

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica LM-33

A.A. 2022/2023

Sessione di Laurea Aprile 2023

Valutazione tecnico-economica di interventi di riqualificazione energe	etica di
edifici in climi temperati	

Relatore:	Candidato:
Prof. Marco Perino	Vincenzo Bazzano
Correlatore:	

Prof. Giovanni Vincenzo Fracastoro

Abstract

La seguente tesi è volta alla valutazione tecnico-economica di interventi di riqualificazione energetica di edifici in climi temperati. Nello specifico è stato analizzato il caso studio dell'intervento di riqualificazione energetica di una villa unifamiliare ubicata sulle pendici dell'Etna, in provincia di Catania. L'immobile è stato oggetto di una ristrutturazione importante di secondo livello che va ad interessare sia l'involucro edilizio sia l'impianto di condizionamento. Scopo dell'analisi è stato quello di confrontare i benefici, sia in termini energetici sia in termini economici, che derivano dalla riqualificazione dell'immobile. Allo scopo di valutare il fabbisogno energetico dell'edificio è stato utilizzato il software EC 700 di Edilclima S.r.l. – Engineering and Software. La riqualificazione dell'involucro edilizio ha riguardato la coibentazione delle superfici opache e la sostituzione degli infissi. Successivamente si è passati alla descrizione della soluzione impiantistica ipotizzata andando ad analizzare dal punto di vista teorico ogni componente dell'impianto di condizionamento idronico e di ventilazione: dai terminali d'impianto al sistema di generazione. Sulla base dei dati ottenuti precedentemente, è stato effettuato il dimensionamento dei terminali dell'impianto di condizionamento, della macchina di ventilazione meccanica con deumidificazione e del sistema ibrido utilizzato come sistema di generazione. Ultimato il dimensionamento e la scelta dei componenti dell'impianto è stata effettuata una valutazione economica dell'intervento andando ad effettuare un'analisi sui costi dell'intervento, una stima dei consumi del nuovo impianto e una valutazione sulle tempistiche di rientro dell'investimento. La tesi si conclude con un confronto tecnicoeconomico tra la situazione e dopo la riqualificazione.

Ringraziamenti

Giunto al termine di questo elaborato e dunque del mio percorso universitario è arrivato il momento per me più sentito, quello dei ringraziamenti.

Nel corso di questo percorso ho vissuto momenti di felicità alternati ad altri in cui la strada mi sembrava troppo in salita per poterla superare, ma nonostante tutto sono riuscito a raggiungere l'obiettivo che mi ero prefissato grazie alla perseveranza che mi contraddistingue. D'altronde si sa che le cose belle sono anche le più difficili e sono proprio le difficoltà che le rendono speciali.

Desidero ringraziare per prima la mia famiglia che mi ha supportato e spronato in ogni situazione credendo nelle mie capacità. A mio padre che mi ha trasmesso la passione per gli impianti e per la termotecnica.

Un ringraziamento speciale ad Andrea e all'ing. Capra che si sono dimostrati sempre presenti e disponibili nel momento del bisogno.

Desidero ringraziare tutti i professori del corso di studi che hanno contribuito in maniera fondamentale alla mia formazione accademica e professionale; in particolare ci tengo a ringraziare il prof. Masoero, il prof. Fracastoro e il prof. Perino per avermi assistito durante la relazione di questo elaborato di tesi fornendomi preziosi consigli.

In fine, ma solo perché stanno sempre li a guardarmi le spalle, ringrazio i miei amici e colleghi con i quali ho condiviso gioie e dolori di questo percorso e hanno contribuito a renderlo speciale.

INDICE

1. IN	TRODUZIONE	1
1.1.	RISTRUTTURAZIONE IMPORTANTE DI SECONDO LIVELLO	1
1.2.	L'IMPIANTO TERMICO	
1.3.	IL COMFORT TERMICO	
2. CA	ALCOLO DEI FABBISOGNI ENERGETICI DELL'EDIFICIO	3
2.1.	IL SOFTWARE	3
2.2.	DATI PROGETTO ED IMPOSTAZIONI DI CALCOLO	4
2.3.	Dati climatici della località	4
Da	ati geografici	4
Da	ati invernali ed estivi di progetto	4
2.4.	DESCRIZIONE DELL'IMMOBILE	5
2.5.	I COMPONENTI DELL'INVOLUCRO	7
Pa	ırete esterna	8
Те	errapieno in cemento armato	9
Pa	vimento contro terra	9
So	laio interpiano	10
Co	opertura calpestabile	10
Те	etto a falda	11
Pa	areti interne	11
Se	rramenti e componenti finestrati	12
2.6.	CALCOLO CARICHI TERMICI	16
2.7.	POTENZE TERMICHE INVERNALI	18
2.8.	POTENZE TERMICHE ESTIVE	19
3. SO	DLUZIONE IMPIANTISTICA	21
3.1.	L'IMPIANTO IDRONICO	22
3.2.	TERMINALI D'IMPIANTO	23
Ve	entilconvettori	23
Sis	stema di climatizzazione radiante: il soffitto radiante	25
Ве	enessere termico	26
Qı	ualità dell'aria	26
C_{ℓ}	alore utilizzahile a hassa temperatura	26

Risparmio energetico	26
Tipologie di sistemai radianti	26
Soffitto radiante	26
3.3. VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA	28
Filtri	30
Ventilatori	31
Scambiatore di calore	31
3.4. SISTEMI DI GENERAZIONE	32
Generatore di calore a combustione	32
Caldaia a condensazione	33
Pompa di calore	33
Sistema ibrido	35
Fonti energetiche alternative: solare termico	36
4. DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO	37
4.1. DIMENSIONAMENTO IMPIANTO A SOFFITTO RADIANTE	37
Numero e tipologia di pannelli	38
Resa termica in riscaldamento e in raffrescamento	38
Perdite di carico	40
4.2. Dimensionamento ventilazione meccanica controllata	CON
DEUMIDIFICAZIONE	42
Macchina di ventilazione meccanica con recuperatore di calore entalpico.	43
Deumidificatore	44
Distribuzione	45
4.3. DIMENSIONAMENTO VENTILCONVETTORI	48
4.4. DIMENSIONAMENTO SISTEMA DI GENERAZIONE	49
Bollitori acqua calda sanitaria	49
Impianto solare termico pressurizzato	50
Accumulo termico	52
Gruppi di rilancio	53
Campo fotovoltaico	54
4.4.1. Caso a: sistema di generazione hybrid	57
Pompa di calore	57
Caldaia a condensazione	58

4.4	4.2. Caso b: sistema di generazione full electric	8
Po	ompa di calore5	8
5. VA	LUTAZIONE ECONOMICA DELL'INTERVENTO5	9
Pa	y Back Time5	9
5.1.	CARICHI TERMICI E CONSUMI DELL'IMMOBILE PRE-INTERVENTO	9
5.2.	CONSUMI DELL'IMMOBILE POST-INTERVENTO	1
5.3.	VALUTAZIONE ECONOMICA DELL'INTERVENTO DI RIQUALIFICAZION	Ε
ENERGE	TICA6	1
5.4.	DETRAZIONE FISCALI PER INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA 6	3
5.5.	TEMPO DI RIENTRO DELL'INVESTIMENTO	4
5.6.	CONFRONTO TRA LE SOLUZIONI IMPIANTISTICHE	4
6. CC	ONCLUSIONI6	5
7. BII	BLIOGRAFIA6	7
ALLE	GATI	9

1. Introduzione

Con l'avvento del Covid-19 e a causa delle restrizioni conseguenti attuate per limitarne la diffusione, ci si è trovati a dover trascorrere dentro la propria abitazione gran parte della propria giornata. Ad accentuare la permanenza presso la propria abitazione ha sicuramente contribuito l'introduzione dello smart working e della ormai famosa DAD (Didattica A Distanza) che ha visto coinvolti tutti gli studenti, dalle elementari sino all'università.

Fortunatamente il peggio sembra essere alle spalle e stiamo pian piano tornando alla normalità, ma questa situazione emergenziale, che ci ha portato a vivere la nostra casa in maniera intensa, ha fatto capire come sia di fondamentale importanza avere un comfort termico a 360° all'interno delle abitazioni che comprende la climatizzazione e ventilazione degli ambienti.

Passare più tempo a casa comporta un conseguente aumento delle spese relative alla climatizzazione della stessa che porta a valutare sistemi di generazione più efficienti che strizzino l'occhio anche all'ambiente.

A tale scopo seguente tesi è volta alla progettazione, dimensionamento e valutazione economica di tutti i componenti necessari alla realizzazione di un impianto di condizionamento invernale ed estivo con relativa parte dedicata alla produzione di acqua calda sanitaria e ventilazione meccanica da realizzare all'interno di un'abitazione unifamiliare.

L'immobile, che si compone di tre piani, è ubicato nel comune di Trecastagni in provincia di Catania ed è soggetto ad una ristrutturazione importante di secondo livello.

1.1. Ristrutturazione importante di secondo livello

Il Ministero dello sviluppo economico nell'allegato 1 (articoli 3 e 4) - Criteri generali e requisiti delle prestazioni energetiche degli edifici - del DM, definisce con il termine ristrutturazione importante di secondo livello:

"l'intervento interessa l'involucro edilizio con un'incidenza superiore al 25 per cento della superficie disperdente lorda complessiva dell'edificio e può interessare l'impianto termico per il servizio di climatizzazione invernale e/o estiva. In tali casi, i requisiti di

prestazione energetica da verificare riguardano le caratteristiche termo-fisiche delle sole porzioni e delle quote di elementi e componenti dell'involucro dell'edificio interessati dai lavori di riqualificazione energetica e il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione (H'T) determinato per l'intera parete, comprensiva di tutti i componenti su cui si è intervenuti. A titolo esemplificativo e non esaustivo:

- se l'intervento riguarda una porzione della copertura dell'edificio, la verifica del coefficiente globale di scambio termico per trasmissione (H'T) si effettua per la medesima porzione della copertura;
- se l'intervento riguarda una porzione della parete verticale opaca dell'edificio esposta a nord, la verifica del coefficiente globale di scambio termico per trasmissione (H'T) si effettua per l'intera parete verticale opaca esposta a nord.

Per gli impianti oggetto di eventuale intervento sono comunque rispettate le prescrizioni di cui al capitolo 5". [1]

1.2. L'impianto termico

L'impianto termico è quell'impianto tecnologico fisso destinato ai servizi di climatizzazione invernale o estiva degli ambienti, con o senza produzione di acqua calda sanitaria, o destinato alla sola produzione di acqua calda sanitaria, indipendentemente dal vettore energetico utilizzato, comprendente eventuali sistemi di produzione, distribuzione, accumulo e utilizzazione del calore nonché' gli organi di regolazione e controllo, eventualmente combinato con impianti di ventilazione. [2]

1.3. Il comfort termico

Il comfort termoigrometrico (o thermal comfort) è definito come quello stato psicofisico grazie al quale un individuo prova soddisfazione nei confronti dell'ambiente termico nel quale si trova. [3]

La valutazione del comfort termoigrometrico tiene in considerazione sia parametri quantitativi di carattere tecnico basati su un'analisi di bilancio termico dell'individuo e sulla valutazione degli scambi termici tra quest'ultimo e l'ambiente, sia parametri qualitativi che tengono in considerazione i fattori ambientali e personali del soggetto.

Un corretto dimensionamento degli impianti di climatizzazione, con l'integrazione di un'efficiente ventilazione, contribuisce in maniera sostanziale al benessere psicofisico dell'individuo.

2. Calcolo dei fabbisogni energetici dell'edificio

2.1. Il software

Per il calcolo del fabbisogno energetico estivo ed invernale dell'edificio si è utilizzato il software EC 700 di Edilclima. [4]

Edilclima è una software-house con oltre 30 anni di attività nella ricerca e sviluppo di soluzioni per quanto riguarda lo sviluppo di programmi di calcolo destinati alla progettazione impiantistica e all'osservazione dei vincoli progettuali e normativi imposti dalle leggi.

Il software EC700 consente di calcolare le prestazioni energetiche degli edifici secondo le specifiche tecniche UNI/TS 11300, nel dettaglio:

- UNI/TS 11300-1: 2014 "Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale";
- UNI/TS 11300-2: 2019 "Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali";
- UNI/TS 11300-3:2010 "Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva";
- UNI/TS 11300-4:2016 "Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria";
- UNI/TS 11300-5:2016 "Calcolo dell'energia primaria e della quota di energia da fonti rinnovabili";
- UNI/TS 11300-6:2016 "Determinazione del fabbisogno di energia per ascensori, scale mobili e marciapiedi mobili".

2.2. Dati progetto ed impostazioni di calcolo

L'utilizzo del software EC700 prevede la definizione di tutti quei parametri di progetto e il settaggio delle opzioni di calcolo secondo i regimi normativi selezionati.

A tale scopo sono stati definiti i seguenti dati di input:

- Destinazione d'uso prevalente dell'immobile (DPR 412/93): "E.1 (1) Abitazioni adibite a residenza con carattere continuativo: quali abitazioni civili e rurali";
- Regime normativo: UNI/TS 11300-4 e 5:2016;
- Temperatura interna invernale T=20°C;
- Temperatura interna estiva T=26°C.

2.3. Dati climatici della località

Dati geografici

L'immobile è ubicato a Trecastagni in provincia di Catania. Nella seguente tabella (Tabella 1) si riportano le principali caratteristiche geografiche:

Caratteristiche geografiche		
Località	Trecastagni	-
Provincia	Catania	-
Altitudine s.l.m.	586	m
Latitudine nord	37° 36'	-
Latitudine est	15° 4'	-
Gradi giorno DPR 412/93	1445	-
Zona climatica	D	-

Tabella 1-Caratteristiche geografiche

Dati invernali ed estivi di progetto

La zona climatica D assegnata definisce la stagione di riscaldamento convenzionale dal 01 novembre al 15 aprile e fornisce i dati invernali ed estivi di progetto (Tabella 2):

Dati invernali		
Temperatura esterna di progetto	1,7	°C
Dati estivi		
Temperatura esterna bulbo asciutto	30,6	°C
Temperatura esterna bulbo umido	23,8	°C
Umidità relativa	57,5	%
Escursione termica giornaliera	10	°C

Tabella 2-Dati invernali ed estivi di progetto relative al caso studio considerato

Si riportano inoltre (Tabella 3) i dati delle temperature esterne medie mensili:

Descrizione	u.m.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Temperatura	°C	8,6	7,1	8,5	12,1	15,5	20,1	22,5	23,2	19,6	16,5	11,8	9,0

Tabella 3-Temperature esterne medie mensili relative al caso studio considerato

2.4. Descrizione dell'immobile

L'immobile (Figura 1) è stato realizzato nella seconda metà degli anni 80 ed è costituito da tre piani (Tabella 4): piano interrato, piano terra e piano primo. Dal punto di vista dell'impianto di condizionamento ogni piano è associata una zona, che risultano quindi per un totale di 3.

Il piano interrato prevede la presenza del garage, del locale tecnico, di una cantina, un we e una lavanderia.

Il piano terra costituisce la zona giorno dell'abitazione ed è formata da cucina, ampio salotto, studio, vano adibito a locale asciugatura, bagno e lavanderia.

Il piano primo costituisce la zona notte dell'immobile ed è formata da tre camere da letto e due bagni.



Figura 1-Vista dall'alto dell'immobile

Tramite l'utilizzo del software EC700 è stato possibile ricostruire l'immobile in tre dimensioni e andando a considerare tutti i vari componenti dell'involucro stesso quali pavimento contro terra, pareti esterne, pareti interne, solaio interpiano, copertura calpestabile, tetto a falde ed infissi.

Zona piano interrato		Unità
Superficie in pianta utile	41,34	m^2
Superficie esterna	122,19	m^2
Volume lordo	160,34	m^3
Zona piano terra		
Superficie in pianta utile	127,99	m^2
Superficie esterna	262,85	m^2
Volume lordo	561,35	m^3
Zona piano primo		
Superficie in pianta utile	87,15	m^2
Superficie esterna	290,76	m^2
Volume lordo	461,63	m^3
Totale immobile		
Superficie in pianta utile	256,48	m^2
Superficie esterna	675,8	m^2
Volume lordo	1183,32	m^3
Rapporto Superficie/Volume	0,57	m ⁻¹

Tabella 4- Parametri caratteristici dell'immobile

Il rapporto superficie/volume fornisce un'indicazione su come si sviluppa la struttura: essendo questo valore maggiore di 0,5 si evince che l'immobile si sviluppa più sulla pianta che in altezza.

2.5. I componenti dell'involucro

I componenti dell'involucro sono stati ragionevolmente ipotizzati non avendo a disposizione dati sulla loro effettiva composizione tenendo conto del periodo storico nel quale la struttura è stata realizzata.

Per ogni componente è stata valutata la stratigrafia (Figura 2) al fine di valutare la trasmittanza U [W/m²K] data dall'inverso della somma delle resistenze di ogni strato del componente (Equazione 1).

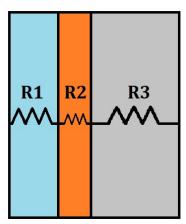


Figura 2-Esempio trasmittanza U parete con tre strati

$$U = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3}$$

Equazione 1- Esempio calcolo trasmittanza U

Al fine di semplificare la lettura dei dati si riporta la seguente tabella (Tabella 5) riportante la simbologia utilizzata nelle successive descrizioni degli strati:

Simbolo	Descrizione	U.M.
S	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore	-

Tabella 4- Legenda simboli

Si riportano i componenti della struttura:

- Parete esterna (Figura 3 e Tabella 6);
- Terrapieno in cemento armato (Figura 4 e Tabella 7);
- Pavimento contro terra (Figura 5 e Tabella 8);
- Solaio interpiano (Figura 6 e Tabella 9);
- Copertura calpestabile (Figura 7 e Tabella 10);
- Tetto a falda (Figura 8 e Tabella 11);
- Parete interna (Figura 9 e Tabella 12);
- Serramenti e componenti finestrati (Figure 10, 11, 12, 13 e Tabelle 13, 14, 15, 16, 17, 18).

Parete esterna

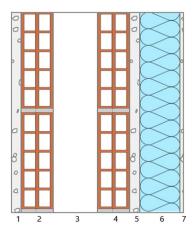


Figura 3-Stratigrafia parete esterna (460 mm)

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Intonaco di gesso e sabbia	25,00	0,8000	0,031	1600	1,00	10
2	Muratura in laterizio pareti interne (um. 0.5%)	80,00	0,3000	0,267	800	1,00	7
3	Intercapedine non ventilata Av<500 mm ² /m	110,00	0,6111	0,180	-	-	-
4	Muratura in laterizio pareti interne (um. 0.5%)	80,00	0,3000	0,267	800	1,00	7
5	Intonaco di gesso e sabbia	25,00	0,8000	0,031	1600	1,00	10
6	Pannello in lana di vetro	100,00	0,0310	3,226	70	1,03	1
7	Intonaco al quarzo	10,00	1,4500	0,007	1400	0,84	30
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,077	-	-	-

Tabella 5-Stratigrafia parete esterna

Terrapieno in cemento armato

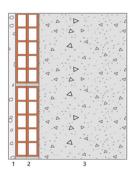


Figura 4-Stratigrafia terrapieno in cemento armato

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
_	Resistenza superficiale interna	-	-	0,13	-	-	-
1	Intonaco di gesso e sabbia	25	0,8	0,031	1600	1	10
2	Muratura in laterizio pareti interne (um. 0.5%)	80	0,3	0,267	800	1	7
3	C.l.s. armato (1% acciaio)	300	2,3	0,13	2300	1	130
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,04	-	-	-

Tabella 6-Stratigrafia terrapieno in cemento armato

Pavimento contro terra

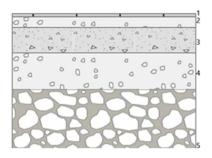


Figura 5-Stratigrafia pavimento contro terra

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	1	0,17	-	-	-
1	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	10	1,3	0,008	2300	0,84	9999
2	Massetto Mix Pronto	30	1,43	0,021	2000	1	100
3	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	70	1,49	0,047	2200	0,88	70
4	Sabbia e ghiaia	100	2	0,05	1950	1,05	50
5	Ghiaia grossa senza argilla (umidità 5%)	300	1,2	0,25	1700	1	5
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,04	-	-	-

Tabella 7-Stratigrafia pavimento contro terra

Solaio interpiano

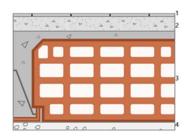


Figura 6-Stratigrafia solaio interpiano

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,17	-	-	-
1	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	10	1,3	0,008	2300	0,84	9999
	Massetto ripartitore in						
2	calcestruzzo con rete	45	1,49	0,03	2200	0,88	70
3	Solaio con blocco polistirene	280	0,406	0,69	1104	0,84	17
4	Intonaco di gesso e sabbia	25	0,8	0,031	1600	1	10
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,17	-	-	_

Tabella 8-Stratigrafia solaio interpiano

Copertura calpestabile

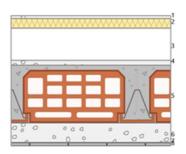


Figura 7-Stratigrafia copertura calpestabile

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,04	-	-	-
1	Cartongesso in lastre	10	0,25	0,04	900	1	10
2	Polistirene espanso, estruso con pelle	30	0,034	0,882	30	1,45	60
3	Intercapedine non ventilata Av<500 mm²/m	100	0,625	0,16	-	_	-
4	Intonaco di gesso e sabbia	15	0,8	0,019	1600	1	10
5	Blocco da solaio	180	0,6	0,3	1006	0,84	9
6	Malta di calce o di calce e cemento	60	0,9	0,067	1800	1	22
7	Bitume ossidato (per RESFLAM X-R)	1	0,17	0,006	1200	0,92	50000
8	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	10	1,3	0,008	2300	0,84	9999
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,1	-	-	-

Tabella 9-Stratigrafia copertura calpestabile

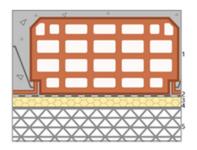


Figura 8-Stratigrafia tetto a falda

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	1	-	0,077	-	-	-
1	Solaio S 25	250	0,4	0,625	510	1,5	6
2	Barriera vapore in bitume puro	5	0,17	0,029	1050	1	50000
3	PaviFlat 30 lastra isolante piana con pellicola	30	0,0353	0,85	35	1,21	70
4	Membrana bituminosa (per THERMO 2G)	1	0,17	0,006	1200	0,92	50000
5	Copertura in tegole di argilla	100	0,99	0,101	2000	0,84	1
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,1	-	-	-

Tabella 10-Stratigrafia tetto a falda

Pareti interne

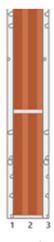


Figura 9-Stratigrafia pareti interne

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,13	-	-	-
1	Intonaco di gesso e sabbia	15	0,8	0,019	1600	1	10
	Muratura in laterizio pareti						
2	interne (um. 0.5%)	70	0,5	0,14	1400	1	7
3	Intonaco di gesso e sabbia	15	0,8	0,019	1600	1	10
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,13	-	-	-

Tabella 11-Stratigrafia pareti interne

Serramenti e componenti finestrati

Si riportano le due principali tipologie di componenti finestrati presenti nell'immobile: serramento a vetrata doppia e serramento a vetrata tripla.

<u>80x155 Serramento con vetrata di almeno 4 mm + 4 mm e camera di almeno 12 mm</u> <u>riempita con aria</u>

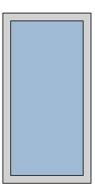


Figura 10-Serramento 80x155

			1
Caratteristiche del serramento			
Tipologia di serramento	Singolo		
Classe di permeabilità	Senza classificazione		
Trasmittanza termica	$U_{\rm w}$	1,806	W/m ² K
Trasmittanza solo vetro	$U_{\rm g}$	1,519	W/m ² K
Dati per il calcolo degli apporti solari			
Emissività	ε	0,837	-
Fattore tendaggi (invernale)	fc inv	1	-
Fattore tendaggi (estivo)	f _c est	1	-
Fattore di trasmittanza solare	$g_{\mathrm{gl,n}}$	0,67	-
Fattore trasmissione solare totale	$g_{ m gl+sh}$	0,658	-
Caratteristiche delle chiusure oscuranti			
Resistenza termica chiusure		0	m ² K/W
f shut		0,6	-

Tabella 12-Caratteristiche serramento 80x155

Caratteristiche del telaio			
Trasmittanza termica del telaio	$U_{\rm f}$	1,6	W/m ² K
K distanziale	K _d	0,08	W/mK
Area totale	A_{w}	1,24	m^2
Area vetro	A_{g}	0,931	m^2
Area telaio	Af	0,309	m^2
Fattore di forma	F_{f}	0,75	-
Perimetro vetro	$L_{\rm g}$	4,14	m
Perimetro telaio	$L_{\rm f}$	4,7	m

Tabella 13-Caratteristiche telaio serramento 80x155



Figura 11-Serramento vetro doppio

Descrizione strato	s	λ	R
Resistenza superficiale interna	-	-	0,13
Primo vetro	4	1,7	0,002
Intercapedine	-	-	0,447
Secondo vetro	4	1,7	0,002
Resistenza superficiale esterna	-	-	0,04

Tabella 14-Stratigrafia serramento vetro doppio

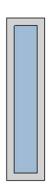


Figura 12-Serramento legno alluminio con vetro triplo

Caratteristiche del serramento			
Tipologia di serramento	Singolo		
Classe di permeabilità	Senza classificazione		
Trasmittanza termica	$U_{\rm w}$	1,577	W/m ² K
Trasmittanza solo vetro	U_{g}	0,899	W/m ² K
Dati per il calcolo degli apporti solari			
Emissività	ε	0,837	-
Fattore tendaggi (invernale)	f _{c inv}	1	-
Fattore tendaggi (estivo)	f _{c est}	1	-
Fattore di trasmittanza solare	$g_{\mathrm{gl,n}}$	0,85	-
Fattore trasmissione solare totale	$g_{\mathrm{gl+sh}}$	0,83	-
Caratteristiche delle chiusure oscuranti			
Resistenza termica chiusure		0	m ² K/W
f shut		0,6	-

Tabella 15-Caratteristiche serramento legno alluminio con vetro triplo

Caratteristiche del telaio			
Trasmittanza termica del telaio	$U_{\rm f}$	1,6	W/m ² K
K distanziale	K _d	0,06	W/mK
Area totale	$A_{\rm w}$	0,525	m^2
Area vetro	Ag	0,286	m^2
Area telaio	$A_{\rm f}$	0,239	m^2
Fattore di forma	F_{f}	0,54	-
Perimetro vetro	L_{g}	3,14	m
Perimetro telaio	$L_{\rm f}$	3,7	m

Tabella 16-Caratteristiche del telaio serramento legno alluminio con vetro triplo



Figura 13-Serramento vetro triplo

Descrizione strato	s	λ	R
Resistenza superficiale interna	-	-	0,13
Primo vetro	4	1	0,004
Intercapedine	-	-	0,447
Secondo vetro	4	1	0,004
Intercapedine	-	-	0,447
Terzo vetro	4	1	0,004
Resistenza superficiale esterna	-	_	0,077

Tabella 17-Stratigrafia serramento vetro triplo

I valori sopra riportati sono stati calcolati per tutti i serramenti presenti nell'edificio. Per semplificare la trattazione si riporta in allegato una tabella riassuntiva (Allegato 1) con le caratteristiche principali dei serramenti vetri suddivisi per zone.

Si riporta per completezza la legenda dei simboli utilizzati (Tabella 19):

Legenda simboli	
Area totale	$A_{\rm w}$
Area vetro	A_g
Area telaio	A_{f}
Fattore di forma	$F_{\rm f}$
Perimetro telaio	$L_{\rm f}$
Trasmittanza	U

Tabella 18-Legenda simboli

2.6. Calcolo carichi termici

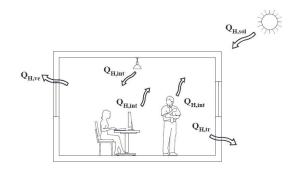


Figura 14-Bilancio energetico dell'edificio [6]

La normativa UNI/TS 11300 [5] fornisce per il calcolo dei fabbisogni di energia termica, sia nel caso invernale che nel caso estivo, un bilancio energetico della zona termica in oggetto (Figura 14) con lo scopo di mantenere i valori di temperatura interna di progetto:

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

Equazione 2- Fabbisogno ideale di energia termica dell'edificio in riscaldamento

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

Equazione 3- Fabbisogno ideale di energia termica dell'edificio per raffrescamento

Dove:

 $Q_{H,nd}$ è il fabbisogno ideale di energia termica dell'edificio per il riscaldamento;

 $Q_{C,nd}$ il fabbisogno ideale di energia termica dell'edificio per raffrescamento;

 $Q_{H,ht}$ è lo scambio termico totale nel caso di riscaldamento;

 $Q_{C,ht}$ è lo scambio termico totale nel caso di raffrescamento;

 $Q_{H,tr}$ è lo scambio termico per trasmissione nel caso di riscaldamento;

 $Q_{C,tr}$ è lo scambio termico per trasmissione nel caso di raffrescamento;

 $Q_{H,ve}$ è lo scambio termico per ventilazione nel caso di riscaldamento;

 $Q_{C,ve}$ è lo scambio termico per ventilazione nel caso di raffrescamento;

 Q_{an} sono gli apporti termici totali;

 Q_{int} sono gli apporti termici interni;

 Q_{sol} sono gli apporti termici solari;

 $\eta_{H,qn}$ è il fattore di utilizzazione degli apporti termici;

 $\eta_{C,ls}$ è il fattore di utilizzazione delle dispersioni termiche [5]

Dall'equazione 2 il fabbisogno ideale di energia termica richiesta dall'edificio in riscaldamento sia dato dalla differenza tra lo scambio termico totale (trasmissione + ventilazione) e gli apporti termici totali (solari + interni) moltiplicati per un fattore di utilizzazione degli apporti stessi.

Dall'equazione 3 il fabbisogno ideale di energia termica richiesta dall'edificio in raffrescamento sia dato dalla differenza tra gli apporti termici totali (solari + interni) e lo scambio termico totale (trasmissione + ventilazione) moltiplicati per un fattore di utilizzazione delle dispersioni termiche.

Scambio termico per trasmissione

Lo scambio termico per trasmissione fa riferimento allo scambio termico che avviene tra la zona termica considerata e tutte le superfici che la compongono: aree esterne, terreno, zone climatizzate e zone non climatizzate. Tale valutazione viene effettuata per ogni mese in cui il sistema di condizionamento risulta attivo [5].

Scambio termico per ventilazione

Lo scambio termico per ventilazione tiene conto dei ricambi d'aria necessari a seconda del livello di occupazione dei locali e della loro destinazione d'uso finalizzati a garantire una corretta qualità dell'aria. Tale ricambio comporta uno scambio termico di ventilazione proporzionale alla differenza di temperatura tra ambiente climatizzato ed esterno [5].

Apporti termici interni

Con apporti termici interni si intendono tutti gli apporti di calore dovuti al metabolismo degli occupanti, al calore delle apparecchiature elettriche e all'illuminazione. Tali valori sono valutati per ogni zona termica dell'edificio e per ogni mese considerato [5].

Apporti termici solari

Sono tutti gli apporti termici relativi all'irraggiamento solare riguardanti sia i componenti vetrati che i componenti opachi. Per la valutazione di tali apporti risulta importante la valutazione degli eventuali ombreggiamenti derivanti da edifici o dalla vegetazione confinante con l'immobile [5].

2.7. Potenze termiche invernali

Tramite l'utilizzo del software EC700 è stato possibile calcolare le potenze di progetto invernali relative ad ogni locale secondo la norma UNI EN 12831.

Al fine di rendere di più facile accesso i dati ottenuti, si riportano gli stessi suddivisi per zone climatiche e locali (Tabella 21, Tabella 22, Tabella 23).

	Legenda simboli							
$\theta_{\rm i}$	Temperatura interna del locale							
n	Ricambio d'aria del locale							
$\Phi_{ m tr}$	Potenza dispersa per trasmissione							
$\Phi_{ m ve}$	Potenza dispersa per ventilazione							
$\Phi_{ m rh}$	Potenza dispersa per intermittenza							
$\Phi_{ m hl}$	Potenza totale dispersa							
$\Phi_{ m hl \ sic}$	Potenza totale moltiplicata per il coefficiente di sicurezza							

Tabella 19- Legenda simboli

Zona climatizzata piano interrato

Loc	Descrizione	θ_{i}	n	Φ_{tr}	Фуе	$\Phi_{\rm rh}$	Φ_{hl}	Φ _{hl sic}
		[°C]	[1/h]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]
1	Locale	20	0,5	164	63	0	227	227
2	Locale	20	0,5	572	185	0	756	756
3	Locale	20	0,5	28	22	0	50	50
4	WC	20	0,5	111	33	0	144	144
5	WC	20	0,5	96	37	0	133	133
	Totale zona clima piano interrato			970	340	0	1311	1311

Tabella 21-Potenze termiche invernali piano interrato

Zona climatizzata piano terra

Loc	Descrizione	θ_{i}	n	Φ_{tr}	Фие	Φ_{rh}	$\Phi_{\rm hl}$	$\Phi_{ m hlsic}$
		[°C]	[1/h]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]
1	WC	20	0,57	82	56	0	138	138
2	Studio	20	0,56	431	160	0	591	591
3	Bagno 1	20	0,57	96	69	0	166	166
4	Cucina	20	0,57	419	191	0	610	610
5	Salone	20	0,52	1244	617	0	1862	1862
6	Locale	20	0,57	103	113	0	216	216
7	Corridoio	20	0,57	51	121	0	171	171
	Totale zona clima piano terra			2427	1327	0	3754	3754

Tabella 22-Potenze termiche invernali piano terra

Zona climatizzata piano primo

Loc	Descrizione	θ_{i}	n	Φ_{tr}	Фуе	$\Phi_{\rm rh}$	Φ_{hl}	Φ _{hl sic}
		[°C]	[1/h]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]
1	Vano 1	20	0,46	669	196	0	865	865
2	WC	20	0,43	173	48	0	221	221
3	Vano 2	20	0,44	627	190	0	817	817
4	Scala	20	0,46	426	174	0	600	600
5	Bagno	20	0,49	278	102	0	380	380
6	Vano 3	20	0,5	696	193	0	889	889
	Totale zona clima piano primo			2870	903	0	3773	3773

Tabella 23-Potenze termiche invernali piano primo

Potenze termiche invernali totali edificio

Loc	Descrizione	Φ_{tr}	Фие	$\Phi_{\rm rh}$	Φ_{hl}	Φ _{hl sic}
		[W]	[W]	[W]	[W]	[W]
1	Zona climatizzata Piano Interrato	970	340	0	1311	1311
2	Zona climatizzata Piano terra	2427	1327	0	3754	3754
3	Zona climatizzata Piano Primo	2870	903	0	3773	3773
	Totale edificio	6267	2570	0	8838	8838

Tabella 24-Potenze termiche invernali totali edificio

Dai dati sopra riportati (Tabella 24) risulta che la potenza termica dissipata in condizioni invernali è pari a 8,84 kW per tutto l'immobile

2.8. Potenze termiche estive

Per il calcolo dei carichi termici estivi si è utilizzato, analogamente a quanto effettuato per il calcolo delle potenze invernali, il software Edilclima EC700 facente riferimento alla normativa UNI EN ISO 52016.

Si riportano i risultati ottenuti riguardanti le dispersioni, gli apporti e le potenze per le tre zone climatiche considerate (Tabella 25, Tabella 26, Tabella 27).

Legenda simboli

Q_{Tr} Carico dovuto alla trasmissione Q_v Carico dovuto alla ventilazione

Qc Carichi interni

Q_{Altri eff} Altri contributi per effetti dinamici

 $Q_{gl,sen}$ Carico sensibile globale $Q_{gl,lat}$ Carico latente globale

Q_{gl} Carico globale

 Q_{Tr} Carico dovuto alla trasmissione Q_v Carico dovuto alla ventilazione

Zona climatizzata piano interrato

N.	Descrizione	Q _{Irr} [W]	Q _{Tr} [W]	Q _v [W]	Q _c [W]	Q _{Altri eff}	Q _{gl,sen} [W]	Q _{gl,lat} [W]	Q _{gl} [W]
1	Locale	94	-4	28	71	12	161	41	201
2	Locale	349	-10	83	207	-114	394	121	515
3	Locale	0	-6	11	47	-29	0	23	23
4	w.c.	0	-8	20	70	-45	0	36	36
5	w.c.	0	-13	13	79	-44	0	35	35
	Totali	443	-40	155	474	-220	555	257	811

Tabella 25-Carichi termici estivi nell'ora di massimo carico della zona interrata

Zona climatizzata piano terra

N.	Descrizione	Q _{Irr} [W]	Q _{Tr} [W]	Q _v [W]	Q _c [W]	Q _{Altri eff}	Q _{gl,sen} [W]	Q _{gl,lat} [W]	Q _{gl} [W]
1	wc	255	-9	0	21	-127	133	0	133
2	studio	0	-69	122	267	113	236	198	434
3	Bagno 1	466	-82	0	26	-182	219	0	219
4	Cucina	430	223	0	72	-207	492	0	492
5	Salone	0	-100	477	1033	185	824	771	1595
6	Locale	450	-33	0	43	-219	224	0	224
7	corridoio	0	-13	0	202	-38	99	0	99
	Totali	1601	-83	599	1664	-475	2227	970	3196

Tabella 26- Carichi termici estivi nell'ora di massimo carico della zona piano terra

Zona climatizzata piano primo

N.	Descrizione	Q _{Irr} [W]	Q _{Tr} [W]	Q _v [W]	Q _c [W]	QAltri eff	Q _{gl,sen} [W]	Q _{gl,lat} [W]	Q _{gl} [W]
1	Vano 1	0	-200	150	328	269	304	243	547
2	w.c.	67	73	0	43	-89	80	0	80
3	vano 2	153	100	40	170	80	488	54	543
4	scala	168	422	0	155	-339	362	0	362
5	bagno	244	87	0	39	-118	238	0	238
6	vano 3	392	424	89	173	-459	503	115	618
	Totali	1024	906	278	907	-656	1975	412	2387

Tabella 27- Carichi termici estivi nell'ora di massimo carico della zona piano primo

Zona climatizzata	Q _{Irr} [W]	Q _{Tr} [W]	Q _v [W]	Q _c [W]	Q _{Altri,eff} [W]	Q _{gl,sen}	Q _{gl,lat} [W]	$egin{array}{c} \mathbf{Q_{gl}} \\ [\mathbf{W}] \end{array}$
Zona climatizzata piano interrato	443	-40	155	474	-220	555	257	811
Zona climatizzata piano terra	1601	-83	599	1664	-475	2227	970	3196
Zona climatizzata piano primo	1024	906	278	907	-656	1975	412	2387
Totale edificio	3068	783	1032	3045	-1351	4757	1639	6394

Tabella 28- Valori riassuntivi per raffrescamento totali edificio

Dai dati sopra riportati (Tabella 28) risulta che il carico termico estivo nell'ora di massimo carico è pari a 6,39 kW per tutto l'immobile.

3. Soluzione impiantistica

Tra le possibili soluzioni che il mercato offre si sono analizzati due sistemi di generazione:

- a) sistema di generazione un sistema ibrido composto da pompa di calore con caldaia a condensazione avente funzione di dispositivo di backup per il riscaldamento e produzione acqua calda sanitaria con integrazione del solare termico (Allegato 4);
- b) sistema di generazione full electric costituito da pompa di calore con integrazione di una resistenza elettrica, solare termico in preriscaldo alla pompa di calore (Allegato 5).

Per entrambe le soluzioni è stato previsto un impianto fotovoltaico per l'alimentazione elettrica dei servizi di riscaldamento, raffrescamento, ventilazione, produzione acqua calda sanitaria ed illuminazione.

Per quanto riguarda i terminali del sistema di condizionamento si è optato per un sistema idronico per tutte e tre le zone. In particolare, saranno utilizzati dei ventilconvettori, o fan coil, per quanto riguarda il piano interrato, mentre condizionamento invernale ed estivo riguardante il piano terra e il piano primo sarà effettuato attraverso un soffitto radiante realizzato tramite pannelli in cartongesso modulari. La presenza dell'impianto radiante con funzionamento anche in raffrescamento ai due piani superiori comporta la necessità di deumidificare l'aria degli ambienti al fine di evitare la formazione di condensa sulla superficie dei pannelli; tale operazione verrà effettuata tramite un deumidificatore collegato in linea alla macchina di ventilazione meccanica che andrà a trattare l'area delle due zone.

3.1. L'impianto idronico

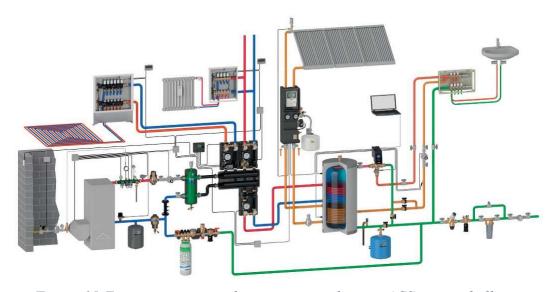


Figura 15-Esempio impianto idronico con produzione ACS tramite bollitore bivalente [8]

L'impianto idronico (Figura 15), o sistema idronico, è quella tipologia di impianto di condizionamento invernale e/o estivo che prevede l'acqua come fluido termovettore.

Tale definizione comprende una vasta tipologia di terminali per il sistema di climatizzazione, dai classici radiatori ai sistemi radianti a bassa temperatura, passando per i ventilconvettori.

Dal punto di vista impiantistico l'alternativa all'idronico è l'impianto a espansione diretta; quest'ultimo prevede l'utilizzo di gas refrigerante come fluido termovettore. Tra i refrigeranti attualmente più in uso troviamo l'R32, R410, R290.

Di seguito si elencano vantaggi e svantaggi di un impianto idronico:

Vantaggi:

- Acqua come fluido termovettore: l'utilizzo dell'acqua come fluido termovettore
 è preferibile inquanto non tossico ed ecocompatibile, a differenza dei gas
 refrigeranti, i quali se dispersi in ambiente hanno un effetto inquinante espresso
 dall'indice GWP (Global Warming Potential);
- Alta efficienza: i sistemi idronici sono caratterizzati da un'alta efficienza;
- Flessibilità: l'utilizzo dell'acqua come fluido termovettore permette di adattare l'impianto a molteplici casistiche;

Svantaggi:

- Progettazione: gli impianti idronici per un corretto funzionamento richiedono un corretto dimensionamento dei singoli componenti e dell'impianto di generazione frutto di un'adeguata progettazione;
- Costi: il costo dell'impianto idronico è generalmente superiore al costo di un impianto ad espansione diretta.

3.2. Terminali d'impianto

Con il termine terminali d'impianto si indicano i componenti dell'impianto che contribuiscono in maniera attiva alla climatizzazione della zona considerata. Il loro dimensionamento è funzione della valutazione delle dispersioni termiche del locale da riscaldare e/o raffrescare effettuata in fase di progettazione. Alcuni terminali, quali i classici radiatori, sono utilizzati solo in condizioni invernali di funzionamento al fine di riscaldare i locali nei quali sono previsti, altri invece, come i ventilconvettori o i sistemi radianti a pavimento/soffitto, possono essere utilizzati anche per la climatizzazione estiva.

Ventilconvettori

I ventilconvettori o fancoil sono dei dispositivi che utilizzano principalmente il fenomeno della convezione forzata per scambiare energia con l'ambiente nel quale sono installati.

Esistono varie tipologie di ventilconvettori:

- A parete;
- A pavimento;
- A soffitto;
- Canalizzabili. [8]

Gli elementi principali che costituiscono un ventilconvettore sono (Figura 16):

- 1. Filtro dell'aria;
- 2. Ventilatore;
- 3. Collegamento della mandata del circuito idraulico;
- 4. Collegamento del ritorno del circuito idraulico;
- 5. Vaschetta per la condensa;
- 6. Scambiatore di calore;
- 7. Scatola della scheda comando. [9]

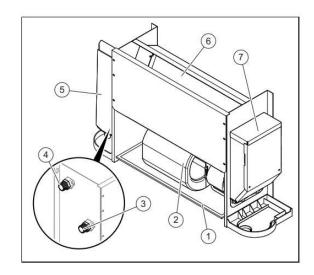


Figura 16- Esempio costruttivo ventilconvettore [10]

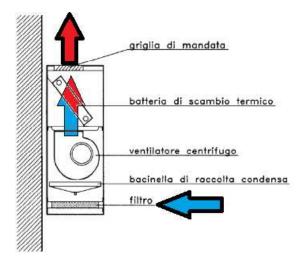


Figura 17- Esempio principio di funzionamento ventilconvettore in condizioni invernali di funzionamento

Principio di funzionamento

La batteria dello scambiatore di calore viene alimentata con l'acqua tecnica proveniente dalla centrale termica che nel funzionamento invernale essa sarà percorsa da acqua calda al fine di cedere calore all'ambiente circostante, mentre nel funzionamento estivo la batteria sarà percorsa da acqua refrigerata così da poter sottrarre calore all'ambiente nella quale è installata la macchina.

Il ventilatore viene attivato per favorire lo scambio termico tramite convezione forzata tra la batteria alimentata ad acqua e l'aria dell'ambiente:

l'aria viene prelevata dall'ambiente attraverso la griglia presente nella parte inferiore del carter del ventilconvettore, viene convogliata e forzata attraverso la batteria alettata dello scambiatore, infine l'aria che ha acquisito/ceduto calore viene immessa in ambiente (Figura 17).

Sistema di climatizzazione radiante: il soffitto radiante

La climatizzazione radiante potrebbe sembrare a primo impatto un'idea innovativa dell'ultimo secolo. Essa in realtà ha origini bene più antiche, addirittura risalenti a più di duemila anni fa all'epoca degli Antichi Egizi e de Romani: queste civiltà, infatti, utilizzavano i fumi caldi per riscaldare il pavimento tramite dei canali appositamente realizzati.

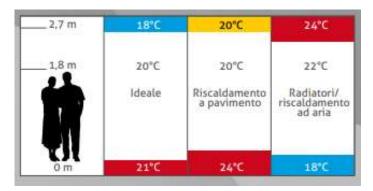


Figura 18-Stratificazione delle temperature a seconda dei terminali di climatizzazione

Oggi abbiamo a disposizione maggiori conoscenze e molteplici soluzioni radianti tutte accomunate però dai medesimi vantaggi (Figura 18):

- benessere termico,
- qualità dell'aria,
- condizioni igieniche,
- impatto ambientale,
- calore utilizzabile a bassa temperatura,
- risparmio energetico. [9]

Si analizzino nello specifico i principali.

Benessere termico

I vantaggi principali dal punto di vista del benessere termico possono essere sintetizzati nella distribuzione del calore all'interno dell'immobile e dalla modalità di propagazione dello stesso: l'irraggiamento tramite il quale il calore viene ceduto all'ambiente dal sistema radiante evita la formazione di moti convettivi che porterebbero ad una sensazione di malessere.

Qualità dell'aria

Il mancato instaurarsi di moti convettivi permette di evitare il portare in sospensione pulviscolo e polveri dannose per le vie respiratorie.

Calore utilizzabile a bassa temperatura

I sistemi radianti permettono di utilizzare il fluido termovettore a temperatura più bassa rispetto ai classici terminali per il condizionamento. Ciò permette l'utilizzo di generatori di calore che siano efficienti alle basse temperature quali pompe di calore e caldaie a condensazione.

Risparmio energetico

L'utilizzo di sistemi radianti permette un risparmio energetico quantificabile nel 10-15% in meno rispetto ai tradizionali sistemi di climatizzazione grazie principalmente al piccolo gradiente di temperatura tra superficie radiante e ambiente e alla mancanza di moti convettivi nei componenti finestrati.

Tipologie di sistemai radianti

Le principali tipologie di sistemi radianti sono:

- Pavimento radiante;
- Soffitto radiante;
- Pareti radianti.

Esse differiscono sia per realizzazione che per direzione principale dell'irraggiamento.

Soffitto radiante

Il soffitto radiante è sicuramente una delle soluzioni più innovative per quanto concerne i sistemi radianti.

Per la realizzazione di un soffitto radiante si può optare o per la realizzazione della classica serpentina realizzata con la tubazione e fissata allo stesso tramite l'utilizzo di apposite clips, oppure tramite l'utilizzo di pannelli prefabbricati.

I pannelli utilizzati per la realizzazione di un impianto a soffitto radiante sono realizzati in cartongesso all'interno del quale è annegata la tubazione che conterrà il fluido termovettore; alla base del pannello è applicato uno strato d'isolamento per evitare la dispersione di calore verso il soffitto (Figura 19).

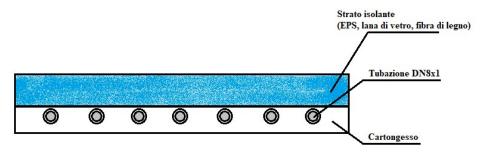


Figura 19-Stratigrafia pannello in cartongesso per sistemi radianti a soffitto o a parete



Figura 20- Esempio di installazione pannelli soffitto radiante [12]

La realizzazione di un soffitto radiante tramite pannelli (Figura 20), a causa della modularità di quest'ultimi, è in grado di ricoprire circa il 70% della superficie totale disponibile del soffitto; il restante 30% viene utilizzato per il passaggio delle colonne montanti di distribuzione e coperto con pannelli tampone in cartongesso.

Così come un impianto radiante a pavimento, anche l'impianto a pannelli radianti a soffitto è un impianto a collettore: ogni via del collettore alimenta, tramite le colonne montanti di distribuzione, un certo numero di pannelli, i quali genereranno una determinata perdita di carico. A tale scopo diventa importante il bilanciamento dell'impianto e il numero massimo di pannelli collegabili alla stessa colonna montante.

Inoltre, a differenza dei classici sistemi radianti a pavimento, dove usualmente si utilizzano tubazioni DN 16 o DN 17 per la realizzazione dell'impianto, nel caso dell'impianto a pannelli radianti la tubazione annegata nel cartongesso è sensibilmente inferiore (DN 8), ciò comporta una minore portata a parità di perdite di carico e di conseguenza una minora resa termica al m2 dell'impianto.

Nonostante ciò, esistono numerosi vantaggi nell'utilizzo dei pannelli radianti per la realizzazione di un impianto di climatizzazione radiante, tra i quali è importante sottolineare:

- Elevata reattività dell'impianto: il basso spessore complessivo del pannello facilita lo scambio termico e rende l'intero sistema più reattivo, circa 30 minuti, rispetto ad un classico impianto a pavimento radiante che per entrare a regime necessita di un tempo compreso tra le 4 ore e le 5 ore con massetto da 45 mm sopra la bugna (come da normativa UNI EN 1264);
- Facilità di posa: la modularità dei pannelli permette, previa progettazione, una posa più semplice degli stessi con la necessità di realizzare una semplice struttura di sostegno, analoga a quelle utilizzate per la realizzazione dei controsoffitti in cartongesso, alla quale fissare i pannelli;
- Limitata necessità opere murarie: questo forse è uno degli aspetti principali per i
 quali viene scelto un impianto a soffitto radiante tramite pannelli, ossia la
 possibilità di ammodernare terminali d'impianto di abitazioni esistenti senza
 dover andare a sostituire l'impianto precedente o apportare modifiche al
 pavimento dell'abitazione;

3.3. Ventilazione meccanica controllata

La normativa che regola il ricambio d'aria è la UNI EN 12792 nella quale sono classificati i sistemi di ricambio d'aria in:

• Aerazione: tutti i sistemi nei quali il ricambio d'aria è gestito tramite apertura e chiusura degli infissi e dunque la qualità dell'aria è dipendente dall'utente;

• Ventilazione: tutti i sistemi che prevedono l'immissione e la ripresa d'aria in ambiente con comando manuale o automatico. [15]

I sistemi di ventilazione meccanica controllata (Figura 21) permettono il ricambio d'aria di un ambiente tramite l'utilizzo di ventilatori che forzano il flusso d'aria da o verso l'ambiente considerato.

Tra i vantaggi che i sistemi di ventilazione meccanica controllata offrono quelli principali sono:

- Comfort indoor;
- Filtrazione dell'aria, sia esterna che interna;
- Riduzione delle dispersioni di calore dovute alla ventilazione.



Figura 21-Esempio sistema VMC [11]

Il suffisso "controllata", infatti, suggerisce che la ventilazione viene gestita da una centralina e da un sistema di sensoristica in grado di controllare temperatura, umidità e qualità dell'aria all'interno dell'abitazione permettendo così di avere una sensazione di comfort in tutti gli ambienti.

I moderni sistemi di ventilazione meccanica sono dotati di recuperatori di calore. Tali dispositivi sono dei veri e propri scambiatori a doppio flusso che permettono lo scambio di energia tra i due flussi d'aria che li attraversano:

- in condizioni invernali di funzionamento, l'aria calda proveniente dall'interno dell'abitazione cede il proprio calore sensibile (anche il calore latente se il recuperatore è entalpico) all'aria fredda proveniente dall'esterno per poi venire espulsa in ambiente;
- in condizioni estive, invece, l'aria più fresca estratta dall'interno dell'abitazione sottrae calore all'aria più calda prelevata dall'ambiente esterno prima di immetterla nell'abitazione.

L'utilizzo di una macchina di ventilazione meccanica controllata va ad eliminare tutte quelle perdite energetiche e di conseguenza le perdite economiche relative alle operazioni di ricambio d'aria tradizionali come la classica apertura degli infissi. Inoltre, il ricambio d'aria è continuo e regolato tramite centraline di controllo.

Di seguito si riporta uno schema di funzionamento generale della macchina (Figura 22).

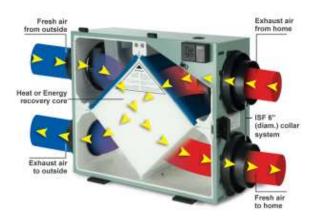


Figura 22-Esempio di funzionamento macchina di ventilazione meccanica controllata [12]

Si analizzano di seguito i componenti principali della macchina di VMC.

Filtri

I filtri posti prima dell'aspirazione dei ventilatori permettono il filtraggio meccanico dell'aria prima che questa raggiunga lo scambiatore. In commercio esistono numerose

categorie o classi di filtri a seconda della dimensione del particolato che sono in grado di filtrare.

Classificazione dei filtri per ventilazione generale secondo Normativa UNI EN 779 REV:

I filtri per polvere grossa (Classe G) sono sottoposti a prova di tipo gravimetrico, mentre i filtri per polvere fine (Classe F) sono provati con metodo spettrale.

A seconda del valore di efficienza media, rispettivamente ponderale e frazionaria con particolare riferimento alle particelle di 0.4 µm, i filtri sono poi suddivisi in classi di filtrazione con valore numerico da 1 a 9. [17]

Ventilatori

All'interno della macchina troviamo due ventilatori centrifughi con pale in materiale plastico ad alta resistenza. Tali macchine hanno il compito di forzare i flussi d'aria da e verso l'abitazione. Il loro dimensionamento è subordinato alla portata d'aria da trattare da parte della macchina e alle cadute di pressione dell'impianto di distribuzione che si devono vincere al fine di garantire tale portata.

Scambiatore di calore

Lo scambiatore di calore (Figura 23) è costituito da una sovrapposizione di membrane polimeriche disposte in maniera tale da formare dei canali per il passaggio dei flussi d'aria. Tale struttura polimerica impedisce il passaggio di eventuali impurità presenti nell'aria, ma permette lo scambio di calore sensibile e latente tra i due flussi massimizzando il recupero energetico sia nel funzionamento invernale che nel funzionamento estivo.

I moderni recuperatori raggiungono valori di efficienza prossimi all'83% per quanto riguarda il calore sensibile e al 75% per quanto concerne il calore latente.

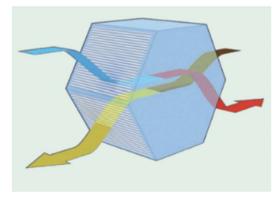


Figura 23-Scambiatore di calore entalpico [13]

3.4. Sistemi di generazione

Con il termine sistemi di generazione si intendono tutte le apparecchiature necessarie per la produzione di acqua tecnica, sia essa calda o refrigerata a seconda della stagione o dell'uso, e di acqua calda sanitaria.

Il sistema di generazione può essere costituito da:

- Generatore di calore a combustione;
- Pompa di calore;
- Sistema ibrido.

Tutte e tre le soluzioni prevedono un'eventuale integrazione di fonti energetiche alternative quali solare termico o calore geotermico.

Generatore di calore a combustione

I generatori di calore a combustione sono classificati a seconda del combustibile utilizzato, al fluido termovettore che devono andare a trattare, alle caratteristiche costruttive e alla pressione in camera di combustione.

Per quanto concerne il combustibile utilizzato possiamo avere:

- Gassoso (gas naturale, GPL, biogas, ecc.);
- Liquido (gasolio, olio denso, biodiesel, ecc.);
- Solido (carbone, legno, biomasse, RSU, ecc.).

A seconda del fluido termovettore possiamo avere:

- Vapor d'acqua;
- Acqua surriscaldata (T>100°C);
- Acqua calda (T<100°C);
- Aria.

A seconda delle caratteristiche costruttive:

- Tubi d'acqua;
- Tubi di fumo;
- Ghisa;
- Acciaio.

A seconda della pressione di esercizio in camera di combustione:

• Pressione bruciatore < Pressione atmosferica: generatore atmosferico con bruciatore ad aria aspirata;

 Pressione bruciatore > Pressione atmosferica: generatore pressurizzato con bruciatore ad aria soffiata. [18]

Caldaia a condensazione

La caldaia a condensazione è un particolare tipo di generatore che sfrutta il calore latente di condensazione del vapor d'acqua presente nei prodotti della combustione per preriscaldare l'acqua in ingresso allo scambiatore del bruciatore. Affinché la condensazione del vapor d'acqua dei fumi di scarico avvenga è necessario che la temperatura dell'acqua in ingresso alla batteria di scambio non sia superiore a 56°C (Temperatura di rugiada) (Figura 24). [18]

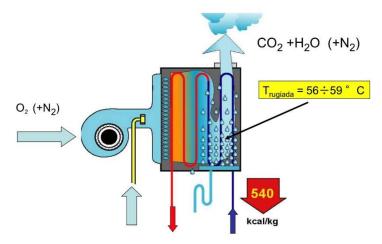


Figura 24-Principio di funzionamento della caldaia a condensazione [18]

La condensa che si forma a seguito di tale processo è fortemente corrosiva, per tale motivo sia lo scambiatore sia gli altri componenti del generatore devono essere realizzati in materiali appositi; inoltre è necessario raccogliere e smaltire la condensa in maniera opportuna previa neutralizzazione.

Pompa di calore

Il concetto di calore come forma di energia è strettamente legato alla temperatura della stessa: ogni corpo avente temperatura maggiore dello zero assoluto (0 K) è dotato di una propria energia termica detta energia interna che può cedere ad un corpo a temperatura inferiore alla propria.

Le pompe di calore si basano su un ciclo termodinamico caratteristico detto ciclo termodinamico inverso: tale ciclo permette il trasferimento di calore da un corpo ad una determinata temperatura a un corpo a temperatura maggiore (Figura 25).

In questo modo è possibile utilizzare il calore a bassa temperatura abbondantemente presente in natura (nell'aria, nell'acqua, nel terreno) aumentandone il "valore termodinamico" portandolo ad una temperatura maggiore.

Di seguito si riporta un grafico riportante il ciclo termodinamico e lo schema di una macchina frigorifera a compressione di vapore.

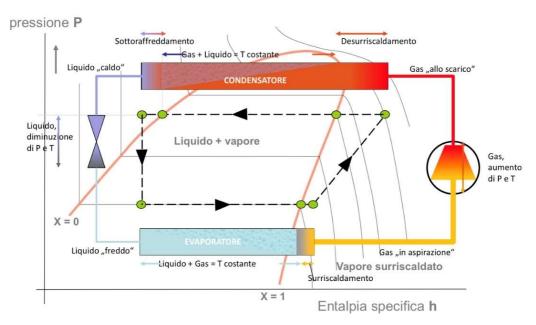


Figura 25-Ciclo termodinamico con schema di principio di funzionamento macchina a compressione di vapore [19]

La pompa di calore può essere utilizzata sia in condizioni invernali sia in condizioni estive di funzionamento:

- Funzionamento invernale: nel funzionamento invernale la pompa di calore sottrae energia termica all'ambiente esterno tramite l'evaporatore e cede tale energia al fluido termovettore attraverso il condensatore secondo il ciclo termodinamico sopra riportato;
- Funzionamento estivo: tramite l'utilizzo di una valvola a tre vie è possibile andare ad invertire il ciclo termodinamico facendo in modo di avere, in questa nuova condizione di funzionamento, l'evaporatore che sottrae calore al fluido termovettore e il condensatore che cede calore all'ambiente esterno. [19]

A seconda del funzionamento, sia esso invernale o estivo, l'efficienza della pompa di calore è espressa secondo due indici, l'COP (Coefficient of Performance) e l'EER (Energy Efficiency Ratio), dati rispettivamente da rapporti di potenze:

- Condizioni invernali di funzionamento

$$COP = \frac{Potenza\ termica\ disponibile\ [W]}{Potenza\ elettrica\ assorbita\ [W]}$$

Equazione 4- Coefficient of Performance (COP)

- Condizioni estive di funzionamento

$$EER = \frac{Potenza\ termica\ sottratta\ [W]}{Potenza\ elettrica\ assorbita\ [W]}$$

Equazione 5- Energy Efficiency Ratio (EER)

Il funzionamento e il rendimento di una pompa di calore, a differenza di quanto avviene per i generatori di calore a combustione, sono influenzati principalmente da due fattori:

- Temperatura esterna di esercizio;
- Temperatura del fluido termovettore richiesta dall'impianto.

Sistema ibrido

Il sistema ibrido è un sistema che prevede l'utilizzo integrato di due generatori che utilizzano due fonti di energia primaria differenti.

Il sistema ibrido più comune è quello che prevede un generatore a combustione, tipicamente una caldaia a condensazione, e una pompa di calore, il tutto gestito da un sistema di regolazione che ne ottimizza il funzionamento combinato.

L'utilizzo di due fonti energetiche differenti permette di ridurre sia i consumi di energia primaria sia i costi relativi alla produzione di fluido termovettore destinato al condizionamento e alla produzione di acqua calda sanitaria.

In particolare, nel sistema ibrido pompa di calore-caldaia a condensazione, il generatore principale è la pompa di calore stessa in quanto, in combinazione all'utilizzo di sistemi di produzione di energia elettrica rinnovabili quali ad esempio un impianto fotovoltaico, permette di ridurre si consumi energetici sia in termini di costi sia in termini di sostenibilità ambientale; se a causa di una particolare richiesta da parte dei terminali

dell'impianto o a causa di condizioni ambientali non favorevoli la pompa di calore non sia in grado di soddisfare il fabbisogno energetico dell'impianto allora si ricorre all'utilizzo della caldaia a condensazione, la quale quindi ha il ruolo di generatore ausiliario.

Fonti energetiche alternative: solare termico

Tra le fonti energetiche rinnovabili reperibili in ambiente una delle più abbondanti e utilizzata è sicuramente la radiazione solare.

Un impianto solare termico sfrutta infatti la radiazione solare per produrre principalmente acqua calda sanitaria, ma vi è la possibilità di utilizzare il solare termico anche ad integrazione dell'impianto di riscaldamento tramite opportune soluzioni impiantistiche.

I collettori o pannelli solari sono realizzati in speciali materiali captanti in grado di assorbire la maggior parte delle radiazioni solari e trasferire l'energia di tali radiazioni a un fluido solare termovettore o direttamente all'acqua sanitaria a seconda della tipologia di sistema solare utilizzato.

Esistono tre tipologie di sistemi solari termici:

- Sistema solare a circolazione naturale (solo produzione di acqua calda sanitaria);
- Sistema solare a circolazione forzata o pressurizzato (produzione di acqua calda sanitaria e/o acqua tecnica);
- Sistema solare a svuotamento (produzione di acqua calda sanitaria e/o acqua tecnica).

4. Dimensionamento dell'impianto

4.1. Dimensionamento impianto a soffitto radiante

Per la realizzazione dell'impianto a soffitto radiante si è deciso di utilizzare i pannelli radianti disponibili in tre taglie aventi le seguenti dimensioni:

- 600: 1200 x 2000 mm.

- 300: 1200 x 1000 mm.

- 150: 1200 x 500 mm.

Tali pannelli sono costituiti da cartongesso, tubo in polietilene con barriera all'ossigeno 8x1 mm e isolante in EPS (Polistirene Espanso Sintetizzato) così come descritto nel capitolo 3.2.2.

A tali pannelli è stato affiancato un pannello di tamponamento dalle dimensioni di 1200 x 2000 mm [20]

Data la natura modulare dell'impianto si è deciso di procedere al dimensionamento dello stesso seguendo un iter progettuale inverso, ovvero si è deciso di andare a posizionare il numero massimo di pannelli radianti e valutarne la resa termica in funzione della temperatura d'esercizio dell'impianto. Si riportano le principali caratteristiche dei pannelli (Tabella 29, Figura 26 e Grafico 1).

Descrizione	Unità	600	300	150
Dimensioni L x H	[mm]	2000 x 1200	1000 x 1200	500 x 1200
Diametro tubo	[mm]	8	8	8
Spessore tubo	[mm]	1	1	1
Numero circuiti per				
lastra	[-]	2	1	1
Lunghezza totale				
tubazione	[m]	22	22	11
Contenuto d'acqua	[1]	2,2	1,1	0,5

Tabella 29-Caratteristiche tecniche pannelli radianti in cartongesso [20]

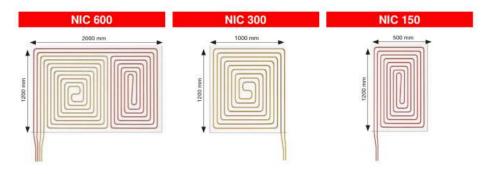


Figura 26-Caratteristiche tecniche pannelli radianti in cartongesso [20]

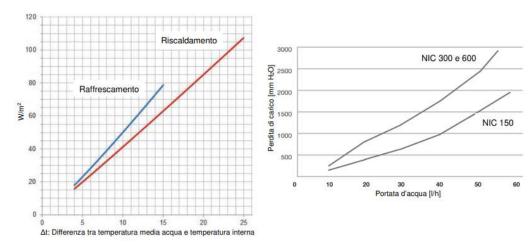


Grafico 1-Rese termiche e perdite di carico pannelli radianti in cartongesso [20]

Il piano terra è stato suddiviso in dieci settori a seconda dei locali, da A1 a A10 (Figura 27), ai quali corrispondono una via dedicata del collettore. Per ogni settore sono stati valutati:

- Numero e tipologia di pannelli;
- Resa termica in riscaldamento e in raffrescamento;
- Perdite di carico.

Il piano primo è stato suddiviso in dieci settori a seconda dei locali, da B1 a B8 (Figura 28).

Numero e tipologia di pannelli

In ogni settore si sono selezionale le tipologie dei pannelli più opportuna per massimizzare la resa termica al m² per settore.

La restante superficie non coperta dai pannelli radianti è stata considerata per il calcolo dei m² di pannello tampone da utilizzare.

Resa termica in riscaldamento e in raffrescamento

Per ogni tipologia di pannello e per ogni locale è stata valutata la resa termica sia in condizioni invernali sia in condizioni estive di funzionamento.

Si sono ipotizzate le seguenti condizioni di esercizio (Tabella 30):

	Temperatura	Temperatura	Temperatura		Resa
	acqua mandata	acqua ritorno	ambiente	ΔΤ	termica
	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	$[W/m^2]$
Riscaldamento	40	37	20	18	75
Raffrescamento	15	18	25	8.5	41

Tabella 30- Dati generali sistema radiante

Nella sezione Allegati si riportano i valori ottenuti riguardanti il numero di pannelli utilizzati per ogni locale, le rese termiche in riscaldamento e raffrescamento e una tabella riepilogativa con le caratteristiche principali per piano (Allegato 6 e Allegato 7).

Piano	Pannelli	NIC 600	NIC 300	NIC 150	Resa locale in riscaldamento [W]	Resa locale in raffrescamento [W]	
D.	n°. Pannelli	27	17	9			
Piano terra	Resa riscaldamento [W]	4914	1547	414	6875	3775	
terra	Resa raffrescamento [W]	2700	850	225			
D.	n°. Pannelli	18	15	6			
Piano primo	Resa riscaldamento [W]	3276	1365	276	4917	2700	
primo	Resa raffrescamento [W]	1800	750	150			

Tabella 31- Tabella riassuntiva numero pannelli e rese termiche

Determinate le massime rese ottenibili dal sistema radiante a soffitto (Tabella 31), si è provveduto a verificare che tali valori ottenuti siano sufficienti a soddisfare i carichi termici richiesti:

Piano	Resa soffitto radiante in riscaldamento [W]	Resa soffitto radiante in raffrescamento [W]	Carico termico invernale [W]	Carico termico estivo [W]
Piano terra	6875	3775	3754	3196
Piano primo	4917	2700	3773	2387

Tabella 32-Tabella comparativa rese impianto radiante-carichi termici

Come evidenziato dalla *Tabella 32*, le condizioni da attenzionare sono quelle relative al funzionamento dell'impianto a soffitto radiante in raffrescamento: risulta evidente come l'impianto riesca a compensare il carico termico estivo in entrambi i piani nelle condizioni ipotizzate in *Tabella 30*.

Perdite di carico

Essendo fissato il differenziale di temperatura tra temperatura media acqua circolante nei pannelli e temperatura ambiente e la resa termica al m² dei pannelli, si sono potute valutare le portate d'acqua tecnica circolanti nei singoli pannelli e dunque la portata complessiva circolante nell'impianto radiante tramite la seguente relazione:

$$P = c_p \cdot Q \cdot (T_{in} - T_{out}) \rightarrow Q = \frac{P}{c_p \cdot (T_{in} - T_{out})} \cdot 3600 \left[\frac{l}{h}\right]$$

Equazione 6- Calcolo portata acqua tecnica

Tramite il grafico 2 di *Figura 28* si sono valutate le perdite di carico dei singoli pannelli in funzione alla portata circolante negli stessi.

Le montanti di distribuzione che permettono il collegamento dei pannelli di ogni zona alla relativa via del collettore sono state realizzate con tubo multistrato DN 20 così come da specifiche fornite dal costruttore [20].

Il collegamento dei pannelli alla montante principale è effettuato in parallelo così da garantire un'uniforme resa termica e un corretto bilanciamento dell'impianto (Figura 27).

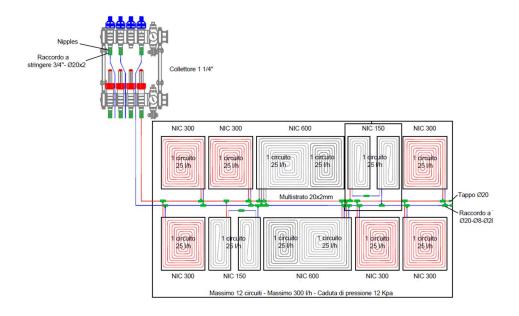


Figura 27-Esempio collegamento pannelli radianti

Essendo l'impianto realizzato mediante collettore di distribuzione si è valutato il circuito più sfavorito al fine di selezionare il gruppo di rilancio più opportuno.

Come evidenziato nella Figura 29 i pannelli vengono collegati in modo differente a seconda della taglia:

- I pannelli 150 prima di essere collegati al multistrato DN 20 devono essere collegati in serie tra loro;
- I pannelli 300 vengono collegati direttamente al multistrato DN 20;
- I pannelli 600 sono composti da due circuiti i quali devono essere collegati in maniera indipendente alla colonna di distribuzione.

Queste modalità di collegamento permettono di avere una costanza nella perdita di carico generata dal circuito con tubazione DN 8 all'interno del pannello indipendentemente dalla taglia dello stesso (11,5 kPa) (Tabella 33 e Tabella 34).

Al fine di tener conto delle perdite di carico concentrate relative ai raccordi e alle eventuali curve effettuate dal tubo in multistrato DN20 in fase di posa si sono maggiorate le perdite di carico distribuite del 30%.

Collettore A	Portata Q	Perdite di carico distribuite DN20	Perdite di carico pannello NIC 300	Perdite di carico totali
Circuiti	[l/h]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
A1	274,28	0,24	11,5	11,81
A2	156,48	0,09	11,5	11,61
A3	208,65	0,15	11,5	11,69
A4	156,48	0,09	11,5	11,61
A5	208,93	0,15	11,5	11,69
A6	287,17	0,25	11,5	11,82
A7	312,97	0,28	11,5	11,87
A8	78,24	0,03	11,5	11,54
A9	104,32	0,05	11,5	11,56
A10	182,85	0,12	11,5	11,65

Tabella 33-Perdite di carico collettore A

Collettore B	Portata Q	perdite di carico distribuite DN20	Perdite di carico pannello NIC 300	Perdite di carico totali
Circuiti	[l/h]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
B1	235,01	0,17	11,5	11,72
B2	104,32	0,05	11,5	11,57
В3	78,53	0,03	11,5	11,54
B4	312,97	0,28	11,5	11,86
B5	182,57	0,12	11,5	11,66
B6	104,32	0,05	11,5	11,57
B7	235,01	0,17	11,5	11,72
B8	156,48	0,09	11,5	11,62

Tabella 34-Perdite di carico collettore B

Il bilanciamento delle varie vie del collettore verrà effettuato in fase di messa in funzione dell'impianto tramite le valvole dedicate presenti nel collettore stesso.

Si è passato successivamente al dimensionamento delle colonne montanti di distribuzione per piano, essendo note le portate e fissando la velocità massima all'interno delle stesse pari a 1,2 m/s (Tabella 35 e Tabella 36).

	A+B	В	unità
Perdita di carico distribuita tubo multistrato DN			
32	0,37	0,35	[kPa/m]
Lunghezza colonne montanti	7,00	3,00	[m]
Perdite di carico distribuite	2,59	1,05	[kPa]
Portata	1,97	1,41	[m3/h]
Diametro montante teorico	25,18	21,29	[mm]
Diametro nominale montante effettivo DN	32	32	[mm]
Velocità effettiva	1,03	0,74	[m/s]

Tabella 35-Dimensionamento montanti di distribuzione

TUBO MULTISTRATO DN 32	_	unità
DN	32,00	[mm]
Dint	26,00	[mm]
Portata (A+B)	3379,60	[1/h]
Portata (B)	1409,22	[1/h]

Tabella 36-Tubo in multistrato DN 32

4.2. Dimensionamento ventilazione meccanica controllata con deumidificazione

La canalizzazione della macchina di ventilazione meccanica integrata con il deumidificatore a soffitto è stata prevista solo per i piani nei quali è attivo il soffitto radiante.

Il dimensionamento della macchina è stato effettuato imponendo un volume di ricambio orario pari a 0,5 Volumi/ora; tale portata di ricambio è sufficiente a garantire una corretta qualità dell'aria nelle abitazioni civili paragonabile a quella ottenibile tramite gli indici di affollamento presenti nella UNI10339 [21].

Sono stati valutati i volumi netti dei due piani e sommati al fine di ottenere il volume complessivo da trattare (Tabella 37).

Piano	Superficie	Volume
	[m ²]	[m ³]
Piano Terra	127,99	345,57
Piano Primo	87,15	235,31
Totale	215,14	580,88

Tabella 37-Dati piano da trattare con VMC

Si è successivamente valutata la portata d'aria teorica necessaria a garantire un corretto ricambio dell'aria con valori compresi tra 0,5 e 0,3 volumi/ora. In questo caso si è optato per 0,5 volumi/ora, condizione più cautelativa (Equazione 7).

Portata aria rinnovo = 0,5 · Volume totale = 290,45
$$\left[\frac{m^3}{h}\right]$$

Equazione 7- Calcolo di massima portata aria di rinnovo

Macchina di ventilazione meccanica con recuperatore di calore entalpico

È buona norma prevedere una macchina che funzioni a circa l'80% della sua portata nominale massima questo per evitare la nascita di fastidiosi rumori dovuti ad un'eccessiva velocità dei ventilatori. Per tale motivo si è provveduto alla scelta di una macchina la cui portata nominale massima sia paria o superiore a (Equazione 8):

Portata nominale macchina = Portata aria rinnovo · 1,20 = 348,48
$$\left[\frac{m^3}{h}\right]$$

Equazione 8- Calcolo portata nominale per la selezione del recuperatore di calore

La macchina utilizzata nello specifico, che rispetta tali condizioni di esercizio, ha una portata massima nominale di 450 m³/h con 200 Pa disponibili.

Si riportano le principali caratteristiche e diagramma Portata-Prevalenza della macchina (Tabella 38).

Riferimento curva Q-Pa	Portata aria	Prevalenza	Potenza elettrica	SFP	Emissione acustica unità	Emissione acustica canale
[-]	[m3/h]	[Pa]	[W]	[Wh/m3]	[dB(A)]	[dB(A)]
1	200	25	25	0,12	39	51
2	250	50	44	0,18	42	54
3	300	50	61	0,2	44	57
4	315	50	67	0,21	45	57
5	350	100	97	0,28	48	61
6	400	100	122	0,31	50	63
7	450	100	151	0,34	53	66
8	350	150	113	0,32	49	62
9	350	200	128	0,37	50	63
10	400	200	155	0,39	52	65
11	450	200	185	0,41	54	68

Tabella 38-Caratteristiche tecniche recuperatore di calore portata nominale 450 m³/h

[22]

Lavorando sulla curva 9 con una portata di 350 m3/h si ha una prevalenza di 200 Pa (Grafico 2).

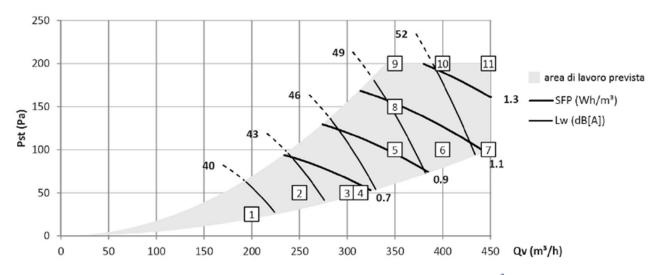


Grafico 2-Prevalenza-Portata recuperatore di calore portata nominale 450 m³/h [22]

Deumidificatore

Selezionata la macchina di ventilazione meccanica si è proceduto con la selezione della macchina di deumidificazione (Figura 30).

Essa è composta da un gruppo frigorifero con lo scopo di far condensare l'umidità eccessiva presente nell'aria ed evitare che questa condensi in prossimità del soffitto radiante durante il funzionamento in raffrescamento.

La macchina di deumidificazione, essendo sprovvista di un proprio ventilatore, è collegata in linea alla mandata della macchina di ventilazione prima dei collettori di distribuzione.

Il processo di deumidificazione che avviene nella macchina è detto di "deumidificazione isoterma" questo perché l'aria, dopo essere stata deumidificata, viene immessa in ambiente alla stessa temperatura con la quale era entrata nel deumidificatore.

Il deumidificatore selezionato secondo il volume d'aria da trattare ha una portata nominale di 350 m³/h (Tabella 28).



Figura 28-Deumidificatore nella taglia 350 m³/h [23]

Ingresso aria portata 350 m3/h	Temperatura aria mandata		Condensa		Potenza sensibile	Potenza totale	Potenza frigo
[-]	[°C]	[l/giorno]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]
25°C-50% U.R.	25	42	16	475	0	475	885
25°C-70% U.R.	25	47	19	590	235	825	1245
26°C-84% U.R.	25	61	59	1685	120	1800	2305

Tabella 39-Caratteristiche tecniche deumidificatore: deumidificazione isoterma ingresso acqua temperatura 15°C e portata 300 l/h [23]

Distribuzione

La distribuzione, relativa alle portate di mandata di rinnovo e ripresa aria viziata, è stata effettuata tramite l'utilizzo di una tubazione flessibile specifica per la realizzazione di impianti di ventilazione meccanica in PE alimentare corrugato all'esterno e rettificato all'interno.

La rettificazione dell'interno della tubazione permette di ridurre la rumorosità e l'accumulo di polveri all'interno della stessa.

Solo per i primi metri di tubazione di mandata è stata utilizzata la stessa tubazione ricoperta da uno strato di materiale isolante da 5mm in modo tale da prevenire un eventuale formazione di condensa durante il funzionamento con deumidificazione dell'impianto.

Per il dimensionamento del numero di tubazioni di mandata e ripresa si è selezionata una tubazione in materiale plastico alimentare con diametro nominale 90 mm nella quale si è imposta la portata massima di 50 m³/h per limitare perdite di carico e rumorosità (Equazione 9):

Numero di tubazioni mandata\ripresa =
$$\frac{Portata\ aria\ di\ rinnovo}{Portata\ massima\ tubo\ DN\ 90} = 6,96$$

$$\cong 7\ tubazioni$$

Equazione 9- Valutazione numero minimo tubazioni di distribuzione VMC

Sarebbero sufficienti quindi 7 tubazioni di mandata e 7 tubazioni di ripresa per garantire un corretto ricambio d'aria dell'intero volume dell'immobile.

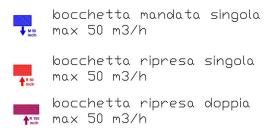
Essendo quest'ultimo suddiviso in 9 vani, essendoci la necessità di trattare ognuno di essi, si è deciso di utilizzare 9 tubazioni di mandata e 9 tubazioni di ripresa, andando inoltre ad avere un vantaggio in termini di perdite di carico e rumorosità all'interno delle tubazioni stesse.

Sono stati previsti, dunque, due collettori di distribuzione (Figura 29) con dieci attacchi per la tubazione con diametro nominale 90 mm, uno per le tubazioni di mandata e uno per quelle di ripresa, lasciando un attacco inutilizzato. Il collettore è costituito in lamiera d'alluminio opportunamente foderata con materiale fonoassorbente.



Figura 29-Collettore di distribuzione 10xDN90

Il posizionamento e la tipologia di bocchette di distribuzione previste per ogni locale è rappresentato in Figura 35 e in Figura 36 secondo la seguente legenda:



Sia il recuperatore di calore che la macchina di deumidificazione a soffitto sono stati collocati nel locale tecnico predisposto al piano cantinato.

Per il passaggio verticale delle tubazioni con diametro nominale DN90 mm è stato prevista la realizzazione di un cavedio andando ad utilizzare la canna fumaria di un camino in disuso (Figura 30).

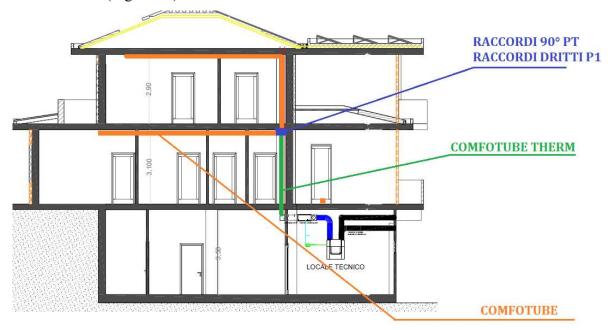


Figura 30-Schema distribuzione verticale VMC

Ipotizzata la distribuzione delle tubazioni è stata effettuata una valutazione sulle perdite di carico per verificare che la macchina fosse in grado di garantire la portata necessaria alla bocchetta più svantaggiata.

Bocchetta	Portata massima bocchetta DN 90	Perdite di carico bocchetta DN 90	Perdite di carico ComfoDew 350	Lunghezza tubazione	Numero curve 90°- DN90	Perdite di carico totali
[-]	[m3/h]	[Pa]	[Pa]	[m]	[-]	[Pa]
1	50	6,5	70	5	2	110,1
2	100	2,2	70	8,7	3	122,7
3	50	6,5	70	12,3	5	149,4
4	50	6,5	70	13,8	5	153,9
5	50	6,5	70	19	3	157,9
6	50	6,5	70	11,9	5	148,2
7	50	6,5	70	19,4	4	164,9
8	50	6,5	70	22,8	4	175,1
9	50	6,5	70	16,3	4	155,6
10	50	6,5	70	8,5	3	126,4
11	50	6,5	70	8	2	119,1
12	50	6,5	70	20,5	8	191,4
13	50	6,5	70	19,1	7	181,4
14	50	6,5	70	19,3	8	187,8
15	50	6,5	70	14,2	6	160,9
16	100	2,2	70	12,6	3	134,4

Tabella 40- Analisi perdite di carico VMC

Dalla Tabella 40 risulta quindi che la bocchetta con la maggior perdita di carico è la 14 con una perdita di carico pari a 187,8 Pa.

Il bilanciamento dell'impianto verrà effettuato in fase di prima accensione da parte del centro assistenza autorizzato tramite l'utilizzo di appositi regolatori di portata da inserire all'interno delle tubazioni in maniera da far variare la sezione d'uscita a seconda della perdita di carico da introdurre.

4.3. Dimensionamento ventilconvettori

Il dimensionamento dei ventilconvettori destinati al condizionamento invernale ed estivo del piano interrato è stato effettuato sulla base delle dispersioni dei locali.

È stato selezionato il ventilconvettore a parete da 2,5 kW [24] del quale si riportano le principali caratteristiche tecniche (Tabella 41):

	VA 1-025 WN	Unità
Potenza elettrica assorbita massima	11	[W]
Corrente nominale	0,16	[A]
Tensione alimentazione	230	[V]
Frequenza alimentazione	50	[Hz]
Portata aria velocità ventilatore bassa	400	[m3/h]
Portata aria velocità ventilatore media	454	[m3/h]
Portata aria velocità ventilatore alta	492	[m3/h]
Capacità di raffreddamento velocità ventilatore bassa	2,39	[kW]
Capacità di raffreddamento velocità ventilatore media	2,59	[kW]
Capacità di raffreddamento velocità ventilatore alta	2,7	[kW]
Portata nominale acqua in raffrescamento	480	[l/h]
Perdite di pressione in raffrescamento	31,61	[kPa]
Capacità di riscaldamento velocità ventilatore bassa	2,58	[kW]
Capacità di riscaldamento velocità ventilatore media	2,8	[kW]
Capacità di riscaldamento velocità ventilatore alta	2,94	[kW]

Tabella 41- Scheda tecnica ventilconvettore zona interrata [24]

4.4. Dimensionamento sistema di generazione

Entrambe le soluzioni analizzate per la realizzazione del sistema di generazione presentano le seguenti caratteristiche comuni:

- Bollitori acqua calda sanitaria;
- Impianto solare termico pressurizzato;
- Accumulo termico;
- Gruppi di rilancio.
- Impianto fotovoltaico.

Bollitori acqua calda sanitaria

Per la valutazione dei seguenti fabbisogni giornalieri di acqua calda sanitaria (Tabella 42) si è fatto riferimento alla norma UNI TS 11300-2 [5].

Categoria DPR 412/93	E.1 (1)	
Temperatura di erogazione	40,0	°C
Temperatura di alimentazione [°C]		

Zona	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Unità	[l/g]											
Piano interrato	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67
Piano terra	173	173	173	173	173	173	173	173	173	173	173	173
Piano primo	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130
Totale	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370

Tabella 42- Fabbisogno giornaliero di acqua calda sanitaria

Sulla base dei dati ottenuti si è deciso di utilizzare due bollitori:

- Un bollitore solare di capacità pari a 1501[25] monovalente con stazione solare pressurizzata integrata;
- Un bollitore con capacità pari a 200 l [26] monovalente con serpentina maggiorata per lavorare con le pompe di calore.

I due bollitori di cui sopra sono stati collegati in serie tra loro in modo tale da far lavorare in preriscaldo il solare termico su entrambi i volumi così da evitare che i pannelli vadano in stagnazione a causa della pressione elevata durante i periodi più caldi dell'anno.

Impianto solare termico pressurizzato

La valutazione del campo solare termico è stata effettuata secondo la norma UNI/TS 11300-4 [5]. Quest'ultimo è costituito da n°3 collettori solari [27] posizionati nella seguente configurazione (Tabella 43):

Dati posizionamento pannelli		Unità
Orientamento rispetto al SUD	0	[°]
Inclinazione rispetto al piano orizzontale	15	[°]

Tabella 43- Dati posizionamento pannelli solare termico

Si riportano le caratteristiche principali del campo solare termico (Tabella 44):

Numero pannelli per stringa	3	[unità]
Numero di stringhe	1	[-]
Numero totale pannelli	3	[-]
Lunghezza stringa	3,70	[m]
Lunghezza totale sistema solare	2,03	[m]
Superficie totale sistema	7,52	[m2]
Superficie netta captante	7,05	[m2]
Peso pannelli	114,00	[kg]
Potenza prodotta dal sistema a 1000 W/m2 e DT=30 K	5,11	[kW]
Potenza prodotta dal sistema a 1000 W/m2 e DT=50 K	4,41	[kW]

Tabella 44- Caratteristiche campo solare termico [27]

Nota l'irradiazione mensile è stato possibile stimare la producibilità del campo solare termico così da determinare la percentuale di copertura per la produzione di acqua calda sanitaria da parte dello stesso (Tabella 45).

Mese	Ir [kWh]	Qw,solare [kWh]	Qpw con solare [kWh]	Qpw senza solare [kWh]	‰ _{сор,W} [%]
Gennaio	543,3	107	254	316	24,4%
Febbraio	704,7	169	190	297	42,5%
Marzo	1097,6	284	143	317	64,5%
Aprile	1083,1	290	119	280	68,0%
Maggio	1388,0	371	79	264	84,3%
Giugno	1394,2	383	61	224	89,9%
Luglio	1530,1	420	52	216	95,4%
Agosto	1392,0	395	60	212	89,8%
Settembre	1067,5	307	93	227	72,0%
Ottobre	878,7	244	138	256	55,6%
Novembre	645,8	156	195	281	36,7%
Dicembre	489,7	88	264	313	19,9%
TOTALI	12214,6	3214	1646	3203	62,0%

Tabella 45- Valutazione impianto solare termico

Legenda simboli

Qw,solare	Producibilità solare pannelli per acqua calda sanitaria					
Qp _W con solare	Fabbisogno di energia primaria per acqua sanitaria, con il contributo termico solare					
Qp _w senza solare	Fabbisogno di energia primaria per acqua sanitaria, senza il contributo termico solare					
%cop,W	Percentuale di copertura solare rispetto al fabbisogno di energia in uscita dalla generazione per acqua calda sanitaria					

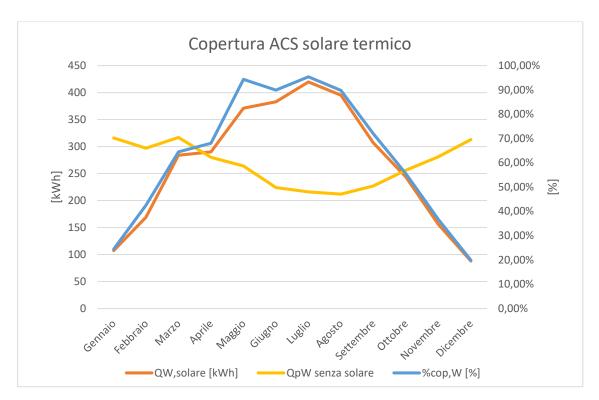


Grafico 3- Copertura produzione ACS solare termico

Il campo solare termico risulta quindi in grado di coprire circa il 62 % del fabbisogno di acqua calda sanitaria annuale con un picco di copertura del 95,4% nel mese di luglio (Tabella 51 e Grafico 3).

Accumulo termico

L'impianto prevede l'utilizzo di un accumulo termico di capacità adeguata a garantire il corretto funzionamento dei generatori di calore in condizioni invernali e della sola pompa di calore in condizioni estive di funzionamento.

Nello specifico il dimensionamento dell'accumulo termico è stato effettuato ipotizzando un periodo di inattività dell'impianto pari a 2 ore [28] (Equazione 10, Equazione 11, Equazione 12, Equazione 13).

$$E = 12 \cdot 3600 = 43,2 \left[\frac{MJ}{day} \right]$$

Equazione 10- Richiesta energia giornaliera

$$V = \frac{E}{c_{p_{H20}} \cdot \rho \cdot \Delta T} = \frac{43.2 \cdot 10^6}{4186 \cdot 1000 \cdot 5} = 2064 \left[\frac{l}{day} \right]$$

Equazione 11- Volume acqua tecnica per soddisfare la richiesta giornaliera

$$V = \frac{V}{10} = 206,4[l]$$

Equazione 12- Volume per soddisfare le ore di richiesta

$$V_{impianto} = V_{fancoil} + V_{radiante_{P1}} + V_{radiante_{p2}} = 5 + 82,6 + 59,1 [l] = 146,7 [l]$$

Equazione 13- Volume acqua tecnica impianto

$$V_{accumulo} = V - V_{impianto} = 59,7 [l]$$

Equazione 14- Volume accumulo

È stato quindi selezionato un accumulo termico di volume pari a 60 l (Equazione 14).

Gruppi di rilancio

Sono stati previsti tre gruppi di rilancio dedicati all'alimentazione dei terminali d'impianto.

Per l'alimentazione dei collettori del soffitto radiante sono stati selezionati due gruppi di rilancio miscelati [29], uno per ogni collettore al piano, costituito da:

- Dispositivo di intercettazione con due valvole a sfera e due termometri;
- Miscelatore a tre vie con attuatore 230 V a tre punti;
- Circolatore.

Per l'alimentazione dei ventilconvettori e della batteria di scambio del deumidificatore del sistema di ventilazione meccanica è stato selezionato un gruppo di rilancio diretto [30] costituito da:

- Dispositivo di intercettazione con due valvole a sfera e due termometri;
- Circolatore.

La selezione dei gruppi di rilancio è stata effettuata sulla base delle perdite di carico e delle portate dei terminali ai quali essi sono dedicati.

La pompa di ricircolo presente nei gruppi selezionati è dotata di sistema di regolazione PWM (Pulse with modulation) che permette di regolare il numero di giri della pompa in funzione del segnale PWM in ingresso per adattarsi alla caratteristica esterna dell'impianto e lavorare nel punto di progetto.

Campo fotovoltaico

Il campo fotovoltaico è stato previsto per la copertura del fabbisogno di energia elettrica dei seguenti servizi:

- Climatizzazione invernale;
- Climatizzazione estiva;
- Ventilazione meccanica;
- Produzione acqua calda sanitaria;
- Illuminazione ed elettrodomestici.

Per la realizzazione del campo si è deciso di utilizzare moduli fotovoltaici [31] aventi le caratteristiche riportate in tabella (Tabella 46).

Caratteristiche campo fotovoltaico-moduli TJ/PV-		
TJ220GA6		Unità
Orientamento rispetto al SUD	0	[°]
Inclinazione rispetto al piano orizzontale	15	[°]
Numero moduli	32	[pz]
Potenza di picco del singolo modulo	220	[Wp]
Superficie utile singolo modulo	1,46	$[m^2]$
Superficie utile totale	46,72	$[m^2]$
Efficienza nominale singolo modulo	0,15	[-]
Fattore di efficienza	0,75	[-]
Potenza di picco complessiva	7,04	[kWp]

Tabella 46- Caratteristiche del campo fotovoltaico [31]

Attraverso l'utilizzo del software EC 700 è stato possibile effettuare una valutazione energetica dell'impianto solare fotovoltaico (Tabella 47) andando a quantificare la copertura di energia elettrica realizzabile con il campo aventi le caratteristiche di cui sopra e ipotizzando un consumo di energia elettrica per l'alimentazione degli elettrodomestici e dell'illuminazione pari a 7,5 kWh/giorno per una famiglia di cinque persone.

Mese	Q _{fv} [kWh]	Q _{aux} [kWh]	Q _{elettr}	Q _{tot} = Q _{aux} Q _{elettr} [kWh]	Copertura [%]	E.E. da rete [kWh]	E.E. non consumata [kWh]
Gennaio	407	541	225	766	53,13%	359	0
Febbraio	528	468	225	693	76,19%	165	0
Marzo	822	280	225	505	100%	0	317
Aprile	811	289	225	514	100%	0	297
Maggio	1040	269	225	494	100%	0	546
Giugno	1044	397	225	622	100%	0	422
Luglio	1146	547	225	772	100%	0	374
Agosto	1043	568	225	793	100%	0	250
Settembre	800	336	225	561	100%	0	239
Ottobre	658	249	225	474	100%	0	184
Novembre	484	258	225	483	100%	-1	0
Dicembre	367	562	225	787	46,63%	420	0
TOTALI	9150	4764	2700	7464		943	2629

Tabella 47- Valutazione energetica impianto fotovoltaico

Legenda simboli

Qfv	Energia elettrica mensile da produzione fotovoltaica
Qaux	Fabbisogno elettrico totale mensile dell'impianto
Copertura	Percentuale del fabbisogno elettrico coperto dalla produzione fotovoltaica
E.E. da rete	Energia elettrica mensile consumata dalla rete
E.E. non consumata	Energia elettrica mensile da produzione fotovoltaica non consumata

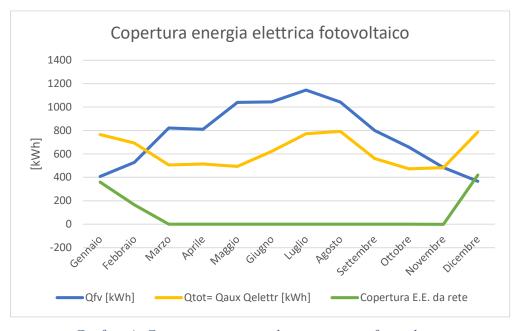


Grafico 4- Copertura energia elettrica campo fotovoltaico

Il campo così realizzato presenta una percentuale di copertura del fabbisogno annuo di energia elettrica pari al 87,4% mentre il mese che presenta la minor percentuale di copertura da parte del campo è dicembre con una percentuale del 46,63% ed un corrispondente consumo di energia elettrica da rete pari a 420 kWh (Grafico 4).

Si è provveduto a stimare anche il pacco batterie per l'accumulo l'energia elettrica annua prodotta dal campo fotovoltaico e non consumata secondo la seguente relazione (Equazione 15):

$$\begin{split} Pacco \ Batterie \ Accumulo &= \frac{E. E. non \ consumata_{annua}}{N_{mesi_{E.E.non} \ consumata} \cdot Giorni_{mese}} \\ &= \frac{2629 \ \left[\frac{kWh}{anno}\right]}{8 \ \left[\frac{mese}{anno}\right] * 30 \ \left[\frac{giorno}{mese}\right]} = 10,9 \ kWh/giorno \end{split}$$

Equazione 15- Dimensionamento accumulo fotovoltaico

Si è scelto quindi un pacco batterie di capacità pari a 11 kWh.

4.4.1. Caso a: sistema di generazione hybrid

Il sistema di generazione in oggetto è costituito da due generatori: il generatore primario costituito da una pompa di calore ed il generatore secondario costituito da una caldaia a condensazione avente il compito di dispositivo di backup per quanto concerne il riscaldamento, mentre contribuisce in maniera attiva alla produzione di acqua calda sanitaria in sinergia con l'impianto solare termico.

Pompa di calore

La pompa di calore selezionata è una aria-acqua da 6 kW [32].

La potenza della pompa di calore è stata selezionata per far fronte alla richiesta termica dell'impianto, in particolare nelle condizioni estive di funzionamento.

La pompa di calore selezionata è di tipo aria-acqua ed utilizza come gas refrigerante l'R290, un gas naturale con un valore di GWP (Global Warming Potential) pari a 3, il quale lo rende meno dannoso per l'ambiente in caso di fuoriuscite accidentali.

La macchina è in grado di compiere cicli di sbrinamento qualora la temperatura esterna in condizioni invernali scenda al di sotto dello zero e possa portare alla formazione di brina nello scambiatore andandone ad influenzare il corretto funzionamento (Tabella 48, Tabella 49, Tabella 50).

Temperatura	Tempe	lda θc [°C]	
sorgente fredda θ _f [°C]	35	45	55
-7	3,00	2,40	2,10
2	3,90	3,20	2,60
7	4,40	3,50	2,90
12	4,90	3,90	3,10

Tabella 48- Caratteristiche tecniche pompa di calore modo riscaldamento (COP) [32]

Temperatura	Temperatura sorgente calda θ _c [°C]				
sorgente fredda θ _f [°C]	35	45	55		
-7	6,07	5,62	5,58		
2	8,03	7,48	7,36		
7	9,09	8,47	8,28		
12	9,95	9,26	9,02		

Tabella 49- Caratteristiche tecniche pompa di calore modo riscaldamento (Potenza termica [kW]) [32]

Temperatura	Temperatura sorgente calda θc [°C]				
sorgente fredda θ _f [°C]	35	45	55		
-7	2,02	2,34	2,66		
2	2,06	2,34	2,83		
7	2,07	2,42	2,86		
12	2,03	2,37	2,91		

Tabella 50- Caratteristiche tecniche pompa di calore modo riscaldamento (Potenza elettrica assorbita [kW]) [32]

Caldaia a condensazione

La caldaia a condensazione selezionata ha una potenza di 26 kW [33]. Si riportano le principali caratteristiche del generatore.

	VM 26	Unità
Temperatura di mandata max	85	[°C]
Campo di regolazione temperatura di		
mandata	15-80	[°C]
Max. pressione di esercizio	0,3	[MPa]
Portata nominale acqua in circolazione,		
riferita a ΔT= 20 K	1075	[1/h]

Tabella 51- Caratteristiche tecniche caldaia a condensazione 26 kW [33]

4.4.2. Caso b: sistema di generazione full electric

Il sistema di generazione utilizzato per alimentare i terminali dell'impianto di condizionamento è un sistema full electric costituito da una pompa di calore, con una resistenza elettrica come dispositivo per il backup per il riscaldamento, e del solare termico per la produzione di acqua calda sanitaria.

Pompa di calore

La pompa di calore selezionata è una aria-acqua da 6 kW analoga a quella considerata nel caso a [32].

La potenza della pompa di calore è stata selezionata per far fronte alla richiesta termica dell'impianto, in particolare nelle condizioni estive di funzionamento. (Tabella 48, Tabella 49, Tabella 50).

5. Valutazione economica dell'intervento

In questo capitolo è trattata la valutazione dal punto di vista economico della riqualificazione energetica e la climatizzazione dell'immobile in oggetto. In prima analisi si è effettuata una valutazione dei consumi energetici pre e post-intervento e successivamente si è passati a valutare il risparmio annuo generato dall'investimento e il conseguente tempo di rientro dello stesso attraverso l'indice economico del Pay back time (PBT) (Equazione 16) per entrambi i casi in oggetto.

Pay Back Time

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

Equazione 16- Pay back time

Per la valutazione dei costi energetici si è fatto riferimento alla seguente tabella riportante il prezzo medio delle due fonti energetiche utilizzate (Tabella 52).

Vettore energetico	Prezzo	Unità
GPL	1,63	[€/Smc]
Energia elettrica	0,25	[€/kWh]
Metano	0,82	[€/Nm³]

Tabella 52- Prezzi GPL ed energia elettrica medi per unità di misura

5.1. Carichi termici e consumi dell'immobile pre-intervento

Per una più precisa analisi economica è stato necessario valutare i consumi energetici dell'immobile prima dell'intervento. Si sono calcolati in primo luogo i carichi termici invernali ed estivi e il fabbisogno di acqua calda sanitaria dello stato pre-intervento, senza quindi il cappotto verticale e la sostituzione degli infissi.

Tale analisi ha portato ai seguenti risultati in Tabella 53 e Tabella 54:

Loc	Descrizione	$\Phi_{ m tr}$	Фуе	Φ_{rh}	$\Phi_{ m hl}$
		[W]	[W]	[W]	[W]
1	Zona climatizzata Piano Interrato	1433	340	0	1774
2	Zona climatizzata Piano terra	6557	1327	0	7884
3	Zona climatizzata Piano Primo	7634	903	0	8537
	Totale edificio	15624	2570	0	18195

Tabella 53- Potenze termiche invernali totali edificio pre-intervento

Zona climatizzata	Q _{Irr} [W]	Q _{Tr} [W]	Q _v [W]	Q _c [W]	Q _{Altri,eff} [W]	Q _{gl,sen} [W]	Q _{gl,lat} [W]	$\begin{array}{c} \mathbf{Q_{gl}} \\ [\mathbf{W}] \end{array}$
Zona climatizzata piano interrato	443	-40	155	474	-220	555	257	811
Zona climatizzata piano terra	1601	-83	599	1664	-475	2227	970	3196
Zona climatizzata piano primo	1024	906	278	907	-656	1975	412	2387
Totale edificio	3068	783	1032	3045	-1351	4757	1639	6394

Tabella 54- Potenze termiche estive totali edificio pre-intervento

Dal punto di vista impiantistico, l'immobile presentava un classico impianto per la climatizzazione invernale avente come terminali dei radiatori in ghisa e come generatore una caldaia a camera aperta da 34 kW alimentata a GPL destinata anche alla produzione di acqua calda sanitaria; la climatizzazione estiva non era prevista e così come la ventilazione.

Di seguito si riportano i consumi energetici annui dell'immobile andando ad effettuare una stima degli stessi sulla base di un utilizzo degli impianti secondo un profilo orario che tiene conto dell'occupazione dell'edificio (Tabella 55):

Servizio	Qp,nren [kWh]	Qp,ren [kWh]	Qp,tot [kWh]
Riscaldamento	23584	137	23720
Acqua calda sanitaria	5743	0	5743
Globale	29327	137	29463

Tabella 55- Fabbisogno di energia primaria edificio pre-intervento

Legenda simboli

Qp,nren	Fabbisogno di energia primaria non rinnovabile
Qp,ren	Fabbisogno di energia primaria rinnovabile
Qp,tot	Fabbisogno di energia primaria totale

Noti i consumi energetici annui dell'immobile pre-intervento è stato possibile effettuare una stima del consumo effettivo di GPL ed energia elettrica dalla rete con conseguenti kg di CO₂ emessi dall'impianto (Tabella 56):

Vettore energetico	Consumo	Unità di misura	CO2 [kg/anno]	Servizi
GPL	2144	[kg/anno]	6574	Riscaldamento, acs
Energia elettrica	2991	[kWh/anno]	1375,86	Riscaldamento, acs, illuminazione ed elettrodomestici
Totale			7949,86	Riscaldamento, acs, illuminazione ed elettrodomestici

Tabella 56- Vettori energetici ed emissioni di CO2 pre-intervento

5.2. Consumi dell'immobile post-intervento

È stata effettuata anche la stima dei consumi energetici dopo l'intervento di riqualificazione energetica descritta nei capitoli precedenti sulla base dello stesso profilo di occupazione dell'edificio utilizzato per la valutazione pre-intervento e successivamente è stato possibile effettuare il computo dei consumi di energia elettrica prelevata dalla rete e i kg di CO2 annui emessi dall'impianto valutati sia per il Caso a) sia per il Caso b) (Tabella 57, Tabella 58, Tabella 59).

Servizio	Qp,nren [kWh]	Qp,ren [kWh]	Qp,tot [kWh]
Riscaldamento	463	3105	3568
Acqua calda sanitaria	188	5301	5488
Raffrescamento	0	1400	1400
Ventilazione	192	1427	1618
Globale	843	11233	12075

Tabella 57- Fabbisogno di energia primaria edificio post-intervento

Vettore energetico	Consumo	Unità di misura	CO2 [kg/anno]	Servizi
Energia elettrica	646	[kWh/anno]	297,16	Riscaldamento, raffrescamento, ventilazione, illuminazione ed elettrodomestici
Metano	192	[Nm3/anno]	400	Acs
Т	otale		697,16	Riscaldamento, acs, raffrescamento, illuminazione ed elettrodomestici

Tabella 58- Vettori energetici ed emissioni di CO2 post-intervento Caso a

Vettore energetico	Consumo	Unità di misura	CO2 [kg/anno]	Servizi
Energia elettrica	943	[kWh/anno]	433.78	Riscaldamento, acs, raffrescamento, ventilazione, illuminazione ed
	7.0		.55,75	elettrodomestici

Tabella 59- Vettori energetici ed emissioni di CO2 post-intervento Caso b

Il sistema full electric permette di ottenere una sensibile riduzione delle emissioni di CO₂ in seguito alla riqualificazione energetica (433,78 kg CO₂ annui, contro 697,16 Kg CO₂ annui del sistema hybrid), con un notevole impatto dal punto di vista ambientale.

5.3. Valutazione economica dell'intervento di riqualificazione energetica

Grazie all'analisi dei consumi relativa ai vettori energetici effettuata nei paragrafi precedenti è possibile effettuare un confronto tra le spese annue (Tabella 60) da sostenere

per la climatizzazione dell'edificio prima e dopo l'intervento di riqualificazione considerando i prezzi unitari riportati in Tabella 52.

Servizio	Spese Pre- riqualificazione [€/anno]	Spese Post- riqualificazione Caso a Hybrid [€/anno]	Spese Post- riqualificazione Caso b Full electric [€/anno]	Δ Caso a Hybrid [%]	Δ Caso b Full electric [%]
Riscaldamento (H)	2.868,95 €	18,63 €	59,39 €	-99,3%	-97,9 %
Acqua calda sanitaria (W)	697,71 €	166,32 €	24,04 €	-76,2%	-96,6 %
Raffrescamento ©	0,00 €	- €	0,00	0,00%	0 %
Ventilazione (V)	0,00 €	7,57 €	24,58 €	0,00%	+100 %
Illuminazione ed elettrodomestici (E)	675,00 €	161,50 €	199,75 €	-76,1%	-70,4 %
Globale (Gl)	4241,66 €	354,02 €	307,76 €	-91,7%	-92,7 %

Tabella 60- Analisi delle spese pre e post-riqualificazione energetica per i casi a e b

Dal confronto delle spese effettuato in Tabella 60 risulta evidente come l'intervento abbatta sensibilmente la spesa annua destinata alla climatizzazione in entrambi i casi valutati nonostante che, con l'intervento di riqualificazione, si siano introdotti i servizi di raffrescamento e di ventilazione meccanica che aumentano il livello di comfort ambientale dell'immobile nell'intero anno.

Il caso che genera una maggior riduzione della spesa annua è il Caso b relativo all'impianto full electric. Nello specifico si può notare come tale soluzione generi un risparmio annuo pari a 3.933,90 € corrispondente ad una riduzione della spesa del 92,74%.

Si proceda adesso con l'analisi delle spese sostenute per far fronte all'intervento di riqualificazione energetica. Per semplicità di esposizione, il costo dell'intervento è stato suddiviso in quattro componenti:

- Costo relativo al cappotto termico in lana di roccia e all'isolamento del solaio di copertura;
- Costo relativo alla sostituzione degli infissi;
- Costo relativo all'impianto di climatizzazione invernale ed estiva con sistema di generazione ibrido e sistema di ventilazione meccanica controllata;
- Costo relativo all'impianto fotovoltaico.

Le componenti sopra elencate sono riportate nella seguente Tabella 61:

Voce di costo	Costo Caso a	Costo Caso b
Cappotto termico in lana di roccia e isolamento solaio di copertura	35.000,00€	35.000,00€
Sostituzione infissi	25.000,00 €	25.000,00 €
Impianto di climatizzazione invernale ed estiva, sistema di generazione e VMC	25.000,00 €	25.000,00 €
Impianto fotovoltaico 7,04 kWp con accumulo da 11 kWh	30.000,00€	22.000,00 €
Totale riqualificazione energetica	112.000,00 €	107.000,00 €

Tabella 61- Voci di costo riqualificazione energetica

Le componenti sopra elencate si intendono comprensive dei relativi costi di posa in opera e smaltimento.

5.4. Detrazione fiscali per interventi di riqualificazione energetica

Per la riqualificazione energetica in oggetto è stata fatta richiesta della detrazione fiscale per la Riqualificazione Energetica. Tale agevolazione consiste nel godere di una detrazione dall'Irpef o dall'Ires qualora vengano realizzati degli interventi che aumentino il livello di efficienza energetica degli edifici già esistenti.

Gli interventi che possono godere di tale detrazione sono:

- Riduzione del fabbisogno energetico per il riscaldamento;
- Miglioramento termico dell'edificio (coibentazioni, pavimenti, finestre e infissi);
- Installazioni pannelli solari;
- Sostituzione impianti di climatizzazione invernale [34].

La detrazione fiscale massima per interventi di riqualificazione energetica di edifici già esistenti è pari a 100.000,00 € comprensivi di spese professionali per la realizzazione degli interventi ed è obbligatorio suddividere le detrazioni in dieci rate annuali di pari importo [35].

Si riporta in Tabella 62 lo schema degli interventi e relative percentuali detraibili.

Intervento	% detrazione
Serramenti e infissi	65%
Pompe di calore	65%
Coibentazione involucro	65%
Pannelli solari	65%
Fotovoltaico	50%

Tabella 62- Percentuale di detrazioni fiscali per intervento [35]

5.5. Tempo di rientro dell'investimento

Noti i costi delle varie voci dell'intervento di riqualificazione e alle relative percentuali di detrazione fiscale è stato possibile effettuare una valutazione del tempo di rientro dell'investimento effettuato per i casi a e b (Tabella 63).

Voce di costo	% Detrazione	Detrazione Caso a	Detrazione Caso b		
Cappotto termico in lana di roccia e isolamento solaio di copertura	65%	22.750,00 €	22.750,00 €		
Sostituzione infissi	65%	16.250,00 €	16.250,00 €		
Impianto di climatizzazione invernale ed estiva, sistema di generazione e VMC	65%	19.500,00 €	16.250,00 €		
Impianto fotovoltaico 7,04 kWp con accumulo 11 kWh	50%	11.000,00 €	11.000,00 €		
Totale riqualificazione energetica		69.500,00 €	66.250,00 €		

Tabella 63- Valutazione delle detrazioni fiscali

	Caso a	Caso b	Unità
Risparmio da intervento di riqualificazione energetica	3.887,64 €	3.933,90 €	[€/anno]
Detrazioni	6.950,00 €	6.625,00€	[€/anno]
Pay Back Time	10,33	10,13	[anni]

Tabella 64- Tempo di rientro dell'investimento

5.6. Confronto tra le soluzioni impiantistiche

Dai risultati riportati in Tabella 64 si evince come la soluzione full electric (caso b), abbia un tempo di rientro dell'investimento leggermente inferiore rispetto al sistema hybrid (caso a).

I fattori che determinano la scelta del sistema sono da ricercare nella differenza del risparmio annuo e delle emissioni di kg CO2 annue tra i due casi proposti.

Il sistema hybrid (caso a), con l'inserimento della caldaia a condensazione e conseguente introduzione del metano come ulteriore vettore energetico, non apporta benefici né dal punto di vista economico né dal punto di vista di sostenibilità ambientale dell'impianto.

Infatti, l'introduzione della caldaia e quindi la realizzazione del sistema ibrido comporta un aumento dei costi di gestione annui dell'impianto del +15%, ma cosa ben più importante è l'aumento dei kg di CO2 annui emessi dallo stesso, pari a +60,7% rispetto al sistema full electric.

6. Conclusioni

La presente tesi ha avuto come obiettivo la riqualificazione energetica e il rinnovamento dell'impianto di climatizzazione di un'abitazione unifamiliare situata in una zona climatica temperata.

Tale riqualificazione è stata svolta per ridurre il fabbisogno energetico dell'immobile e contemporaneamente incrementare il livello di comfort ambientale all'interno dei locali.

Per raggiungere tale obiettivo sono stati ipotizzati sia degli interventi sulle superfici disperdenti dell'immobile sia il rinnovamento dell'impianto di climatizzazione, con l'introduzione del raffrescamento e della ventilazione meccanica controllata.

Per la scelta del sistema di generazione si sono valutati due casi relativi rispettivamente ad un sistema hybrid e un sistema full electric

Per entrambe le soluzioni si è provveduto a dimensionare un campo fotovoltaico in grado di coprire più del 90% del fabbisogno annuo di energia elettrica così da renderne minimo il prelievo dalla rete ed un impianto solare termico in grado di coprire circa il 60% del fabbisogno di acqua calda sanitaria

Al fine di valutare l'intervento di riqualificazione energetica e la scelta più opportuna per il sistema di generazione tra i casi proposti si è resa necessaria, in mancanza di dati relativi ai consumi energetici dell'immobile allo stato iniziale, una simulazione dei consumi energetici dell'immobile pre-intervento e relativo impianto tramite il software EC700 [4].

Ottenuti i dati relativi all'energia primaria è stata effettuata una valutazione economica delle soluzioni tramite la determinazione del tempo di rientro dell'investimento. A tale scopo si è ipotizzata una stima del costo complessivo dell'investimento e si sono considerate le detrazioni fiscali delle quali il proprietario può godere per la realizzazione dello stesso.

Attraverso il confronto tra il prima e il dopo riqualificazione, si sono potuti stimare i vantaggi apportati dall'intervento per entrambi i casi a e b.

Effettuando un confronto tra l'impianto hybrid e l'impianto full electric è stato scelto come sistema di generazione la seconda soluzione proposta, grazie al suo maggior risparmio annuo e al suo minore impatto ambientale in termini di kg di CO₂ annui.

In particolare, la riqualificazione energetica con impianto full electric ha portato ai seguenti vantaggi:

- Una riduzione del fabbisogno di energia primaria globale del 59,1 % nonostante l'introduzione di ulteriori servizi non previsti prima dell'intervento (raffrescamento e ventilazione);
- Una riduzione della spesa annua del 92,74 %;
- Una riduzione dei kg di CO₂ emessi annualmente di oltre il 94,5 %.
- Il passaggio dalla classe energetica E (114,34 kWh/m²anno) alla classe energetica A4 (3,28 kWh/m²anno) (Figura 31).

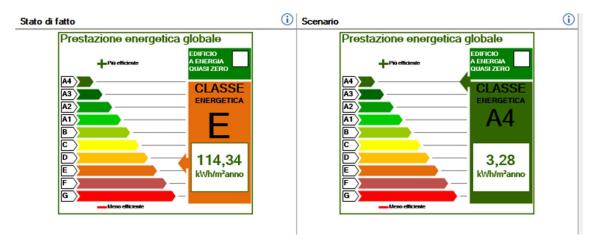


Figura 31- Confronto delle classi energetiche pre e post-intervento di riqualificazione

7. Bibliografia

- [1] Allegato 1 (articoli 3 e 4) Criteri generali e requisiti delle prestazioni energetiche degli edifici del DM, Ministero dello sviluppo economico.
- [2] Definizione di "impianto termico" decreto legislativo 48/2020.
- [3] ASHRAE, "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy", 2004.
- [4] EC700-Edilclima S.r.l. Engineering and Software.
- [5] UNI/TS 11300.
- [6] "Sviluppo di una procedura semplificata per la valutazione del potenziale di aggregabilità di utenze residenziali", L. de Santoli, F. Mancini, M. Cecconi.
- [7] UNI EN ISO 13790.
- [8] Quaderni caleffi -2- "I circuiti e i terminali dell'impianto di climatizzazione", Mario Doninelli.
- [9] Quaderni caleffi -4- "Gli impianti a pannelli radianti", Mario Doninelli.
- [10] Vaillant Group Italia, sito web, manual d'installazione fancoil.
- [11] Caleffi, Ventilazione meccanica controllata con recupero di calore, pro e contro, https://www.caleffi.com/italy/it/blog/ventilazione-meccanica-controllata-recupero-calore-pro-e-contro.
- [12] Gas expert.ca, sito web, https://gasexperts.ca/how-do-hrv-and-erv-systems-work/.
- [13] Caleffi, Indraulica, Il rinnovo dell'aria tramite sistemi VMC, Ing. E. Cremona, Ing. P. Malavolta, https://idraulica.caleffi.com/articolo/il-rinnovo-dellaria-tramite-i-sistemi-vmc.
- [14] Zehnder Group Italia, sito web, System solution.
- [15] UNI EN 12792.
- [16] UNI EN 1264.
- [17] UNI EN ISO 16890:2017.
- [18] "Centrali termiche", Slide di Impianti termotecnici e refrigerazione industriale-Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica, Polito, a.a. 2020/2021, M. Masoero.

- [19] "Gruppi frigoriferi e pompe di calore", Slide di Impianti termotecnici e refrigerazione industriale-Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica, a.a. 2020/2021, M. Masoero.
- [20] Zehnder Group Italia, scheda tecnica Zehnder NIC, 2022.
- [21] Caleffi Hydronic Solution, risposte al webinar "Dimensionamento e regolazione dei sistemi di ventilazione meccanica controllata", 2021
- [22] Zehnder Group Italia, scheda tecnica Zehnder ComfoAir Q450, 2022.
- [23] Zehnder Group Italia, scheda tecnica Zehnder ComfoDew 350, 2022.
- [24] Vaillant Group Italia, scheda tecnica pompa di calore Vaillant aroVAIR VA 1-025 WN da 2,5 kW, 2022.
- [25] Vaillant Group Italia, scheda tecnica auroSTEP plus PS 150 l, 2022
- [26] Vaillant Group Italia, scheda tecnica uniSTOR VIH RW 200 1, 2022
- [27] Vaillant Group Italia, scheda tecnica collettore solare pressurizzato Vaillant auroTHERM VFK 145/3 V, 2022.
- [28] Caleffi- 16 "Idraulica: produzione di acqua calda ad accumulo", Mario Doninelli.
- [29] S.R. Rubinetterie srl, scheda tecnica gruppo di regolazione motorizzato Thermorel, 2022.
- [30] S.R. Rubinetterie srl, scheda tecnica gruppo di regolazione con mandata diretta Thermomat, 2022.
- [31] Mitsubishi Electric, scheda tecnica moduli fotovoltaici TJ/PV-TJ220GA6, https://climatizzazione.mitsubishielectric.it/it/pdf/assistenza/postvendita/moduli/PV-TJ.pdf
- [32] Vaillant Group Italia, scheda tecnica pompa di calore Vaillant aroTHERM plus 6 kW 230 V, 2022.
- [33] Vaillant Group Italia, scheda tecnica caldaia a condensazione ecoTEC plus 26 kW, 2022.
- [34] Riqualificazione energetica, Agenzia delle entrate, https://www.agenziaentrate.gov.it/portale/web/guest/schede/agevolazioni/det razione-riqualificazione-energetica-55-2016/cosa-riqualificazione-55-2016.
- [35] LE AGEVOLAZIONI FISCALI PER IL RISPARMIO ENERGETICO, Agenzia delle entrate, 2019.

Allegati

ALLEGATO 1: CARATTERISTICHE PRINCIPALI SERRAMENTI

Descrizione elemento	L	Н	A _w	Ag	A _f	$L_{\mathbf{f}}$	U
	cm	cm	m ²	m ²	m ²	m	W/m ² K
ZONA Piano interrato							
150x150 serramento garage	150	150	2,25	1,714	0,536	6	1,883
90x150 serramento garage	90	150	1,35	0,898	0,452	4,8	1,9
ZONA Piano terra							
35x150 serramento legno alluminio con vetro triplo	35	150	0,525	0,286	0,239	3,7	1,594
130x150 serramento con vetrata di almeno 4 mm + 4 mm e camera di almeno 12 mm	130	150	1,95	1,578	0,372	5,6	1,762
115x150 serramento con vetrata di almeno 4 mm + 4 mm e camera di almeno 12 mm	115	150	1,725	1,374	0,351	5,3	1,827
130x245 porta finestra con vetrata di almeno 4 mm + 4 mm e camera di almeno 12 mm	130	245	3,185	2,449	0,736	7,5	1,885
180x245 balcone porta finestra con vetrata di almeno 4 mm + 4 mm e camera di almeno 12 mm	180	245	4,41	3,604	0,806	8,5	1,768
90x150 serramento garage	90	150	1,35	0,898	0,452	4,8	1,9
60 x150 serramento garage	60	150	0,9	0,626	0,274	4,2	1,843
85x245 porta balcone	85	245	2,082	1,409	0,673	6,6	1,901
ZONA Piano primo							
35x150 serramento legno alluminio con vetro triplo	35	150	0,525	0,286	0,239	3,7	1,594
115x150 serramento con vetrata di almeno 4 mm + 4 mm e camera di almeno 12 mm	115	150	1,725	1,374	0,351	5,3	1,827
130x245 porta finestra con vetrata di almeno 4 mm + 4 mm e camera di almeno 12 mm	130	245	3,185	2,449	0,736	7,5	1,885
180x245 balcone porta finestra con vetrata di almeno 4 mm + 4 mm e camera di almeno 12 mm	180	245	4,41	3,604	0,806	8,5	1,768
90x150 serramento garage	90	150	1,35	0,898	0,452	4,8	1,9

ALLEGATO 2: NUMERO PANNELLI E RESA TERMICA PER LOCALE PIANO TERRA

Circuito	Tipo di locali	Pannelli	NIC 600	NIC 300	NIC 150	Resa locale in riscaldamento [W]	Resa locale in raffrescamento [W]	
		n°. Pannelli	3	3	3			
1	A1	Resa riscaldamento [W]	546	273	138	957	525	
		Resa raffrescamento [W]	300	150	75			
		n°. Pannelli	3	0	0			
2	A2	Resa riscaldamento [W]	546	0	0	546	300	
		Resa raffrescamento [W]	300	0	0			
		n°. Pannelli	3	2	0			
3	A3	Resa riscaldamento [W]	546	182	0	728	400	
		Resa raffrescamento [W]	300	100	0			
4	A4	n°. Pannelli	2	2	0			
		Resa riscaldamento [W]	364	182	0	546	300	
		Resa raffrescamento [W]	200	100	0			
5	A5	n°. Pannelli	3	1	2	729	400	
		Resa riscaldamento [W]	546	91	92			
		Resa raffrescamento [W]	300	50	50			
6	A6	n°. Pannelli	4	2	2			
		Resa riscaldamento [W]	728	182	92	1002	550	
		Resa raffrescamento [W]	400	100	50			
	A7	n°. Pannelli	5	2	0			
7		Resa riscaldamento [W]	910	182	0	1092	600	
		Resa raffrescamento [W]	500	100	0			
		n°. Pannelli	0	3	0			
8	A8	Resa riscaldamento [W]	0	273	0	273	150	
		Resa raffrescamento [W]	0	150	0			
9	4.0	n°. Pannelli	2	0	0	264	200	
	A9	Resa riscaldamento [W]	364	0	0	364	200	
		Resa raffrescamento [W]	200	0	0			
10	110	n°. Pannelli	2	2	2	(20	250	
10	A10	Resa riscaldamento [W]	364	182	92	638	350	
		Resa raffrescamento [W]	200	100	50			

ALLEGATO 3: NUMERO PANNELLI E RESA TERMICA PER LOCALE PIANO PRIMO

Circuito	Tipo di locali	Pannelli	NIC 600	NIC 300	NIC 150	Resa locale in riscaldamento [W]	Resa locale in raffres camento [W]	
		n°. Pannelli	3	2	2			
1	B1	Resa riscaldamento [W]	546	182	92	820	450	
		Resa raffrescamento [W]	300	100	50			
		n°. Pannelli	1	2	0			
2	B2	Resa riscaldamento [W]	182	182	0	364	200	
		Resa raffrescamento [W]	100	100	0			
		n°. Pannelli	0	2	2			
3	В3	Resa riscaldamento [W]	0	182	92	274	150	
		Resa raffrescamento [W]	0	100	50			
4	B4	n°. Pannelli	4	4	0		600	
		Resa riscaldamento [W]	728	364	0	1092		
		Resa raffrescamento [W]	400	200	0			
	B5	n°. Pannelli	3	1	0			
5		Resa riscaldamento [W]	546	91	0	637	350	
		Resa raffrescamento [W]	300	50	0			
	В6	n°. Pannelli	1	2	0			
6		Resa riscaldamento [W]	182	182	0	364	200	
		Resa raffrescamento [W]	100	100	0			
	В7	n°. Pannelli	3	2	2			
7		Resa riscaldamento [W]	546	182	92	820	450	
		Resa raffrescamento [W]	300	100	50			
		n°. Pannelli	3	0	0			
8	B8	Resa riscaldamento [W]	546	0	0	546	300	
		Resa raffrescamento [W]	300	0	0			

