzazione degli apporti termici nel riscaldamento

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}}$$

$$\gamma_H = \frac{Q_{gn}}{Q_{H,ht}}$$

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}}$$

- τ [h] ~ costante di tempo termica data dal rapporto tra la capacità termica interna
- χ_i (calcolata secondo la normativa UNI EN ISO 13786 [15]) ed il coefficiente globale di scambio termico corretto (Tab. 6.5-3)

Struttura	A_i [m ²]	χ_i [kJ/Km ²]	$\chi_i * A_i$ [kJ/K]	$\chi_i * A_i$ [J/K]
PAREC	813	146	118774	638155257
PAR DV	1231	89	109418	
SOL CT	228	381	86868	
SOL IN	662	270	178740	
SOL ST	434	152	65968	
SOL EC	270	290	78387	

Tab. 6.5-3 Calcolo delle capacità termiche areiche

- $a_{H,0} = 1$
- $\tau_{H,0} = 15$ [h]

Per il calcolo estivo:

- $\eta_{C,ls}$ ~ fattore di utilizzazione degli apporti termici nel raffrescamento

$$\eta_{C,ls} = \frac{1 - \gamma_C^{-a_C}}{1 - \gamma_C^{-(a_C+1)}}$$

$$\gamma_C = \frac{Q_{gn}}{Q_{C,ht}}$$

$$a_C = a_{C,0} + \frac{\tau}{\tau_{C,0}} - k * \frac{A_w}{A_f}$$

- τ [h] ~ costante di tempo termica data dal rapporto tra la capacità termica interna

- χ_i (calcolata secondo la normativa UNI EN ISO 13786) ed il coefficiente globale di scambio termico corretto
- $a_{H,0} = 8,1$
- $\tau_{C,0} = 17$ [h]
- $k = 13$
- A_w [m²] ~ area finestrata
- A_f [m²] ~ area del pavimento climatizzata

6.6 FABBISOGNO TERMICO MENSILE

I fabbisogni energetici complessivi dei due periodi dell'anno sono riportati nelle Tab. 6.6-1 e Tab. 6.6-2, con valori espressi in [kWh] e [MJ]; gli stessi risultati sono riportati anche in forma grafica nelle Fig. 6.6-1 e Fig. 6.6-2.

Fabbisogno Invernale di Riscaldamento												
Mese	θ_e [K]	Scambi Termici			Apporti Termici			Fabbisogno				
		$Q_{H,tr}$ [kWh]	$Q_{H,ve}$ [kWh]	$Q_{H,ht}$ [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{sol} [kWh]	Q_{gn} [kWh]	a_H	γ_H	$\eta_{H,gn}$	$Q_{H,nd}$ [kWh]	$Q_{H,nd}$ [MJ]
Ott	288	1971	3108	5079	5690	394	6084	11	1,20	0,81	127	457
Nov	283	3392	5640	9032	5507	266	5773	11	0,64	1,00	3274	11785
Dic	279	4695	7937	12632	5690	234	5924	11	0,47	1,00	6709	24153
Gen	277	5290	8991	14282	5690	271	5961	11	0,42	1,00	8321	29956
Feb	278	4354	7369	11723	5139	265	5404	11	0,46	1,00	6320	22751
Mar	281	3881	6494	10375	5690	466	6156	11	0,59	1,00	4227	15216
Apr	286	2514	4082	6596	5507	536	6042	11	0,92	0,95	846	3044

Tab. 6.6-1 Fabbisogno invernale di riscaldamento

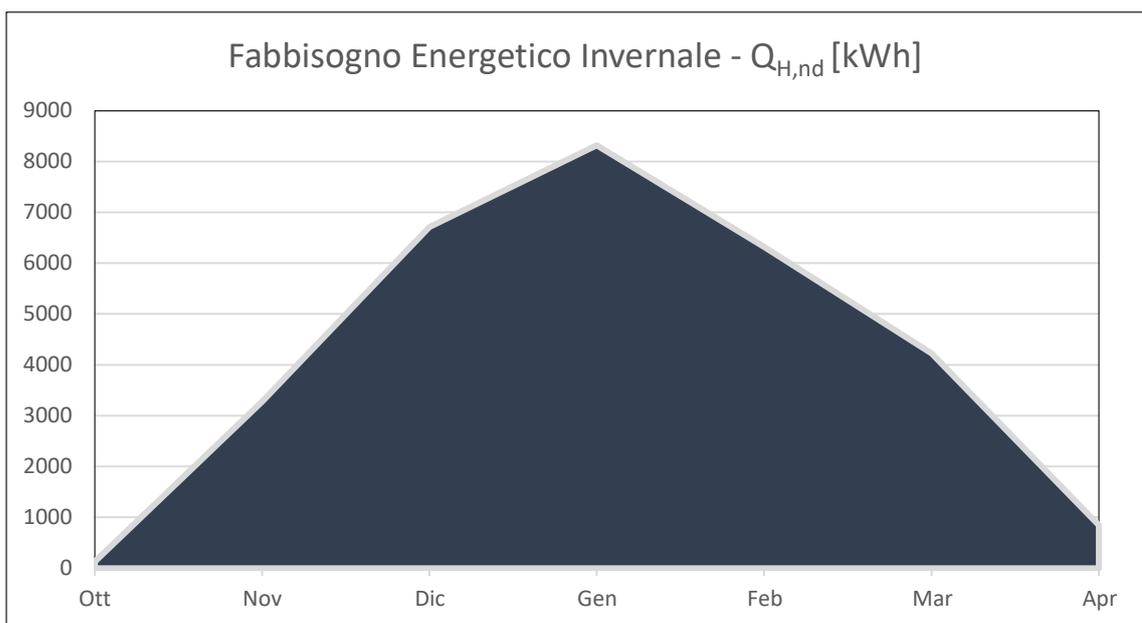


Fig. 6.6-1 Diagramma del fabbisogno energetico invernale

Fabbisogno Estivo di Raffrescamento												
Mese	θ_e [K]	Scambi Termici			Apporti Termici			Fabbisogno				
		$Q_{C,tr}$ [kWh]	$Q_{C,ve}$ [kWh]	$Q_{C,ht}$ [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{sol} [kWh]	Q_{gn} [kWh]	ac	γ_c	$\eta_{c,ls}$	$Q_{C,nd}$ [kWh]	$Q_{C,nd}$ [MJ]
Apr	286	4122	25998	30119	5507	558	6065	10	0,20	0,20	0	0
Mag	289	3038	19161	22198	5690	630	6320	10	0,28	0,28	0	0
Giu	294	1606	10131	11738	5507	645	6152	10	0,52	0,52	4	13
Lug	297	783	4938	5721	5690	670	6360	10	1,11	0,95	913	3286
Ago	296	877	5531	6408	5690	596	6286	10	0,98	0,90	500	1800
Set	293	1849	11661	13510	5507	483	5990	10	0,44	0,44	1	3
Ott	288	3633	22914	26546	5690	583	6273	10	0,24	0,24	0	0

Tab. 6.6-2 Fabbisogno estivo di raffrescamento

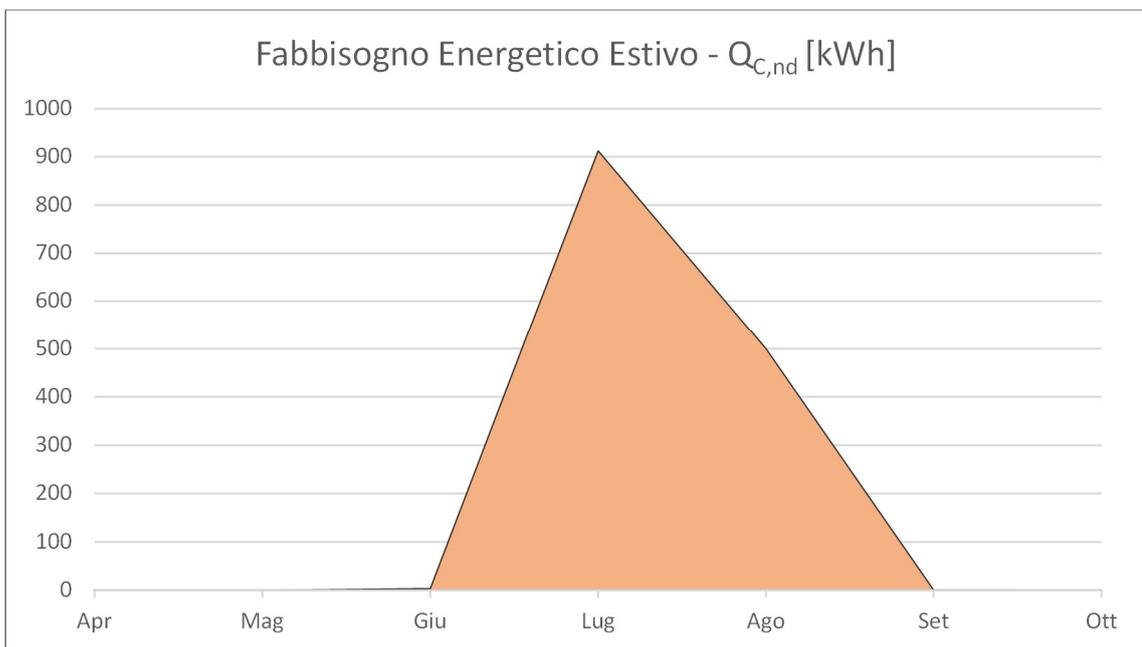


Fig. 6.6-2 Diagramma del fabbisogno energetico estivo

7 ANALISI DEI CONSUMI

7.1 Metodo

Mantenendo come riferimento le normative UNI/TS 11300, in particolare le norme 2 e 4 [18] [19], ma evitando calcoli termici dinamici più adatti ad applicazioni con software specialistici, l'analisi consiste in sostanza nella scelta di generatori in grado di soddisfare i fabbisogni termici dell'edificio e di una loro valutazione sulla base di consumi che dagli stessi ci si può aspettare in funzione dei rendimenti di lavoro.

7.2 Alternative per la generazione

In Tab. 7.2-1 sono riassunte le potenze richieste agli impianti di riscaldamento, raffrescamento ed acqua calda sanitaria, incluse le batterie fredde e calde relative all'unità di trattamento aria.

	POTENZE COMPLESSIVE		
ESTIVO	$Q_{BF,E}$ [kW]	Batteria Fredda UTA	74,0
	$Q_{BC_POST,E}$ [kW]	Batteria Calda Post-Riscaldamento UTA	45,2
	$Q_{FC,E}$ [kW]	Ventilconvettori	72,4
	Q_h [kW]	Acqua Calda Sanitaria	16,5
INVERNALE	$Q_{BC1,I}$ [kW]	Batteria Calda 1 UTA	21,7
	$Q_{BC2,I}$ [kW]	Batteria Calda 2 UTA	8,8
	$Q_{RAD,I}$ [kW]	Radiante a Pavimento	19,6
	Q_h [kW]	Acqua Calda Sanitaria	16,5
TOTALE	$Q_{TOT,ET}$ [kW]	Estiva Termica	45,2
	$Q_{TOT,EF}$ [kW]	Estiva Frigorifera	146,5
	$Q_{TOT,EACS}$ [kW]	Estiva ACS	16,5
	$Q_{TOT,IF}$ [kW]	Invernale Termica	50,1
	$Q_{TOT,IF}$ [kW]	Invernale Frigorifera	0,0
	$Q_{TOT,IACS}$ [kW]	Invernale ACS	16,5

Tab. 7.2-1 Potenze complessive richieste dagli impianti

Per il soddisfacimento di queste potenze, si prendono in considerazione due possibili alternative di generazione che andremo a chiamare rispettivamente S1 ed S2:

- S1: pompa di calore polivalente condensata ad aria con impianto a quattro tubi per riscaldamento, raffrescamento ed ACS, sia in inverno che in estate;
- S2: caldaia a condensazione per riscaldamento ed ACS, sia in inverno che in estate; refrigeratore condensato ad aria per il raffrescamento in estate.

7.2.1 Consumi energetici S1

Nel caso della pompa di calore, per effettuare una valutazione dei consumi spesso non è sufficiente utilizzare il COP (Coefficient of Performance) e l'EER (Energy Efficiency Ratio) nominali, questo perché a differenza di quanto avviene per una caldaia, la pompa di calore modifica il suo comportamento nel corso dell'anno al variare delle condizioni ambientali, specialmente durante il periodo invernale quando il rendimento può abbassarsi sensibilmente o si può avere addirittura spegnimento della macchina.

Seguendo le indicazioni della UNI TS 11300-4 (cap.9; app.G) per le pompe di calore si preferisce escludere un approccio con calcoli "mensili" per quel che riguarda il periodo invernale, poiché per essere accurato richiederebbe quantomeno una temperatura di sorgente fredda abbastanza costante, e ciò sarebbe possibile solo con l'utilizzo d'impianti a condensazione ad acqua o di tipo geotermico ma non con quelli ad aria. Per queste ragioni l'approccio utilizzato è quello cosiddetto dei "bin-mensili" [22], consistente in una distribuzione statistica normale (gaussiana) delle temperature all'interno del singolo mese, tramite la

quale si può dedurre per quante ore la pompa di calore si trovi a lavorare in determinate condizioni.

La curva di distribuzione statistica si può ricavare tramite dei parametri riassunti nella Tab. 7.2-2 sotto:

	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
H_{mese} [MJ/m ²]	6,05	9,08	13,19	17,39	21,02	22,77	22,67	19,3	14,91	10,44	6,54	5,13
θ_{med} [°C]	3,8	5,3	8,3	12,4	16,3	20,7	23,5	23,2	19,9	14,4	9,5	5,7
$\Delta\theta$	5,3	5,8	6,6	7,3	7,9	8,3	8,8	8,4	7,6	6,3	5,4	5,1
$k_{corr,\sigma,mese}$	1	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5
$\theta_{progetto}$ [°C]	-2											
$\Delta_{s,max}$	-0,24	-1,00	0,47	4,56	10,49	19,90	27,36	27,05	19,21	8,77	2,70	-0,15
$\Delta_{s,mese}$	-0,24	-0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,08
σ_{mese}	2,52	2,75	3,91	4,58	5,16	5,44	5,43	4,89	4,19	3,47	2,85	2,54
t_{mese} [h]	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
t_{min} [h]	11,16											
$\Delta\theta_{bin}$	1,00											

Tab. 7.2-2 Parametri per la costruzione della curva di distribuzione statistica dei bin-mensili

Nel particolare, il valore della temperatura media mensile θ_{med} costituisce il valore medio della distribuzione, mentre lo scarto quadratico è fornito da:

$$\Delta\sigma_{max} = 1,8 + H_{mese} + \Delta\sigma_{mese}$$

Dove,

- H_{mese} [MJ/m²] ~ radiazione giornaliera media mensile sul piano orizzontale, sia diretta che diffusa
- $\Delta\sigma$ ~ correzione dello scarto quadratico medio mensile che interviene nei mesi più freddi (considerando i fattori correttivi mensili Tab. 7.2-3)

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma_{max} * k_{corr,\sigma,mese}$$

Mese	$k_{corr,\sigma,mese}$
Dicembre	0,5
Gennaio	1,0
Febbraio	0,5
Altri mesi	0,0

Tab. 7.2-3 Coefficienti correttivi dello scarto quadratico medio mensile

$$\Delta\sigma_{max} = -0,502 - 0,15825 * (\theta_{mese,01} - \theta_{progetto}) + 0,06375 \\ * (\theta_{mese,01} - \theta_{progetto})^2 - H_{mese,01} * 0,16$$

Dove,

- Mese,01 ~ gennaio

Sulla base di tali dati si costruisce una curva di distribuzione per ciascun mese dell'anno, prendendo a riferimento degli intervalli di temperatura, chiamati bin, di ampiezza pari ad un $\Delta\theta$ di 1 [°C].

$$K_{bin,mese} \frac{1}{\sigma_{mese} \sqrt{2 * PI}} e^{-\frac{1}{2} * \left(\frac{\theta_{bin} - \theta_{mese}}{\sigma_{mese}}\right)^2} * \Delta\theta_{bin}$$

Come rappresentato a titolo di esempio in Tab. 7.2-4, per i mesi di gennaio e luglio, a ciascun bin viene associato un numero di ore che rappresenta probabilisticamente il numero di ore per il quale si avranno determinate temperature.

	θ_{bin} [°C]	GEN			LUG		
		K_{bin}	t_{mese} [h]	t_{bin} [h]	K_{bin}	t_{mese} [h]	t_{bin} [h]
Bin 1	-2,5	0,01	744	5,23	0,00	744	0,00
Bin 2	-1,5	0,02	744	12,98	0,00	744	0,00
Bin 3	-0,5	0,04	744	27,57	0,00	744	0,00
Bin 4	0,5	0,07	744	50,04	0,00	744	0,01
Bin 5	1,5	0,10	744	77,64	0,00	744	0,01
Bin 6	2,5	0,14	744	102,97	0,00	744	0,03
Bin 7	3,5	0,16	744	116,74	0,00	744	0,06
Bin 8	4,5	0,15	744	113,13	0,00	744	0,12
Bin 9	5,5	0,13	744	93,72	0,00	744	0,22
Bin 10	6,5	0,09	744	66,36	0,00	744	0,40
Bin 11	7,5	0,05	744	40,17	0,00	744	0,71
Bin 12	8,5	0,03	744	20,78	0,00	744	1,20
Bin 13	9,5	0,01	744	9,19	0,00	744	1,96
Bin 14	10,5	0,00	744	3,48	0,00	744	3,10
Bin 15	11,5	0,00	744	1,12	0,01	744	4,75
Bin 16	12,5	0,00	744	0,31	0,01	744	7,01
Bin 17	13,5	0,00	744	0,07	0,01	744	10,02
Bin 18	14,5	0,00	744	0,01	0,02	744	13,83
Bin 19	15,5	0,00	744	0,00	0,02	744	18,45
Bin 20	16,5	0,00	744	0,00	0,03	744	23,80
Bin 21	17,5	0,00	744	0,00	0,04	744	29,68
Bin 22	18,5	0,00	744	0,00	0,05	744	35,78
Bin 23	19,5	0,00	744	0,00	0,06	744	41,68
Bin 24	20,5	0,00	744	0,00	0,06	744	46,94
Bin 25	21,5	0,00	744	0,00	0,07	744	51,10
Bin 26	22,5	0,00	744	0,00	0,07	744	53,77
Bin 27	23,5	0,00	744	0,00	0,07	744	54,69
Bin 28	24,5	0,00	744	0,00	0,07	744	53,77
Bin 29	25,5	0,00	744	0,00	0,07	744	51,10
Bin 30	26,5	0,00	744	0,00	0,06	744	46,94
Bin 31	27,5	0,00	744	0,00	0,06	744	41,68
Bin 32	28,5	0,00	744	0,00	0,05	744	35,78
Bin 33	29,5	0,00	744	0,00	0,04	744	29,68
Bin 34	30,5	0,00	744	0,00	0,03	744	23,80
Bin 35	31,5	0,00	744	0,00	0,02	744	18,45
Bin 36	32,5	0,00	744	0,00	0,02	744	13,83
Bin 37	33,5	0,00	744	0,00	0,01	744	10,02
Bin 38	34,5	0,00	744	0,00	0,01	744	7,01
Bin 39	35,5	0,00	744	0,00	0,01	744	4,75
Bin 40	36,5	0,00	744	0,00	0,00	744	3,10

Tab. 7.2-4 Esempio di calcolo dei bin-mensili per i mesi di gennaio e luglio

7.2.1.1 Consumi energetici invernali

Il calcolo dei consumi energetici invernali viene fatto prendendo in considerazione tutti i mesi compresi fra ottobre ad aprile utilizzando il metodo dei bin-mensili.

Per effettuare il calcolo è necessario anzitutto verificare tramite il produttore [3] del generatore il rendimento della macchina alle condizioni di lavoro previste. Viene fatto un distinguo tra la produzione di acqua calda sanitaria (ACS), per la quale il generatore lavora al massimo del carico e con un COP relativo ad una produzione di acqua calda a 55 [°C], e la produzione di acqua calda per il riscaldamento che viene fatta a carichi CR (Capacity Ratio) variabili e con un COP relativo alla produzione di acqua calda a 40 [°C], quindi con un miglior rendimento.

Per la produzione di ACS, conoscendo il tempo in ore di ciascun bin di temperatura, conoscendo il fabbisogno energetico mensile complessivo calcolato nel precedente capitolo, ed ipotizzando che la macchina lavori al massimo del carico, si ricava l'energia che debba essere prodotta in ogni condizione di temperatura semplicemente facendo il rapporto fra l'energia richiesta in ciascun bin ed il COP relativo:

$$Q_{gn,bin} = \frac{Q_{bin}}{COP_{55}}$$

Il calcolo delle ore in cui la macchina risulta impiegata nella produzione di ACS risulta invece essere semplicemente il rapporto tra l'energia richiesta in ciascun bin e la potenza al carico massimo espressa dalla pompa di calore:

$$t_{ACS} = \frac{Q_{bin}}{\phi_{out}}$$

Rispetto a questo valore si ricava facilmente il tempo rimanente ($t_{residuo_bin}$) in ciascun bin per la produzione di acqua calda per l'impianto radiante a pavimento.

Tale tempo deve risultare almeno sufficiente alla generazione di tutto il calore richiesto senza eccedere il 100% del carico, che vorrebbe dire un sottodimensionamento della macchina. Tale condizione risulta sempre rispettata, ed anzi si impone un tempo di produzione di acqua calda per il riscaldamento ($t_{\text{lavoro_bin}}$) sempre inferiore al tempo massimo, così da far lavorare la macchina ad un carico ottimale, il quale comunque non deve scendere al di sotto della soglia imposta del 30%. Per valori di CR (Capacity Ratio) compresi fra il 30% ed il 50% del carico massimo si considera una perdita di COP pari al 10% individuata sotto il coefficiente C_c .

Nel caso del riscaldamento va aggiunto che il calcolo del calore richiesto in ciascun bin viene calcolato in base alla percentuale relativa che ciascun bin riveste nel calcolo dei gradi ora (GH_{bin}) rispetto al totale mensile.

$$GH_{\text{bin}} = t_{\text{bin}} * (16,3 - (-2))$$

Dove,

- 16,3 ~ valore di temperatura per il quale si prevede che l'impianto di riscaldamento venga spento
- -2 ~ temperatura minima invernale secondo i dati climatici

$$GH_{\text{mese}} = t_{\text{mese}} * (16,3 - \theta_{\text{med}})$$

$$Q_{\text{bin}} = Q_{\text{gn,h}} * \left(\frac{GH_{\text{bin}}}{GH_{\text{mese}}} \right)$$

$$Q_{\text{gn,bin}} = \frac{Q_{\text{bin}}}{C_c * COP_{40}}$$

Nella Tab. 7.2-5 e nella Tab. 7.2-6 vengono riportati i calcoli rispettivamente per l'ACS e per il riscaldamento nel mese di ottobre.

Mese	OTT								
Q_{gn,h} [kWh]	457								
Q_{gn,ACS} [kWh]	2837								
t_{mese} [h]	744								
θ_{med} [°C]	14,40								
		ACS							
	θ_{bin} [°C]	t_{bin} [h]	Q_{bin} [kWh]	COP₅₅	Φ_{out} [kW]	Φ_{in} [kW]	t_{ACS} [h]	Q_{gn,bin} [kWh]	t_{residuo,bin} [h]
Bin 1	-2,5	0,00	0	2,18	108,3	49,8	0,00	0,00	0,00
Bin 2	-1,5	0,00	0	2,22	111,5	50,2	0,00	0,00	0,00
Bin 3	-0,5	0,01	0	2,27	114,8	50,7	0,00	0,01	0,01
Bin 4	0,5	0,03	0	2,31	118,2	51,2	0,00	0,05	0,03
Bin 5	1,5	0,09	0	2,36	121,8	51,6	0,00	0,14	0,08
Bin 6	2,5	0,24	1	2,41	125,3	52,1	0,01	0,38	0,23
Bin 7	3,5	0,62	2	2,45	129,0	52,6	0,02	0,96	0,60
Bin 8	4,5	1,46	6	2,50	132,7	53,0	0,04	2,23	1,42
Bin 9	5,5	3,19	12	2,55	136,5	53,5	0,09	4,77	3,10
Bin 10	6,5	6,41	24	2,60	140,3	54,0	0,17	9,40	6,24
Bin 11	7,5	11,85	45	2,65	144,1	54,5	0,31	17,05	11,54
Bin 12	8,5	20,16	77	2,69	148,0	54,9	0,52	28,58	19,64
Bin 13	9,5	31,56	120	2,74	151,8	55,4	0,79	43,93	30,77
Bin 14	10,5	45,48	173	2,79	155,7	55,9	1,11	62,17	44,37
Bin 15	11,5	60,32	230	2,83	159,6	56,4	1,44	81,28	58,88
Bin 16	12,5	73,62	281	2,88	163,5	56,8	1,72	97,48	71,91
Bin 17	13,5	82,70	315	2,92	167,4	57,3	1,88	107,99	80,82
Bin 18	14,5	85,49	326	2,96	171,2	57,8	1,90	110,13	83,59
Bin 19	15,5	81,34	310	3,00	175,0	58,2	1,77	103,38	79,56
Bin 20	16,5	71,22	272	3,04	178,7	58,7	1,52	89,33	69,70
Bin 21	17,5	57,39	219	3,08	182,4	59,2	1,20	71,05	56,19
Bin 22	18,5	42,56	162	3,12	186,0	59,7	0,87	52,02	41,69
Bin 23	19,5	29,05	111	3,15	189,6	60,2	0,58	35,17	28,47
Bin 24	20,5	18,25	70	3,18	193,1	60,7	0,36	21,88	17,89
Bin 25	21,5	10,55	40	3,21	196,4	61,1	0,20	12,53	10,34
Bin 26	22,5	5,61	21	3,24	199,7	61,6	0,11	6,61	5,51
Bin 27	23,5	2,75	10	3,27	202,9	62,1	0,05	3,20	2,70
Bin 28	24,5	1,24	5	3,29	205,9	62,6	0,02	1,44	1,22

Tab. 7.2-5 Esempio di calcolo del consumo energetico per ACS nel mese di ottobre (S1)

Mese	OTT								
Q_{gn,h} [kWh]	457								
Q_{gn,ACS} [kWh]	2837								
t_{mese} [h]	744								
θ_{med} [°C]	14,40								
Riscaldamento									
	t_{lavoro,bin_(1/8)} [h]	GH_{bin}	GH_{mese}	Q_{bin} [kWh]	Φ_{out} [kW]	CR	C_c	COP₄₀	Q_{gn,bin} [kWh]
Bin 1	0,00	0,01	711	0,01	97,54	90	1,00	3,30	0,00
Bin 2	0,00	0,04	711	0,03	97,44	87	1,00	3,34	0,01
Bin 3	0,00	0,16	711	0,10	97,34	85	1,00	3,39	0,03
Bin 4	0,00	0,51	711	0,33	97,24	82	1,00	3,43	0,10
Bin 5	0,01	1,56	711	1,01	97,15	80	1,00	3,48	0,29
Bin 6	0,03	4,38	711	2,81	97,06	77	1,00	3,53	0,80
Bin 7	0,07	11,28	711	7,25	96,97	75	1,00	3,58	2,03
Bin 8	0,18	26,76	711	17,20	96,89	73	1,00	3,63	4,74
Bin 9	0,39	58,40	711	37,54	96,81	71	1,00	3,68	10,20
Bin 10	0,78	117,30	711	75,40	96,73	69	1,00	3,72	20,27
Bin 11	1,44	216,84	711	139,39	96,66	67	1,00	3,77	36,97
Bin 12	2,46	368,92	711	237,14	96,59	65	1,00	3,82	62,08
Bin 13	3,85	577,64	711	371,30	96,53	64	1,00	3,87	95,94
Bin 14	5,55	832,37	711	535,05	96,47	62	1,00	3,92	136,49
Bin 15	7,36	1103,88	711	709,57	96,41	60	1,00	3,96	179,18
Bin 16	8,99	1347,31	711	866,04	96,35	59	1,00	4,00	216,51
Bin 17	10,10	1513,39	711	972,80	96,30	58	1,00	4,05	240,20
Bin 18	10,45	1564,50	711	1005,65	96,25	56	1,00	4,09	245,88
Bin 19	9,95	1488,46	711	956,78	96,20	55	1,00	4,12	232,23
Bin 20	8,71	1303,29	711	837,75	96,16	54	1,00	4,16	201,38
Bin 21	7,02	1050,23	711	675,09	96,11	53	1,00	4,20	160,73
Bin 22	5,21	778,88	711	500,66	96,07	52	1,00	4,23	118,36
Bin 23	3,56	531,61	711	341,72	96,04	51	1,00	4,26	80,22
Bin 24	2,24	333,93	711	214,65	96,00	50	0,90	4,29	55,59
Bin 25	1,29	193,05	711	124,09	95,97	49	0,90	4,31	31,99
Bin 26	0,69	102,71	711	66,02	95,94	48	0,90	4,34	16,90
Bin 27	0,34	50,29	711	32,33	95,91	47	0,90	4,36	8,24
Bin 28	0,15	22,66	711	14,57	95,88	47	0,90	4,38	3,70

Tab. 7.2-6 Esempio di calcolo del consumo energetico per il riscaldamento nel mese di ottobre (S1)

7.2.1.2 Consumi energetici estivi

Per quel che riguarda i consumi nel periodo estivo, compreso fra aprile e settembre, l'utilità dei bin-mensili viene meno e si considerano dei valori di COP ed EER costanti.

In estate il carico risulta ripartito tra la produzione di acqua calda per le batterie dell'UTA a 40 [°C], acqua calda sanitaria a 55 [°C] ed acqua fredda per l'alimentazione della batteria fredda dell'UTA e dei diffusori a fancoil in ambiente con temperatura di mandata di 12 [°C].

I valori esemplificativi per il mese di luglio sono riportati nelle Tab. 7.2-7, Tab. 7.2-8 e Tab. 7.2-9.

Mese	LUG						
$Q_{gn,B,H}$ [kWh]	697,5						
$Q_{gn,FC+B,C}$ [kWh]	215,5						
$Q_{gn,ACS}$ [kWh]	2837						
t_{mese} [h]	744						
θ_{med} [°C]	23,50						
	ACS						
	t_{pro} [h]	Φ_{out} [kW]	Φ_{in} [kW]	COP ₅₅	CR	C _c	Q_{gn} [kWh]
	15,9	178,1	56,5	3,15	80	1	900,6

Tab. 7.2-7 Esempio di calcolo del consumo energetico per ACS nel mese di luglio (S1)

Mese	LUG						
$Q_{gn,B,H}$ [kWh]	697,5						
$Q_{gn,FC+B,C}$ [kWh]	215,5						
$Q_{gn,ACS}$ [kWh]	2837						
t_{mese} [h]	744						
θ_{med} [°C]	23,50						
	Riscaldamento						
	t_{pro} [h]	Φ_{out} [kW]	Φ_{in} [kW]	COP ₄₀	CR	C _c	Q_{gn} [kWh]
	3,9	178,1	56,5	3,15	80	1	221,4

Tab. 7.2-8 Esempio di calcolo del consumo energetico per riscaldamento (batteria di post-riscaldamento) nel mese di luglio (S1)

Mese	LUG						
$Q_{gn,B,H}$ [kWh]	697,5						
$Q_{gn,FC+B,C}$ [kWh]	215,5						
$Q_{gn,ACS}$ [kWh]	2837						
t_{mese} [h]	744						
θ_{med} [°C]	23,50						
	Raffrescamento						
	t_{pro} [h]	Φ_{out} [kW]	Φ_{in} [kW]	EER ₁₂	CR	C_c	Q_{gn} [kWh]
	1,2	178,1	56,5	3,15	80	1	68,4

Tab. 7.2-9 Esempio di calcolo del consumo energetico per raffrescamento nel mese di luglio (S1)

7.2.2 Consumi energetici S2

Nella seconda scelta di generatori si prevede una caldaia per il soddisfacimento dell'energia richiesta per il riscaldamento e l'acqua calda sanitaria, in affiancamento ad un refrigeratore a pompa di calore per il solo raffrescamento estivo.

7.2.2.1 Consumi energetici invernali

I consumi energetici relativi al riscaldamento sono facilmente individuabili una volta noto il rendimento della caldaia a condensazione dichiarato dal produttore.

In Tab. 7.2-10 viene riportato l'esempio di calcolo per il mese di ottobre utilizzando il rendimento stagionale η_s che rappresenta un dato piuttosto realistico relativamente al comportamento della caldaia.

Mese	OTT					
$Q_{gn,h}$ [kWh]	457					
$Q_{gn,ACS}$ [kWh]	2837					
t_{mese} [h]	744					
θ_{med} [°C]	14,40					
	ACS + Riscaldamento					
	t_{pro} [h]	$\Phi_{max,nom}$ [kW]	Φ_{in} [kW]	η_s	Q_{gn} [kWh]	
	6,2	73,5	51,7	0,92	3580,4	

Tab. 7.2-10 Esempio di calcolo del consumo energetico per ACS e riscaldamento nel mese di ottobre (S2)

Dove,

$$Q_{gn} = \frac{(Q_{gn,h} + Q_{gn,ACS})}{\eta_s}$$

7.2.2.2 Consumi energetici estivi

Nel periodo estivo la produzione di acqua calda sanitaria ed acqua per il riscaldamento è sempre demandata alla caldaia, pertanto il fabbisogno energetico viene calcolato nella stessa maniera, mentre per quanto riguarda la produzione di acqua per il raffrescamento relativa ad i fancoil e alla batteria fredda, questa viene generata grazie al refrigeratore a pompa di calore ed il fabbisogno energetico risultante è dato da:

$$Q_{gn} = \frac{Q_{gn,FC+B,C}}{EER_{12} * C_c}$$

Nelle Tab. 7.2-11 e Tab. 7.2-12 sono riportati gli esempi di calcolo per il mese di luglio:

Mese	LUG						
$Q_{gn,FC+B,C}$ [kWh]	215,5						
t_{mese} [h]	744						
θ_{med} [°C]	23,50						
	Raffrescamento						
	t_{pro} [h]	φ_{out} [kW]	φ_{in} [kW]	EER ₁₂	CR	C_c	Q_{gn} [kWh]
	1,3	167,4	51,7	3,24	80	1	66,5

Tab. 7.2-11 Esempio di calcolo del consumo energetico per raffrescamento nel mese di luglio (S2)

Mese	LUG						
$Q_{gn,B,H}$ [kWh]	697,5						
$Q_{gn,ACS}$ [kWh]	2837						
t_{mese} [h]	744						
θ_{med} [°C]	23,50						
	ACS + Riscaldamento						
	t_{pro} [h]	$\varphi_{max,nom}$ [kW]	φ_{in} [kW]	η_s			Q_{gn} [kWh]
	4,2	167,4	51,7	0,92			3841,9

Tab. 7.2-12 Esempio di calcolo del consumo energetico per ACS e riscaldamento (batteria di post-riscaldamento) nel mese di luglio (S2)

8 GENERATORE

8.1 POSSIBILI SCELTE A CONFRONTO

Nel capitolo precedente si sono ipotizzate due possibili soluzioni atte al soddisfacimento del fabbisogno energetico dell'edificio:

- S1: pompa di calore polivalente condensata ad aria con impianto a quattro tubi per riscaldamento, raffrescamento ed ACS, sia in inverno che in estate;
- S2: caldaia a condensazione per riscaldamento ed ACS, sia in inverno che in estate; refrigeratore condensato ad aria per il raffrescamento in estate.

La valutazione della migliore scelta generativa dovrebbe passare attraverso un'analisi complessa di molte variabili ed avrebbe comunque una validità temporale molto breve.

Il solo costo della macchina, ad esempio, può subire variazioni di prezzo significative rispetto al listino in base all'attività commerciale del produttore in una determinata area, e dovrebbero comunque essere messe a confronto numerose alternative commerciali che potrebbero uscire di produzione al momento della realizzazione del progetto o venire affiancate da nuove proposte altrettanto valide. Un altro parametro che inficia davvero molto nella scelta di un sistema generativo, in Italia ma anche nel resto d' Europa, è la possibilità di accesso ad incentivi o finanziamenti che possono stravolgere l'impatto dei costi iniziali d'impianto o parametri d'investimento come il "pay back period", e così via, tutti argomenti che esulano dai propositi di questo lavoro e, per tale motivo, l'analisi non può avere lo scopo di fornire una soluzione precisa ma solo dare indicazioni di carattere generale.

Riprendendo quanto visto nei paragrafi 2.4.2.1 e 2.5.2, la prima differenza fra le soluzioni chiamate S.1 ed S.2 è che mentre nel caso della pompa di calore l'ubicazione sarebbe necessariamente all'aperto, per ovvi motivi, nel caso della caldaia a condensazione si richiede una struttura protetta in un locale centrale termica, il quale non può coincidere con il locale tecnico al piano seminterrato come spiegato nei paragrafi sopracitati. Questa considerazione implica la necessità di costruire un nuovo locale centrale termica esterno, il quale risulterebbe in un costo ed un impegno non trascurabili.

La seconda considerazione riguarda invece quanto analizzato nel capitolo 7 relativamente ai consumi di energia previsti. I risultati sono riassunti nella successiva Tab. 8.1-1, dove per ciascun mese di lavoro degli impianti, sia in riscaldamento che in raffrescamento, si possono confrontare i [kWh] di energia che ipoteticamente verrebbero consumati.

Mese	Invernale		Mese	Estivo		
	S1	S2		S1	S2	
	Pompa di calore Q _e [kWh]	Caldaia Q _m [kWh]		Pompa di calore Q _e [kWh]	Macchina frigorifera Q _e [kWh]	Caldaia Q _m [kWh]
Ott	3124	3580	Apr	871	0	3903
Nov	3327	6651	Mag	901	0	3084
Dic	4256	10376	Giu	873	103	2987
Gen	4530	12133	Lug	1190	67	3842
Feb	3878	9654	Ago	1059	36	3499
Mar	3610	7678	Set	872	0	2985
Apr	2348	3903	Ott	901	0	3580

Tab. 8.1-1 Consumi energetici e costi totali in energia e gas metano a confronto nelle due soluzioni proposte: S1 ed S2

Ciò che si evince da tali risultati è anzitutto il grosso squilibrio tra il carico di riscaldamento e quello di raffrescamento, dove il primo fa sentire decisamente più il suo peso, nonostante le potenze richieste per il raffrescamento siano superiori, e questo è dovuto soprattutto alle buone

capacità termiche dell'involucro edilizio, sia come isolamento che come capacità termica delle strutture, mentre per il riscaldamento vi è sicuramente una parte importante di energia spesa per l'acqua calda sanitaria, per la quale non vi è influenza da parte delle stratigrafie dell'edificio; dall'altra parte il consumo per raffrescamento, alle latitudini ed altitudini considerate, e con gli alti coefficienti di prestazione delle macchine risulta molto limitato.

Annualmente i consumi di energia sono stimati pari a quanto sommariamente riportato in Tab. 8.1-2:

S_{1ee}	[kWh]	31739
S_{2ee}	[kWh]	78062

Tab. 8.1-2 Consumi energetici annuali

Dove,

- ee ~ pedice relativo all'energia elettrica
- Smc ~ pedice relativo al gas metano

Alla luce di ciò appare chiaro che l'energia annualmente risparmiata nel caso della S1 risulti essere davvero significativa:

$$S_{2ee} - S_{1ee} = 46323 [kWh]$$

A questo vantaggio si aggiunge il fatto che nella S1 si prevede l'acquisto di una sola pompa di calore, mentre nel caso S2 si richiede l'acquisto di due macchine, una caldaia ed una macchina frigorifera, quest'ultima di potenzialità simile alla pompa di calore S1 e plausibilmente di prezzo non molto inferiore, rendendo la scelta 1 più vantaggiosa sia come spazio occupato che come costo d'impianto.

A favore della S2 c'è invece il fatto che gran parte dell'energia viene ottenuta grazie al gas metano naturale, attualmente ancora ben più economico dell'energia elettrica. Utilizzando il coefficiente di conversione

10,69 si ottiene il valore in “metro cubo standard” [Sm³] equivalente, a partire dai [kWh] sopra calcolati (Tab. 8.1-3):

S _{2Smc}	[Sm ³]	7283
-------------------	--------------------	------

Tab. 8.1-3 Metri cubi standard di metano relativi alla S2

Costi indicativi dell’energia relativi al [kWh] di elettricità o al [Smc] di gas metano sono ipotizzati in Tab. 8.1-4 , dalla quale si evince che nonostante nel caso S2 l’energia complessivamente consumata sia molto più alta, il costo annuale in [€] risulterebbe comunque comparabile se non vantaggioso rispetto alla soluzione 1.

C _{ee}	[€/kWh]	0,17
C _{Smc}	[€/Smc]	0,70
C _{TOT_S1}	[€/anno]	5396
C _{TOT_S2}	[€/anno]	5133

Tab. 8.1-4 Costi energetici indicativi

9 CONCLUSIONI

Tramite questo lavoro si sono esplorate tutte le principali tematiche impiantistiche dell'edificio destinato ad ospitare persone con disabilità, a partire da un aspetto spesso trascurato perché preso erratamente in considerazione solo in fasi tardive del progetto: la prevenzione incendi; si è visto infatti come questa influisca pesantemente sia su scelte di natura architettonica (compartimentazioni, ascensori, aree filtro ecc.) che su quelle di natura termotecnica (stratigrafie, centrale termica, serrande tagliafiamma ecc.) e deve rimanere un punto di riferimento, dalle fasi preliminari a quelle conclusive, per il completamento di un edificio evoluto ed attuale. Il passo successivo è stato quello di individuare delle strutture opache e trasparenti in grado di preservare caratteristiche termiche, acustiche e di reazione al fuoco efficienti ed a servizio di scelte impiantistiche opportune. Grazie all'elevato isolamento della struttura e grazie ad una buona capacità termica delle superfici si è riusciti a contenere i carichi termici dell'edificio sia per il periodo estivo che per quello invernale, dando inoltre la possibilità di ricorrere ad impiantistiche che sarebbero state non ottimali in edifici poco efficienti. Da un punto di vista impiantistico ci si è indirizzati verso una soluzione ad alto comfort, preferendo un controllo della qualità e dell'umidità dell'aria ben definito grazie alla presenza di un'unità di trattamento dell'aria. Per compensare le dispersioni termiche invernali è stato sufficiente ricorrere ad un impianto radiante a pavimento proprio grazie ai limitati carichi specifici per metro quadro di area, ottenendo il vantaggio di poter lavorare a bassa temperatura, ovvero in maniera efficiente, ma anche ottenendo una curva termica ottimale nei locali abitati, evitando poi le problematiche di eccessivo surriscaldamento nelle mezze stagioni grazie ai massetti a bassa

inerzia termica. Per il raffrescamento estivo si è fatta una scelta meno comune ricorrendo ad un impianto a ventilconvettori, particolari poiché alimentati ad aria primaria, evitando così di utilizzare doppi terminali per il ricambio dell'aria e per il raffrescamento. Il passo successivo è consistito nella caratterizzazione della struttura con il calcolo del fabbisogno energetico annuale previsto ed effettuato con le indicazioni della normativa attuale per tutti i mesi dell'anno, sia per il riscaldamento che per il raffrescamento. Individuato il fabbisogno energetico sono state proposte due alternative per la generazione di energia, una con l'utilizzo di una pompa di calore polivalente, l'altra con l'affiancamento di una caldaia a condensazione alimentata a gas metano e di una macchina frigorifera. Il calcolo dei consumi energetici nelle due casistiche si è raggiunto in maniera sufficientemente accurata utilizzando dei binmensili di calcolo, valutando così i coefficienti di prestazione delle pompe di calore alle effettive temperature di lavoro ed il rendimento stagionale della caldaia. Per concludere, sebbene la scelta accurata di un generatore richieda un'analisi economica approfondita e che consideri specifici modelli commerciali di macchine ma anche la presenza di incentivi, finanziamenti e possibilità di investimento, in base a sole considerazioni impiantistiche si è visto che l'opzione della pompa di calore polivalente risulta per molti versi sicuramente preferibile.

BIBLIOGRAFIA

- [1] AERMEC, I carichi termici estivi, AERMEC
- [2] AERMEC, L'aria umida e l'uso del diagramma psicrometrico, AERMEC
- [3] AERMEC, Software Magellano, AERMEC
- [4] Barbina S. (CP Ingegneria), 2012, La specifica tecnica UNI TS 11300-1 per la determinazione dei fabbisogni di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale, Centro Internazionale Scienze Meccaniche (CISM)
- [5] Caleffi, Il dimensionamento degli impianti idrosanitari, Caleffi
- [6] D.M. 12 aprile 2019
- [7] D.M. 18 settembre 2002
- [8] D.M. 21 novembre 2019
- [9] D.P.R. 151/2011
- [10] Doninelli M. e Doninelli M., Tabelle e diagrammi perdite di carico aria, Quaderni Caleffi
- [11] Doninelli M. e Doninelli M., Tabelle e diagrammi perdite di carico acqua, Quaderni Caleffi
- [12] Doninelli M., Gli impianti a pannelli radianti, Quaderni Caleffi
- [13] Norma UNI, UNI 10339, 1995, Impianti aeraulici a fini di benessere.
- [14] Norma UNI, UNI EN 12831, 2018, Prestazione energetica degli edifici
- [15] Norma UNI, UNI EN ISO 13786:2018, Prestazione termica dei componenti per edilizia
- [16] Norma UNI, UNI EN ISO 14683, 2001, Ponti termici in edilizia

- [17] Norma UNI, UNI/TS 11300-1, 2014, Prestazioni energetiche degli edifici. Parte 1
- [18] Norma UNI, UNI/TS 11300-2, 2019, Prestazioni energetiche degli edifici. Parte 2
- [19] Norma UNI, UNI/TS 11300-4, 2016, Prestazioni energetiche degli edifici. Parte 4
- [20] Rossi N., 2018, Manuale del termotecnico, 4^a Ed., HOEPLI
- [21] Tripod D. e Italiano N., 2011/2012, Procedura di calcolo analitica per la determinazione del fabbisogno di energia
- [22] Weishaupt, Ordine degli ingegneri di Chieti, 2019, Efficienza energetica con sistemi a condensazione e pompe di calore
- [23] Atlante italiano della radiazione solare,
<http://www.solaritaly.enea.it/CalcComune/Calcola.php>