



POLITECNICO
DI TORINO

POLITECNICO DI TORINO
Corso di laurea magistrale in:
INGEGNERIA ENERGETICA E NUCLEARE

**Analisi dei sistemi termodinamici di recupero
energetico di ricambio d'aria, abbinati alla
produzione di acqua calda sanitaria e
climatizzazione**

Relatore: Marco Carlo Masoero

Correlatore: Gregorio Tosi

Laureando:

Emanuele Ocleppo

Matricola: S262355

Anno accademico 2019/2020

Sommario

Introduzione.....	5
1. Cenni normativi in ambito di efficienza e prestazione energetica degli edifici.....	6
1.1 Direttiva sovranazionale 2018/844/UE.....	6
1.2 Il D.lgs. 48/2020	8
2. Il parco immobiliare nazionale.....	9
2.1 Censimento generale degli edifici e delle abitazioni, 2011	9
2.2 Analisi dello stato attuale degli edifici e delle abitazioni	11
2.3 Analisi dei consumi e delle prestazioni energetiche nel residenziale.....	14
2.4 Criteri minimi sulle nuove costruzioni e ristrutturazioni.....	18
3. Edifici ad alta efficienza energetica	26
3.1 Gli edifici a energia “quasi zero”.....	26
3.2 I protocolli di qualità.....	29
3.2.1 Passivhaus.....	30
3.2.2 CasaClima.....	35
3.3 Il comfort negli ambienti interni	38
4. Aggregato compatto, la soluzione “tutto in uno” per gli edifici nZEB.....	42
4.1 Descrizione del macchinario.....	42
4.2 Layout dell’impianto.....	46
4.3 I componenti di un aggregato compatto.....	49
4.3.1 Ventilatori.....	49
4.3.2 Recuperatore di calore	51
4.3.3 Pompa di calore	57
4.3.4 Accumulo integrato	62
4.3.5 Filtri	63
4.4 Principio di funzionamento.....	66
5. Il mercato degli aggregati compatti.....	69
5.1 Panoramica di mercato.....	69
5.2 Certification of Compact Heat Pump Units	70
5.3 LWZ 304 SOL, Stiebel Eltron	72
5.4 Ventech PKOM ⁴ Classic, Pichler	80
5.5 Compact P, Nilan.....	88
5.6 Zehnder, ComfoBox 5	97
5.7 Drexel und Weiss, Aerosmart M	101

5.8	Confronto tecnico tra le diverse soluzioni.....	108
5.9	Limiti di funzionamento	110
6.	Conclusioni	115
	Allegato 1	116
	Bibliografia.....	121

Introduzione

Il presente elaborato si pone l'obiettivo di fornire un'adeguata rappresentazione dell'aggregato compatto, macchinario innovativo utilizzato per soddisfare tutti i fabbisogni degli occupanti all'interno di un edificio "nZEB" ad alte prestazioni. L'analisi prenderà in considerazione le disposizioni attualmente in vigore in ambito di prestazione energetica e criteri minimi nell'edilizia, quali la Direttiva Europea 844/2018 ed il D.lgs. 48/2020. Dopo aver considerato gli aspetti normativi si proseguirà alla disamina del parco immobiliare nazionale, identificandone i punti critici e le potenzialità attuali per mezzo dei documenti pubblicati da FIAIP, ENEA e ISTAT. Il campo di applicazione dei sistemi compatti in pompa di calore è quello degli edifici ad energia quasi zero, dei quali saranno illustrati i principali criteri minimi per la classificazione sia a livello normativo vigente sia con riferimento ai protocolli di qualità sviluppati da terze parti. Particolare attenzione verrà data ai protocolli "Passivhaus" e "CasaClima", che rappresentano l'ambito applicativo ideale di questa tipologia di macchine, in particolare quelle di taglia minore. Successivamente si proseguirà con l'analisi di quello che si potrebbe definire un "tipico" aggregato compatto con pompa di calore aria-aria integrata di tipo invertibile, del quale si illustreranno i principali componenti e il principio di funzionamento di ognuno di essi, nonché del macchinario nel suo insieme. Infine, saranno esaminati e confrontati cinque macchinari prodotti da cinque aziende diverse ed attualmente in commercio, evidenziandone i principi di funzionamento, le differenze, i pregi e le limitazioni. La ricerca è stata effettuata usufruendo del materiale messo a disposizione dalle stesse aziende sui siti ufficiali e considerando i valori riportati sui certificati Passivhaus, che tuttavia solo alcuni dei macchinari possiedono.

1. Cenni normativi in ambito di efficienza e prestazione energetica degli edifici

In questo capitolo si introducono le direttive Europee attualmente in vigore in materia di prestazione energetica degli edifici e il loro recepimento in Italia. Lo scopo è quello di inquadrare gli obiettivi e le finalità dell'Unione Europea e di analizzare il modo in cui sono stati implementati a livello nazionale al fine di raggiungere i risultati prestabiliti.

L'edilizia ed in particolare il residenziale è responsabile di circa il 40% dei consumi globali nell'Unione Europea, infatti questa voce di consumi energetici si trova al centro di molti dibattiti che riguardano le emissioni di particelle inquinanti e di gas climalteranti. Le disposizioni attualmente in vigore prevedono obblighi imposti attraverso la prescrizione di requisiti minimi in materia di nuove costruzioni e di riqualificazione energetica ma, con l'avvicinamento dei termini previsti dal protocollo di Kyoto (entrato in vigore nel 2005), l'Europa si trova nelle condizioni di porre nuovi obiettivi. Entro il 10 marzo 2020 era stato fissato il termine ultimo per il recepimento della direttiva 2018/844/UE, che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica. Il Parlamento italiano ha espresso parere favorevole nei confronti dello schema di Decreto Legislativo che si era proposto di recepire la direttiva in oggetto nei primi mesi dell'anno 2020. Al mese di aprile 2020 è stato quindi pubblicato uno schema di decreto e la normativa risultava ancora in fase di sviluppo. Il 10 giugno 2020 la direttiva 2018/844/UE è stata attuata ufficialmente attraverso il D. lgs n. 48/2020, che modifica il precedente D. lgs. 192/2005.

1.1 Direttiva sovranazionale 2018/844/UE

Con la direttiva 2018/844 l'Unione Europea pone obiettivi ambiziosi, al fine di sviluppare un sistema energetico più sostenibile, sicuro e decarbonizzato. Il traguardo futuro è di ottenere una considerevole diminuzione delle emissioni di gas climalteranti pari al 40% entro il 2030, rispetto alle stesse registrate nel 1990, e la decarbonizzazione del parco immobiliare entro il 2050. Questa cospicua riduzione delle emissioni è possibile grazie all'aumento della quota di energie rinnovabili all'interno del parco energetico comunitario accompagnata da una contemporanea riduzione dei consumi energetici finali. Negli specifici ambiti di intervento citati nella direttiva, la diminuzione del fabbisogno di energia primaria è ottenibile

attraverso importanti processi di efficientamento energetico e sensibilizzazione all'uso razionale dell'energia.

All'interno dell'Unione Europea il consumo dell'energia è per il 50% destinato a riscaldamento e raffrescamento, di cui l'80% all'interno di edifici, a loro volta responsabili del 36% delle emissioni totali di CO₂. L'Unione Europea ha stimato che con un tasso di ristrutturazione del parco immobiliare pari al 3% annuo, sarebbe possibile raggiungere gli obiettivi prefissati, considerando che un aumento del risparmio energetico pari all'1% riduce l'importazione di gas del 2.6%¹. I vantaggi risiederebbero non solo nella riduzione delle emissioni di gas a effetto serra ma anche in una maggior indipendenza energetica, maggior competitività e nuovi posti di lavoro. Promuovendo la costruzione di nuovi edifici ad alta efficienza e la trasformazione di quelli esistenti in edifici a energia "quasi zero", è possibile un forte progresso in ambito edilizio, ma sono richieste delle azioni mirate a tal scopo: l'accesso a finanziamenti, l'applicazione di requisiti minimi più stringenti, il miglioramento delle ispezioni degli impianti e dei certificati di prestazione energetica. A tal proposito, questi ultimi dovrebbero essere più trasparenti, in modo da certificare inequivocabilmente l'effettiva conformità dei requisiti e delle prestazioni reali degli immobili. Per quanto riguarda l'ispezione degli impianti, ad oggi non sufficiente, si impone che le ispezioni siano rese più efficaci in modo da garantire la prestazione energetica iniziale anche negli anni successivi all'installazione degli impianti.

Nell'ambito edilizio, la prestazione e l'efficienza energetica risiedono in tutti quei parametri coinvolti nelle voci di consumo per riscaldamento, raffrescamento, ventilazione e illuminazione, come per esempio: caratteristiche dell'involucro ed ermeticità, impianti tecnici, componenti ausiliari e terminali.

Nella direttiva viene citato anche il tema del comfort e della qualità degli ambienti abitativi, nei quali devono essere garantite condizioni che favoriscano la salute e il benessere degli occupanti. In questo senso, edifici più efficienti offrono agli occupanti un ambiente più salubre e più confortevole, in grado di migliorare notevolmente la qualità della vita.

Nella direttiva viene anche trattato il tema del calcolo dinamico dei consumi e della predisposizione del parco immobiliare all'intelligenza, utile per sensibilizzare gli occupanti circa i consumi e risparmi di energia.

¹ Fonte: Dir. 844/2018 UE

1.2 Il D.lgs. 48/2020

L'attuazione della direttiva Europea descritta 2018/844/UE è avvenuta il 10 giugno 2020 con il decreto legislativo 48/2020 che modifica il precedente D. lgs 192/2005. Il nuovo decreto promuove il miglioramento della prestazione energetica degli edifici in relazione alle condizioni locali, condizioni climatiche esterne e alle condizioni degli ambienti interni, mirando ad ottimizzare il rapporto costi benefici. Tra le modalità definite in ambito di prestazione energetica vi è l'applicazione di requisiti minimi, sia sugli edifici di nuova costruzione sia sugli edifici sottoposti a ristrutturazioni o riqualificazione energetica. Il decreto, inoltre, punta a favorire lo sviluppo e l'integrazione delle fonti rinnovabili e a definire criteri generali per: il calcolo della prestazione energetica, le modalità di esercizio, la conduzione, il controllo, l'ispezione, la manutenzione degli impianti di climatizzazione e produzione di acqua calda sanitaria.

Lo stato si impegna a sensibilizzare gli utenti finali all'uso razionale dell'energia e a perseguire la conoscenza del parco immobiliare nazionale, della sua prestazione energetica e dei consumi, mettendo a disposizione dei cittadini tali informazioni.

Il presente decreto si applica all'edilizia pubblica e privata, disciplinando la metodologia di calcolo delle prestazioni energetiche e i requisiti minimi da applicare in caso di nuove costruzioni, ristrutturazioni o edifici soggetti a riqualificazioni energetiche. Come definito dalla direttiva Europea, lo stato si impegna a determinare una strategia per il miglioramento energetico del parco immobiliare nazionale e un piano d'azione per la promozione degli edifici a energia quasi zero.

Viene anche ulteriormente regolamentato e modificato l'attestato di prestazione energetica, per una maggiore trasparenza e veridicità, sia in sede di compravendita o locazione di immobili, sia per approfondire la conoscenza dello stato attuale del settore. La mancata presentazione agli atti dell'attestato di prestazione energetica dell'immobile prevede importanti sanzioni amministrative.

La prestazione energetica degli edifici viene calcolata coerentemente alle norme tecniche e alle linee guida nazionali attualmente in vigore tra le quali la UNI/TS 11300 1-4, la UN EN 15193 e il DM 26/giugno/2015, con specifico riferimento all'allegato 1. In particolare, la norma tecnica stabilisce la metodologia del calcolo di progetto, mentre le linee guida nazionali ne definiscono la procedura e la forma.

2. Il parco immobiliare nazionale

In questo capitolo si intende evidenziare la situazione attuale del parco immobiliare italiano. La conoscenza di quest'ultimo, prevista dalla direttiva Europea e dal D.lgs. 48/2020, permette di identificare le potenzialità di risparmio energetico ed efficienza energetica nel campo edilizio. Le nuove tecnologie impiantistiche, utilizzabili per il riscaldamento e raffrescamento degli spazi abitativi per la ventilazione e la produzione di acqua sanitaria, trovano ampio spazio sia negli edifici di nuova costruzione che negli edifici esistenti. Anche la produzione di energia da fonti rinnovabili in loco trova largo impiego, diminuendo la domanda di energia proveniente da fonti fossili.

Nell'ambito del parco immobiliare italiano si intende analizzarne le caratteristiche fisiche ed energetiche, quali lo stato di conservazione e i consumi, oltre alla dotazione degli impianti e alla prestazione energetica.

2.1 Censimento generale degli edifici e delle abitazioni, 2011

Nell'analisi del parco immobiliare nazionale è d'obbligo distinguere gli edifici dalle abitazioni. Di seguito viene proposta la rispettiva definizione così come descritta al Art. 2 del testo coordinato D.lgs. 192/2005 con modifiche del Dlgs 48/2020.

Viene definito *edificio*: “un sistema costituito dalle strutture edilizie esterne che delimitano uno spazio di volume, dalle strutture interne che ripartiscono detto volume e da tutti gli impianti e dispositivi tecnologici che si trovano stabilmente al suo interno; La superficie esterna che delimita un edificio può confinare con tutti o alcuni di questi elementi: l'ambiente esterno, il terreno, altri edifici; Il termine può riferirsi a un intero edificio ovvero a parti di edificio progettate o ristrutturate per essere utilizzate come unità immobiliari a se stanti;”

Un' *unità immobiliare* è: “una parte, un piano o un appartamento di un edificio progettati o modificati per essere utilizzati separatamente;“

L'*abitazione* è un'unità immobiliare regolarmente censita e inserita nella categoria catastale A. La destinazione d'uso è di tipo abitativo e significa che i soggetti possono risiedere e soddisfare i propri bisogni personali. Di conseguenza non fanno parte di questa categoria i box, le cantine, le autorimesse, poiché censiti in altre categorie e con diversa destinazione d'uso.

Gli edifici e i complessi attualmente presenti in Italia sono 14.515.795 di cui l'84.3%, pari a 12.187.698, ad uso residenziale. Questi ultimi registrano un incremento dell'8.6%, rispetto al decennio precedente, in linea con le statistiche che rilevano un aumento del numero di famiglie sul territorio nazionale. Il totale delle abitazioni censite è pari a 31.208.161, di cui il 77.3% occupato da residenti e il restante complemento a cento occupato da non residenti o non occupato. L'aumento del numero di edifici è registrato su tutto il territorio, con incrementi in ogni singola regione. In particolare, le abitazioni occupate da residenti risultano essere 24.141.324, registrando un aumento dell'11.5% rispetto al censimento precedente del 2001. L'incremento maggiore si è registrato nell'Italia centrale (14.3%) e il minore nelle regioni del Mezzogiorno (9.5%).

La ripartizione geografica delle abitazioni risulta essere così suddivisa:

- 6.814.218 nell'Italia nord-occidentale;
- 4.769.852 nell'Italia nord-orientale;
- 4.782.328 nell'Italia centrale;
- 5.170.699 nell'Italia meridionale;
- 2.604.227 nell'Italia insulare;

Analizzando le abitazioni in base all'anno di costruzione risulta che più della metà di esse (53.7%) sia stata costruita in tempi antecedenti all'anno 1970, mentre solo il 7.9% dopo il 2000. Una panoramica generale dell'anno di costruzione dello stock abitativo italiano è presentata nel grafico seguente.

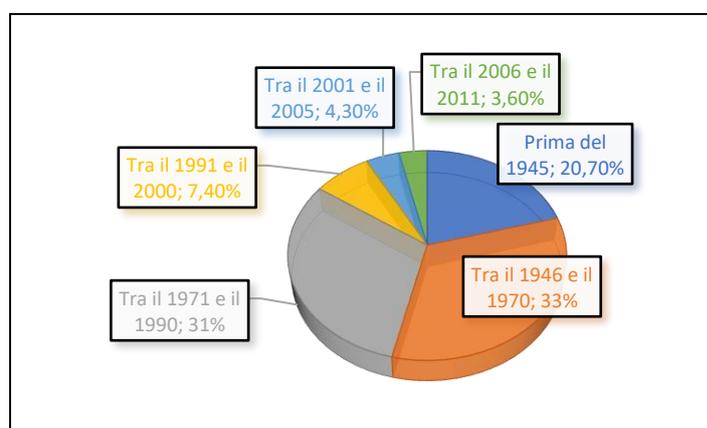


Figura 1 - Percentuale di edifici per anno di costruzione
Fonte: Lo stock abitativo in Italia, ANCE, 2015

Si deduce quindi che la maggior parte degli edifici sia piuttosto inattuale, mostrando scarse prestazioni energetiche ed elevati consumi necessari a soddisfare il fabbisogno richiesto.

2.2 Analisi dello stato attuale degli edifici e delle abitazioni

Il report RdS/PAR2014/069, pubblicato da ENEA in collaborazione con il Ministero dello Sviluppo Economico e CRESME Ricerche S.p.A., mostra un'analisi dello stato di conservazione delle abitazioni sul territorio nazionale e la relativa dotazione di impianti termici. I due argomenti sono strettamente correlati poiché la collocazione geografica e lo stato di conservazione influenzano notevolmente la valutazione dell'impianto di climatizzazione e i corrispondenti consumi. Dai dati rilevati risulta che lo stock abitativo esistente insista principalmente su aree geografiche a temperature rigide, come le regioni nord-occidentali. La tabella 1 riassume la ripartizione degli edifici sul territorio e il corrispettivo stato di conservazione.

*Tabella 1 -- Stato di conservazione degli edifici sul territorio nazionale
Fonte: Report RdS/PAR2014/069, ENEA.*

	Ottimo	Buono	Mediocre	Pessimo	Totale
NORD-OVEST					
Nessun intervento	1.157.728	1.653.723	484.939	48.579	3.344.970
Abitazioni con interventi	1.122.762	2.024.126	495.489	36.456	3.678.833
di cui: agli impianti	960.535	1.746.905	426.901	30.649	3.164.990
Totale	2.280.490	3.677.849	980.429	85.035	7.023.803
NORD-EST					
Nessun intervento	896.500	1.058.276	296.520	27.543	2.278.839
Abitazioni con interventi	869.092	1.447.525	327.857	20.148	2.664.622
di cui: agli impianti	762.282	1.287.376	290.381	17.354	2.357.393
Totale	1.765.592	2.505.801	624.377	47.691	4.943.461
CENTRO					
Nessun intervento	714.321	1.338.833	359.530	34.988	2.447.672
Abitazioni con interventi	686.438	1.533.341	334.853	26.595	2.581.227

di cui: agli impianti	585.770	1.313.277	282.495	21.437	2.202.979
Totale	1.400.759	2.872.174	694.382	61.583	5.020.899
SUD					
Nessun intervento	689.503	1.675.283	685.083	85.496	3.135.365
Abitazioni con interventi	474.491	1.256.244	389.773	39.529	2.160.038
di cui: agli impianti	398.931	1.052.247	312.631	30.348	1.794.157
Totale	1.163.995	2.931.527	1.074.856	125.025	5.295.403
ISOLE					
Nessun intervento	383.384	860.482	386.369	41.834	1.672.070
Abitazioni con interventi	241.005	547.294	177.273	15.418	980.990
di cui: agli impianti	189.272	422.471	129.426	10.895	752.065
Totale	624.389	1.407.776	563.642	57.252	2.653.060
ITALIA					
Nessun intervento	3.381.437	6.586.598	2.212.441	238.441	12.878.917
Abitazioni con interventi	3.393.788	6.808.530	1.725.246	138.146	12.065.710
di cui: agli impianti	2.896.790	5.822.277	1.441.834	110.683	10.271.583
Totale	7.235.225	13.395.128	3.937.686	376.587	24.944.626

Sulla base della precedente tabella si possono fare alcune considerazioni. A livello nazionale lo stato delle abitazioni risulta per l'82.7% in condizioni ottime o buone (rispettivamente 29% e 53.7%), e solo l'1.5% è in pessime condizioni. In generale lo stato degli immobili risulta migliore al nord e nel centro, mentre al sud e nelle isole la somma delle migliori condizioni precedentemente citate risulta attestarsi intorno 77%. Anche lo stato "pessimo" risulta lievemente peggiore nella zona meridionale e insulare, con un picco del 2.4% al sud.

Sul totale di quasi 25 milioni di abitazioni analizzate il 48.4% su base nazionale ha subito degli interventi, di cui per l'85.1% correlati agli impianti. In particolare, nelle regioni del nord-est della penisola il 53.9% delle abitazioni a subito interventi, dei quali l'88.5% agli impianti. Al sud e nelle isole è stata oggetto di interventi una quota minore del totale degli immobili, pari al 40.8% al sud e solo il 37% nelle isole. Inoltre, è da sottolineare il fatto che la quota maggiore di interventi sugli immobili sia stata inerente ad abitazioni in stato di conservazione "buono" (50.8%), mentre solo il 36.7% ad immobili in pessime condizioni.

Gli interventi agli impianti risultano essere l'oggetto di principale rinnovamento in caso di restauro di immobili, molto spesso a causa del minor impatto economico sul cliente finale, tempistiche di operazione più brevi e maggior facilità di intervento.

Una breve analisi della tipologia di impianto presente o assente all'interno delle abitazioni è riassunta nella tabella 2, in funzione della zona geografica.

*Tabella 2 - Numero di edifici per tipologia di impianto
Fonte: Report RdS/PAR2014/069, ENEA*

ZONA	Abitazioni occupate	Con impianto termico fisso			Altro tipo di impianto o sprovviste
		Totale	di cui centralizzato	di cui autonomo	
Nord-Ovest	7.023.803	6.907.368	2.419.685	4.368.192	116.435
Nord-Est	4.943.462	4.877.365	950.491	3.831.045	66.097
Centro	5.028.906	4.878.013	1.020.969	3.683.100	150.893
Sud	5.295.399	4.414.084	463.065	3.390.073	881.315
Isole	2.653.061	1.682.500	210.628	975.713	970.561
ITALIA	24.944.631	22.759.330	5.064.838	16.248.123	2.185.301

In Italia oltre il 65% delle abitazioni è equipaggiato con un impianto termico fisso di tipo autonomo, mentre il 20.3% di tipo centralizzato. Quest'ultimo è utilizzato in percentuale maggiore nelle abitazioni del Nord-Ovest, mentre al sud e nelle isole oscilla intorno all'11%. Un dato che evidenzia un'elevata discrepanza a livello territoriale è il numero di abitazioni senza impianto termico fisso o sprovviste di esso, che tra Nord e Centro Italia interessa dall'1.3% al 3% delle abitazioni, mentre al sud e nelle isole è rispettivamente il 16.6% e il 36.6%.

L'analisi effettuata da CRESME sulla base dei dati ISTAT rivela che la maggioranza degli immobili residenziali è equipaggiata da caldaie tradizionali, seguite da condizionatori e pompe di calore. L'età delle caldaie risulta inferiore ai 10 anni nel 46.7% dei casi, mentre una quota considerevole pari a oltre il 35% ha più di 20 anni.

Lo stato attuale del parco immobiliare nazionale mostra ampi margini di miglioramento, sia dal punto di vista dello stato fisico degli immobili, sia dal punto di vista energetico. Un'evoluzione in tali campi porterebbe notevoli vantaggi a livello nazionale, in ambito di

diminuzione del fabbisogno di energia a parità di servizi erogati e, di conseguenza, una diminuzione della dipendenza da fonti fossili con rispettive riduzioni di emissioni di gas climalteranti.

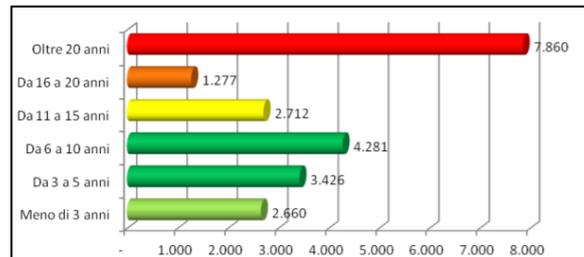


Figura 2a - Età delle caldaie attualmente installate
Fonte: Report RdS/PAR2014/069, ENEA

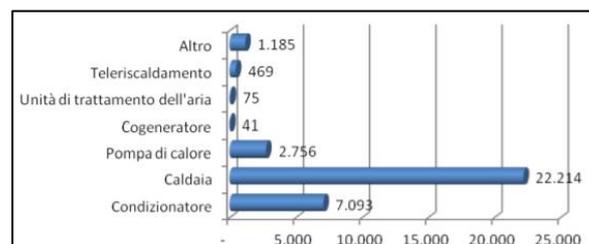


Figura 2b - Dotazione impianti di climatizzazione (in migliaia di unità)
Fonte: Report RdS/PAR2014/069, ENEA

2.3 Analisi dei consumi e delle prestazioni energetiche nel residenziale

Il rapporto annuale di efficienza energetica pubblicato da ENEA nel 2019 mostra che, negli ultimi 30 anni, il consumo in ambito civile ha assunto un peso maggiore nel bilancio degli impieghi finali di energia. Nel 1990 questo contributo al bilancio nazionale era del 30%, mentre nel 2017 si attesta intorno al 42%, una crescita importante dovuta soprattutto all'aumento del settore dei servizi. Il settore dell'industria invece, complice la crisi del 2008, ha visto ridurre il consumo di energia di circa il 9%, attestandosi ad oggi intorno al 21% sul totale complessivo.

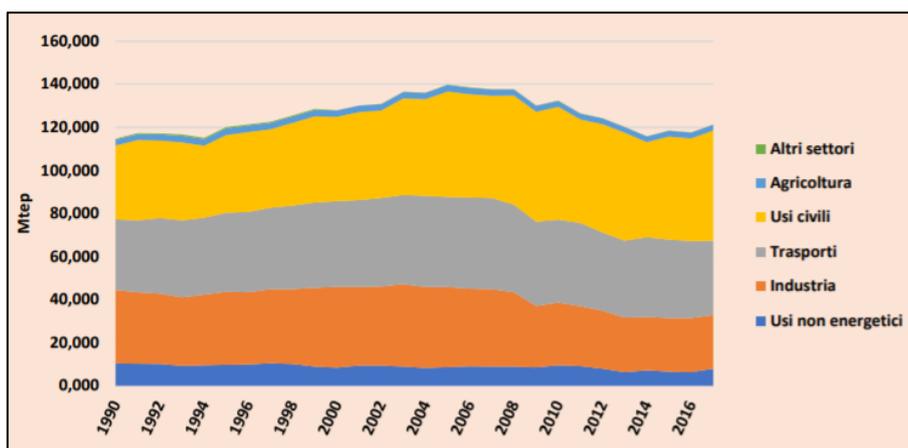


Figura 3 - Impieghi finali di energia per settore (in Mtep, anni dal 1990 al 2017)
 Fonte: Rapporto annuale Efficienza Energetica 2019, ENEA

Il settore residenziale registra nel 2018 un totale di energia consumata di oltre 33 Mtep utilizzati per climatizzazione, produzione di acqua calda sanitaria, uso cucina e illuminazione². Il contributo di ciascuna delle precedenti voci è differente sul bilancio totale, infatti la quota di maggior peso è la climatizzazione, seguita dalla produzione di acqua calda e usi cucina.

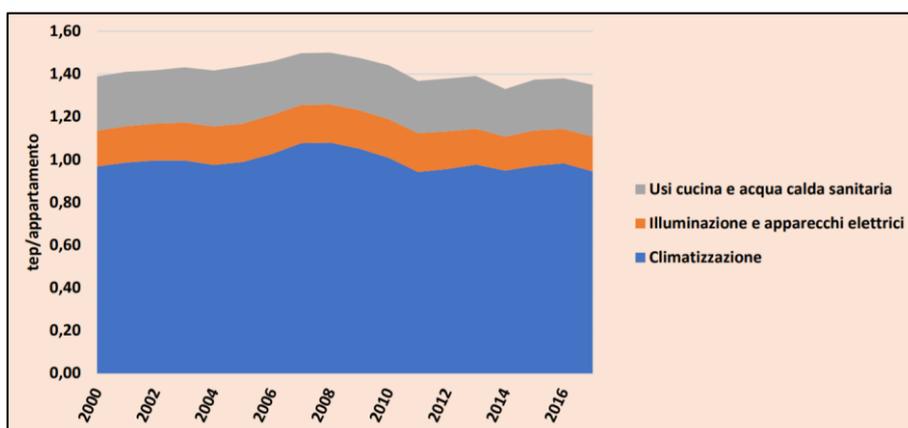


Figura 4 - Consumo energetico nel residenziale per tipologia (tep/ appartamento), anni 2000-2017
 Fonte: Rapporto annuale Efficienza Energetica 2019, ENEA

La spesa energetica è stata soddisfatta principalmente dal gas naturale (50.8%), seguita dai biocombustibili primari (22.2%) e dall'energia elettrica (16.8%).

² Fonte, LA SITUAZIONE ENERGETICA NAZIONALE NEL 2018, MISE 2019

Su queste voci di consumo pesa notevolmente l'età avanzata e lo stato di conservazione degli edifici, con prestazioni energetiche scarse e un alto fabbisogno energetico.

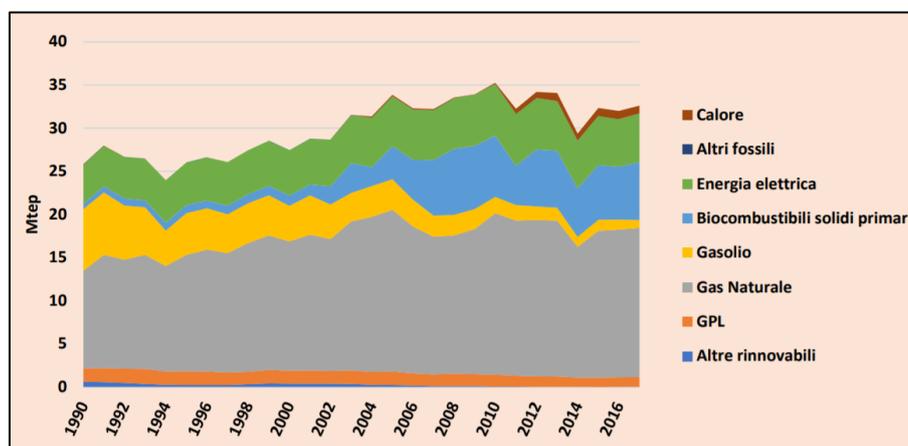


Figura 5 - Consumo energetico nel residenziale per fonte (Mtep), anni 1990-2017
Fonte: Rapporto annuale Efficienza Energetica 2019, ENEA

Viene definita *prestazione energetica*: “la quantità annua di energia primaria effettivamente consumata o che si prevede possa essere necessaria per soddisfare, con un uso standard dell’immobile, i vari bisogni energetici dell’edificio, la climatizzazione, la preparazione dell’acqua calda per usi igienici sanitari, la ventilazione e, per il settore terziario, l’illuminazione, gli impianti ascensori e le scale mobili. Tale quantità viene espressa da uno o più descrittori che tengono conto del livello di isolamento dell’edificio e delle caratteristiche tecniche e di installazione degli impianti tecnici. La prestazione energetica può essere espressa in energia primaria non rinnovabile, rinnovabile o totale come somma delle precedenti.³”

L’indicatore più evidente che viene utilizzato è sicuramente la classe energetica, alla quale è associata una quantità di energia primaria utilizzata dall’edificio al fine di soddisfarne il fabbisogno richiesto. In particolare, le classi sono distinte utilizzando lettere e numeri e l’indice a cui si riferiscono è una quota di consumo del corrispettivo edificio di riferimento.

³ Art. 2 del D.lgs. 192/2005 – testo coordinato con modifiche del D.lgs. 48/2020

	Classe A4	≤ 0,40 EP _{g,ren,if,standard}
0,40 EP _{g,ren,if,standard} <	Classe A3	≤ 0,60 EP _{g,ren,if,standard}
0,60 EP _{g,ren,if,standard} <	Classe A2	≤ 0,80 EP _{g,ren,if,standard}
0,80 EP _{g,ren,if,standard} <	Classe A1	≤ 1,00 EP _{g,ren,if,standard}
1,00 EP _{g,ren,if,standard} <	Classe B	≤ 1,20 EP _{g,ren,if,standard}
1,20 EP _{g,ren,if,standard} <	Classe C	≤ 1,50 EP _{g,ren,if,standard}
1,50 EP _{g,ren,if,standard} <	Classe D	≤ 2,00 EP _{g,ren,if,standard}
2,00 EP _{g,ren,if,standard} <	Classe E	≤ 2,60 EP _{g,ren,if,standard}
2,60 EP _{g,ren,if,standard} <	Classe F	≤ 3,50 EP _{g,ren,if,standard}
	Classe G	> 3,50 EP _{g,ren,if,standard}

Figura 6 - Classi di efficienza energetica europee
Fonte www.progedil90.it/blog/classi-energetiche-edifici

Analizzando il rapporto dell'osservatorio immobiliare nazionale del settore urbano 2018, prodotto da ENEA, I.Com e FIAIP, si può notare come la grande maggioranza delle abitazioni in Italia risulti essere in classe energetica G, nella quale si registrano:

- Il 46% delle ville unifamiliari;
- Il 37% delle villette;
- Il 38% di bilocali e trilocali;
- Il 40% dei monolocali;

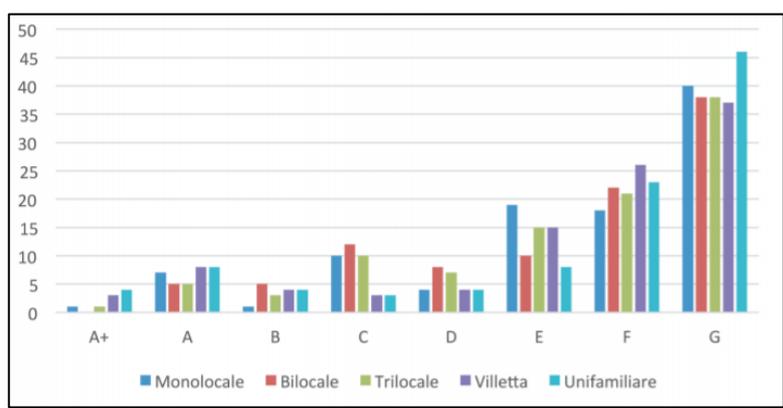


Figura 7 - Distribuzione per classe energetica rispetto alla tipologia di immobile compravenduto (%), anno 2018
Fonte: Osservatorio Immobiliare Nazionale del Settore Urbano, FIAIP

I dati evidenziano anche una quota significativa di abitazioni in classe F, che va dal 18% nei monolocali fino al 26% nelle villette. Rispetto al totale circa l'80% delle abitazioni si trova dalla classe energetica D alla classe energetica G. Questi dati rispecchiano anche lo stato

degli immobili, infatti circa il 70% degli immobili da ristrutturare risulta nella classe energetica peggiore. Al contrario, il 75% degli immobili di nuova costruzione è classificato da A+ a B, a causa degli stringenti standard energetici imposti dalla legge sulle costruzioni più recenti.

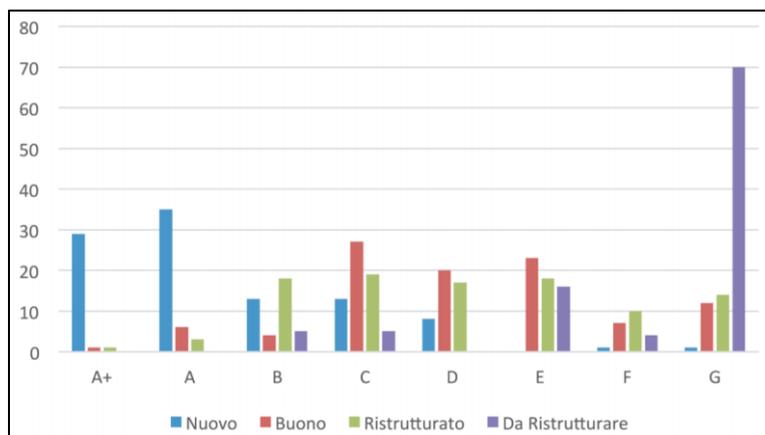


Figura 8 - Distribuzione percentuale per classi energetiche rispetto allo stato di conservazione dell'immobile
Fonte: Osservatorio Immobiliare Nazionale del settore urbano 2018, FIAIP

I dati in materia di prestazione energetica a disposizione sono relativi agli immobili compravenduti nel 2018, ricordando che l'attestato di prestazione energetica è obbligatorio sia in caso di compravendita che locazione a partire dall'anno 2012. Dal 2020, con il D.lgs. 48/2020, sarà ulteriormente modificato l'APE in modo da garantire una miglior trasparenza e veridicità dei consumi energetici e della reale prestazione degli immobili. L'attestato assumerà quindi un ruolo di maggior importanza e l'indice di prestazione energetica sarà sicuramente oggetto di maggior attenzione in fase di calcolo.

Le nuove modalità imposte nel 2020 saranno sicuramente utili al fine di ottenere una miglior conoscenza del parco immobiliare e delle sue prestazioni, consentendo di applicare a livello nazionale delle misure mirate, finalizzate all'evoluzione del parco immobiliare nazionale.

2.4 Criteri minimi sulle nuove costruzioni e ristrutturazioni

L'implementazione delle direttive europee in riferimento all'efficienza energetica e alle prestazioni energetiche degli edifici, nonché della riduzione delle emissioni inquinanti all'interno del parco immobiliare nazionale, è avvenuta anche attraverso l'introduzione dei

CAM (criteri minimi ambientali). Questi criteri previsti dalla legge sono ben illustrati all'interno del DM 26/6/2015, con particolare riferimento alle tabelle dell'appendice A e B. Nelle suddette tabelle sono espressi i valori minimi previsti per legge riferiti ai seguenti parametri dell'edificio:

- Involucro opaco;
- Involucro trasparente;
- Impianti di produzione di energia;
- Coefficiente medio di scambio termico;
- Area solare equivalente;

I precedenti parametri vengono utilizzati come base per la modellazione di un edificio di riferimento. L'*edificio di riferimento* è così definito (D. lgs. 48/2020): “edificio identico in termini di geometria (sagoma, volumi, superficie calpestabile, superfici degli elementi costruttivi e dei componenti), orientamento, ubicazione territoriale, destinazione d'uso e situazione al contorno, avente caratteristiche termiche e parametri energetici predeterminati.”

I valori predeterminati sono riportati nelle tabelle dell'appendice A, all.1 del DM 26/6/2015, “Descrizione dell'edificio di riferimento e parametri di verifica”. Ogni parametro indicato deve essere sottoposto a confronto tra edificio reale e edificio di riferimento, per verificare che sia pari o migliore, solo in questo modo l'edificio reale rispetterà gli standard imposti dalla legge.

I CAM devono essere applicati non solo a edifici di nuova costruzione ma anche in caso di:

- Ampliamenti di edifici esistenti per i quali è previsto il rispetto dei requisiti nella parte ampliata, con differenziazione in caso di allacciamento ad impianto esistente o no;
- Ristrutturazioni importanti di primo livello per le quali è previsto il rispetto dei requisiti limitato ai soli impianti;
- Ristrutturazioni importanti di secondo livello per le quali è previsto il rispetto dei requisiti indicati per gli edifici esistenti;
- Riqualficazione energetica, con rispetto dei requisiti relativi all'ambito di intervento;

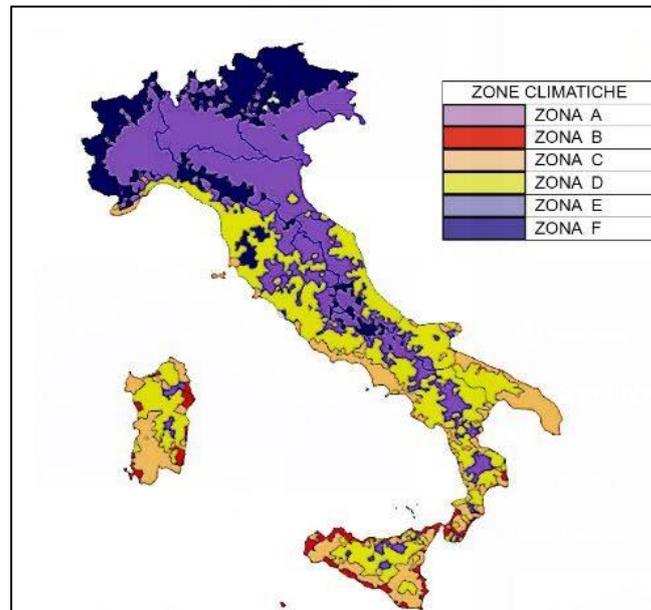


Figura 9 - Mappa delle zone climatiche, Italia
 Fonte: www.ridopuntoenergia.it

I parametri di riferimento sono diversi in base alla zona climatica, a sua volta identificata in funzione dei gradi giorno. Il grado giorno è una grandezza definita all'art.1 del D.P.R. n.412 del 26 agosto 1993, che quantifica la somma delle sole differenze positive fra la temperatura di set-point per il comfort interno fissata a 20 °C rispetto a quella esterna, durante un periodo di riscaldamento invernale stabilito convenzionalmente in base alla zona climatica della località stessa.

In termini matematici viene calcolato come:

$$GG = \sum_{E=1}^n (T_A - T_E)$$

Tabella 3 - Classificazione delle zone climatiche in funzione dei GG
 Fonte: Eurometeo.

G.G.	Zona climatica
Fino a 600	A
Da 601-900	B
Da 901 a 1400	C
Da 1401 a 2100	D
Da 2101 a 3000	E
Oltre 3000	F

Nelle seguenti tabelle sono riportati i parametri relativi all'edificio di riferimento così come sono illustrati nel All. 1 del DM 16/giugno/2015.

Tabella 4 - Trasmittanza termica delle strutture verticali verso l'esterno, ambienti non climatizzati o contro terra

	Edifici di nuova costruzione		Edifici soggetti a riqualificazione	
Zona climatica	U (W/m ² /K)		U (W/m ² /K)	
	2015	2019/2021	2015	2021
A e B	0.45	0.43	0.45	0.40
C	0.38	0.34	0.40	0.36
D	0.34	0.29	0.36	0.32
E	0.30	0.26	0.30	0.28
F	0.28	0.24	0.28	0.26

Tabella 5 - Trasmittanza termica delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, verso l'esterno e gli ambienti non climatizzati

	Edifici di nuova costruzione		Edifici soggetti a riqualificazione	
Zona climatica	U (W/m ² /K)		U (W/m ² /K)	
	2015	2019/2021	2015	2021
A e B	0.38	0.35	0.34	0.32
C	0.36	0.33	0.34	0.32
D	0.30	0.26	0.28	0.26
E	0.25	0.22	0.26	0.24
F	0.23	0.20	0.24	0.22

Tabella 6 - Trasmittanza termica delle strutture opache orizzontali di pavimento, verso l'esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra

	Edifici di nuova costruzione		Edifici soggetti a riqualificazione	
Zona climatica	U (W/m ² /K)		U (W/m ² /K)	
	2015	2019/2021	2015	2021
A e B	0.46	0.44	0.48	0.42
C	0.40	0.38	0.42	0.38
D	0.32	0.29	0.36	0.32
E	0.30	0.26	0.31	0.29

F	0.28	0.24	0.30	0.28
---	------	------	------	------

Tabella 7 - Trasmittanza termica delle chiusure tecniche trasparenti e opache dei cassonetti, comprensivi di infissi, verso l'esterno e verso gli ambienti non climatizzati.

Zona climatica	Edifici di nuova costruzione		Edifici soggetti a riqualificazione	
	U (W/m ² /K)		U (W/m ² /K)	
	2015	2019/2021	2015	2019/2021
A e B	3.2	3	3.2	3
C	2.4	2.2	2.4	2
D	2	1.8	2.1	1.8
E	1.8	1.4	1.90	1.4
F	1.5	1.1	1.70	1

Tabella 8 - Trasmittanza termica delle strutture opache verticali e orizzontali di separazione tra edifici o unità immobiliari confinanti

Zona climatica	Edifici di nuova costruzione	
	U (W/m ² /K)	
	2015	2019/2021
A-F	0.8	0.8

Tabella 9 - Valore del fattore di trasmissione solare per componenti finestrati

Zona climatica	Edifici di nuova costruzione		Edifici soggetti a riqualificazione	
	g _{gl+sh} (W/m ² /K)		g _{gl+sh} (W/m ² /K)	
	2015	2019/2021	2015	2019/2021
A-F	0.35	0.35	0.35	0.35

I criteri minimi riferiti agli impianti sono espressi in termini di efficienze medie, rispettivamente per i servizi di produzione di calore, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria. La ventilazione è invece espressa come fabbisogno di energia elettrica specifico per metro cubo di aria movimentata.

Tabella 10 - Efficienze medie dei sottosistemi di utilizzazione dell'edificio di riferimento

Efficienza dei sottosistemi di utilizzazione η_u	H	C	W
Distribuzione idronica	0.81	0.81	0.70
Distribuzione aeraulica	0.83	0.83	-
Distribuzione mista	0.82	0.82	-

Tabella 11 - Efficienze medie dei sottosistemi di generazione dell'edificio di riferimento per la produzione di energia termica per H, C, W e per la produzione di energia elettrica in situ

Sottosistemi di generazione	Produzione di energia termica			Produzione di energia elettrica in situ
	H	C	W	
Generatore a combustibile liquido	0.82	-	0.8	-
Generatore a combustibile gassoso	0.95	-	0.85	-
Generatore a combustibile solido	0.72	-	0.7	-
Generatore a biomassa solida	0.72	-	0.65	-
Generatore a biomassa liquida	0.82	-	0.75	-
Pompa di calore a compressione di vapore con motore elettrico	3.00	(*)	2.50	-
Macchina frigorifera a compressione di vapore con motore elettrico	-	2.50	-	-
Pompa di calore ad assorbimento	1.20	(*)	1.10	-
Macchina frigorifera a fiamma indiretta	-	0.6* η_{gn}	-	-
Macchina frigorifera a fiamma diretta	-	0.6	-	-
Pompa di calore a compressione di vapore a motore endotermico	1.15	1.00	1.05	-
Cogeneratore	0.55	-	0.55	0.25
Riscaldamento con resistenza elettrica	1.00	-	-	-
Teleriscaldamento	0.97	-	-	-
Teleraffrescamento	-	0.97	-	-
Solare termico	0.30	-	0.3	-
Solare fotovoltaico	-	-	-	0.1
Minieolico e mini-idroelettrico	-	-	-	(**)

(*) per pompe di calore che prevedono la funzione di raffrescamento di considera lo stesso valore delle macchine frigorifere della stessa tipologia;

(**) si assume l'efficienza media del sistema installato nell'edificio reale;

Tabella 12 - Fabbisogno di energia elettrica specifico per m³ di aria movimentata

Tipologia di impianto	E _{ve} (Wh/m ³)
Ventilazione meccanica a semplice flusso per estrazione	0.25
Ventilazione meccanica a semplice flusso per immissione con filtrazione	0.30
Ventilazione meccanica a doppio flusso senza recupero	0.35
Ventilazione meccanica a doppio flusso con recupero	0.50

Il valore massimo ammissibile del coefficiente di scambio termico globale per zona climatica, calcolato secondo la UNI/TS 11300-1, deve essere inferiore ai valori riportati nella tabella 13, suddivisi per zona climatica e in funzione del rapporto di forma S/V.

$$H'_T = \frac{H_{tr,adj}}{\sum_k A_k} \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

$H_{tr,adj}$ è il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione dell'involucro, calcolato secondo la UNI-TS 11300-1. L'unità di misura sono i W/K;

A_k è la superficie del k-esimo componente (opaco o trasparente) costituente l'involucro. L'unità di misura è il m².

Tabella 13 - Valore massimo ammissibile del coefficiente globale di scambio termico

Rapporto di forma (S/V)	Zona climatica				
	A e B	C	D	E	F
≥ 0.7	0.58	0.55	0.53	0.50	0.48
0.7 ≥ S/V ≥ 0.4	0.63	0.60	0.58	0.55	0.53
≤ 0.4	0.8	0.80	0.8	0.75	0.70
Interventi di ampliamento e ristrutturazioni importanti di secondo livello per tutte le tipologie edilizie	0.73	0.70	0.68	0.65	0.62

L'area equivalente estiva si calcola come somma di singole aree equivalenti estive di ogni componente vetrato.

$$A_{sol,est} = \sum_k F_{sh,ob} * g_{gl+sh} * (1 - F_F) * A_{w,p} * F_{sole,st} \quad [m^2]$$

$F_{sh,ob}$ è il fattore di riduzione per ombreggiatura relativo ad elementi esterni per l'area di captazione solare effettiva della superficie vetrata k-esima, riferito al mese di luglio;

g_{gl+sh} è la trasmittanza di energia solare totale della finestra calcolata nel mese di luglio, quando la schermatura solare è utilizzata;

F_F è la frazione di area relativa al telaio, rapporto tra l'area proiettata del telaio e l'area proiettata totale del componente finestrato;

$A_{w,p}$ è l'area proiettata totale del componente vetrato (area del vano finestra);

$F_{sole,st}$ è il fattore di correzione per irraggiamento incidente, ricavato come rapporto tra l'irradianza media nel mese di luglio, nella località e sull'esposizione considerata, e l'irradianza media annuale di Roma, sul piano orizzontale;

Il valore totale di $A_{sol,est}$ deve essere inferiore ai valori massimi ammissibili riportati nella tabella 14.

Tabella 14 - Valore massimo ammissibile del rapporto tra area solare equivalente estiva dei componenti finestrati e l'area della superficie utile

Categoria edificio	Tutte le zone climatiche
Categoria E.1 fatta eccezione per collegi, conventi, case di pena, caserme	≤ 0.030
Tutti gli altri edifici	≤ 0.040

3. Edifici ad alta efficienza energetica

Gli edifici ad alta efficienza energetica sono immobili che necessitano di una minore quantità di energia primaria per soddisfare i fabbisogni di: produzione di acqua calda sanitaria, riscaldamento, raffrescamento, ventilazione e illuminazione. Il carico termico è basso per via della miglior coibentazione ed ermeticità dell'involucro, elevata riduzione o assenza di ponti termici, serramenti ad elevate prestazioni ed impianti e terminali ad alta efficienza. L'utilizzo delle fonti rinnovabili viene spesso accostato a questa tipologia di edifici ma non è sempre valido: è possibile che un edificio possa avere un alto fabbisogno ma soddisfatto da energie rinnovabili, ma è anche possibile avere edifici molto efficienti che utilizzano energia derivata da fonti fossili (nel rispetto dei requisiti minimi di energia prodotta da fonti rinnovabili).

Con le imposizioni applicate alle nuove costruzioni e alle ristrutturazioni viene spesso dato per scontato che le condizioni di comfort interno siano sempre soddisfatte in edifici ad alte prestazioni, ma il comfort non ne è una conseguenza. Infatti, l'approccio tipicamente utilizzato in fase di progettazione e costruzione si basa sul rispetto dei requisiti minimi imposti dalla legge, ottenendo il risultato prestabilito grazie alla compensazione dei parametri. Viceversa, i protocolli di qualità come PassivHaus e CasaClima applicano l'approccio inverso: progettare e costruire con l'obiettivo di garantire il miglior ambiente interno per gli occupanti. In questo caso il rispetto dei valori minimi è una conseguenza diretta della progettazione orientata al comfort e le prestazioni dell'edificio sono molto migliori dello standard richiesto per legge.

Nei seguenti paragrafi saranno oggetto di analisi la tipologia di edifici definita dalla legge come nZEB e gli standard di qualità CasaClima e PassivHaus, evidenziandone le differenze.

3.1 Gli edifici a energia “quasi zero”

Il concetto di edificio a energia quasi zero, o nZEB (*nearly energy zero buildings*), è stato introdotto dal Dlgs 192/2005 e successivamente modificato dalla legge 90/2013. L'*edificio a energia quasi zero* viene definito come: “edificio ad altissima prestazione energetica, calcolata conformemente alle disposizioni del presente decreto, che rispetta i requisiti definiti al decreto di cui all'articolo 4, comma 1. Il fabbisogno energetico molto basso o

quasi nullo è coperto in misura significativa da energia da fonti rinnovabili, prodotta in situ.⁴»

La metodologia di calcolo che porta alla verifica di nZEB e i relativi valori di riferimento sono definiti nel DM 26/6/2015 e riassunti nel paragrafo 2.4. Il modello di calcolo prevede il confronto con un edificio di riferimento, come definito nel paragrafo 2.4, da utilizzare per comparare alcuni dei parametri risultati da tale calcolo. Si evince, quindi, che alcuni valori energetici utili al confronto tra edificio reale e edificio di riferimento siano prestabiliti, mentre alcuni vanno calcolati e successivamente confrontati verificandone la coerenza.

Tra i parametri predeterminati vi sono quelli relativi all'integrazione delle fonti rinnovabili, descritti come requisiti minimi all'allegato 3 del Dlgs 3/marzo/2011.

I parametri, le efficienze e gli indici di prestazione energetica che concorrono alla classificazione di un edificio come nZEB sono riassunti nella seguente tabella.

Tabella 15 - Efficienze, parametri e indici di prestazione energetica

Parametri	Valore limite	Descrizione
H'_T	Determinato dai valori limite indicati al paragrafo 3.4	Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente;
$A_{sol, est} / A_{pav}$	Determinato dai valori limite indicati al paragrafo 3.4	Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile;
$EP_{H, nd}$	Determinato dal valore risultante dal calcolo sull'edificio di riferimento	Indice di prestazione termica utile per il riscaldamento
EP_H	Determinato dal valore risultante dal calcolo sull'edificio di riferimento	Indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale. Si esprime in termini di energia non rinnovabile totale;
$EP_{W, nd}$	Determinato dal valore risultante dal calcolo sull'edificio di riferimento	Indice di prestazione termica utile per la produzione di acqua calda sanitaria;
EP_W	Determinato dal valore risultante dal calcolo sull'edificio di riferimento	Indice di prestazione energetica utile per la produzione di acqua calda sanitaria. Si esprime in termini di energia non rinnovabile totale;
EP_V	Determinato dal valore risultante dal calcolo sull'edificio di riferimento	Indice di prestazione energetica per la ventilazione. Si esprime in termini di energia non rinnovabile totale;

⁴ Art. 2 del D.lgs. 192/2005 – testo coordinato con modifiche del D.lgs. 48/2020

$EP_{C, nd}$	Determinato dal valore risultante dal calcolo sull'edificio di riferimento	Indice di prestazione termica utile per il raffrescamento;
EP_C	Determinato dal valore risultante dal calcolo sull'edificio di riferimento	Indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva (compreso trattamento dell'umidità). Si esprime in termini di energia non rinnovabile totale;
EP_L	Determinato dal valore risultante dal calcolo sull'edificio di riferimento	Indice di prestazione energetica per l'illuminazione artificiale; Si esprime in termini di energia non rinnovabile totale;
EP_T	Determinato dal valore risultante dal calcolo sull'edificio di riferimento	Indice di prestazione energetica del servizio per il trasporto di persone o cose. Si esprime in termini di energia non rinnovabile totale;
$EP_{gl, tot}$	Determinato dal valore risultante dal calcolo sull'edificio di riferimento	Indice di prestazione energetica totale dell'edificio. Si esprime in termini di energia non rinnovabile totale;
η_H, η_C, η_W	Determinati dai valori risultanti dal calcolo sull'edificio di riferimento	Efficienze medie stagionali dell'impianto di climatizzazione invernale, estiva e dell'impianto di produzione di acqua calda sanitaria;
FER W	50%	Percentuale del fabbisogno di energia per produzione di acqua calda sanitaria coperta da energia rinnovabile prodotta in situ;
FER H+C+W	50%	Percentuale del fabbisogno di energia per riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria coperta da energia rinnovabile prodotta in situ;
FER en.el.	$P \geq 1/50 * S$	Produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili;

Questa metodologia di calcolo comporta delle criticità a livello progettuale. Il fatto che molti valori dipendano dall'edificio di riferimento implica che lo stesso edificio in diverse casistiche possa essere classificato nZEB anche con valori dei parametri energetici molto differenti. Per esempio, uno stesso edificio orientato in modo non ottimale o con un rapporto di forma diverso può rivelare fabbisogni di energia primaria molto discordanti, ciononostante potrebbe in entrambi i casi risultare "edificio a energia quasi zero" poiché congruo con la legge. Questo comporta che la ricerca dell'ottimo in termini assoluti sia interamente affidata al progettista.

In termini di efficienza e prestazione energetica, un edificio di nuova costruzione a energia quasi zero si potrebbe classificare almeno in A3, poiché nel calcolo utilizzato nella redazione dell'attestato di prestazione energetica si fa riferimento alle sole energie non rinnovabili. Essendo obbligatorio per legge soddisfare il fabbisogno dell'edificio con una quota di energia rinnovabile pari ad almeno il 50% si rientrerebbe nella suddetta classe energetica.

Malgrado le precedenti considerazioni, non esiste una correlazione diretta tra stato di nZEB e classe energetica, poiché i parametri dell'edificio di riferimento possono variare molto. Infatti, il requisito di nZEB non è specifico di una classe energetica, e la verifica viene richiesta sia al progettista che al certificatore energetico. D'altra parte, è possibile che un edificio sia in classe A3 come nZEB, così come potrebbe essere in classe A4 ma non a energia quasi zero.

Un' ulteriore criticità riguarda la distinzione tra edificio e abitazione. Infatti, l'attestato di prestazione energetica è relativo alle singole unità immobiliari (con destinazione d'uso abitativo), ed è possibile che nel caso di un edificio a energia quasi zero alcune di esse possano ricadere in classi energetiche peggiori o migliori rispetto ad altre, nonostante l'edificio nel suo insieme sia stato concepito come nZEB.

Si evince quindi che il concetto di edificio a energia quasi zero a livello italiano sia distante dal concetto ideale di “quasi nullo” (in termini di fabbisogno energetico), poiché puramente definito da specifici requisiti che permettono una certa libertà di compensazione dei parametri stessi e una marcata labilità del limite per la classificazione.

3.2 I protocolli di qualità

Una base più solida e più vicina al concetto ideale di “edificio a energia quasi zero” è rappresentata dagli standard utilizzati da protocolli di qualità come PassivHaus o CasaClima. Queste certificazioni garantiscono prestazioni migliori rispetto ai criteri minimi prescritti per gli edifici nZEB ma non solo. Il progetto di un edificio si basa su un approccio integrato che mira ad ottenere il massimo comfort abitativo con la minima spesa energetica, ottimizzando gli apporti gratuiti e azzerando quasi completamente tutti gli apporti energetici che aumentano il fabbisogno di energia. Il rispetto dei requisiti minimi previsti dalla legge è una conseguenza, garantita dal fatto che un ambiente interno salubre e confortevole si ottiene con standard energetici molto elevati.

Un progetto di qualità viene seguito e verificato durante fase iniziale, durante lo sviluppo del cantiere fino alla certificazione a lavoro finito con specifici test e controlli. L'ottimo risultato finale dipende fortemente dallo sviluppo dei lavori e dalla qualità dell'avanzamento durante la fase di costruzione, in quanto anche un minimo errore sull'involucro, sulla coibentazione o sulla tenuta all'aria potrebbe causare consumi inaspettati e prestazioni peggiori rispetto a quelle attese.

3.2.1 *Passivhaus*

Passivhaus è uno standard edilizio ideato dal Passive House Institute. Gli edifici progettati e costruiti secondo questo protocollo rivelano prestazioni energetiche molto elevate, un alto livello di efficienza energetica, un ambiente interno confortevole, il tutto con una spesa economica sostenibile. L'idea di Passivhaus è attuabile in tutto il mondo ed è il frutto di anni di esperienza, di ricerca ed esperimenti su progetti pilota concepiti e monitorati con la massima attenzione. Il primo progetto di edificio passivo costruito secondo i canoni adottati ancora oggi dal PHI, fu portato a termine nel 1990 a Darmstadt, mostrando consumi energetici ridotti del 90% rispetto agli edifici tradizionali.

Con *edificio passivo* si intende: “un’abitazione altamente performante, in grado di ridurre al minimo il fabbisogno energetico, consentendo di riscaldare o raffrescare gli ambienti tramite la sola aria di mandata controllata dalla ventilazione meccanica, senza eccedere il tasso di ricambi ora utile a garantire le condizioni igieniche interne.⁵”

I criteri base di un’abitazione progettata secondo lo standard Passivhaus sono molto più stringenti di quelli minimi definiti dalla legge per gli nZEB. L'involucro edilizio presenta un'altissima coibentazione, la completa assenza di ponti termici e un'ottima tenuta all'aria, anche in punti critici come le aperture verso l'esterno (finestre e porte). La parte impiantistica sfrutta la tecnologia della ventilazione meccanica controllata con recupero passivo del calore e anche la produzione di acqua calda sanitaria e la climatizzazione vengono garantite da componenti altamente performanti e a basso consumo.

Rispetto ad un’abitazione costruita secondo lo standard della legge italiana si stima un fabbisogno energetico ridotto del 75%, che sale addirittura al 90% se si considera il caso

⁵ Fonte: Filippi M., Passivhaus: requisiti e procedura di certificazione, dicembre 2018

delle ristrutturazioni. Il basso consumo energetico e il ridotto fabbisogno non influenzano in modo negativo il comfort, anzi, ne garantiscono un livello ancora più elevato.

Le case passive sfruttano gran parte degli apporti termici gratuiti, come il sole, gli elettrodomestici, il calore dell'aria esausta e gli inquilini, consentendo di coprire gran parte del fabbisogno termico. Il ricambio d'aria e le condizioni termo-igrometriche interne sono garantiti dalla ventilazione meccanica, rendendo non necessaria e quasi dannosa l'apertura delle finestre.

Passivhaus non è una tipologia ben definita di edificio, ma un concetto basato su criteri energetici molto rigidi che però lasciano ampia libertà di progettazione. Il risultato finale, verificato e certificato, è in ogni caso un edificio ecosostenibile e ad altissima prestazione, con consumi energetici molto bassi (mai superiori al valore limite) e un ottimo comfort abitativo.

La progettazione di una casa passiva secondo questo standard di qualità si basa su cinque principi fondamentali:

- Elevata coibentazione termica;
- Ottima ermeticità dell'involucro;
- Serramenti altamente performanti;
- Assenza di ponti termici;
- Impianto di ventilazione con recupero del calore;

Un buon isolamento termico dell'edificio è fondamentale per evitare la trasmissione del calore, sia in inverno che in estate. Questo permette non solo una minor spesa energetica per riscaldamento e raffrescamento, ma favorisce il comfort interno grazie a una miglior distribuzione della temperatura nell'ambiente e una temperatura superficiale delle pareti più omogenea.

L'ottima tenuta all'aria permette di evitare infiltrazioni dall'esterno o dispersioni verso l'esterno, che modificherebbero in modo rilevante il carico termico. Lo studio dell'ermeticità viene effettuato in fase di progetto e monitorato durante la costruzione. Alla fine dei lavori si esegue il blower-door test, portando l'ambiente interno in sovrappressione/depressione di 50 Pa rispetto all'ambiente esterno, verificando la coerenza con il valore limite predefinito.

I serramenti tipicamente utilizzati sono doppi o tripli vetri basso-emissivi che minimizzano la dispersione termica e consentono il massimo sfruttamento del calore fornito dal sole per irraggiamento. Anche la posizione e la dimensione dei serramenti deve essere studiata nel minimo dettaglio, in modo da consentire un riscaldamento confortevole in inverno, ed evitare un surriscaldamento locale dell'edificio nei periodi più caldi dell'anno.

La progettazione di una Passivhaus prevede di analizzare e verificare con la massima attenzione la totale assenza di ponti termici, spesso trascurati negli edifici tradizionali. Essi sono delle parti o delle zone di involucro caratterizzati da una minore resistenza termica. Possono essere dovuti alla geometria dell'edificio, in particolare nelle zone in cui è presente una discontinuità geometrica, oppure possono essere causati dalla presenza di elementi costruttivi con diverse resistenze termiche. I problemi indotti dai ponti termici sono molteplici come l'incremento delle dispersioni termiche, possono essere sede di condensazione superficiale e muffe, possono causare discomfort locale e danni fisici ai componenti dell'involucro.

L'impianto di ventilazione meccanica controllata ha il compito di garantire il ricambio di aria necessario a mantenere le condizioni igieniche dell'ambiente interno inoltre e con un sistema dotato di filtri, è possibile intervenire anche sugli inquinanti, sia prodotti internamente all'edificio che prelevati dall'aria esterna. Il sistema di recupero passivo del calore permette di recuperare energia termica dall'aria viziata, riscaldando l'aria di rinnovo e immettendola in ambiente ad una temperatura più calda o più fresca a seconda delle stagioni.

Il riscaldamento integrativo, se necessario, e la produzione di acqua calda sanitaria sono soddisfatti da impianti di piccola taglia, dell'ordine dei kW di potenza. Di solito vengono utilizzate tecnologie come le pompe di calore, che sfruttano il calore dell'aria esterna anche a basse temperature, o il calore geotermico.

Il Passive House Institute ha elaborato un programma di calcolo, il PHPP (Passive House Planning Package) che permette di eseguire il calcolo energetico e la verifica dei parametri per la certificazione. Lo strumento di progettazione viene utilizzato dagli esperti in modo da prevedere con precisione gli effetti di qualunque modifica sul fabbisogno annuo dell'edificio, consentendo una stima molto precisa di tutti i parametri coinvolti.

I requisiti attualmente applicati ad un edificio Passivhaus sono riassunti nella tabella 16.

Tabella 16 - Valori limite utilizzati nella progettazione di una Passivhaus

Parametro	Valore limite
Trasmittanza termica degli elementi opachi	$\leq 0.15 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$
Trasmittanza termica degli elementi trasparenti	$\leq 0.8 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$
Trasmittanza termica lineare dei ponti termici	$\leq 0.01 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$
Tenuta all'aria n_{50}	$\leq 0.6 \left[\frac{1}{h} \right]$
Rendimento del sistema di recupero del calore passivo	$\geq 75\%$
Fabbisogno elettrico massimo	$\leq 0.45 \left[\frac{Wh}{m^3} \right]$
Frequenza di surriscaldamento	$\leq 10\%$
Fabbisogno energetico per riscaldamento	$\leq 15 \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot y} \right]$
Carico termico dell'edificio	$\leq 10 \left[\frac{W}{m^2} \right]$
Fabbisogno energetico per raffrescamento	$\leq 15 \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot y} \right]$
Fabbisogno di energia primaria	$\leq 120 \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot y} \right]$

In questo caso, i parametri non dipendono da un edificio di riferimento ma sono espressi in termini assoluti. Questo significa che, al contrario dei criteri minimi applicati agli edifici nZEB, i valori di prestazione sono garantiti e il consumo energetico, così come il carico termico, sono predeterminati e mai superiori al valore limite.

Lo standard Passivhaus prevede la certificazione secondo tre differenti classi, “Classic”, “Plus”, “Premium” in relazione all’integrazione delle energie rinnovabili.

In particolare:

- *Classic*, con energia primaria rinnovabile inferiore a $60 \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot y} \right]$;
- *Plus*, con energia primaria rinnovabile inferiore a $45 \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot y} \right]$ e contestuale produzione di energia da fonti rinnovabili pari ad almeno $60 \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot y} \right]$;

- *Premium*, con energia primaria rinnovabile inferiore a $30 \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot y} \right]$ e contestuale produzione di energia da fonti rinnovabili pari ad almeno $120 \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot y} \right]$;

L'istituto tedesco ha sviluppato anche un protocollo di certificazione per gli edifici sottoposti a ristrutturazione. I vincoli dettati da una ristrutturazione possono essere molteplici: l'esposizione, l'ombreggiamento, i ponti termici o vincoli di tipo culturale e paesaggistico. Proprio per questo motivo i limiti sul fabbisogno termico in regime di riscaldamento e sull'ermeticità dell'involucro sono meno stringenti, poiché le difficoltà sono maggiori rispetto alle nuove costruzioni. Il fabbisogno termico massimo è determinato in relazione alle zone climatiche, mentre il limite della tenuta all'aria n_{50} è fissato a 1 vol/h.

Tabella 17 - Valori limite per edifici sottoposti a ristrutturazione, secondo Passivhaus

Zona climatica	Fabbisogno termico annuo per riscaldamento	Fabbisogno frigorifero annuo per raffrescamento	Tenuta all'aria n_{50}
Artico	35	Stesso valore degli edifici di nuova costruzione	1 vol/h
Freddo	30		
Fresco-temperato	25		
Caldo-temperato	20		
Caldo	15		
Molto caldo	-		
Torrido	-		

Ad oggi sono state costruite oltre 13000 case passive solo in Germania, oltre 40000 nell'Europa centrale e lo standard edilizio tedesco si sta diffondendo a livello mondiale.⁶

Di seguito si propone un esempio di abitazione passiva costruita secondo il protocollo di qualità in analisi, con particolare attenzione rivolta ai risultati ottenuti in fase di collaudo.

La villa passiva di Roncone, in provincia di Trento, è stata progettata con l'obiettivo di rendere l'edificio energeticamente indipendente ed ecosostenibile. L'abitazione è costruita principalmente con l'utilizzo del legno x-lam per la struttura portante. La coibentazione è

⁶ Fonte: International Passive House Association, Attiva per un maggior comfort: La Passivhaus. Informazioni per operatori immobiliari, imprenditori e committenti, Zephir, 2010

costituita da EPS 100% riciclato proveniente da scarti industriali, mentre l'isolamento interno è in lana di vetro certificata priva di sostanze nocive. Il riscaldamento e la climatizzazione avvengono tramite un sistema di ventilazione meccanica a recupero e tramite piastre elettriche radianti inserite nelle murature. Sul tetto dell'abitazione è installato un sistema fotovoltaico a film sottile da 6 kWp che garantisce più energia di quella necessaria al funzionamento dell'abitazione.

La tabella 18 riporta i risultati ottenuti in fase di collaudo e i dati relativi al progetto.

Tabella 18 - Dati energetici, villa di Roncone, TN

Tabella dei risultati		
Parametro	Valore	Unità di misura
Superficie	199.5	m ²
U parete esterna	0.084	W/m ² /K
U copertura	0.107	W/m ² /K
U solaio piano terra	0.084	W/m ² /K
U solaio verso autorimessa	0.093	W/m ² /K
U _w serramenti	1.06	W/m ² /K
U _f telaio (in legno di cedro)	1.19	W/m ² /K
Ψ _{att} ponte termico	0.003	W/m/K
U _g tripli vetri basso-emissivi	0.7	W/m ² /K
g tripli vetri basso-emissivi	60	%
η recupero VMC	84	%
n ₅₀	0.3	vol/h
Fabbisogno termico per riscaldamento	12	kWh/m ² /y
Fabbisogno di energia primaria	102	kWh/m ² /y
Costo di costruzione	1450	€/m ²

3.2.2 CasaClima

CasaClima è, insieme a Passivhaus, tra i più diffusi e conosciuti protocolli di qualità in Italia. Le abitazioni costruite e progettate secondo questo standard presentano ottime prestazioni energetiche e impiantistica innovativa, finalizzate all'ottenimento di un comfort abitativo di alto livello.

Il grado di consumo energetico e la prestazione globale dell'edificio viene identificata sulla base di tre diverse classi energetiche:

- *CasaClima Gold* è la più performante, con consumi massimi prestabiliti di 10 kWh/m²/y, garantendo temperature interne confortevoli anche senza l'utilizzo di impianti di riscaldamento attivi. Viene definita anche "casa litro", in quanto il consumo energetico annuale è pari a un litro di gasolio per ogni metro quadro di superficie. Rispetto allo standard minimo di Passivhaus le abitazioni con questa certificazione hanno una prestazione energetica massima migliore;
- *CasaClima A* è la classe di mezzo, con consumi di calore inferiori ai 30 kWh/m²/y. Viene anche identificata come "casa da tre litri" poiché il consumo energetico annuale è inferiore ai 3 litri di gasolio per ogni metro quadro di superficie;
- *CasaClima B* o "casa da 5 litri" è l'ultima classe energetica e richiede meno di 50 kWh/m²/y. In questa configurazione, la ventilazione meccanica è opzionale, al contrario delle due classi precedenti;

Il certificato energetico rilasciato non indica solo la classe energetica ma anche altri parametri come: l'efficienza dell'involucro, l'efficienza complessiva e la sostenibilità ambientale. Ne consegue che un progetto CasaClima non è solo improntato agli aspetti economici di risparmio energetico, ma anche all'attenzione dell'ambiente, preferendo materiali ecosostenibili e utilizzando energia proveniente da fonti rinnovabili.

Gli aspetti più importanti di una CasaClima sono molto simili a quelli dello standard Passivhaus. Gli obiettivi principali sono:

- Garantire un confort ottimale dell'ambiente indoor;
- Sviluppo del progetto e certificazione del processo di costruzione;
- Eliminazione di ponti termici;
- Elevata ermeticità dell'involucro;
- Ottima coibentazione dell'involucro;
- Nessun vincolo progettuale sulla forma dell'edificio e sui materiali;
- Valutazione veritiera e certificata delle prestazioni energetiche;
- Verifica tramite test e successiva manutenzione;
- Impianti ad elevata efficienza e basso consumo;
- Priorità alle fonti energetiche rinnovabili e alla climatizzazione passiva;
- Installazione di serramenti altamente performanti;

I principali parametri che utilizza lo standard costruttivo CasaClima in relazione alla classe energetica sono riassunti nella seguente tabella.

Tabella 19 - Valori limite per le classi energetiche CasaClima

Parametri	CasaClima Gold	CasaClima A	CasaClima B
Schermature mobili	$g \leq 0.2$ Variabile a seconda del tipo di schermatura		
Tenuta all'aria	$n_{50} \leq 0.6$ vol/h	$n_{50} \leq 1.5$ vol/h	
Ponti termici	$T_{\text{superficiale}} \geq 17^{\circ}\text{C}$		
Efficienza Energetica dell'involucro	$\leq 10 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{y}} \right]$	$\leq 30 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{y}} \right]$	$\leq 50 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{y}} \right]$
Fabbisogno di energia primaria equivalente senza raffrescamento	$\leq 10 \left[\frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{m}^2 \cdot \text{y}} \right]$	$\leq 20 \left[\frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{m}^2 \cdot \text{y}} \right]$	$\leq 35 \left[\frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{m}^2 \cdot \text{y}} \right]$
Fabbisogno di energia primaria equivalente con raffrescamento	$\leq 5 \left[\frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{m}^2 \cdot \text{y}} \right]$	$\leq 10 \left[\frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{m}^2 \cdot \text{y}} \right]$	$\leq 15 \left[\frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{m}^2 \cdot \text{y}} \right]$
Efficienza energetica complessiva con raffrescamento	$\leq 15 \left[\frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{m}^2 \cdot \text{y}} \right]$	$\leq 30 \left[\frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{m}^2 \cdot \text{y}} \right]$	$\leq 50 \left[\frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{m}^2 \cdot \text{y}} \right]$

Un esempio di CasaClima Gold è il lotto Lochbaur, situato a Merano, in Trentino-Alto Adige. Il lotto di tre edifici è stato realizzato negli anni 2006 e 2007, in seguito alla demolizione di due edifici preesistenti. I muri di contenimento e il piano interrato sono stati realizzati in cemento armato, pietre e moduli di legno prefabbricato. Gli elementi prefabbricati di legno e cellulosa insufflata contano uno spessore di 40 cm e poggiano direttamente sul cemento armato. I componenti finestrati sono tripli vetri e l'aerazione è controllata da un sistema di ventilazione meccanica a recupero. Il riscaldamento avviene tramite una caldaia a pellet di 15 kW di potenza che trasferisce il calore all'abitazione per mezzo di superfici radianti.⁷

⁷ Fonte: Lochbaur, www.infobuildenergia.it/progetti/lochbaur

Tabella 20 - Risultati del lotto Lochbaur, Merano (TN)
Fonte: www.infobuildenergia.it/progetti/lochbaur

Parametro	Valore	Unità di misura
Trasmittanza termica delle mura e del tetto	0.09	W/m ² /K
Consumo Energetico annuale per edificio	7	kWh/m ²

3.3 Il comfort negli ambienti interni

Per comfort ambientale si intende una sensazione di benessere psicofisico che percepisce un individuo in un determinato contesto, in mancanza della quale vi è un'influenza negativa sulla produttività e sulla salute. Questa condizione è determinata dalle percezioni sensoriali dell'individuo stesso, correlate alle condizioni termo-igrometriche dell'ambiente, alla rumorosità e alla luminosità.

Il comfort racchiude diverse tipologie ben distinte di benessere:

- Benessere termo-igrometrico;
- Benessere acustico;
- Benessere luminoso;
- Benessere olfattivo;

Il benessere termo-igrometrico esprime una condizione di soddisfazione dell'individuo rispetto all'ambiente termico. In termini oggettivi si definisce come uno stato di neutralità termica, nel quale il corpo umano non accumula energia determinando l'inattività (o quasi) dei sistemi di termoregolazione. Questo tipo di benessere è legato sia a parametri individuali che ambientali, correlati alle caratteristiche del locale e all'impianto di climatizzazione. I parametri individuali che condizionano il benessere sono principalmente legati all'abbigliamento, allo sforzo fisico ed alla condizione di salute.

Il corpo umano genera continuamente una certa energia termica in funzione dell'attività fisica svolta, che varia dai 100W per attività sedentarie fino ai 1000 W in caso di sforzo fisico importante. I parametri ambientali dipendenti sia dal locale che dall'impianto sono 4: temperatura, umidità relativa, velocità dell'aria e temperatura media radiante. Data la natura soggettiva del problema risulta impossibile la determinazione di parametri oggettivi per definire in modo univoco le condizioni di comfort termo-igrometrico all'interno di un

ambiente. La soluzione adottata si basa sulla statistica, il cosiddetto PMV, “Predicted Mean Vote”, proposto da Fanger. Si esprime su una scala di 7 punti, da -3 a +3 e si identifica la condizione di comfort nel range da -0.5 a +0.5.



Figura 10 - Predicted Mean Vote
Fonte: danieloverbey.blogspot.com

A seguito di numerosi esperimenti e test si è riscontrato che in ogni condizione siano sempre presenti alcune persone che non si ritengono soddisfatte, cioè hanno caldo o freddo. L’obiettivo è quindi riuscire a garantire condizioni di benessere al numero di alto possibile di persone e in questo è utile un altro parametro che è il PPD “Predicted Percent of Dissatisfied” e rappresenta la percentuale prevista di insoddisfatti rispetto ad una certa condizione.

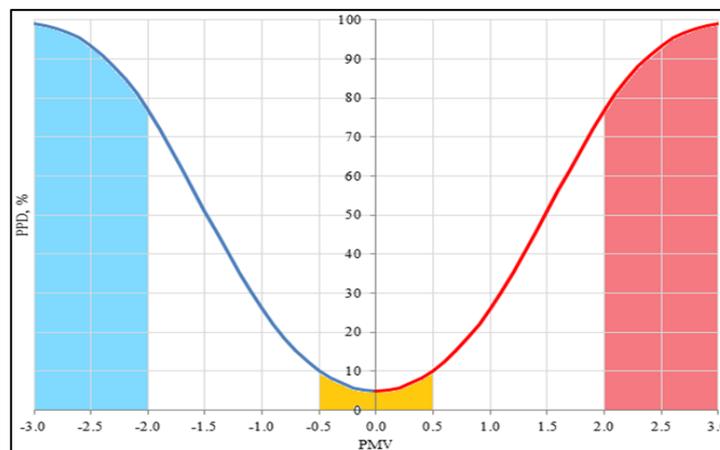


Figura 11 - Predicted Percentage of dissatisfied
Fonte: www.ciop.pl

La progettazione di un locale e delle sue condizioni interne deve tenere conto anche delle possibili cause di discomfort locale come correnti d’aria, differenze di temperatura e disomogeneità della temperatura media radiante delle superfici. In particolare, la temperatura media radiante determina uno scambio termico radiativo nel campo

dell'infrarosso tra l'individuo e le superfici, influenzando notevolmente le condizioni di benessere. Con temperature superficiali omogenee, ottenute grazie ad impianti di climatizzazione radianti (soffitti, pareti o pavimento), è possibile ottenere una temperatura di benessere anche al di sotto degli standard di progetto invernali (20°C) o al di sopra di quelli estivi (26°C).

Il comfort acustico è invece una situazione di benessere in cui l'individuo non è disturbato dai suoni circostanti e soprattutto non subisce danni a seguito di esposizioni a tali rumori. La valutazione del comfort avviene tramite il parametro di livello sonoro, espresso in decibel, che indica su una scala logaritmica la pressione dell'aria rispetto all'aria in quiete. In relazione all'ambiente e alle attività esistono delle soglie di valori che descrivono il limite massimo di tollerabilità rispetto al contesto, cioè un valore di rumore massimo che non provoca danni o disturbi all'individuo. Questi valori sono riportati all'interno del D.P.C.M. 14/11/1997 che definisce i limiti in materia di inquinamento acustico.

Il rumore in contesti abitativi è correlato tipicamente al traffico veicolare, aereo, navale e ad attività produttive a seconda dell'ubicazione territoriale dell'edificio. La trasmissione del rumore avviene in modo diretto o riflesso sia per via aerea e che per via strutturale attraverso i componenti edilizi e può essere percepita come vibrazione o come suono. In campo edilizio esistono accorgimenti che permettono la riduzione dei livelli sono percepiti in corrispondenza del ricettore, come barriere acustiche o il fonoisolamento. L'isolamento di tipo acustico si ottiene con materiali in grado di assorbire tutta o in parte l'energia acustica incidente e questa capacità è identificata da un parametro definito come potere fonoisolante.

Il benessere luminoso è invece legato alla percezione dell'individuo rispetto alla luce all'interno di un ambiente, sia essa artificiale che naturale. La luce, ed in particolare la temperatura di colore, ha una notevole influenza sulla salute, poiché è in grado di modificare i ritmi circadiani e di conseguenza il ciclo sonno-veglia degli occupanti. Le condizioni luminose all'interno di un ambiente variano in funzione della destinazione d'uso e soprattutto dei compiti visivi svolti all'interno dei locali.

Il benessere di tipo respiratorio e olfattivo è la sensazione positiva rispetto alla qualità dell'aria interna. La qualità dell'aria può essere compromessa a causa di diversi fattori tra i quali la presenza di muffe, cattivi odori e composti organici volatili, che oltre a disturbare gli occupanti possono nuocere alla salute. I sistemi di ventilazione meccanica, dimensionati

a dovere, riescono a garantire una qualità dell'aria interna salubre, grazie al ricambio continuo dell'aria viziata e alla presenza di filtri, che trattengono le particelle di inquinanti.

4. Aggregato compatto, la soluzione “tutto in uno” per gli edifici nZEB

L’obiettivo di questo capitolo è analizzare nel dettaglio una delle possibili soluzioni per garantire il comfort e soddisfare il fabbisogno di riscaldamento, raffrescamento, acqua calda sanitaria e ventilazione all’interno delle tipologie di edifici a basso consumo energetico descritti nel capitolo 3. Attualmente, una soluzione innovativa che protocolli di qualità come Passivhaus e CasaClima propongono ai loro committenti, integra tutti i sistemi in un unico macchinario: l’aggregato compatto. Questa tecnologia è ancora in fase di sviluppo e miglioramento, in quanto la realizzazione da parte dei produttori si scontra con una serie di difficoltà, prima fra tutte il dimensionamento degli elementi termodinamici che lo compongono. Inoltre, non è da sottovalutare il campo di applicabilità che hanno ad oggi queste tipologie di macchine, che si trovano spesso in difficoltà in ambienti climatici severi e sono predisposte ad operare in abitazioni di tipo passivo o comunque con bassissimo fabbisogno energetico. D’altra parte, per affermarsi sul mercato, il prodotto deve essere presentato ad un prezzo competitivo rispetto alle altre tecnologie, e offrire vantaggi considerevoli rispetto alle soluzioni tradizionali, tra cui il risparmio economico, l’affidabilità e la rumorosità. Un altro aspetto molto importante è quello dell’ingombro (“compatto” anche per questo motivo), infatti l’integrazione all’interno degli edifici deve risultare poco invasiva e attuabile anche in assenza di locali tecnici.

4.1 Descrizione del macchinario

L’aggregato compatto è un macchinario dalle dimensioni contenute grande all’incirca quanto un frigorifero e il nome stesso identifica che tutti i componenti impiantistici siano integrati (“aggregato”) in un unico apparecchio “compatto”. Esso è in grado di soddisfare tutte le esigenze relative al fabbisogno di un’abitazione e al comfort degli occupanti: riscaldamento, raffrescamento, ventilazione e produzione di acqua calda sanitaria. Questa soluzione impiantistica consente di evitare sistemi ridondanti per la climatizzazione e la produzione di acqua calda sanitaria, con elevati risparmi economici in fase di installazione ed esercizio e risultando molto meno invasivo in termini di ingombro.

L’aggregato compatto utilizza come principale vettore energetico l’aria, che viene sfruttata attraverso un efficiente recupero termico passivo e attivo per produrre acqua calda e

climatizzare gli ambienti interni dell'edificio. In commercio ne esistono di diverse tipologie e con diversi principi di funzionamento, per esempio in alcuni la pompa di calore integrata sfrutta l'energia contenuta nell'aria di estrazione mentre in altri il calore geotermico o l'acqua di falda. Il vantaggio di un sistema compatto che utilizza pompe di calore ad aria risiede nella possibilità di prelievo illimitata di tale fonte termica al contrario dell'acqua di falda, che richiede permessi specifici. Nel caso di prelievo di calore geotermico si deve prevedere l'installazione delle sonde sotterranee e non sempre è possibile, basti pensare ad un appartamento situato ad un piano fuori terra di un condominio sprovvisto di riscaldamento centralizzato. Per contro, le prestazioni di una pompa di calore ad aria risentono in modo più significativo delle condizioni climatiche esterne, in particolari nei periodi dell'anno più caldi e più freddi. Per ovviare a questo problema si può prevedere, quando possibile, l'installazione di un canale interrato di prelievo dell'aria esterna per consentire al flusso di preriscaldarsi o preraffreddarsi prima dell'ingresso al recuperatore.

Un altro parametro che differenzia gli aggregati compatti è la tipologia di climatizzazione, spesso a tutt'aria ma in altri casi attribuita tutta o in parte a superfici radianti o appositi terminali come i termosifoni.

Il campo di principale interesse per l'installazione di questa tipologia di impianto sono gli edifici ad elevata efficienza energetica, come gli edifici nZEB ad alte prestazioni e gli edifici passivi, con un'ottima coibentazione ed ermeticità dell'involucro. Questo è dovuto al fatto che le potenze di funzionamento sono dell'ordine dei kW, il che comporta grandi vantaggi in termini di consumi, rumorosità e ingombro ma richiede un'attenta verifica in fase di progettazione e installazione.

A differenza degli impianti tradizionali l'aggregato compatto non ha sempre bisogno di un locale adibito a centrale termica, per via delle basse emissioni sonore e della compattezza, ciononostante è sempre consigliata l'installazione lontano dalle aree destinate al riposo degli occupanti.

I componenti principali installati all'interno dell'apparecchio sono:

- *Pompa di calore*, con annesso circuito del fluido frigorigeno, compressore, valvola di espansione e scambiatori; preleva calore a bassa temperatura trasferendolo a temperatura più elevata al circuito dell'ACS o al circuito dell'aria;
- *Ventilatori*, uno di estrazione con il compito di prelevare l'aria viziata ed espellerla all'esterno ed uno di mandata che preleva l'aria esterna e la immette negli ambienti;

- *Recuperatore di calore*, può essere di tipo entalpico o a secco, e assolve il compito di trasferire l'energia contenuta nell'aria viziata al flusso d'aria di rinnovo;
- *Accumulo*, tipicamente intorno ai 200 litri è il serbatoio per l'acqua calda sanitaria;
- *Resistenza elettrica nell'accumulo*, consente un riscaldamento istantaneo del serbatoio, utile per ridurre i tempi di ricarica dell'accumulo e per i processi anti-legionellosi;
- *Filtri*, in mandata e in estrazione garantiscono un'ottima qualità dell'aria interna limitando la presenza di inquinanti sia di provenienza interna che esterna all'edificio;

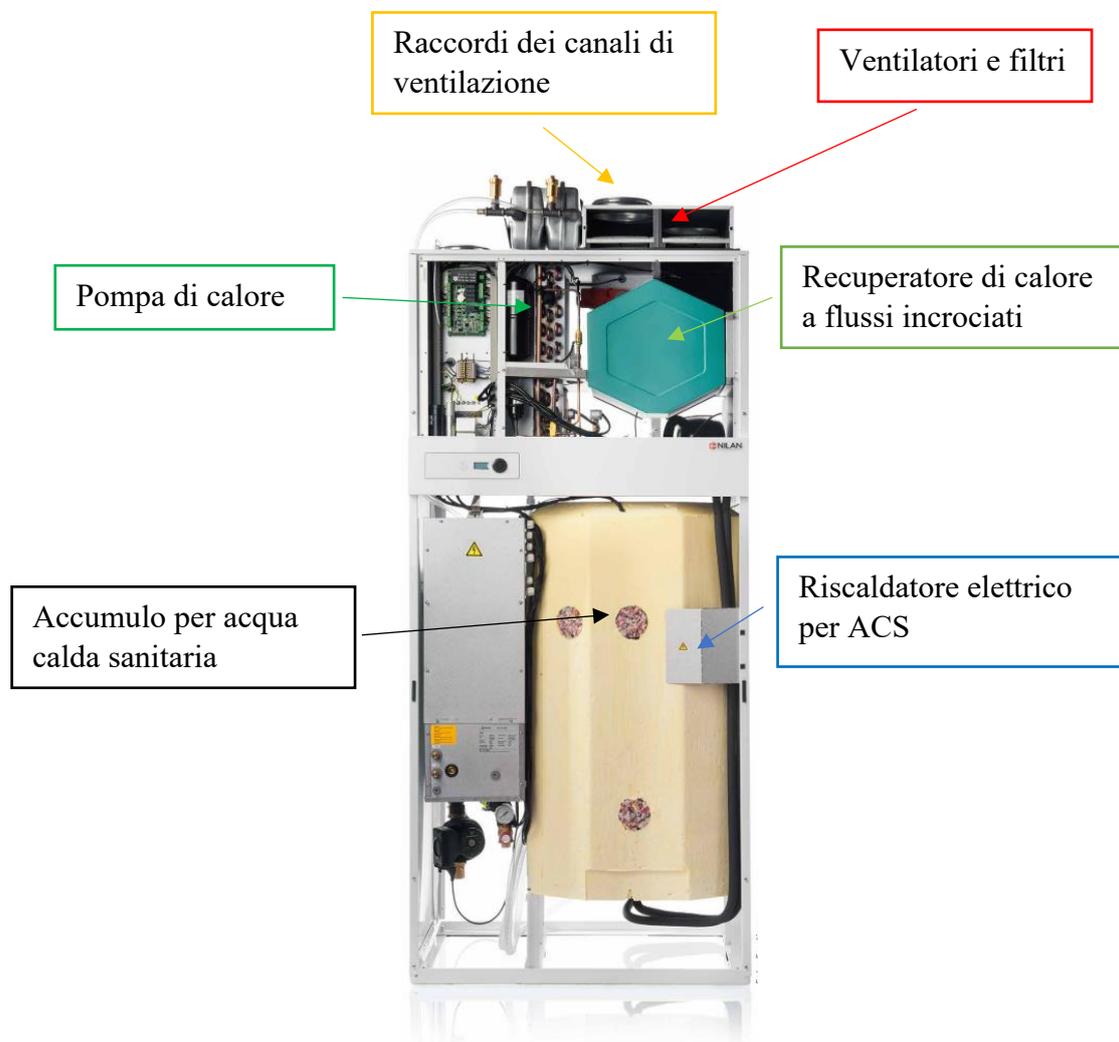


Figura 12 - Vista interna di un aggregato compatto e identificazione dei componenti principali
Fonte: Nilan

L'elevata efficienza e il comfort garantiti degli aggregati compatti, sono strettamente correlati all'integrazione tra edificio e impianto. Infatti, gli aspetti più vincolanti relativi all'installazione, che assicurano ottime prestazioni sono:

- Un elevato isolamento termico dell'involucro;
- Un'ottima tenuta all'aria preferibilmente verificata attraverso il blower-door test;
- Installazione del macchinario e dell'impianto, che deve essere effettuata a regola d'arte;
- La cubatura dell'edificio, se il volume è troppo ampio l'aggregato non riesce a garantire il ricambio d'aria minimo;
- L'ubicazione dell'edificio, temperature rigide influenzano sia la scelta del macchinario che le prestazioni;

Le pompe di calore di piccola taglia installate all'interno degli aggregati compatti mostrano un grande vantaggio rispetto agli impianti tradizionali in termini di controlli periodici per via della modesta quantità di fluido refrigerante utilizzato. Dal 2015 è necessario, secondo il regolamento europeo 517/2014/UE, eseguire il controllo delle perdite di gas refrigerante e tenere un registro per tutti gli apparecchi di climatizzazione estiva o pompe di calore con carica superiore alle 5 tonnellate di CO₂eq. La cadenza del controllo è di 12 mesi, che sale a 24 per gli impianti in cui è installato un sistema di rilevamento delle perdite. La carica di F-gas presente negli aggregati compatti si aggira intorno agli 1-2.5 kg e considerando il GWP relativo ai gas utilizzati (di solito r134A o r407C) non supera il valore minimo del regolamento, pertanto non necessitano di alcun controllo.

La cadenza del controllo di efficienza energetica per impianti con macchine frigorifere o pompe di calore è ogni 4 anni per impianti di taglia compresa tra i 12 e i 100 kW. Poiché la taglia di un aggregato compatto è tipicamente inferiore ai 12 kW, per via del basso fabbisogno energetico degli edifici ad alte prestazioni, non è necessario effettuare questa verifica.

Un altro aspetto legato alla manutenzione periodica è la sostituzione dei filtri, fondamentali per garantire un ambiente interno salubre e privo di inquinanti. Solitamente questo tipo di intervento può essere effettuato direttamente dall'utente in modo agevole senza intervenire sulla macchina in modo invasivo.

Tabella 21 - Riepilogo vantaggi e svantaggi di un aggregato compatto

Vantaggi	Svantaggi	
Comfort ambientale	Installazione a regola d'arte	
Ingombro	Prestazioni in climi rigidi	
Manutenzione periodica	Consapevolezza dei limiti	Apertura di porte e finestre
Controlli		Tempi di ricarica ACS
Consumi		
Integrazione delle fonti rinnovabili		

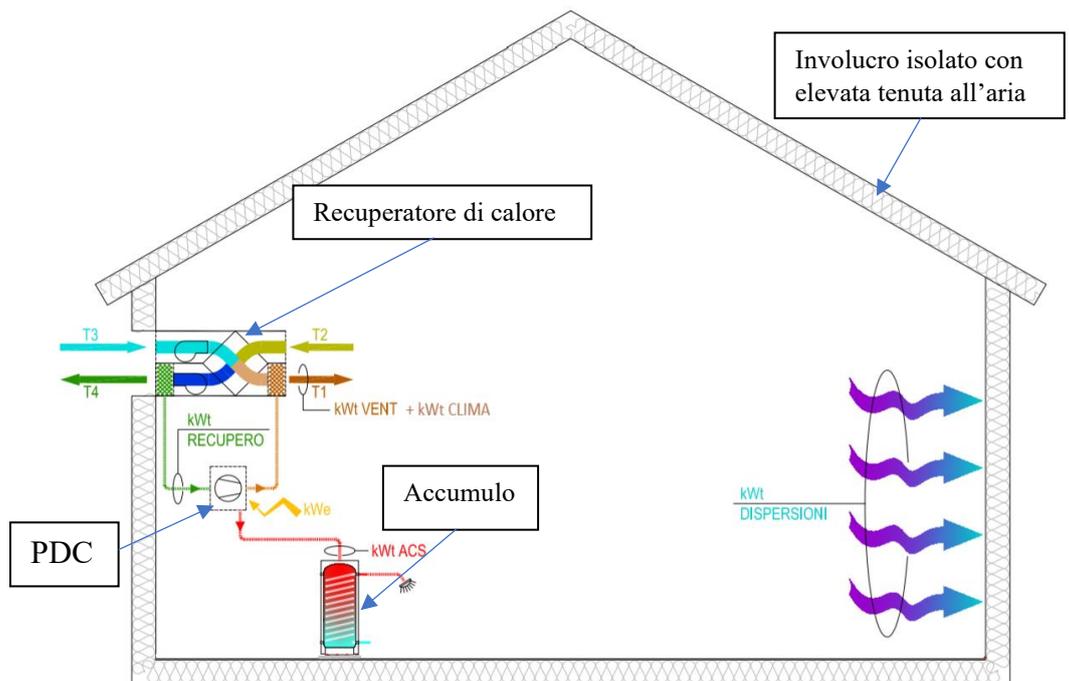
4.2 Layout dell'impianto

Il layout dell'impianto varia a seconda del macchinario ma si possono distinguere due principali categorie, dipendenti dalla tipologia di pompa di calore e dalla tipologia di climatizzazione.

La prima (figura 13) consiste nello sfruttare il calore ancora presente nell'aria esausta, a valle del recuperatore, innalzandone la temperatura attraverso la pompa di calore consentendo per mezzo di opportuni scambiatori di calore la produzione dell'acqua calda sanitaria e in secondo luogo il riscaldamento dell'aria di rinnovo (in regime invernale). In estate, invece, il ciclo della pompa di calore si inverte, estraendo calore dal flusso d'aria di immissione e cedendolo al serbatoio dell'acqua calda sanitaria; un eventuale surplus viene smaltito con il flusso di espulsione.

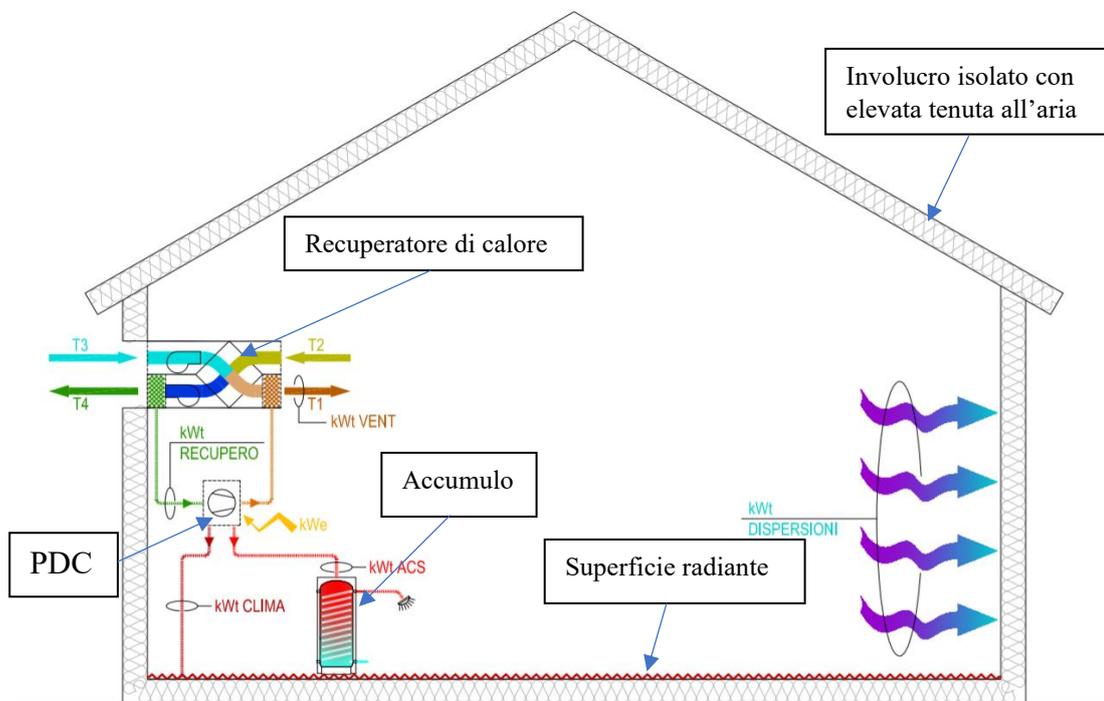
In questa configurazione le condizioni termo-igrometriche dell'ambiente interno sono controllate dalla portata d'aria di immissione: la temperatura del flusso copre i carichi termici mentre la regolazione della portata modifica l'umidità. Tipicamente si tratta di impianti con pompa di calore integrata ad aria di piccola potenza, particolarmente adatti ad abitazioni di dimensioni limitate, come appartamenti o villette. Il grande pregio dei prodotti che utilizzano questa configurazione è la presenza di due sole circuiti all'interno dell'edificio: il circuito aeraulico e il circuito dell'acqua calda sanitaria.

La bassa emissione acustica e l'ingombro limitato consentono di installare questi macchinari in spazi molto ridotti, senza dover prevedere una centrale termica. Per contro le potenze in gioco sono di minor entità, di conseguenza trovano come principale campo di applicazione abitazioni progettate secondo gli standard Passivhaus o CasaClima Gold.



T1 Portata d'aria di mandata in ambiente T2 Portata d'aria di estrazione
 T3 Portata d'aria di rinnovo T4 Portata d'aria di espulsione

Figura 13 - Layout di impianto con aggregato compatto e climatizzazione a tutt'aria



T1 Portata d'aria di mandata in ambiente T2 Portata d'aria di estrazione
 T3 Portata d'aria di rinnovo T4 Portata d'aria di espulsione

Figura 14 - Layout di impianto con aggregato compatto e climatizzazione di tipo misto

La seconda tipologia (figura 14) utilizza pompe di calore di tipo geotermico o pompe di calore ad aria in grado di operare con maggiori portate. Il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti avvengono attraverso terminali a bassa temperatura, come superfici radianti o radiatori, mentre il controllo dell'umidità è attribuito alla regolazione della portata di aria di rinnovo o ad apposite batterie di deumidificazione. L'aria immessa in ambiente sfrutta comunque un recuperatore di calore in modo da ridurre il carico termico di ventilazione e, in alcuni casi, viene ulteriormente riscaldata o raffrescata annullando il carico termico di ventilazione e riducendo il carico termico complessivo. Questa tipologia di aggregati compatti risulta più ingombrante della precedente e l'installazione si addice maggiormente in immobili di maggior superficie in pianta o con carichi termici lievemente superiori.

Lo svantaggio rispetto alla precedente tipologia è la necessità di tre circuiti all'interno dell'edificio: circuito di riscaldamento, circuito per acqua calda sanitaria e circuito di aereazione. D'altra parte, potrebbe essere molto interessante sfruttare l'impianto idronico preesistente nel caso di ristrutturazioni importanti (sempre considerando i vincoli sull'involucro e sulla tenuta all'aria), nelle quali i carichi termici in gioco sono maggiori rispetto alle nuove costruzioni.

Le superfici radianti possono essere a soffitto, a parete o a pavimento. Questa tecnologia utilizzabile sia per il riscaldamento che per il raffrescamento, sfrutta rispettivamente l'emissione e l'assorbimento nel campo dell'infrarosso. Questo meccanismo di scambio termico comporta un benessere legato alla quantità di energia scambiata e non più strettamente correlato alla temperatura. Di conseguenza è possibile ottenere condizioni di comfort interno anche con temperature inferiori ai 20 °C di progetto invernale, così come superiori ai 26 °C di progetto estivo. Un altro vantaggio delle superfici radianti utilizzate negli edifici ad alta efficienza energetica è la velocità di riscaldamento/raffreddamento dei locali. Le condizioni di comfort possono essere raggiunte in tempi dell'ordine di qualche ora ed è possibile limitare la climatizzazione dei locali in funzione dei tempi previsti di occupazione. Esistono però dei vincoli sulle temperature superficiali che in inverno non devono essere troppo elevate, in particolare se si tratta di pavimento radiante, poiché a lungo termine possono causare problemi alla salute (principalmente agli arti inferiori) oltre che un discomfort dovuto ad elevate differenze di temperatura. In estate, invece, il vincolo maggiore è dovuto all'umidità, poiché nelle condizioni esterne tipiche estive intorno ai 30°C con il 50% di umidità relativa, si potrebbe formare condensa se la superficie radiante fosse particolarmente fredda. Questo implica che la temperatura sulla superficie sia strettamente

correlata all'umidità, che deve essere controllata costantemente tramite deumidificazione e ricambi d'aria continui.

4.3 I componenti di un aggregato compatto

In questo paragrafo sono illustrati i principali componenti presenti all'interno di un tipico aggregato compatto, evidenziandone le funzioni, le caratteristiche e il funzionamento.

4.3.1 Ventilatori

I ventilatori sono delle macchine operatrici per fluidi aeriformi, che sfruttano l'energia meccanica fornita da un motore elettrico per mettere in movimento un gas. Il gas in questione è l'aria ambiente, sia interna agli edifici sia esterna. I ventilatori siti all'interno di un aggregato compatto sono almeno due, uno di aspirazione che ha il compito di rimuovere l'aria viziata presente negli ambienti interni e uno di mandata che consente di immettere negli ambienti aria pulita prelevata dall'esterno.

Un ventilatore è caratterizzato da:

- *Numero di giri*, cioè il numero di rotazioni complete che compie intorno al proprio asse durante la fase di esercizio;
- *Potenza assorbita*, è la potenza elettrica che assorbe durante in funzionamento;
- *Rumorosità*, misurata in dB(A) è l'emissione sonora in fase in fase di esercizio;
- *Portata*, è la quantità di fluido che è in grado di elaborare;
- *Prevalenza*, espressa in funzione della portata è la differenza di pressione che riesce a imprimere al gas tra monte e valle della girante;
- *Rendimento*, espresso come il rapporto tra potenza utile e potenza assorbita;

I parametri utili per il dimensionamento di un ventilatore in tema di ventilazione meccanica controllata vengono tipicamente forniti dai produttori sottoforma di diagrammi. Un possibile diagramma è definito come “curva caratteristica” ed esprime la portata in funzione della prevalenza.

In figura 15 è illustrato il diagramma caratteristico dei ventilatori installati all'interno dell'aggregato compatto LWZ 304 SOL, identificando alcune possibili curve di resistenza dell'impianto aeraulico e la curva caratteristica dei ventilatori (curva rossa). Le intersezioni

sono i punti di funzionamento in cui il ventilatore opera in un determinato circuito, e in questo caso sono identificate da un valore di consumo elettrico espresso in Wh/m^3 .

Il secondo tipo di diagramma spesso utilizzato è il “diagramma collinare” che esprime la portata in funzione della prevalenza, considerando anche il numero di giri e il rendimento. Questo diagramma è più utilizzato per ventilatori industriali che elaborano grandi portate e nei quali c'è bisogno di un attento dimensionamento dal punto di vista dei consumi.

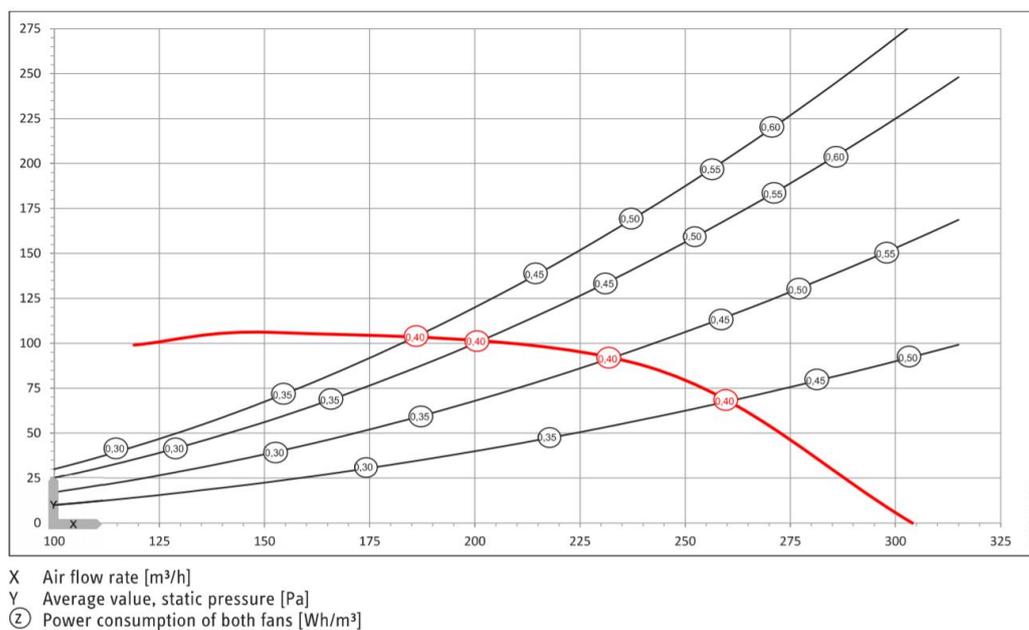


Figura 15 - Curva caratteristica (rossa) e curve di resistenza dell'impianto (curve nere), LWZ 304 SOL

Il compito di un ventilatore è di fornire energia al fluido aeriforme tale da vincere le perdite di carico concentrate e distribuite che subisce il gas durante il moto. Le perdite di carico sono misurate in Pascal e dipendono da:

- Presenza di filtri;
- Sporco di filtri e canali;
- Dimensione e configurazione dei canali (eventuali gomiti o intersezioni nel circuito);
- Lunghezza dei canali;
- Materiali;

Per conoscere il punto di funzionamento di un ventilatore e di conseguenza la portata che è in grado di fornire o estrarre da un edificio è necessario valutare tutte le voci di perdite. Una

volta note, tramite la curva caratteristica si può conoscere in via approssimativa il punto di funzionamento, cioè la portata elaborata ad un certo numero di giri in un determinato circuito, che in fase di installazione può essere modificato tramite l'utilizzo di opportune serrande di regolazione o variando la velocità di rotazione del ventilatore. La regolazione con inverter è la più efficiente dal punto di vista dei consumi, perché consente di operare sul numero di giri del ventilatore, modificando la portata elaborata e diminuendo la potenza assorbita e la rumorosità. La regolazione tramite serrande è invece meno efficiente, poiché vengono introdotte delle perdite concentrate spostando il punto di funzionamento a prevalenze maggiori.

La variazione della portata a carico dei ventilatori è un argomento di principale importanza per gli aggregati compatti. La portata minima che i ventilatori devono fornire è pari al ricambio d'aria necessario ad assicurare le condizioni igieniche interne all'edificio, fissato in sede di progetto. In fase di esercizio la regolazione della portata consente non solo quanto descritto in precedenza (in funzione dell'occupazione), ma anche di modificare l'umidità all'interno degli ambienti, garantendo agli occupanti un miglior comfort termo-igrometrico.

Come accennato in precedenza un problema inerente al benessere degli occupanti è anche la rumorosità. I ventilatori sono tra i componenti con le più alte emissioni sonore di un aggregato compatto, insieme al compressore. Poiché uno dei punti di forza di questi macchinari è il comfort acustico, i produttori consigliano o forniscono direttamente dei silenziatori da installare all'imbocco dei canali di aspirazione e di mandata, in modo da ridurre l'emissione acustica in ambiente.

4.3.2 Recuperatore di calore

I recuperatori di calore sono degli apparecchi che permettono lo scambio termico tra fluidi da uno a temperatura più alta ad uno a temperatura più bassa. Nel caso della ventilazione lo scambio termico avviene tra due flussi di aria e in particolare quello estratto, dai bagni o dalle zone caratterizzate da odori, e quello di rinnovo prelevato dall'ambiente esterno. Esistono due tipologie di recuperatori, quelli a secco che permettono di innalzare la temperatura del flusso più freddo e quelli entalpici, che consentono anche il recupero dell'umidità. Tra i recuperatori di tipo sensibile il più utilizzato è quello a piastre a flussi incrociati, che grazie ad elevati gradi di compattezza (definita come il rapporto tra superficie

interna di scambio termico su volume) permette il trasferimento di calore sensibile tra i fluidi con efficienze anche superiori all' 80%.

L'alta efficienza dipende non solo dai materiali (tipicamente alluminio) e dalla superficie di scambio termico, ma anche dalla portata e da come vengono convogliati i flussi all'interno del recuperatore. Dal punto di vista termodinamico, convogliando i flussi in controcorrente il rendimento massimo ottenibile è più alto della configurazione in equi-corrente poiché cambia la distribuzione delle temperature.



Figura 16 - Recuperatore di calore a piastre

Fonte: www.hoval.it

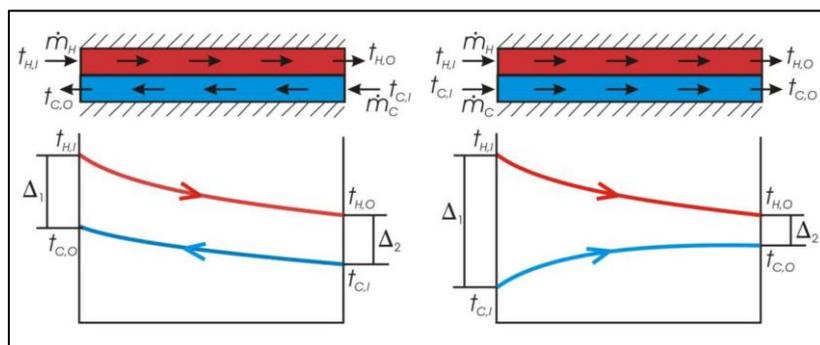


Figura 17 - Distribuzione delle temperature, controcorrente (a sinistra), equi-corrente (a destra)

Fonte: www.unilab.eu

Come si vede in figura 17, nella configurazione in controcorrente il fluido freddo in ingresso incontra il fluido caldo in uscita ad una temperatura di poco superiore. Durante il passaggio

nel recuperatore l'aumento della temperatura di un flusso e la diminuzione dell'altro avviene in modo graduale mantenendo all'incirca la stessa differenza di temperatura tra i due flussi. Idealmente, in questa configurazione, con un rendimento pari al 100% il fluido freddo all'uscita avrebbe la stessa temperatura del fluido caldo in ingresso. Questo non può verificarsi nella situazione in equi-corrente, poiché il fluido freddo idealmente può raggiungere al massimo la temperatura del fluido caldo in uscita, con un'efficienza massima del 50%.

Il rendimento di un recuperatore a secco attraversato da flussi di pari portata si calcola come rapporto tra differenze di temperature di ingresso e uscita dei due fluidi, poiché lo scambio termico non comprende il calore latente. In particolare:

$$\eta_{rec,s} = \frac{(T_{iu} - T_{ii})}{(T_{ei} - T_{ii})} \quad [\%]$$

$\eta_{rec,s}$ è il rendimento del recuperatore di tipo sensibile;

T_{ii} è la temperatura di ingresso del flusso di immissione;

T_{iu} è la temperatura di uscita del flusso di immissione;

T_{ei} è la temperatura di ingresso del flusso di estrazione;

Come accennato in precedenza il rendimento di un recuperatore non dipende solo dalle temperature, anzi, le stesse temperature di uscita dei due fluidi dipendono da altri fattori. Lo scambio termico avviene principalmente per convezione tra il fluido e le pareti di conseguenza i parametri che influenzano il dimensionamento e le prestazioni di uno scambiatore di calore sono:

- Le portate e di conseguenza le velocità dei flussi; in generale un recuperatore di calore è più efficiente con minori velocità dei flussi, poiché viene favorito lo scambio termico;
- Tipologia di materiale; un materiale che oppone una minor resistenza alla trasmissione del calore migliora l'efficienza complessiva;

- Superficie di scambio termico; aumentando la superficie di scambio termico il fluido lambisce una superficie maggiore portando la temperatura del flusso stesso prossima alla temperatura della superficie;
- Contenuto di umidità nel flusso di aria a temperatura maggiore;
- Configurazione geometrica del recuperatore;

Le piastre all'interno del recuperatore sono sigillate in modo da separare completamente i due flussi, evitandone la miscelazione e il rilascio di contaminanti dal fluido di estrazione al fluido di rinnovo.

I recuperatori di tipo entalpico tipicamente utilizzati in ambito di ventilazione meccanica sono costituiti da un elemento statico o rotante di materiale assorbente, in grado di trasferire il calore latente da un flusso all'altro. Generalmente la rotazione avviene con una velocità dell'ordine dei giri/min e i due flussi attraversano ognuno una metà della ruota entalpica. Il fluido caldo riscalda il materiale freddo e rilascia l'umidità nel materiale assorbente; successivamente quando il fluido freddo attraverserà quella porzione di materiale caldo raffredderà il materiale, riscaldandosi e prelevando sotto forma di vapore acqueo il condensato. Questo sistema consente di ottenere ottimi rendimenti, superiori all' 80%, ma il problema è la contaminazione dei flussi poiché entrambi lambiscono le stesse superfici.

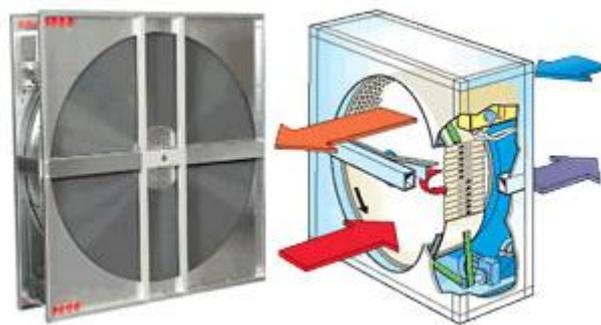


Figura 18 - Recuperatore di calore rotativo
Fonte: www.drycall.it

Con questa tipologia di scambiatore di calore, l'efficienza di scambio termico deve essere calcolata in termini di entalpia, per via dello scambio di calore sensibile e latente.

Supponendo le stesse portate per il flusso di estrazione e per il flusso di rinnovo (norma ASHRAE standard '84):

$$\eta_{rec,h} = \frac{(h_{iu} - h_{ii})}{(h_{ei} - h_{ii})} \quad [\%]$$

$\eta_{rec,h}$ è il rendimento del recuperatore entalpico;

h_{ii} è l'entalpia di ingresso del flusso di immissione;

h_{iu} è l'entalpia di uscita del flusso di immissione;

h_{ei} è l'entalpia di ingresso del flusso di estrazione;

Anche per questa tipologia di recuperatore valgono le considerazioni precedenti relative all'efficienza.

Un altro parametro che caratterizza gli scambiatori di calore è la potenza. Si calcola come il prodotto tra portata e salto di entalpia utile, cioè quello relativo al flusso di immissione in ambiente a monte e valle dello scambiatore. Se si considera costante la portata e il c_p dell'aria e se si conoscono le temperature a monte e a valle dello scambiatore la potenza si calcola come:

$$P_{tot} = \dot{m} * (h_{out} - h_{in}) \quad [W]$$

$$P_{sens} = \dot{m} * c_p * (T_{out} - T_{in}) \quad [W]$$

P è il calore scambiato tra i due flussi;

\dot{m} è la portata massica di aria;

c_p è il calore specifico a pressione costante (aria);

T_{in} è la temperatura in ingresso allo scambiatore;

T_{out} è la temperatura di uscita dallo scambiatore;

Questa potenza termica recuperata in modo passivo è una quota molto significativa della potenza termica complessiva erogata da un aggregato compatto. Infatti, considerando un impianto di climatizzazione a tutt'aria durante il riscaldamento, la potenza termica che la pompa di calore di calore dovrà fornire sarà solamente la quota utile a portare il flusso di immissione dalla temperatura a valle dello scambiatore alla temperatura di immissione in ambiente desiderata.

Esempio:

Dato	Valore	note
Portata volumetrica di ventilazione Q	216 m ³ /h = 0.06 m ³ /s	Portata tipica di un aggregato compatto 160-250 m ³ /h
Efficienza termica del recuperatore di tipo sensibile η	80%	Si ipotizza un buon recuperatore
Temperatura dell'ambiente esterno T _{out}	-8 °C	(Temperatura di progetto invernale a Torino)
Temperatura dell'ambiente interno T _{in}	20 °C	
Temperatura di immissione nei locali T _{imm}	40 °C	Ipotizzo un salto di temperatura di 20 °C con l'ambiente interno*

*In linea con i risultati descritti nel paragrafo 5.9

Considerando l'efficienza del recuperatore e conoscendo le temperature interna ed esterna è possibile calcolare la potenza recuperata dallo scambiatore.

$$T_{iu} = (|T_{ei} - T_{ii}| * \eta) + T_{ii} = [(20 - (-8)) * 0.8] - 8 = 14.4 \text{ °C}$$

La potenza scambiata risulta, considerando il c_p dell'aria pari a 1.004 kJ/kg/K e una densità di 1.247 kg/m³:

$$P_{rec} = \rho * Q * c_p * (T_{iu} - T_{ii}) = 1.247 * 0.06 * 1.004 * (14.4 - (-8)) = 1.68 \text{ kW}$$

La restante potenza termica fornita dalla pompa di calore al flusso di immissione è:

$$P_{PDC} = \rho * Q * c_p * (T_{imm} - T_{iu}) = 1.247 * 0.06 * 1.004 * (40 - 14.4) = 1.92 \text{ kW}$$

In questo caso è evidente come la voce di potenza termica recuperata sia molto importante e quasi pari rispetto al recupero attivo fornito dalla pompa di calore. Pertanto, le prestazioni

di questo componente sono di fondamentale importanza nel macchinario in analisi e permettono di risparmiare una quota molto elevata di energia attiva per ottenere le condizioni di immissione desiderate.

Il contributo del recuperatore, però, non è sempre necessario. Per esempio, di notte durante la stagione estiva, si potrebbe verificare una situazione di temperatura dell'aria più bassa rispetto all'ambiente interno. In questi casi è molto utile la modalità di free-cooling mediante bypass, che consente di evitare lo scambio termico immettendo direttamente in ambiente l'aria esterna per il raffrescamento degli ambienti.

4.3.3 *Pompa di calore*

La pompa di calore è una macchina termica che consente di prelevare energia termica da una sorgente a bassa temperatura e trasferirla ad un pozzo a temperatura più elevata, spendendo energia meccanica. Sfruttando un gas frigorifero con particolari caratteristiche è possibile, attraverso il lavoro di un compressore, una valvola di laminazione e opportuni scambiatori di calore, trasferire calore da un fluido più freddo a uno più caldo per riscaldarlo ulteriormente. Se l'effetto termico utile è ottenere un flusso caldo sfruttando il calore di una sorgente a più bassa temperatura si tratta di una pompa di calore; viceversa, se l'effetto utile è il raffreddamento di un fluido caldo si tratta di una macchina frigorifera. Molte pompe di calore consentono di ottenere entrambi gli effetti utili a seconda delle esigenze utilizzando l'inversione del ciclo di funzionamento e, pertanto, vengono definite come "invertibili".

Esistono diverse tipologie di pompe di calore:

- *Aria-aria*, il calore viene trasferito da un sorgente fredda costituita da aria ad altra aria;
- *Aria-acqua*, il calore viene trasferito dall'aria, sorgente fredda, all'acqua, pozzo caldo;
- *Acqua-aria*, il calore viene trasferito dall'acqua, sorgente fredda, all'aria, pozzo caldo;
- *Acqua-acqua*, il calore viene trasferito dall'acqua, sorgente fredda, ad altra acqua;

Al posto dell'acqua è possibile che venga utilizzata la salamoia, cioè una miscela di acqua e altre sostanze che ne migliora le caratteristiche termodinamiche e abbassa la temperatura di congelamento. Tipicamente questa soluzione viene utilizzata quando, attraverso delle sonde

contenenti salamoia installate nel terreno, si preleva calore dal sottosuolo con il vantaggio di avere temperature piuttosto costanti durante tutto l'anno.

Le sorgenti utilizzate dalle pompe di calore sono generalmente l'aria esterna, il terreno e l'acqua di falda. L'aria esterna è la più utilizzata poiché è illimitata e di facile accesso; il prelievo di calore dal terreno presenta alcuni vincoli e maggiori costi di installazione; l'utilizzo dell'acqua di falda è invece molto più vincolante, poiché non è sempre disponibile e quando lo è la legge è molto severa sull' utilizzo.

A seconda delle esigenze e delle potenze in gioco, un aggregato compatto può montare una diversa tipologia di pompa di calore. Per esempio, l'azienda Nilan propone sia la versione con pompa di calore integrata aria-aria, sia altre versioni con pompa di calore aria-aria esterna o geotermica.

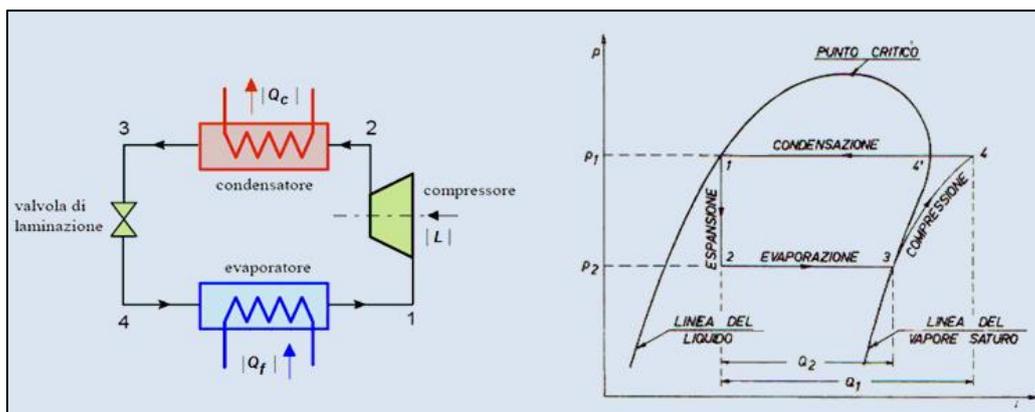


Figura 19 - Ciclo di funzionamento di una pompa di calore
Fonte: blog.blumatica.it

Il principio di funzionamento di una pompa di calore si basa su quattro componenti principali:

- *Compressore*, comprime il gas refrigerante aumentandone pressione e temperatura;
- *Condensatore*, trasferisce il calore dal gas refrigerante al fluido caldo (pozzo);
- *Valvola di laminazione*, riduce temperatura e pressione del fluido attraverso una trasformazione isoentalpica;
- *Evaporatore*, trasferisce calore dal fluido freddo al fluido refrigerante (sorgente);

Considerando lo schema riportato in figura 19, al punto 1 il gas si trova ad una temperatura inferiore alla sorgente fredda, variabile a seconda dell'efficienza dello scambiatore di calore precedente (evaporatore). La pressione del gas viene aumentata tramite il lavoro meccanico L fornito dal compressore che, come conseguenza della compressione, ne innalza la temperatura (punto 2). Il gas caldo attraversa il condensatore nel quale cede il calore Q_c e condensa passando allo stato liquido (punto 3). Successivamente attraversa una valvola di laminazione, il cui compito è riportare il fluido frigorifero alla pressione originale e abbassarne la temperatura (punto 4). Infine, il liquido evapora grazie al calore Q_f trasferitogli dalla sorgente nell'evaporatore e riportandosi allo stato di gas (punto 1).

Se l'effetto utile è il calore Q_c ceduto al fluido caldo, il macchinario è in assetto "pompa di calore" identificato dal valore del COP, cioè il coefficiente di prestazione espresso come il rapporto tra l'effetto utile e la potenza meccanica spesa per ottenerlo:

$$COP = \frac{Q_c}{P_m}$$

Il funzionamento di una macchina frigorifera è il medesimo, il ciclo è semplicemente invertito e l'effetto utile è il calore Q_f ceduto dal fluido caldo al fluido frigorifero. In questo caso il coefficiente di prestazione viene denominato EER e si calcola come:

$$EER = \frac{Q_f}{P_m}$$

COP ed EER non sono delle efficienze, dato che possono assumere valori superiori a 1, ma identificano la prestazione della macchina in termini di unità di energia spesa per ottenere l'effetto utile. Per esempio, una pompa di calore con COP pari a 4 definisce una macchina termica che sviluppa 4 kW di energia termica utile per ogni kW di energia meccanica spesa. Maggiori sono i valori di COP ed EER e più prestante sarà la macchina. Questi due parametri non sono univoci e costanti, poiché le condizioni di funzionamento variano a seconda della temperatura della sorgente e dell'effetto utile desiderato. È bene specificare che COP ed EER sono più alti quando i valori delle temperature di pozzo e sorgente sono prossimi l'uno all'altro.

Le prestazioni di una pompa di calore sono notevolmente influenzate dal gas refrigerante utilizzato, al quale sono richieste certe qualità termodinamiche, chimiche e ambientali. In particolare, deve essere caratterizzato da:

- una pressione di condensazione non troppo elevata alla temperatura a valle del compressore;
- una pressione di vapore non troppo bassa, compatibile con le temperature di evaporazione richieste;
- un calore di transizione elevato, in modo da consentire minime portate di fluido e dimensioni compatte dell'impianto;
- una densità molto elevata nelle condizioni a valle dell'evaporatore, che rendono minimo il lavoro del compressore e le sue dimensioni;
- compatibilità chimica con i materiali dell'impianto;
- compatibilità ambientale in caso di rilascio in ambiente;
- atossicità e non infiammabilità per evitare rischi alla salute degli occupanti in caso di rilascio accidentale;

Dal punto di vista chimico e termodinamico esistono molti fluidi in grado di soddisfare le precedenti qualità, ma dal punto di vista ambientale non è sempre così. Il principale indicatore di compatibilità ambientale è il Global Warming Potential (GWP) che identifica il contributo all'effetto serra in caso di rilascio in ambiente. Esso è un indicatore relativo, il cui riferimento è 1 kg di CO₂ con valore fissato pari a 1. Il GWP di una sostanza è riferito all'unità di peso di tale sostanza confrontata con il valore di riferimento pertanto, nel caso di un fluido con GWP pari a 2, ogni chilogrammo inquinerà il doppio rispetto a un chilogrammo di CO₂. Una sostanza con un livello di compatibilità ambientale ottimo ha un GWP vicino a 1 o inferiore, ma alcuni fluidi frigoriferi superano anche 12000. Per limitare i danni all'ambiente in caso di rilascio accidentale di tali sostanze l'UE ha vietato, con il regolamento 517/2014, l'immissione in commercio di alcune apparecchiature in relazione al GWP del fluido utilizzato. Per esempio, dal 2025 non potranno più essere commercializzati sistemi di condizionamento ad aria mono-split contenenti fluidi frigoriferi per meno di 3 kg e con GWP pari o superiore a 750. I vantaggi degli aggregati compatti, relativi a questo aspetto, sono indicati nel paragrafo 4.1.

Le pompe di calore installate negli aggregati sono alimentate da corrente elettrica con potenze dell'ordine dei kW. Considerando l'obbligo di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili, come definito nella tabella 15, risulta quindi possibile soddisfare il fabbisogno energetico di un edificio ad alte prestazioni in modo autonomo e sostenibile.

La quota maggior consumo elettrico di un aggregato compatto è relativa alla pompa di calore ed in particolare al compressore. I ventilatori, le pompe e i sistemi accessori presentano consumi di energia elettrica dell'ordine dei Watt di potenza, talvolta trascurabili rispetto a questo componente.

Nel caso di edifici sottoposti a riqualificazione energetica il DM 26/6/2015 prevede dei coefficienti di prestazione minimi per le pompe di calore. In particolare, per quelle alimentate da energia elettrica, le prestazioni minime sono riportate nella tabella seguente.

Tabella 22 – COP minimo per pompe di calore elettriche in assetto riscaldamento

Tipo di pompa di calore	Ambiente esterno °C	Ambiente interno °C	COP minimo
Aira/aria	Bulbo secco all'entrata: 7 Bulbo umido all'entrata: 6	Bulbo secco all'entrata: 20 Bulbo umido all'entrata: 15	3.5
Aria/acqua ($P_{th, utile} \leq 35$ kW)	Bulbo secco all'entrata: 7 Bulbo umido all'entrata: 6	Temperatura entrata: 30 Temperatura uscita: 35	3.8
Aria/acqua ($P_{th, utile} > 35$ kW)	Bulbo secco all'entrata: 7 Bulbo umido all'entrata: 6	Temperatura entrata: 30 Temperatura uscita: 35	3.5
Salamoia/aria	Temperatura entrata: 0	Bulbo secco all'entrata: 20 Bulbo umido all'entrata: 15	4.0
Salamoia/acqua	Temperatura entrata: 0	Temperatura entrata: 30 Temperatura uscita: 35	4.0
Acqua/aria	Temperatura entrata: 15 Temperatura uscita: 12	Bulbo secco all'entrata: 20 Bulbo umido all'entrata: 15	4.2
Acqua/acqua	Temperatura entrata: 10	Temperatura entrata: 30 Temperatura uscita: 35	4.2

Tabella 23 – EER minimo per pompe di calore elettriche in assetto raffrescamento

Tipo di pompa di calore	Ambiente esterno °C	Ambiente interno °C	EER minimo
Aira/aria	Bulbo secco all'entrata: 35 Bulbo umido all'entrata: 24	Bulbo secco all'entrata: 27 Bulbo umido all'entrata: 19	3.0
Aria/acqua ($P_{th, utile} \leq 35$ kW)	Bulbo secco all'entrata: 35 Bulbo umido all'entrata: 24	Temperatura entrata: 23 Temperatura uscita: 18	3.5

Aria/acqua ($P_{th, utile} > 35 \text{ kW}$)	Bulbo secco all'entrata: 35 Bulbo umido all'entrata: 24	Temperatura entrata: 23 Temperatura uscita: 18	3.0
Salamoia/aria	Temperatura entrata: 30 Temperatura uscita: 35	Bulbo secco all'entrata: 27 Bulbo umido all'entrata: 19	4.0
Salamoia/acqua	Temperatura entrata: 30 Temperatura uscita: 35	Temperatura entrata: 23 Temperatura uscita: 18	4.0
Acqua/aria	Temperatura entrata: 30 Temperatura uscita: 35	Bulbo secco all'entrata: 27 Bulbo umido all'entrata: 19	4.0
Acqua/acqua	Temperatura entrata: 30 Temperatura uscita: 35	Temperatura entrata: 23 Temperatura uscita: 18	4.2

4.3.4 Accumulo integrato

L'accumulo installato all'interno di un aggregato compatto è adibito allo stoccaggio dell'acqua calda sanitaria. Questo serbatoio contiene un certo volume di acqua a seconda delle dimensioni, riscaldato tramite l'energia termica fornita dalla pompa di calore. Per garantire la compattezza del macchinario, la dimensione di un accumulo integrato è di circa 200 litri a 50 °C e consente di erogare la quantità di acqua necessaria a soddisfare il fabbisogno giornaliero di circa 4 persone. Per soddisfare maggiori fabbisogni i produttori forniscono come optional l'installazione di accumuli più grandi o aggiuntivi, tipicamente esterni al macchinario.

Le temperature di stoccaggio all'interno del serbatoio sono raggiungibili grazie al solo contributo della pompa di calore ma, per ottenere maggiori temperature o per effettuare i routinari cicli anti-legionella, è sempre presente un riscaldatore elettrico integrato la cui potenza varia da modello a modello. La resistenza elettrica consente, in caso di necessità, non solo di diminuire i tempi di ricarica dell'accumulo (inteso come il tempo necessario per riscaldare l'acqua a una certa temperatura) ma anche di sopperire ad un eventuale guasto della pompa di calore, garantendo in ogni caso la produzione di acqua calda. Alcuni boiler, integrati e no, consentono anche di sfruttare l'energia termica prodotta da eventuali pannelli solari, riducendo ulteriormente il carico sulla pompa di calore e diminuendone il consumo.

In figura 20 si può notare come l'accumulo di un aggregato compatto sia isolato in modo da ridurre al minimo le dispersioni che influenzerebbero negativamente le prestazioni del macchinario.



Figura 20 - Aggregato compatto Compact P, Nilan

4.3.5 Filtri

Per garantire una buona qualità dell'aria interna è previsto l'utilizzo di filtri sia sulla mandata che sul ritorno del circuito di aerazione. Questi componenti, a seconda della classe e dell'efficienza, trattengono alcune particelle inquinanti presenti sia nell'aria esterna che nell'aria estratta dagli ambienti.



*Figura 21 - Filtro di classe F7.
Fonte: emmeti.com*

Un filtro è composto da materiale fibroso multistrato o a rete, ripiegato e fissato su un telaio rigido. I materiali filtranti sono diversi e a seconda della tipologia varia la distanza tra ogni fibra e di conseguenza gli spazi vuoti tra esse, che influenzano la qualità di filtrazione e l'efficienza. Tra i materiali utilizzati ci sono il cotone, polimeri come il poliestere, nylon o polipropilene, oppure il tessuto non tessuto. Il materiale è disposto secondo opportune pieghe che consentono di aumentare la superficie filtrante a parità di sezione, migliorando l'efficienza di filtrazione complessiva. Per i materiali a rete o a setaccio, avviene la totale cattura delle particelle con diametri maggiori delle sezioni tra le fibre, mentre nei materiali fibrosi la disposizione delle fibre è casuale, di conseguenza servono molti strati sovrapposti per ottenere una buona efficienza complessiva.

Le grandezze qualificanti di un elemento filtrante che ne identificano le caratteristiche sono:

- Resistenza al moto;
- Efficienza di cattura;
- Capacità di accumulo;
- Resistenza al fuoco;
- Attenuazione acustica;
- Profilo di velocità in uscita

La resistenza al moto è descritta da due leggi fisiche che consentono di calcolare le cadute di pressione sul materiale filtrante e sul telaio. La prima è la legge di Darcy:

$$\Delta p_{Darcy} = \frac{\mu * \Delta x * u_m}{\varepsilon}$$

Dove u_m è la velocità media dell'aria sulla superficie, ε è la permeabilità, Δx è lo spessore e μ è la viscosità.

Le perdite concentrate relative al telaio si calcolano come:

$$\Delta p = \beta * \rho * \frac{u_f^2}{2}$$

Espressa in funzione della velocità e della densità dell'aria, con il coefficiente β che dipende dal tipo di filtro e dal design.

La caduta di pressione tra monte e valle del filtro è un valore non trascurabile sul totale delle perdite di un circuito di areazione, e dipende anche dallo sporco. È importante evidenziare che le particelle trattenute dal materiale ostruiscono in modo crescente il passaggio dell'aria ed è proprio il motivo per cui avviene regolarmente la pulizia o la sostituzione del filtro.

I meccanismi di cattura delle particelle da parte di un materiale filtrante sono diversi e variano a seconda del materiale e delle sue caratteristiche:

- Impatto inerziale;
- Diffusione Browniana;
- Intercettazione;
- Attrazione elettrostatica

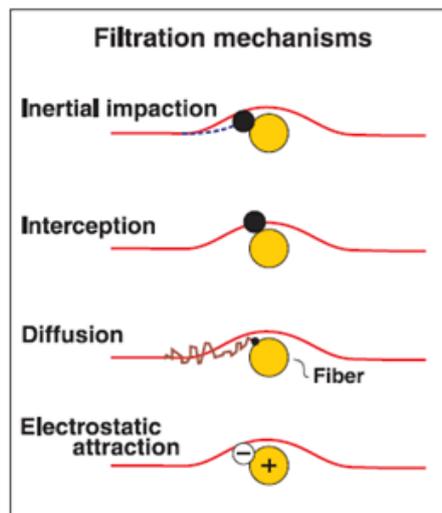


Figura 22 - meccanismi di intercettazione di un filtro.
Fonte: www.aerofeel.com

La classe l'efficienza di un filtro sono descritte dalla UNI EN 779:2012 e dalla successiva UNI EN ISO 16890:2017. Le classi secondo la norma meno recente sono suddivise in base al tipo di filtrazione (grossolana, media o fine), utili per identificare l'utilizzo del filtro: pre-filtro, filtro grossolano, filtro fine per ventilazione. Ad ogni classe sono associate delle efficienze medie rispetto alle diverse dimensioni delle particelle.

Tabella 24 - Classi di filtrazione ed efficienze, UNI EN 779:2012

Classe di filtrazione	Efficienza rispetto alla dimensione delle particelle [%]							
	10 µm	5 µm	3 µm	1 µm	0.5 µm	0.4 µm	0.3 µm	0.12 µm
G1	40 - 50	5 - 15	0 - 5	-	-	-	-	-
G2	50 - 70	15 - 35	5 - 15	0 - 5	-	-	-	-
G3	70 - 85	35 - 70	15 - 35	5 - 15	0 - 5	-	-	-
G4	85 - 98	60 - 90	30 - 55	15 - 35	5 - 15	0 - 7	0 - 5	-
M5	>98	90 - 99	70 - 90	30 - 50	15 - 30	10 - 20	5 - 15	0 - 10
M6	>99	95 - 99	85 - 95	50 - 65	20 - 40	20 - 35	10 - 25	5 - 15
F7	>99	>99	>98	85 - 95	60 - 75	50 - 70	45 - 60	25 - 35
F8	>99	>99	>99	95 - 98	80 - 90	70 - 80	65 - 75	35 - 45
F9	>99	>99	>99	>98	90 - 95	80 - 90	75 - 85	45 - 60

Il protocollo Passivhaus consiglia, per gli aggregati compatti, di installare filtri di classe G4 sul ritorno e F7 in mandata. In questo modo viene garantita una buona filtrazione dell'aria di immissione con la quasi totale assenza di PM10 e l'aria estratta viene ripulita da eventuali polveri che potrebbero causare danni o incrostazioni al recuperatore di calore e ad altri componenti.

In un aggregato compatto questi componenti vengono tipicamente collocati prima del recuperatore di calore (rispetto alla direzione di ogni flusso), sia per la motivazione descritta in precedenza, sia per consentire all'utente una sostituzione più agevole.

4.4 Principio di funzionamento

A seguito di una panoramica sui componenti principali e sulle loro funzioni è possibile procedere illustrando il funzionamento di un aggregato compatto. Nella seguente illustrazione (figura 23) si considera un aggregato compatto con climatizzazione a tutt'aria e, poiché molti prodotti in commercio sfruttano come vettore energetico l'aria esterna, la pompa di calore considerata è di tipo aria-aria integrata e invertibile. Il sistema presenta anche una serranda di bypass, che consente di evitare il passaggio dell'aria di estrazione nello scambiatore, per effettuare il free-cooling.

In una classica configurazione invernale viene prelevata aria esterna, filtrata grazie al pre-filtro e al filtro fine e successivamente inviata al recuperatore di calore. Nello scambiatore a piastre a flussi incrociati, supposto in controcorrente, viene recuperata l'energia termica dal flusso di estrazione con una certa efficienza. Il flusso di estrazione viene a sua volta filtrato prima di entrare nel recuperatore. A valle del recupero passivo, con l'ausilio della pompa di calore viene sottratto calore dal flusso di espulsione (somma del flusso di estrazione e di una parte di flusso di rinnovo regolato dalla serranda di mandata) e successivamente rilasciato nell'accumulo e utilizzato per riscaldare il flusso di aria di immissione fino alle condizioni desiderate.

LEGENDA	
1.	Ventilatore di mandata
2.	Filtro fine di mandata
3.	Serranda di regolazione dell'aria di rinnovo
4.	Filtro di estrazione
5.	Recuperatore di calore a piastre a flussi incrociati
6.	Ventilatore di estrazione
7.	Condensatore (estate)/ Evaporatore (inverno)
8.	Evaporatore (estate)/ Condensatore (inverno)
9.	Valvola di laminazione
10.	Compressore
11.	Accumulo ACS
12.	Scambiatore di calore PDC/accumulo
13.	Riscaldatore elettrico
14.	Scarico condensa
15.	Serranda di bypass
16.	Pre-filtro di mandata

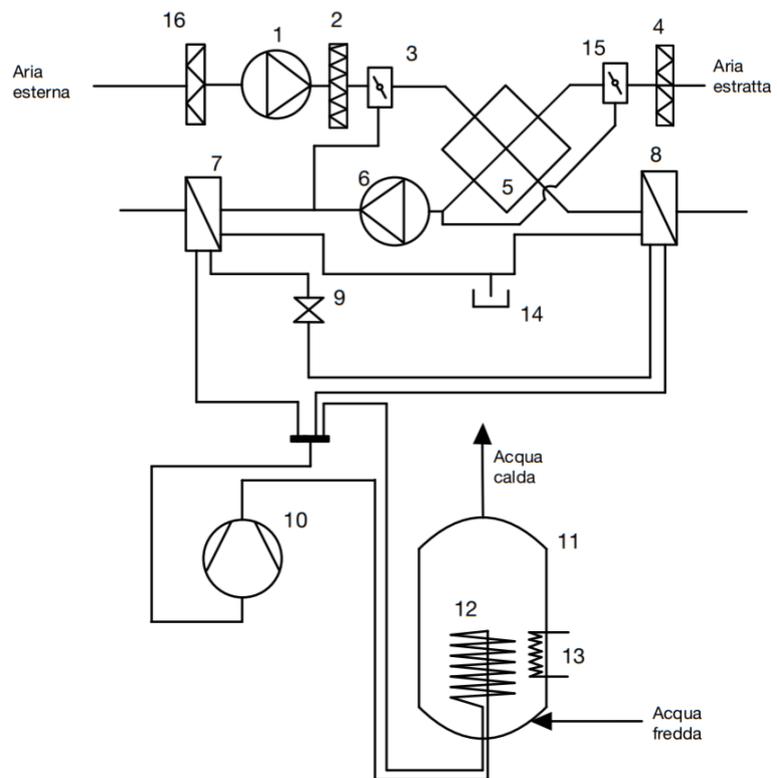


Figura 23 - Schema di funzionamento di un aggregato compatto con pompa di calore aria-aria integrata e climatizzazione a tutt'aria

A seconda del macchinario è possibile dare la priorità al riscaldamento dell'ACS e successivamente al riscaldamento dell'aria di mandata, ma non è insolito che le due cose possano avvenire in contemporanea. Nel caso in cui il serbatoio risulti alla temperatura massima verrà data la priorità all'aria di mandata. La serranda in mandata serve per regolare la quantità di flusso dai cui prelevare calore, aumentando la portata aumenta la potenza. La

serranda sull'estrazione consente di bypassare il recuperatore, in modo che si possa immettere in ambiente l'aria esterne nelle condizioni dell'ambiente esterno, e sfruttare l'aria di estrazione per il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria, sempre tramite la pompa di calore.

In una condizione tipicamente estiva, il ciclo della pompa di calore si inverte, cioè lo scambiatore sull'espulsione diventa il condensatore e lo scambiatore sulla mandata diventa l'evaporatore. In questo caso il calore utile per scaldare l'acqua calda sanitaria viene prelevato dal flusso di immissione, raffreddando tale flusso fino alle condizioni di immissione in ambiente. Il calore superfluo che non viene utilizzato dall'accumulo viene smaltito al condensatore ed espulso con il flusso di espulsione.

5. Il mercato degli aggregati compatti

5.1 Panoramica di mercato

Il mercato degli aggregati compatti è strettamente legato alla costruzione di nuovi edifici a basso consumo energetico ed a quelle ristrutturazioni che ambiscono ad un considerevole miglioramento dell'efficienza energetica. Poiché le nuove costruzioni, in Italia, risultano essere limitate all' 1-2%, gli aggregati compatti potrebbero essere dei prodotti molto promettenti non solo in tale campo, molto ristretto, ma anche in ambito di ristrutturazioni e riqualificazioni energetiche. In ogni caso resta comunque vincolante la creazione di un contesto edilizio adeguato (involucro opaco e trasparente, isolamento, ventilazione) al fine di ottenere dalla macchina le performance attese.

La potenzialità di questi prodotti è molto elevata ma si scontra frequentemente con il tradizionalismo del cliente, timoroso riguardo l'effettività dei risultati. L'utente finale è in generale ancora restio nei confronti di questo tipo di apparecchiature, preferendo prodotti e soluzioni impiantistiche tradizionali più affermati sul mercato malgrado siano spesso più costosi, ingombranti e meno ecosostenibili. Tuttavia, questa tipologia di macchinario rappresenta già ad oggi una valida alternativa rispetto alle ormai consolidate soluzioni impiantistiche, con tanto di prove sul campo e risultati verificati.

La tecnologia e le normative, sempre più stringenti degli ultimi anni, hanno portato allo sviluppo di aggregati compatti sempre più efficienti e competitivi, in grado di migliorare considerevolmente il comfort e ridurre sia i consumi energetici che l'ingombro. Ad oggi sono molte le aziende che hanno deciso di intraprenderne lo sviluppo e la commercializzazione, nonostante ciò, questi macchinari occupano un mercato più ristretto in confronto alle normali pompe di calore che ricoprono un giro di affari, seppur in calo, da 7.6 miliardi di euro nel solo anno 2018⁸.

I macchinari in commercio sono molti pertanto si è deciso di analizzare e confrontare solo alcuni di essi. Per poterli rapportare su base più oggettiva possibile si è fatto riferimento a quelli dotati della certificazione per componenti di case passive denominata “*Certification of Compact Heat Pump Units*” e ad un altro non certificato, ma spesso consigliato dal

⁸ Fonte: Pompe di calore: un mercato che gode (ancora) di ottima salute, 15 luglio 2019, www.casaeclima.com

protocollo CasaClima. Questo certificato semplifica il confronto tra i vari prodotti poiché viene rilasciato sulla base di prove e condizioni standardizzate, univoche per ogni categoria in analisi. In virtù di ciò, gli apparecchi oggetto di confronto sono i seguenti:

- LWZ 304 SOL, prodotto da Stiebel Eltron;
- Ventech PKOM4 Classic, prodotto da Pichler;
- Compact P, prodotto da Nilan;
- ComfoBox 5, prodotto da Zehnder;
- Aerosmart m, prodotto da Drexel und Weiss;

Tra i prodotti analizzati solo l'aggregato compatto di Zehnder non è certificato Passivhaus, per il quale si farà riferimento alle sole schede tecniche fornite dal produttore.

5.2 Certification of Compact Heat Pump Units

Come accennato in precedenza, questo certificato viene rilasciato dal Passive House Institute, un istituto di ricerca indipendente, fondato nel 1996 dal Dr. Wolfgang Feist. Questo istituto si occupa principalmente della consulenza e del ruolo di guida tecnica nel campo degli edifici passivi, dalle fabbriche al residenziale. L'istituto svolge quindi un ruolo di collaboratore, collaudatore e certificatore indipendente, sfruttando dei software da loro progettati di cui migliorano costantemente gli algoritmi e i metodi di simulazione dinamica. È molto importante ricordare che questo istituto collabora a stretto contatto con le aziende e mette a disposizione di tutti le proprie ricerche e programmi.

Il Passive House Institute mette a disposizione i propri strumenti, per esempio il PHPP, Passive House Planning Package, che viene utilizzato come base per la pianificazione del bilancio energetico negli edifici. Il Passive House Institute, pertanto, rilascia certificati sia per edifici nel loro complesso, sia per i diversi componenti che possono essere utilizzati all'interno degli ambienti passivi. Tra i molti certificati per componenti, quello di specifico interesse sull'argomento relativo ai sistemi compatti, definiti come "Compact Heat Pump System". I parametri su cui si basa tale certificato sono sia energetici che acustici e descrivono i valori limite, i requisiti e le condizioni tali per cui, nel caso siano rispettati i parametri, possa essere rilasciato il certificato.

I criteri di valutazione, come riportato dal documento “Certification of Compact Heat Pump Unit. Requirement summary” disponibile sul sito ufficiale del PHI, riguardano nello specifico:

1. Comfort;

La temperatura di ingresso deve essere almeno 16,5 °C anche in condizioni di sola ventilazione. Questa temperatura deve essere raggiunta anche quando l'aria esterna è a -10 °C.

2. Efficienza nel recupero di calore passivo;

La quota di calore sensibile recuperato deve essere almeno pari al 75% tra il calore sulla aria esausta e quella in ingresso con i flussi bilanciati.

3. Efficienza elettrica;

L'efficienza elettrica almeno pari a 0.45 Wh/m³ deve essere raggiunta in condizioni di pura ventilazione in fase di specifici test.

4. Ermeticità;

Le perdite d'aria non devono eccedere il 3% della portata di aria media nel range di lavoro della macchina.

5. Efficienza della pompa di calore in condizioni di esercizio per riscaldamento ambientale e produzione di acqua calda domestica;

I parametri caratteristici quali il COP e le performance di riscaldamento ambientale, generazione di acqua calda, standby e perdite di calore sono determinate in ogni condizione di test definita dal certificatore. Il valore limite di efficienza è la domanda di energia primaria annuale di 55 kWh/m² per: condizionamento ambienti, ventilazione, produzione ACS e ausiliari elettrici.

La verifica è basata su case passive con un carico termico di 12 W/m², una domanda di calore pari a 15 kWh/(m²a) e una domanda specifica di calore di 18 kWh/(m²a) per la produzione di acqua calda sanitaria. Se l'aggregato eccede il valore massimo di energia primaria annuale (55 kWh/m²) ad un dato valore di portata, viene ridotto il range di funzionamento in accordo con il seguente grafico.

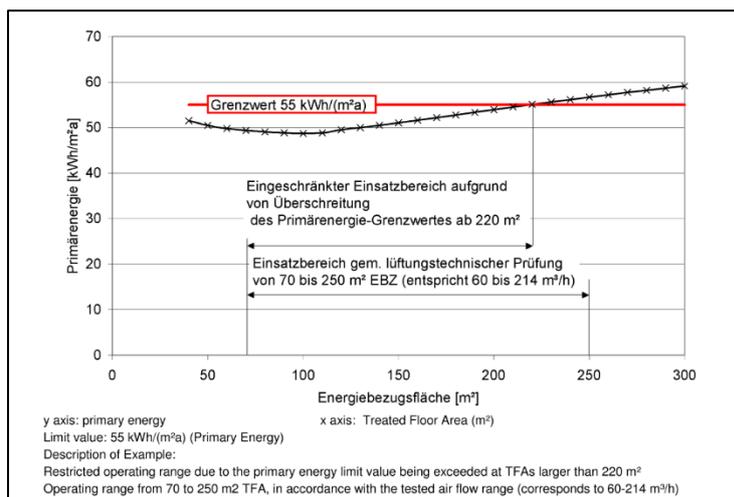


Figura 24 - Range di applicazione in base al consumo di energia primaria.
Fonte: PHI

6. Protezione dal rumore;

Queste macchine hanno generalmente un'elevata emissione di rumore soprattutto nelle basse frequenze sotto i 100 Hz. Pertanto, il produttore deve illustrare lo spettro completo di emissione sonora ed eventualmente fornire delle soluzioni per la riduzione del rumore.

7. Requisiti identici alle unità di pura ventilazione in termini di:

- Taratura e regolazione
- Filtri e igiene nell'aria ambiente
- Protezione antigelo
- Consumo di elettricità in standby

5.3 LWZ 304 SOL, Stiebel Eltron

La società *Stiebel Eltron*, fondata nel 1924, si occupa da oltre novant'anni dello sviluppo di prodotti e soluzioni tecniche in ambito energetico a servizio degli edifici e di energie rinnovabili. La filosofia dell'azienda è di costruire prodotti efficienti e a basso consumo che utilizzino elettricità, poiché quest'ultima può essere prodotta in modo sostenibile da fonti rinnovabili. Tra i loro prodotti si è scelta la macchina LWZ 304 SOL, poiché presenta caratteristiche molto interessanti dal punto di vista della climatizzazione e delle prestazioni.

Installando questo aggregato compatto è necessario un layout del secondo tipo (paragrafo 0) poiché la regolazione della temperatura negli ambienti avviene tramite sistemi radianti e in parte con la ventilazione.

Il prodotto in questione è di tipo “4 in 1”, cioè consente di effettuare riscaldamento e raffrescamento degli ambienti, ventilazione, produzione di ACS, il tutto in un'unica soluzione. L'involucro della macchina è acusticamente ottimizzato, in modo da ridurre il rumore emesso e consentire il giusto comfort acustico all'interno delle abitazioni. Essa è predisposta per l'abbinamento con un impianto solare sia di tipo termico che fotovoltaico, molto utile per aumentare l'efficienza dell'impianto e ridurre, di conseguenza, il carico sul macchinario ed il costo in bolletta.

L'aggregato LWZ 304 SOL consente di riscaldare abitazioni con un carico totale massimo consigliato di 7.5 kW, in alternativa per carichi maggiori si può optare per lo stesso modello di potenza superiore (LWZ 404 sol). Il produttore dichiara che il serbatoio da 235 litri è in grado di garantire fino a 375 litri di acqua ad una temperatura di 40 °C, sufficiente per circa cinque inquilini.

Il sistema preleva aria dall'ambiente esterno e ne utilizza solo una parte per la ventilazione. Successivamente al passaggio in una batteria di scambio termico, l'aria di immissione attraversa lo scambiatore di calore a flussi incrociati, con un'efficienza dichiarata dal produttore prossima al 90%. La batteria installata a monte del recuperatore di calore a piastre consente il preriscaldamento, il riscaldamento o il raffreddamento con deumidificazione, a seconda delle necessità. Questa configurazione permette di effettuare:

- la sola ventilazione con recupero termico, con batteria fuori servizio;
- il riscaldamento dell'aria di rinnovo fino a 45°C con successivo passaggio nello scambiatore, nel quale una parte del calore viene ceduta al flusso di estrazione ($T_{\max,imm}$ 35°C);
- il raffreddamento con deumidificazione con successivo post riscaldamento dell'aria nel recuperatore. È un grande pregio della configurazione di questo macchinario, perché è possibile tenere temperature più basse sulla batteria.

La portata di aria esterna residua e la portata di aria estratta trasferiscono calore al circuito di riscaldamento attraverso uno scambiatore di calore collegata alla PDC aria/acqua. Una parte del calore estratto dall'aria consente di riscaldare gli ambienti con sistemi radianti a bassa temperatura e una parte viene utilizzata per riscaldare l'acqua del serbatoio.

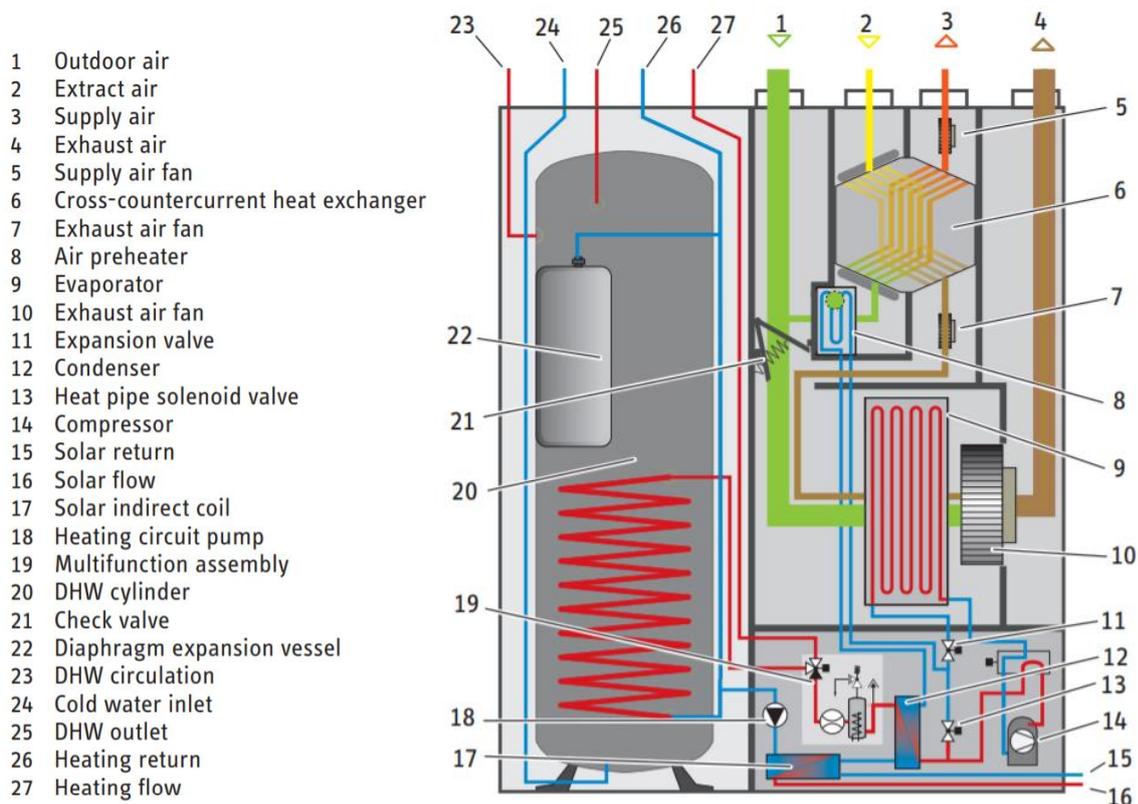


Figura 25 - Schema di funzionamento, LWZ 304 SOL.
Fonte: Stiebel Eltron

La sola pompa di calore garantisce ACS a 50°C in condizioni di temperatura dell'aria esterna di 2°C. In aggiunta, qualora la temperatura esterna sia particolarmente bassa e a seconda della domanda, si attiva un riscaldatore elettrico per garantire la copertura della domanda di acqua calda ed effettuare i cicli anti-legionellosi.

Il boiler è integrato nel macchinario ma su richiesta è possibile installare un boiler aggiuntivo sia con funzione di serbatoio tampone, sia in aggiunta all'accumulo dell'acqua calda sanitaria.

Il raffrescamento degli ambienti avviene sempre grazie alla pompa di calore che invertendo il ciclo di funzionamento assorbe calore dall'ambiente interno che può essere sfruttato dall'accumulo o smaltito con il flusso di espulsione.

Di seguito sono riportate le principali specifiche tecniche della macchina, indicate dal produttore e riferite ad un macchinario nuovo.

Tabella 25 - Dati principali della scheda tecnica, LWZ 304 SOL
Fonte: Stiebel Eltron

HEATING		
Heating output A-7/W35 (EN 14511)	2.98	kW
Heating output A2/W35 (EN 14511)	4.32	kW
Heating output A7/W35 (EN 14511)	5.29	kW
Heating output emergency/ booster heater	2.9/5.8/8.8	kW
Cooling capacity at A35/W7	3.6	kW
Max heating output	13	kW
POWER CONSUMPTION		
Power consumption A-7/W35 (EN 14511)	1.15	kW
Power consumption A2/W35 (EN 14511)	1.33	kW
Power consumption A7/W35 (EN 14511)	1.44	kW
COEFFICIENT OF PERFORMANCE		
COP A-7/W35 (EN 14511)	2.72	-
COP A2/W35 (EN 14511)	3.40	-
COP A7/W35 (EN 14511)	3.84	-
SOUND EMISSIONS		
Sound power level (EN 12102)	56	dB(A)
APPLICATION LIMITS		
Min./Max. application limit heat source	-20/35	°C
Min. installation room volume	8	m ²
DHW temperature with HP at A2	50	°C
ELECTRICAL DATA		
Max. electrical consumption (no EHP)	3.2	kW
Max./nominal power consumption, fan	170	W
Power consumption, circulating pump	<45	W
DIMENSIONS and WEIGHT		
H x W x D	1885 x 1430 x 812	mm
Weight, empty	415	kg
Weight, full	665	kg
Cylinder capacity	235	l
GENERAL VALUES		
Heat recovery up to	90	%
Max. recommended standard heat load	7.5	kW

Application range, living space	<200	m ²
Supply air/ extract air flow rate	80-300	m ³ /h
Nominal air flow rate	240	m ³ /h
Outdoor air/ exhaust air flow rate	1000	m ³ /h
Expansion vessel	15	L
REFRIGERANT		
Refrigerant	R407C	-
Refrigerant charge	2.5	kg
INDOOR AIR QUALITY		
Filter class, extract air	G4	-
Filter class, supply air	M5	-
Filter class, outdoor air	G1	-

Il macchinario è certificato dal Passivhaus institute, per l'utilizzo all'interno delle abitazioni a basso consumo energetico costruite secondo lo standard di qualità tedesco.

Di seguito sono riportati i parametri principali del certificato.

Tabella 26 - Prestazioni generali secondo PHI, LWZ 304 SOL

Heat recovery		87%
Electric efficiency/Max.		0.42 Wh/m ³
Air tightness	V_{leak, internal}	2.6%
	V_{leak, external}	2.0%
Frost protection		-15 °C
Total primary Energy Demand		39 kWh/(m ² a)
Standby power consumption		1.5 W

Per quanto riguarda il comfort termico, la minima temperatura di mandata raggiunta con l'uso della pompa di calore è pari a 16.5 °C. Pertanto, non è necessario installare canali sotterranei per il pretrattamento dell'aria.

L'efficienza elettrica è pari al dato riportato nella precedente tabella come "Electric efficiency", riferito ad una portata d'aria 198 m³/h, inferiore al valore massimo fissato a 0.45 Wh/m³. Il consumo elettrico in condizioni di standby pari a 1.5 W eccede di poco il valore

obiettivo fissato a 1 W, di conseguenza può non essere necessario scollegare il macchinario dall'alimentazione durante lunghi periodi di inutilizzo.

I seguenti valori misurati e utilizzati su PHPP⁹ sono riferiti a un flusso d'aria compreso tra i 160 m³/h e i 230 m³/h.

1. Riscaldamento;

Tabella 27 - Prestazioni in riscaldamento secondo PHI, LWZ 304 SOL

HEATING		Test point 1	Test point 2	Test point 3	Units
Outside air temperature	T_{amb}	-7	2	7	°C
Thermal output heating heat pump	P_{WP, Heiz}	2.74	3.93	4.82	kW
COP number heating heat pump	COP_{Heiz}	2.28	2.86	3.25	-
Maximum available supply air temperature with heat pump only		35			°C

2. Produzione di acqua calda;

Tabella 28 - Prestazioni in produzione di ACS secondo PHI, LWZ 304 SOL

HOT WATER		Test point 1	Test point 2	Test point 3	Test point 4	Units
Outside air temperature	T_{amb}	-7	2	7	20	°C
Thermal output heat pump for heating up storage tank	P_{DHW, heating up}	2.88	4.00	4.96	6.34	kW
Thermal Output Heat Pump for reheating storage tank	P_{DHW, reheating}	2.65	3.87	4.68	6.07	kW
COP Heat Pump for heating up storage tank	COP_{DHW, heating up}	2.49	2.90	3.28	3.70	-
COP Heat Pump for reheating storage tank	COP_{DHW, reheating}	2.28	2.76	3.03	3.44	-

⁹ Passive House Planning Package

<i>Average storage tank temperature</i>	48.8	°C
<i>Specific storage heat losses</i>	1.51	W/K
<i>Exhaust air addition (if applicable)</i>	430	m ³ /h

3. Isolamento acustico;

Il livello di pressione sonora dichiarato è pari a 56 dB(A). Il valore è stato misurato all'interno della stanza in cui era installato il macchinario, con un'area di assorbimento equivalente pari a 4 m², con flusso d'aria di 230 m³/h. Il valore eccede di molto i 35 dB(A) stabiliti da Passivhaus e di conseguenza è consigliata l'installazione in luogo separato dalla zona abitata. Insieme alla macchina viene fornito in dotazione un silenziatore di cui il produttore propone una possibile configurazione in grado di ridurre notevolmente le frequenze più basse dello spettro di emissione sonora.

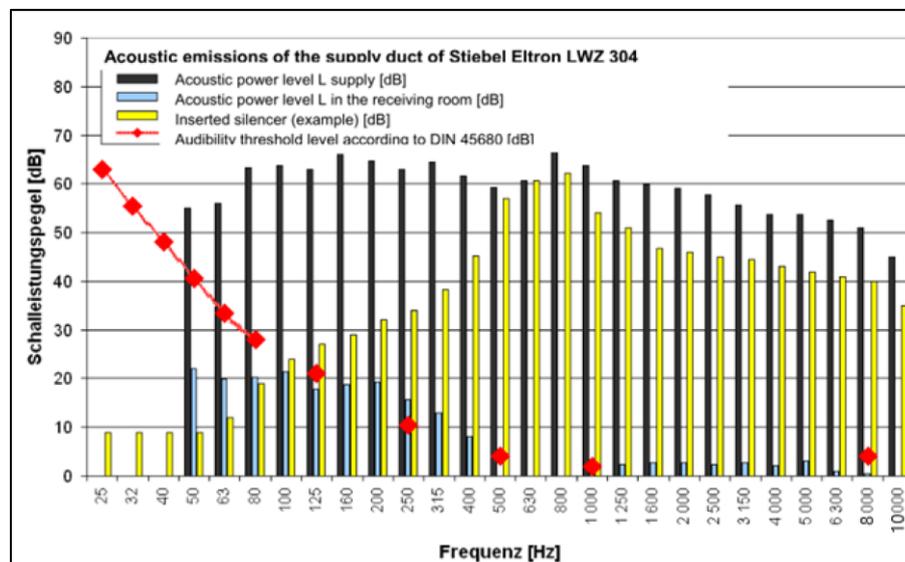


Figura 26 - Emissione sonora LWZ 304 SOL secondo PHI, LWZ 304 SOL

4. Indoor air quality;

L'unità di ventilazione è facilmente accessibile e di facile pulizia. I filtri possono essere sostituiti direttamente dall'utente seguendo le istruzioni del manuale.

Tabella 29 - Filtri installati, LWZ 304 SOL

Filtri utilizzati	
Aria esterna in ingresso	F7
Aria esausta	G4

I filtri installati rispettano gli standard Passivhaus, pertanto non è necessaria l'installazione di filtri più fini.

5. Pompa di calore;

Utilizzabile in case passive in un range di portata d'aria dai 160 a 230 m³/h, considerando una portata di 30 m³/h/persona e un carico termico di riscaldamento pari a 12 W/m². Nel certificato sono riportati i fattori di performance stagionali, considerando la presenza o no di uno preriscaldatore geotermico con tubi interrati.

Tabella 30 – SPF secondo PHI, LWZ 304 SOL

Seasonal performance factor SPF (without ground heat exchanger)	2.8
Primary energy consumption (without ground heat exchanger) *	39 kWh/(m ² a)
Seasonal performance factor SPF (with ground heat exchanger)	3.1
Primary energy consumption (with ground heat exchanger) *	34 kWh/(m ² a)

*rispetto all'edificio di riferimento in condizioni di test.

6. Range di applicabilità;

La temperatura dell'aria massima raggiunta in mandata è pari a 35 °C con la sola pompa di calore attiva. In caso di necessità si possono raggiungere temperature più alte con un riscaldatore elettrico (solo se la pompa di calore lavora al massimo della potenza e senza mai superare i 52 °C). In alternativa si può variare la configurazione

della pompa di calore seguendo le istruzioni del produttore per ottenere una temperatura più alta senza l'ausilio del riscaldatore elettrico. È preferibile utilizzare sistemi radianti, evitando così una temperatura dell'aria di immissione troppo elevata.

La domanda di energia primaria relativa all'apparecchio è descritta dal seguente grafico in funzione della portata di aria. In generale il consumo elettrico è ben al di sotto del limite massimo consentito di 55 kWh/m²/y e per il range di portata utilizzato in fase di test si attesta intorno a valori di 40 kWh/m²/y o inferiori.

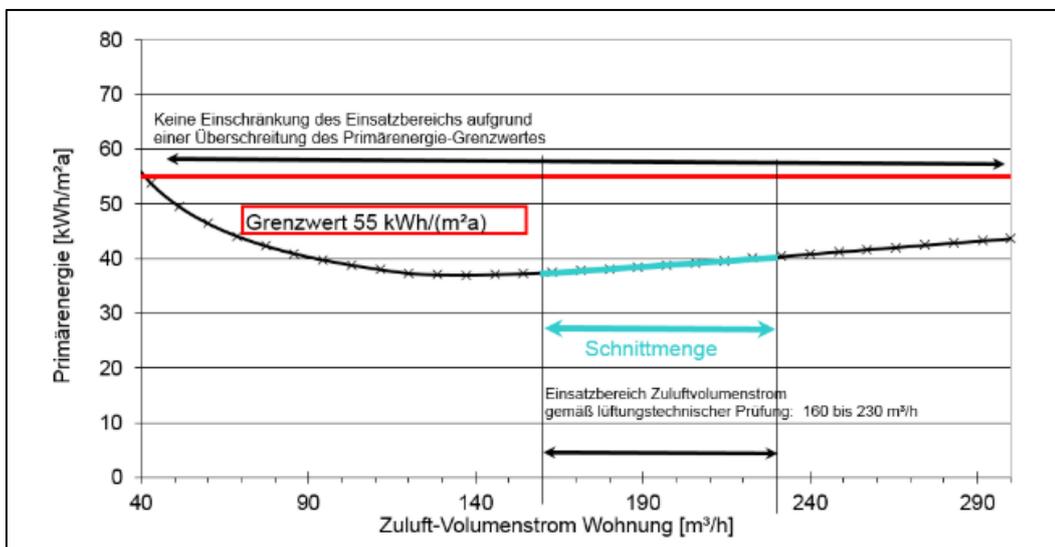


Figura 27 - Domanda di energia primaria in funzione della portata di aria, LWZ 304 SOL

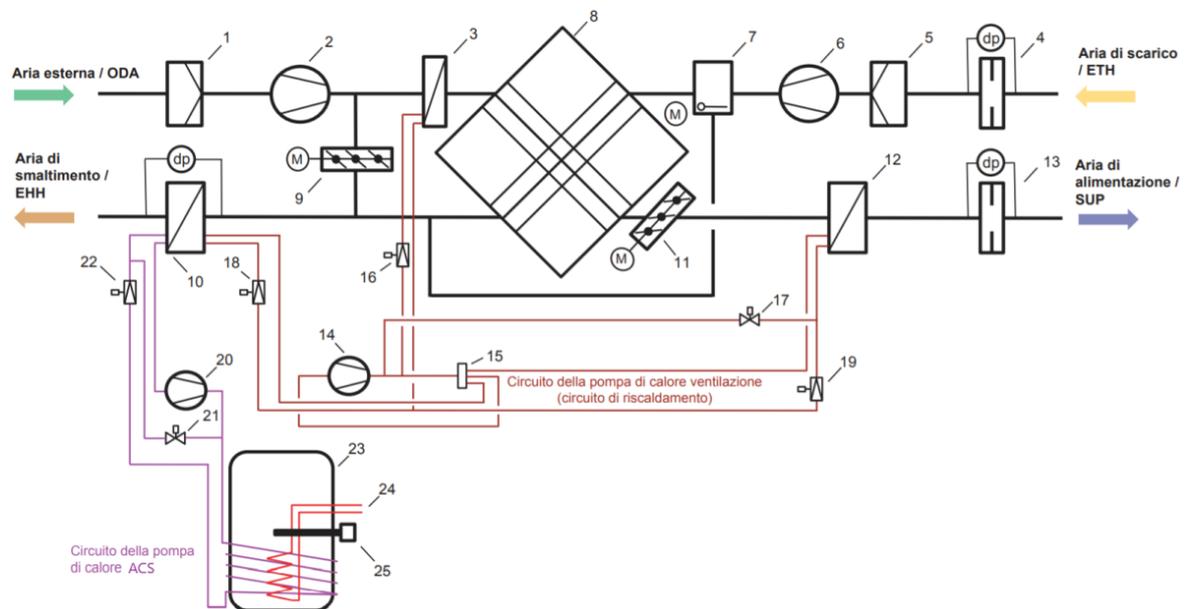
5.4 Ventech PKOM4 Classic, Pichler

Il secondo sistema compatto in analisi è prodotto dalla Lufttechnik J. PICHLER Gesellschaft m.b.H, con sede principale in Austria, a Klagenfurt. L'azienda, fondata nel 1959 da Johann Pichler, si occupa della progettazione, produzione e installazione di soluzioni complete e personalizzate in campo di ventilazione e climatizzazione. I punti di forza dell'azienda sono i settori della ventilazione e del confort ambientale.

La Ventech PKOM4 classic è una delle ultime innovazioni della casa austriaca, pensata per garantire prestazioni e comfort nelle abitazioni di tipo passivo, infatti è dotato di certificato Passive House. Anche la PKOM4 è in grado di fornire in un'unica soluzione la ventilazione, il riscaldamento, il raffreddamento e la produzione di acqua calda sanitaria. Il sistema di

recupero del calore può essere di tipo sensibile o entalpico, con la possibilità di bypass molto utile nei mesi estivi, soprattutto nelle ore notturne.

Durante il funzionamento il sistema preleva aria dall'esterno e ne immette la quota di rinnovo (preriscaldandola se necessario) nello scambiatore di calore che, su richiesta del cliente, può essere a secco o a umido. In questo componente l'aria esterna sottrae calore dall'aria di estrazione e successivamente viene ulteriormente riscaldata in uno scambiatore alimentato da una pompa di calore aria/aria per essere immessa negli ambienti alla temperatura utile a coprire il carico termico di riscaldamento. Una seconda pompa di calore di tipo aria/acqua garantisce il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria, in modo separato.



- | | |
|--|--|
| <p>1 Filtro dell'aria esterna M7
 2 Ventola aria esterna
 3 Regolazione del riscaldamento preliminare per l'aria esterna
 4 Misurazione della quantità d'aria di scarico
 5 Filtro dell'aria di scarico M5
 6 Ventola aria di scarico
 7 Valvola bypass con motore di regolazione
 8 Scambiatore di calore a corrente contraria
 9 Valvola AUL/FOL con motore di regolazione
 10 Scambiatore di calore nell'aria di smaltimento
 11 Valvola AUL/ZUL con motore di regolazione
 12 Scambiatore di calore nell'aria di alimentazione
 13 Misurazione della quantità d'aria di alimentazione
 14 Compressore con inverter (circuito RR)</p> | <p>15 Valvola di selezione a 4 vie (circuito RR)
 16 Valvola regolatrice regolazione del riscaldamento preliminare (circuito RR)
 17 Valvola elettromagnetica scongelamento (circuito RR)
 18 Valvola d'espansione riscaldamento (circuito RR)
 19 Valvola d'espansione raffreddamento (circuito RR)
 20 Compressore (circuito AC)
 21 Valvola elettromagnetica scongelamento (circuito AC)
 22 Valvola d'espansione acqua calda a uso sanitario (circuito AC)
 23 Accumulatore d'acqua calda a uso sanitario
 24 Regolazione di riscaldamento nell'accumulatore
 25 Riscaldamento elettrico acqua per usi industriali</p> |
|--|--|
- AC = Circuito dell'acqua
 RR = Circuito dell'aria di alimentazione (riscaldamento / raffreddamento)

Figura 28 - Schema di funzionamento, Pkom 4. Fonte: Pichler

Entrambe le pompe di calore prelevano l'energia termica necessaria a soddisfare il fabbisogno, dall'aria di espulsione (somma della portata di estrazione e della portata esterna residua). Il vantaggio di avere due pompe di calore distinte risiede nella possibilità che le stesse possano lavorare simultaneamente consentendo il riscaldamento dell'acqua e dell'aria in modo completamente indipendente.

Di seguito vengono riportati i dati principali dalla scheda tecnica fornita dal produttore.

Tabella 31 - Dati tecnici principali, Pkom4

VENTILAZIONE		
Portata d'aria	Da 80 a 250	m ³ /h
Portata d'aria nominale (EN13141-7)	175	m ³ /h
Portata d'aria nominale (PHI)	157	m ³ /h
ΔP_{\max} a V_{\max}	200	Pa
T_{esterna} consentita	-15/+40	°C
$P_{\text{risc, max}}$, PDC A2 e V_{\max}	1.3	kW
$P_{\text{raff, max}}$, PDC A35 e V_{\max}	1.3	kW
Tipo di refrigerante	R134a	-
Quantità refrigerante	1	kg
Efficienza recuperatore st / h (PHI)	88/85	%
Efficienza elettrica (PHI)	0.33	W/(m ³ /h)
Perdite d'aria esterne/ interne (PHI)	1.4/ 0.8	%
ACQUA CALDA SANITARIA		
Capacità accumulo	212	l
T_{\max} con PDC	55	°C
P_{\max} con PDC	65	°C
Potenza EHP	1.5	kW
Tipo di refrigerante	R134a	-
Quantità refrigerante	1	kg
Profilo di consumo	L	-
Classe di efficienza energetica	A	-
Efficienza energetica	95	%
IMPIANTO ELETTRICO		
Alimentazione (monofase)	230 V / 50 Hz	-
$P_{\text{el, max}}$	2.8	kW

Corrente massima	12.8	A
ALLOGGIAMENTO		
Dimensioni (Lu x La *H)	741 x 734 x 2012	mm
Peso	260	kg

L'aggregato compatto PKOM4 possiede la certificazione per casa passiva secondo i criteri stabiliti dal PHI, i cui dati sono riportati in seguito.

Tabella 32 - Prestazioni generali secondo PHI, PKOM4

Heat recovery (enthalpy heat exchanger)		85%
Heat recovery (dry heat exchanger)		88%
Electric efficiency		0.33 Wh/m ³
Air tightness	V _{leak, internal}	0.8%
	V _{leak, external}	1.4%
Frost protection		-15 °C
Total primary Energy Demand		45 kWh/(m ² a)

In termini di confort, la minima temperatura di mandata raggiunta con l'uso della sola pompa di calore è pari a 16.5 °C pertanto, così come dichiarato per l'aggregato compatto LWZ 304 SOL, non è necessario installare canali di preriscaldamento sotterranei.

Il recupero termico utilizzando un recuperatore entalpico è pari all' 85%, che sale all' 88% nel caso di recuperatore a secco. I test condotti dal PHI sul prodotto, sono stati rilevati utilizzando il macchinario dotato di recuperatore di tipo entalpico.

Il consumo elettrico della macchina, pari a 0.33 Wh/m³ riferito ad una portata di aria 192 m³/h, è ben al di sotto del massimo ammissibile di 0.45 Wh/m³. Il consumo elettrico in condizioni di standby pari a 9.6 W, invece, eccede di molto il valore obiettivo di 1 W, di conseguenza è consigliato scollegarlo dall'alimentazione per lunghi periodi di inutilizzo.

Poiché questo macchinario è dotato di sistema di recupero dell'umidità, il certificato riporta una sezione relativa a tale argomento. In particolare, viene dichiarato che utilizzare un recupero di tipo entalpico porta ad una diminuzione della domanda energetica in periodo di riscaldamento. Il motivo risiede nel fatto che l'umidità recuperata che pertanto non viene

sottratta all'ambiente riscaldato, riduce l'evaporazione dai componenti edilizi e dall'arredamento interno. Questo effetto positivo riduce il carico termico di riscaldamento e viene tenuto in considerazione attraverso l'aumento di una certa percentuale dell'efficienza di recupero. L'entità di quest'ultima dipende dal livello di recupero dell'umidità che si attesta intorno al 64%, ma ogni qualvolta questo superi il 60% è necessario un controllo della portata di aria di immissione, per evitare livelli di umidità nell'aria interna troppo elevati.

Il recupero dell'umidità può essere molto utile anche in condizioni di clima temperato, consentendo di mantenere l'umidità interna dei locali ad un livello accettabile qualora il tasso di umidità dell'aria esterna risulti basso. Nel caso in cui il recupero di umidità sia superiore al 60% in condizioni di occupazione media, è necessario considerare nel bilancio energetico dell'edificio un aumento della portata di aria.

Il produttore fornisce delle strategie di controllo dell'aria immessa in ambiente sulla base di un rilevatore di CO₂ e di umidità relativa, attraverso il quale si può impostare il macchinario in modo tale da ridurre l'aria in mandata quando l'umidità relativa scende al di sotto del 30% e, al contrario, aumentarla qualora superi il 60%.

I seguenti valori tabellati sono riferiti a un flusso d'aria da 121 a 192 m³/h.

1. Riscaldamento;

Tabella 33 - Prestazioni in riscaldamento secondo PHI, PKOM4

HEATING		Test point 1	Test point 2	Test point 3	Test point 4	Units
Outside air temperature	T_{amb}	-15	-7	2	7	°C
Thermal output heating heat pump	P_{WP, Heiz}	0.612	0.933	0.771	0.776	kW
COP number heating heat pump	COP_{Heiz}	1.53	2.61	3.15	3.86	-
Maximum available supply air temperature with heat pump only		33				°C

2. Produzione di acqua calda;

Tabella 34 - Prestazioni in produzione di ACS secondo PHI, PKOM4

HOT WATER		Test point 1	Test point 2	Test point 3	Test point 4	Units
<i>Outside air temperature</i>	T_{amb}	-7	2	7	20	°C
<i>Thermal output heat pump for heating up storage tank</i>	P_{DHW, heating up}	0.84	1.15	1.38	1.67	kW
<i>Thermal Output Heat Pump for reheating storage tank</i>	P_{DHW, reheating}	0.80	1.19	1.35	1.66	kW
<i>COP Heat Pump for heating up storage tank</i>	COP_{DHW, heating up}	2.28	2.97	3.34	3.94	-
<i>COP Heat Pump for reheating storage tank</i>	COP_{DHW, reheating}	2.02	2.88	3.10	3.76	-
<i>Average storage tank temperature</i>		45				°C
<i>Specific storage heat losses</i>		1.51				W/K
<i>Exhaust air addition (if applicable)</i>		200				m ³ /h

3. Isolamento acustico;

Il livello di pressione sonora dichiarato è pari a 49 dB(A) ed è stato misurato all'interno della stanza in cui era installato il macchinario. L'area di assorbimento equivalente del locale di test è pari a 4 m² con flusso di aria di 200 m³/h. Il livello di pressione sonora eccede i 35 dB(A) di conseguenza è consigliata l'installazione in luogo isolato e separato dalla zona abitata in modo tale da evitare il disturbo. Diventa necessario anche in questo caso, l'utilizzo di un silenziatore di cui il produttore fornisce una possibile configurazione. Il test fornito dal produttore riporta sia lo spettro di emissione in corrispondenza della scocca della macchina, sia in uscita dal condotto di emissione dell'aria.

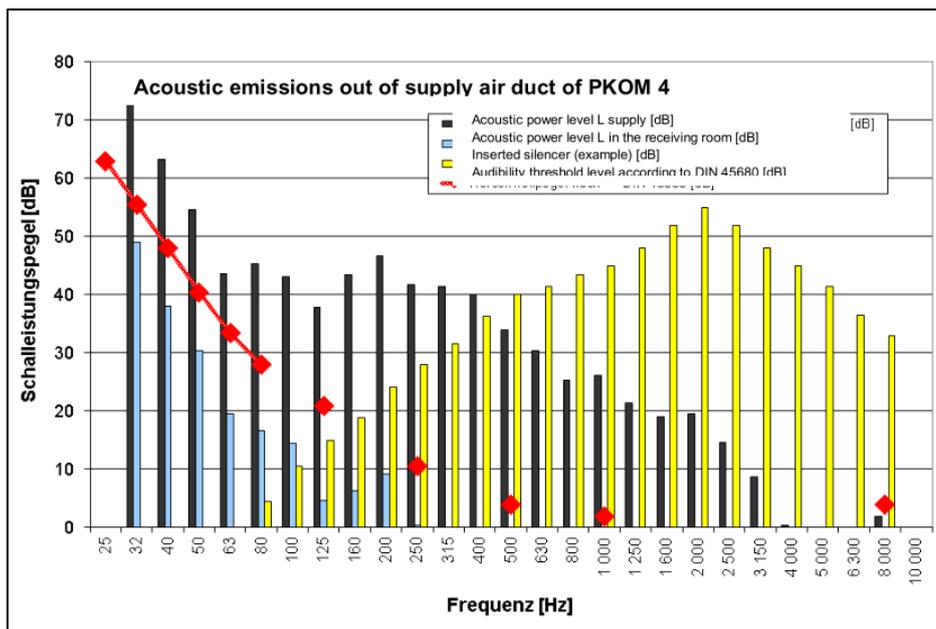
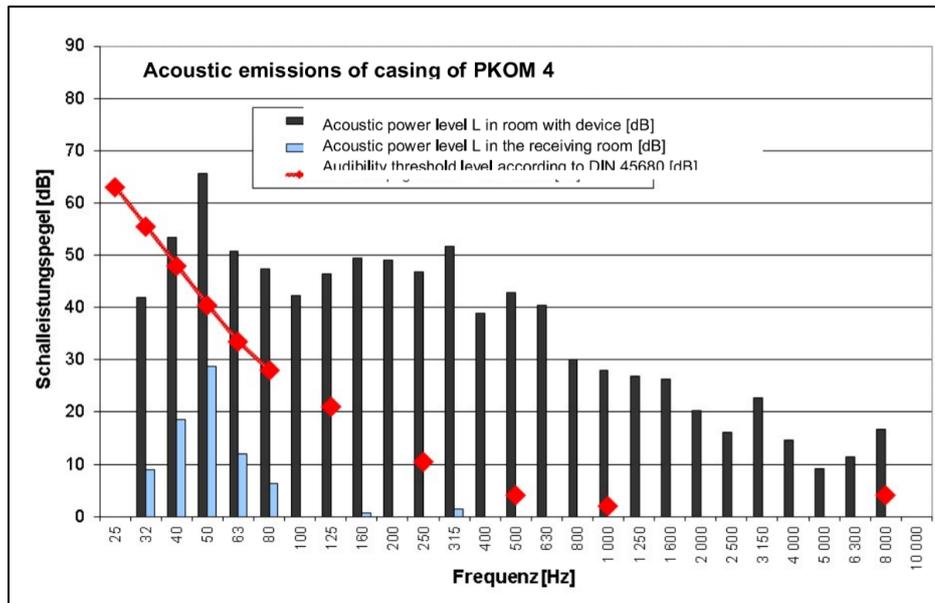


Figura 29 - Emissione sonora (casing e condotti), Pkom 4. Fonte: PHI, PKOM4

4. Indoor air quality;

L'unità di ventilazione è facilmente accessibile e di facile pulizia. I filtri possono essere sostituiti direttamente dall'utente seguendo le istruzioni del manuale. Il produttore consiglia inoltre di installare un ulteriore e separato filtro F7 sulla mandata.

Tabella 35 - Filtri installati, PKOM4

Filtri utilizzati	
Aria esterna in ingresso	G4
Aria esausta	M5

Il filtro F7 in mandata è la tipologia di filtro conforme agli standard per case passive, pertanto il filtro sull'aria di rinnovo va sostituito.

5. Pompa di calore;

Utilizzabile in case passive con un range di portata di aria dai 121 ai 192 m³/h considerando una portata di 30 m³/h/persona e un carico termico di riscaldamento pari a 12 W/m².

Tabella 36 – SPF secondo PHI, PKOM4

Seasonal performance factor SPF (without ground heat exchanger)	2.1
Primary energy consumption (without ground heat exchanger) *	45 kWh/(m ² a)
Seasonal performance factor SPF (with ground heat exchanger)	2.4
Primary energy consumption (with ground heat exchanger) *	40 kWh/(m ² a)

*rispetto all'edificio di riferimento utilizzato nelle misure

6. Range di applicabilità

La temperatura massima raggiunta in mandata è pari a 33 °C con la sola pompa di calore attiva. In caso di necessità di raggiungere temperature più alte si può attivare un riscaldatore elettrico (solo se la pompa di calore lavora al massimo della potenza, mai superare i 52 °C). In ogni caso quest'ultimo non deve mai essere attivato prima che la pompa di calore funzioni a piena potenza.

La domanda di energia primaria di questo modello di aggregato compatto varia di circa il 38% tra la portata minima e massima dichiarata, ma non supera mai i 55 kWh/m²/y.

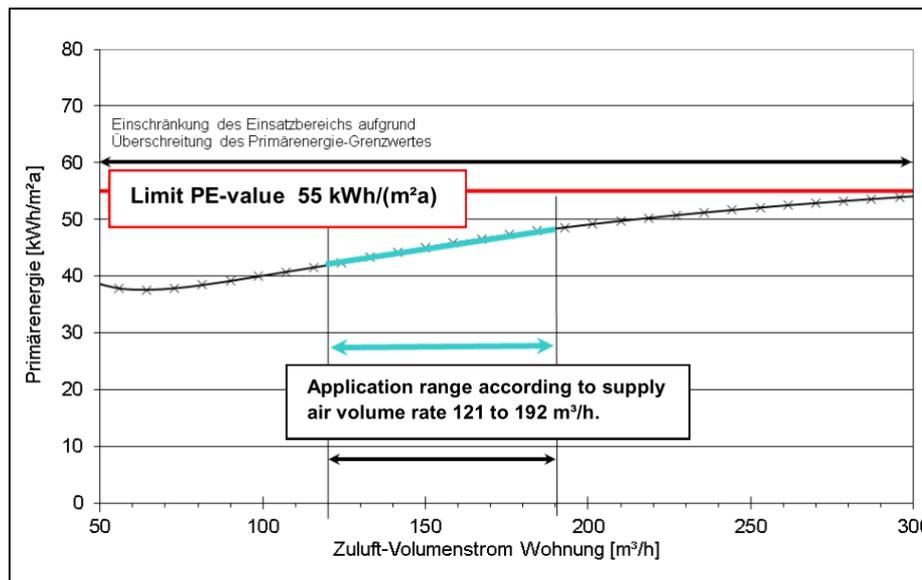


Figura 30 - Consumo di energia primaria, PKOM4. Fonte: PHI

5.5 Compact P, Nilan

Nilan è un'azienda danese fondata nel 1974 che si occupa dello sviluppo e della produzione di sistemi di risparmio energetico in campo di ventilazione meccanica e pompe di calore. La società ha da sempre riposto un'attenzione particolare all'efficienza energetica e al recupero del calore dei propri prodotti tecnologici. Il loro obiettivo principale è garantire, a fronte di un basso consumo energetico, il massimo confort e mantenere un'ottima qualità degli ambienti interni, sia in ambito residenziale che commerciale.

Il sistema compatto "4 in 1" prodotto da Nilan, dotato di certificazione passive House, è il modello compact P. Raggiunge il massimo delle sue prestazioni in case di tipo passivo e in generale negli edifici a basso consumo energetico, ma può essere anche utilizzato in ogni altro tipo abitazione per ridurre il consumo energetico. Per questo motivo sono disponibili ulteriori modelli di pompa di calore rispetto alla versione standard integrata: 2 versioni geotermiche ed una ad aria con installazione all'esterno dell'edificio. Il layout di impianto con la versione base di questo aggregato compatto prevede una climatizzazione a tutt'aria.

Il macchinario monta un recuperatore di calore a piastre a flussi incrociati, che permette di riscaldare l'aria in ingresso. L'aria di estrazione viene utilizzata dalla pompa di calore per produrre acqua calda sanitaria e per riscaldare il flusso d'aria di rinnovo per la climatizzazione degli ambienti.

La pompa di calore è di tipo invertibile, di conseguenza, in estate si possono raffrescare i locali con aria in mandata fino a 10 °C, producendo comunque acqua calda sfruttando il calore sottratto all'aria di immissione.

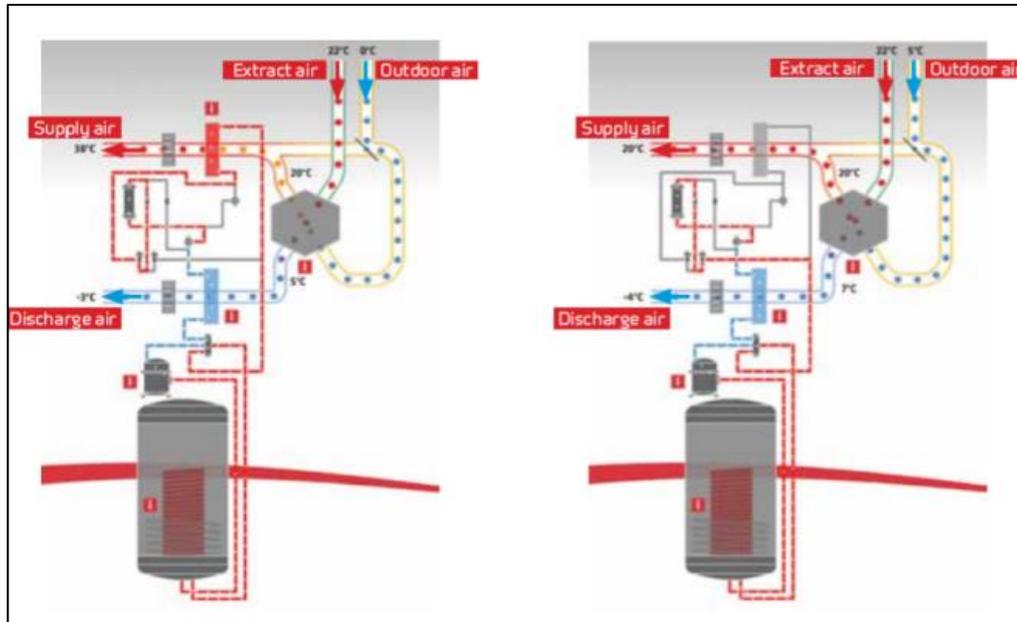


Figura 31 - Principio di funzionamento in regime invernale, Compact P.
Fonte: Nilan

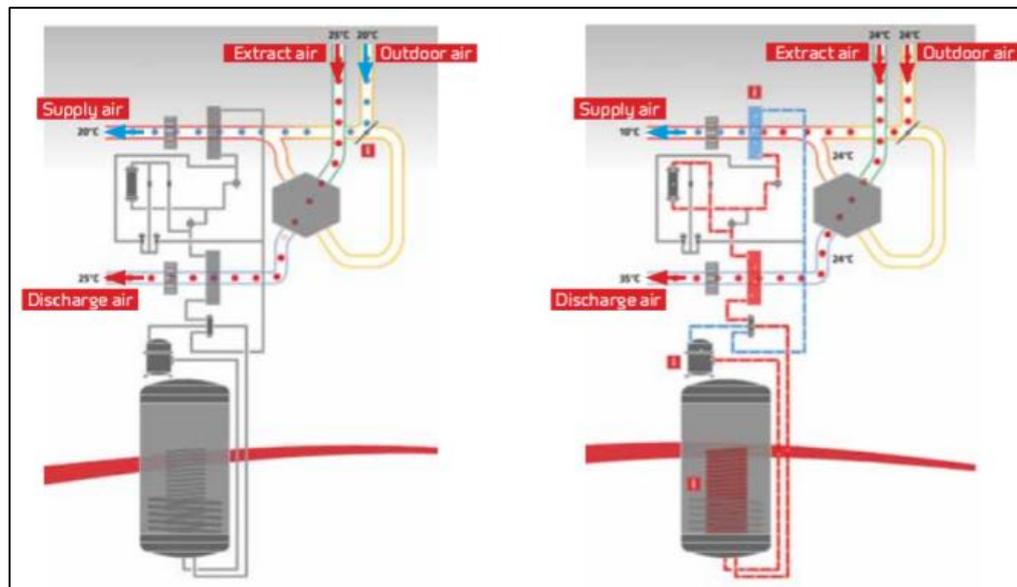


Figura 32 - Principio di funzionamento in regime estivo (destra) e free cooling (sinistra), Compact P.
Fonte: Nilan

Tabella 37 - Dati tecnici principali, Compact P

ALLOGGIAMENTO		
Dimensioni (Lu x La x H)	900 x 610 x 2065	mm
Peso	202	kg
VENTILAZIONE		
Portata	Da 50 a 300	m ³ /h
Filtri	G4	-
Efficienza recuperatore (PHI)	80	%
Efficienza recuperatore (NILAN)	Da 87% a 96% in funzione della portata	
PRODUZIONE ACQUA CALDA		
Dimensione accumulo	180	l
Riscaldatore elettrico	1.5	kW
Profilo di consumo	L	-
Classe di efficienza energetica	A	-
Efficienza energetica	94	%
DATI ELETTRICI		
Alimentazione	230 V / 50-60 Hz	-
Max input Power	2.2	kW
Max input Power*	3.4	kW
Consumo elettrico annuale	1081	kWh/y
EMISSIONI ACUSTICHE		
Livello di emissione sonora	46	dB(A)
DATI GENERALI		
Perdite interne	< 1.1	%
Perdite esterne	< 1.4	%
Range di temperature consentite	-20/ +40	°C
P _{standby}	3	W

*con Compact Polar (optional), P_{max} 2 [kW]

Alcuni parametri caratteristici dell'unità compatta sono presentati sottoforma di diagrammi, espressi in funzione di portata o temperatura.

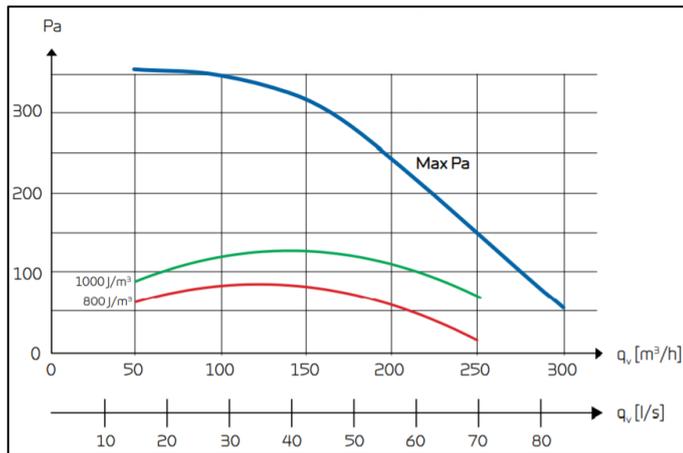


Figura 33 - Curva caratteristica dei ventilatori, Compact P
Fonte: Nilan

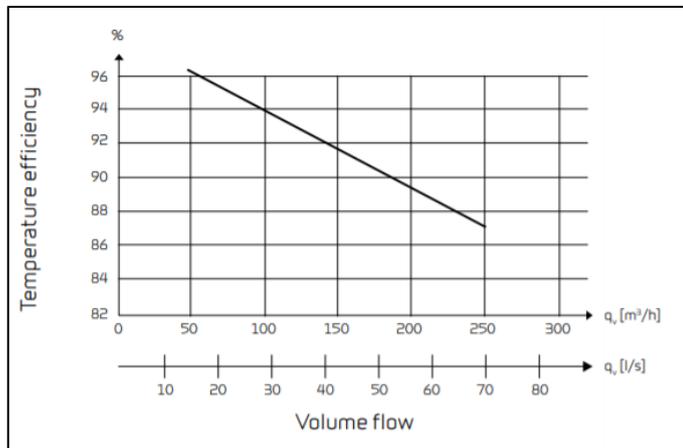


Figura 34 - Efficienza del recuperatore, Compact P
Fonte: Nilan

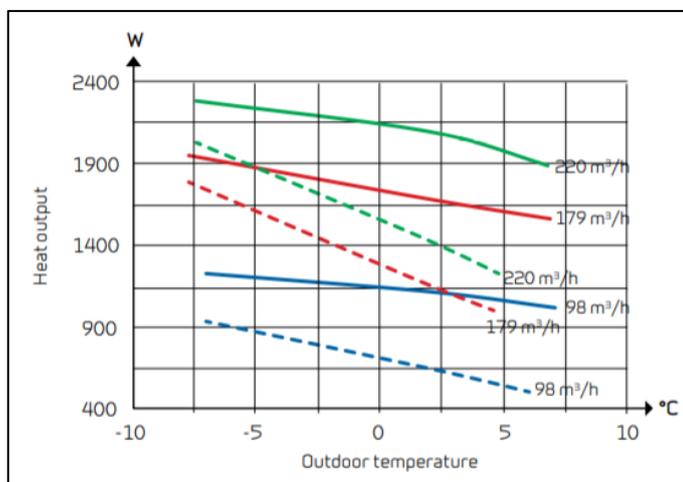


Figura 35 – Potenza termica fornita dalla pompa di calore e recuperata dallo scambiatore a recupero, Compact P
Fonte: Nilan

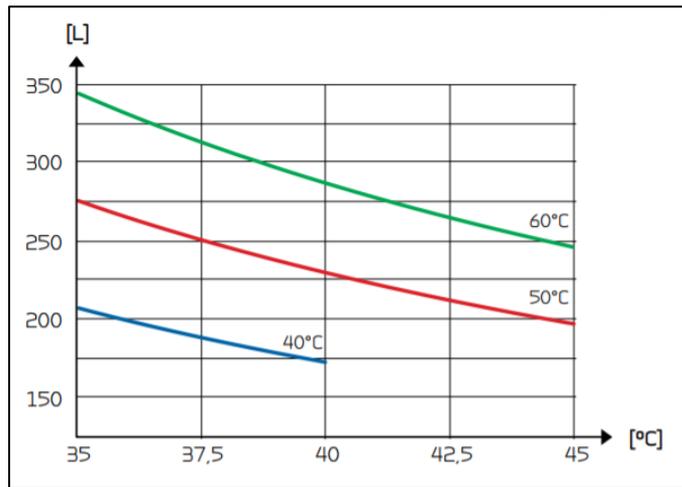


Figura 36 – Temperatura e volume di ACS disponibile in funzione della temperatura dell'accumulo, Compact P
Fonte: Nilan

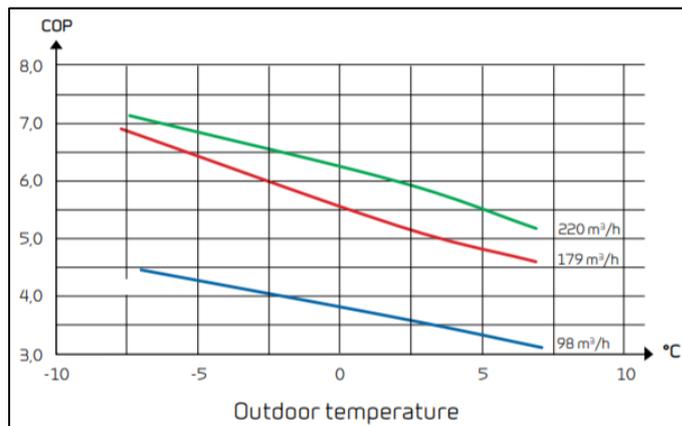


Figura 37 – COP in funzione della temperatura esterna, Compact P
Fonte: Nilan

Di seguito sono riportati i parametri principali del certificato Passivhaus.

Tabella 38 - Prestazioni generali secondo PHI, Compact P

Heat recovery		80%
Electric efficiency		0.40 Wh/m ³
Air tightness	V _{leak, internal}	1.0%
	V _{leak, external}	1.1%
Frost protection		-4 °C
Total primary Energy Demand		51.4 kWh/(m ² a)

La minima temperatura di mandata raggiunta con l'uso della pompa di calore è pari a 16.5 °C a patto che la temperatura esterna non sia inferiore ai -9°C. Di conseguenza, nel caso in cui l'abitazione sia situata in zone climatiche caratterizzate da basse temperature invernali si potrebbe optare per un preriscaldatore interrato, ma non risulta obbligatoria l'installazione.

Il recupero termico è misurato pari al 77% con una portata di 92 m³/h e pari a 80% con una portata di 172 m³/h.

Il consumo elettrico è pari a 0.43 Wh/m³ con una portata di 92 m³/h e 40 Wh/m³ con una portata di 172 m³/h. Il consumo in stand by è pari a quello della PKOM⁴, 9.6 W contro il target di 1W. A fronte di un consumo in standby circa dieci volte superiore al limite, può essere conveniente interrompere l'alimentazione dalla rete in caso di lunghi periodi di assenza di occupazione (es: case vacanza).

Il sistema può essere configurato per funzionare rispettivamente al 25%/ 50%/ 70%/ 100% della portata di aria massima e può essere regolato in modo separato dalla macchina, senza dover agire direttamente sul macchinario.

I valori misurati utilizzati su PHPP sono riferiti a un flusso d'aria da 120 a 205 m³/h con set point fissato a 172 m³/h.

1. Riscaldamento;

Tabella 39 - Prestazioni in riscaldamento secondo PHI, Compact P

HEATING		Test point 1	Test point 2	Test point 3	Units
Outside air temperature	T_{amb}	-3.7	2	6.9	°C
Thermal output heating heat pump	P_{WP, Heiz}	0.61	0.78	0.92	kW
COP number heating heat pump	COP_{Heiz}	2.65	3.18	3.58	-
Maximum available supply air temperature with heat pump only		28.6			°C

2. Produzione di acqua calda;

Tabella 40 - Prestazioni in produzione ACS secondo PHI, Compact P

HOT WATER		Test point 1	Test point 2	Test point 3	Test point 4	Units
<i>Outside air temperature</i>	T_{amb}	-4	2	7	20.2	°C
<i>Thermal output heat pump for heating up storage tank</i>	P_{DHW, heating up}	0.6	0.83	0.99	1.14	kW
<i>Thermal Output Heat Pump for reheating storage tank</i>	P_{DHW, reheating}	0.53	0.82	0.95	1.05	kW
<i>COP Heat Pump for heating up storage tank</i>	COP_{DHW, heating up}	2.13	2.87	3.31	3.68	-
<i>COP Heat Pump for reheating storage tank</i>	COP_{DHW, reheating}	1.81	2.72	3.05	3.28	-
<i>Average storage tank temperature</i>		50.5				°C
<i>Specific storage heat losses</i>		1.63				W/K

3. Isolamento acustico;

Il livello di pressione sonora dichiarato è pari a 57 dB(A). Il valore è stato misurato all'interno della stanza in cui era installato il macchinario, con un'area di assorbimento equivalente pari a 4 m², con flusso di aria di 212 m³/h. Il valore eccede di molto i 35 dB(A) ed anche in questo caso è consigliata l'installazione in luogo acusticamente isolato e separato dalla zona abitata.

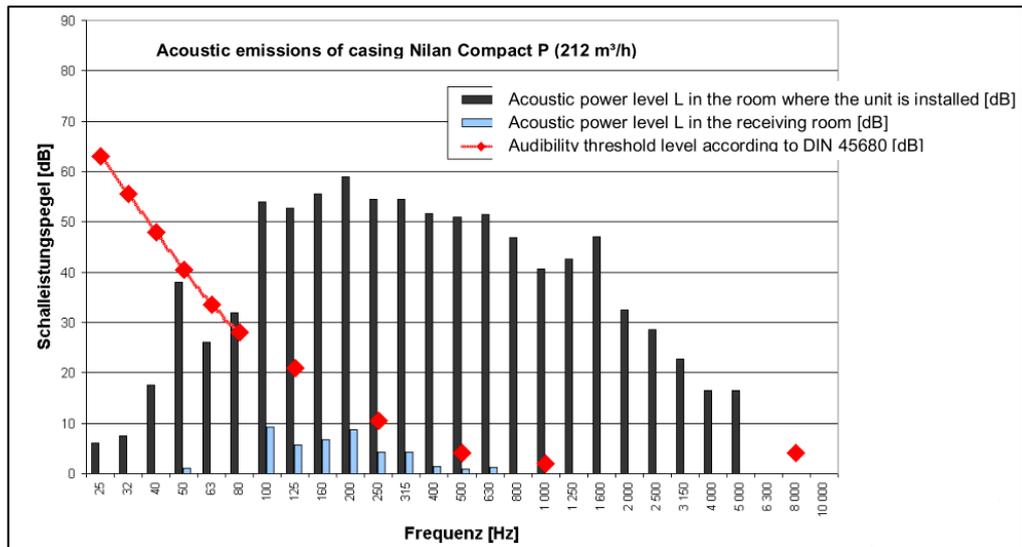


Figura 38 – Spettro di emissione sonora secondi PHI, Compact P

4. Indoor air quality;

L'unità di ventilazione è facilmente accessibile e di facile pulizia. I filtri possono essere sostituiti direttamente dall'utente seguendo le istruzioni del manuale.

Tabella 41 - Filtri installati, Compact P

Filtri utilizzati	
Aria esterna in ingresso	F7
Aria esausta	G4

I filtri installati rispettano gli standard Passivhaus, pertanto non è necessaria l'installazione di ulteriori filtri o di filtri più fini.

5. Protezione antigelo

Il sistema è dotato di protezione dal gelo ma è meglio se supportato da uno scambiatore di calore terreno-aria in modo tale da garantire la temperatura minima che necessita il macchinario, pari a

- -7°C con portata di 92 m³/h.
- -4°C con portata di 172 m³/h.

Il preriscaldamento non è possibile farlo con un apparecchio di tipo elettrico poiché non rispetterebbe i criteri minimi del certificato Passive House.

6. Pompa di calore

Utilizzabile in case passive nel range dai 92 ai 172 m³/h considerando una portata di 30 m³/h/persona e un carico termico di riscaldamento pari a 12 W/m². Il sistema è stato testato con un particolare serbatoio per l'acqua calda, di conseguenza utilizzandone un altro potrebbero variare molto le prestazioni.

Tabella 42 – SPF secondo PHI, Compact P

Seasonal performance factor SPF (without ground heat exchanger)	1.67-1.96
Primary energy consumption (without ground heat exchanger) *	54.1-51.4 kWh/(m ² a)

*rispetto all'edificio di riferimento utilizzato nelle misure

7. Range di applicabilità

La temperatura massima raggiunta in mandata con la sola pompa di calore attiva è pari a 28.6 °C (a 172 m³/h) e 33.6 °C (a 92 m³/h). Qualora sia necessario raggiungere temperature più elevate si può un riscaldatore elettrico, ma solo se la pompa di calore lavora al massimo della potenza. In ogni caso il limite da non superare è di 52 °C.

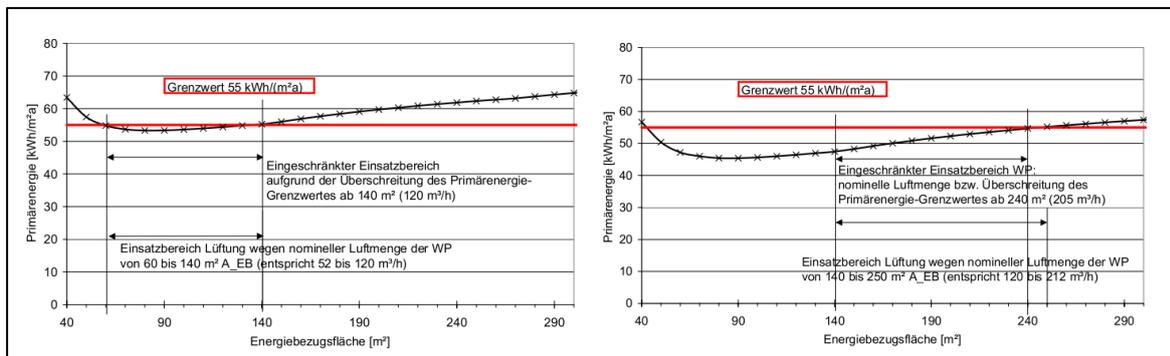


Figura 39 – Consumo di energia secondo PHI (configurazione a 92 m³/h a sinistra e 172 m³/h a destra), Compact P

Il campo di applicazione è limitato a causa del superamento del valore limite di energia primaria, nel range di abitazioni tra i 60 m² e i 140 m², a cui corrisponde una portata di 120 m³/h.

Per abitazioni di superficie maggiore, la configurazione con portata nominale di 172 m³/h può essere utilizzata a patto che la superficie utile riscaldata sia compresa tra i 140 m² e i 240 m². In questo modo i limiti imposti dal PHI sono rispettati.

5.6 Zehnder, ComfoBox 5

Zehnder è uno dei gruppi più importanti a livello mondiale nella produzione di radiatori e componenti per la ventilazione meccanica controllata. Nasce nel 1895 con il suo fondatore Jacob Zehnder, che aprì una piccola officina per la produzione di biciclette, macchine da scrivere, macchine da cucire e lavatrici. Nella prima metà del XX secolo i figli Walter e Robert crearono una motocicletta leggera che ebbe un grande successo. Nel 1930 Robert inventò il primo radiatore tubolare Zehnder Charleston, creato come alternativa ai radiatori dell'epoca, con migliori prestazioni e un'estetica più accattivante. Nel 1952 l'azienda entra nel settore di sistemi radianti per l'industria e il commerciale e nei primi anni '80 sviluppano apparecchi di design, quali scaldasalviette e radiatori di grande successo. Nel 2001, con l'acquisizione della società StorkAir, nasce il sistema ComfoSystems e vengono presentati prodotti ad alta efficienza nel campo della ventilazione meccanica tra cui recuperatori di calore e sistemi antipolvere per i condotti di aereazione. Negli anni successivi attraverso la ricerca di standard sempre più elevati si afferma tra i leader nel settore del clima indoor, con prodotti altamente performanti che garantiscono un ottimo confort agli occupanti.

Negli ultimi anni l'azienda ha sviluppato un sistema compatto in pompa di calore altamente efficiente, in grado di soddisfare tutti i requisiti di un'abitazione a basso consumo energetico. La serie ComfoBox comprende aggregati compatti con accumulo esterno, in taglie di potenza dai 3 fino ai 13 kW. Il sistema in analisi è la serie 5, che sfrutta una pompa di calore geotermica di tipo salamoia/acqua e il componente ComfoAir 550 per la ventilazione meccanica con recupero del calore.

Questo sistema compatto prodotto da Zehnder non è certificato Passivhaus, ma presenta ottime caratteristiche, adatte sia a edifici passivi che a edifici con fabbisogni superiori. In questo senso, nonostante la necessità di un locale termico, può essere un'ottima soluzione

per abitazioni particolarmente spaziose, nelle quali il carico termico totale può essere soddisfatto grazie a sistemi radianti. La grande capacità del serbatoio, seppur non integrato nel macchinario, è in grado di fornire un maggior volume di acqua calda sanitaria rispetto ad altri macchinari.



Figura 40 – ComfoBox serie 5. Fonte: Zehnder

La soluzione proposta da Zehnder necessita quindi di tre impianti: un circuito aeraulico per la ventilazione e due circuiti idronici per la distribuzione dell'acqua calda sanitaria e per climatizzare gli ambienti.

Il layout di impianto prevede una ventilazione con recupero del calore con il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti controllato da superfici radianti o radiatori a bassa temperatura. Questo sistema di climatizzazione presenta dei vincoli soprattutto in estate, periodo nel quale la temperatura superficiale non può mai scendere al di sotto del punto di rugiada. Per un miglior controllo dell'umidità è possibile installare un componente opzionale (ComfoFond L) che consente di controllare l'umidità degli ambienti attraverso la deumidificazione del flusso d'aria di mandata.

ComfoBox 5 è dotato di una pompa di calore salamoia/acqua, che sottrae calore al terreno attraverso delle sonde geotermiche. Il vantaggio è una minor oscillazione dei valori di temperatura stagionali, che contraddistinguono questa tipologia di pompe di calore con

valori di efficienza elevati e più costanti rispetto alle pompe di calore ad aria. Durante la stagione invernale, il riscaldamento degli ambienti avviene tramite sistemi radianti a superficie o caloriferi che in ogni caso sfruttano acqua a bassa temperatura.

Il raffreddamento durante la stagione estiva viene soddisfatto tramite il free cooling geotermico senza l'utilizzo della pompa di calore. Il calore sottratto agli ambienti tramite i sistemi radianti viene ceduto dagli scambiatori al circuito della salamoia, restituendolo al terreno.

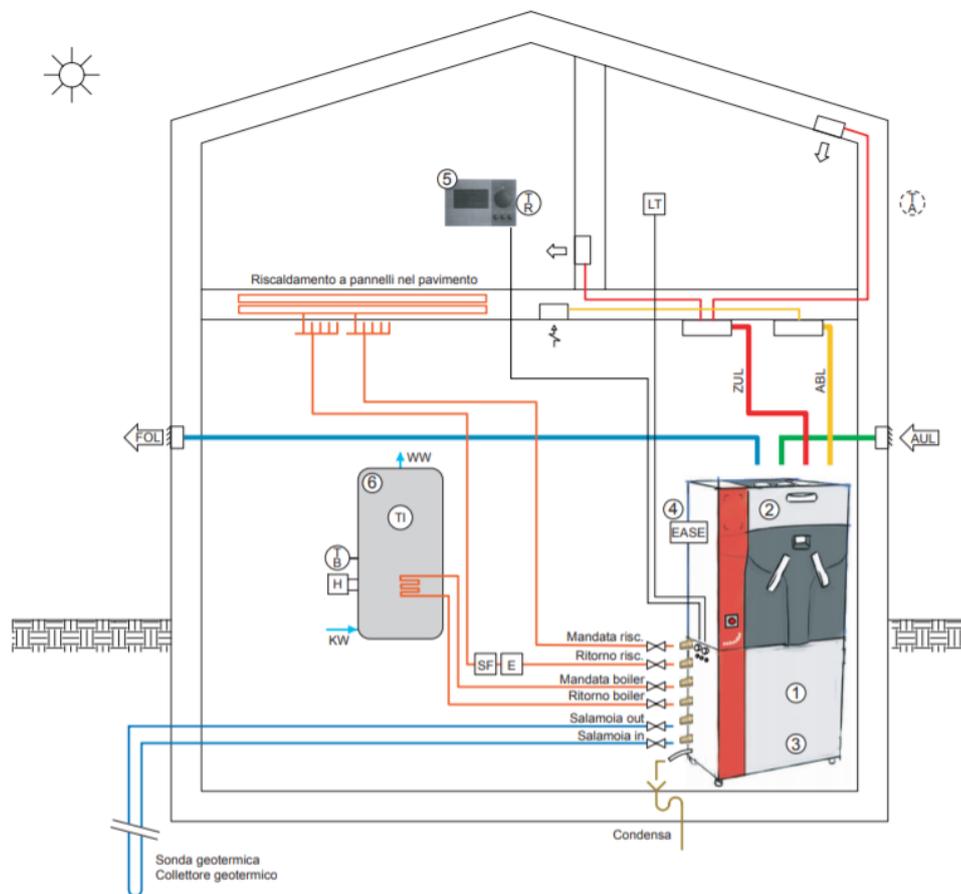


Figura 41 – Layout di impianto con sistemi radianti e ventilazione. Fonte: Zehnder

Il consumo elettrico nella stagione estiva è minimo poiché i componenti in funzione sono unicamente le pompe di circolazione e non avviene un raffrescamento attivo. In queste situazioni la pompa di calore è in grado comunque di produrre acqua calda, e quindi può attivarsi in funzione della domanda di acqua calda sanitaria.

La ventilazione è garantita dal componente ComfoAir 550 che eroga una portata fino a 550 m³/h, con i ventilatori di mandata e di estrazione che possono essere regolati singolarmente. Il recuperatore di calore integrato standard è di tipo a piastre con flussi incrociati in controcorrente e il produttore dichiara rendimenti di circa il 90%. In alternativa è possibile sostituirlo, anche dopo la messa in servizio, con un sistema di recupero dell'umidità. A seconda delle necessità è possibile utilizzare la funzione di bypass, consentendo di ventilare l'abitazione direttamente con l'aria esterna. Nel caso di climi particolarmente rigidi durante la stagione invernale è possibile richiedere l'installazione del componente Comfofond L che consente anche di preriscaldare il flusso d'aria di rinnovo a monte dello scambiatore attraverso uno scambiatore salamoia/aria. Nella stagione estiva, lo stesso Comfofond L può essere utilizzato per deumidificare l'aria di mandata, consentendo un miglior controllo dell'umidità interna. Senza tale componente il flusso di aria di rinnovo non viene climatizzato, pertanto la temperatura di immissione dipende solo dall'efficienza del recuperatore.

La produzione di acqua calda sanitaria avviene tramite la pompa di calore che accumula l'acqua calda in un boiler esterno di grandi dimensioni (400 l) la cui temperatura può raggiungere i 54 °C. Il fatto di avere un boiler esterno implica la necessità di maggiori spazi o di un locale apposito, ma d'altra parte consente di soddisfare fabbisogni decisamente maggiori, per famiglie numerose o per il servizio di più abitazioni. All'interno è comunque presente un elemento riscaldante da 2 kW, in grado di produrre acqua calda in caso di emergenza e di effettuare i cicli settimanali anti-legionella.

Tabella 43 - Dati tecnici principali, ComfoBox 5

DATI GENERALI		
Portata max. (220 Pa)	500	m ³ /h
Etilenglicolo, protezione antigelo circuito salamoia	>30	%
Flusso di liquido nel circuito di riscaldamento	1.9 (2 m h res.)	m ³ /h
Flusso di liquido nel circuito della salamoia	2 (2 m h res.)	m ³ /h
Volume di espansione (risc.)	25	l
Volume di espansione (sal.)	12	l
Resistenza elettrica (acc.)	2	kW
Scaldaqqua istantaneo elettrico nel circuito di riscaldamento (opt.)	4.5	kW
Free cooling (opt.) B15/ W21	4	kW
Preriscaldamento aria (Comfofond L opt.) A-12/ B15	1.6 (450 m ³ /h), 0.8 (150 m ³ /h)	kW

Preraffreddamento aria (Comfofond L opt.) A35/ B15	2.5 (450 m ³ /h)	kW
Peso apparecchio (boiler escluso)	230	kg
PRODUZIONE DEL CALORE		
Potenza calorifera B0/ W35	5.3	kW
Potenza calorifera B0/ W50	5.2	kW
COP B0/ W35	4.4	-
COP B0/ W50	3.0	-
Potenza assorbita dal compressore B0/W35	1.2	kW
Potenza assorbita dal compressore B0/W50	1.7	kW
Alimentazione	3P / N / PE / 50 Hz /400 V	-
Corrente massima di funzionamento con/ senza EHP	9.9/7.0	A
Volume accumulo	400	l
Dimensioni accumulo	H 1590 * D 750	mm
Peso accumulo	165	kg
Dimensione apparecchio	H 1980 * B 985 * W 560	mm
Quantità di fluido refrigerante	1.2	kg
Tipo di fluido refrigerante	R134a	-
VENTILAZIONE		
Sistema	ComfoAir 550 S/E	-
Portata di aria max.	550	m ³ /h
Rendimento WRG (NEN 5138)	95	%
Filtri mandata/scarico	F7/G4	-
CARATTERISTICHE VENTILATORI		
N° di giri	P [W]	Rumorosità M, S
30%	26	50 39 dB(A)
50%	69	63 49 dB(A)
90%	310	78 63 dB(A)
100%	350	79 64 dB(A)

L'alimentazione della macchina è in trifase, di conseguenza prima dell'installazione servono le opportune modifiche all'impianto elettrico domestico. Questo è un punto a sfavore per l'applicazione sul territorio italiano ma è dovuto al fatto che la macchina, ad oggi, è pensata principalmente per il mercato svizzero e tedesco.

5.7 Drexel und Weiss, Aerosmart M

Drexel und Weiss è un'azienda austriaca con sede a Wulfort, e fa parte del gruppo Gasser. Opera nel settore della tecnologia al servizio degli edifici ed in particolare in sistemi di riscaldamento, raffrescamento, ventilazione e produzione di acqua sanitaria per garantire elevati livelli di confort. La sede dell'azienda è un edificio passivo di circa 3000 m² ristrutturato nel 2004 e ampliato negli anni successivi. Il primo sistema compatto per

abitazioni di tipo passivo da loro sviluppato risale al 1996, mentre nel 2003 sviluppa la serie di prodotti Aerosmart e Aerosilent, tutt'ora tra i prodotti di punta dell'azienda. La Drexel und Weiss si distingue per aver portato nel 2017 un sistema di ventilazione per le aule scolastiche, denominato Aeroschool 600.



Figura 42 – Aerosmart M. Fonte: Drexel und Weiss

Il sistema compatto analizzato è l'Aerosmart M, studiato per edifici di tipo passivo e a basso consumo energetico. L'aggregato è in grado soddisfare i fabbisogni legati alla climatizzazione invernale ed estiva, alla qualità dell'aria interna e alla produzione di acqua calda sanitaria. A differenza di altri sistemi è necessario un alloggiamento spazioso dovuto all'apertura degli sportelli frontali in modo da consentire una manutenzione agevole. Inoltre, poiché il range di temperature di esercizio all'interno del locale tecnico è al di sopra degli 5°C e inferiore ai 40°C.

Il principio di funzionamento invernale prevede che l'aria esterna venga preriscaldata dentro canali interrati e successivamente immessa nel recuperatore, che ne innalza ulteriormente la temperatura. Successivamente attraverso la pompa di calore viene trasferito il calore dal flusso di estrazione all'accumulo e successivamente al flusso di immissione. È possibile aggiungere ulteriori preriscaldatori tra cui solare ed elettrico, in modo da ridurre il carico termico sul macchinario migliorandone le prestazioni.

Nella configurazione estiva il sistema di pretrattamento interrato raffredda la portata di aria prelevata dall'esterno e successivamente a seconda della temperatura del suddetto flusso può raffreddarsi ulteriormente nello scambiatore di calore o bypassarlo (scambiatore estivo, optional). Attraverso la pompa di calore di tipo reversibile¹⁰ è possibile raffreddare ulteriormente il flusso di immissione, sfruttando il calore ceduto al fluido frigorigeno per produrre acqua calda sanitaria.

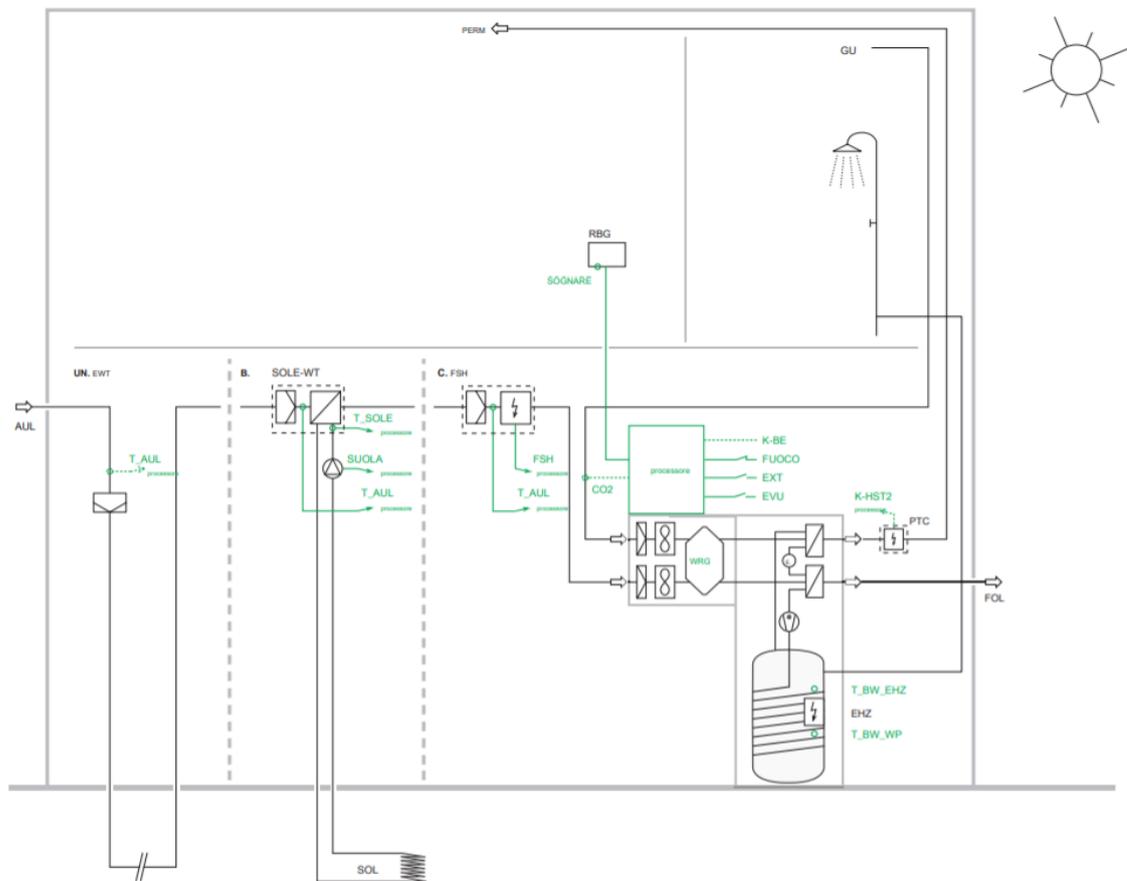


Figura 43 – Layout di impianto e principio di funzionamento. Fonte: Drexel und Weiss

Tabella 44 - Dati tecnici principali, Aerosmart M

Ventilazione		
Portata di aria nominale	160	m ³ /h
Portata di aria max. (170 Pa)	235	m ³ /h
Portata di aria max. (100 Pa)	300	m ³ /h
Efficienza recuperatore (PHI)	78	%

¹⁰ Fonte: <https://www.rockwool.it/siteassets/rw-it/brochuremanuali/efficienza-energetica/la-casa-passiva-in-italia.pdf>

Potenza massima assorbita dai ventilatori	100	W
Prestazioni PDC in condizioni nominali con aria esterna +5 °C e aria interna +21 °C		
Consumo di energia PDC	375	W
Potenza termica utile PDC	1315	kW
COP	3.5	-
Dati acustici (V_{nom} a 100 Pa)		
Livello di pressione sonora (PHI)	45	dB(A)
Dati generali		
Dimensioni	600 x 1200 x 2053	mm
Peso	255	kg
Refrigerante	R134a	-
Quantità di refrigerante	2.3	kg
Alimentazione	230 V / 50 Hz	-
Temperatura minima consentita	-3*	°C
Locale tecnico		
Range di temperature	+5 / +40	°C
U.R. massima	70	%
Dimensione minima	1460 x 1320 x 2113	mm
Produzione di acqua calda sanitaria		
Volume accumulo	200	l
Potenza della resistenza elettrica	2	kW

*Necessario preriscaldamento geotermico, elettrico o solare.

Le ottime prestazioni del macchinario sono certificate dal protocollo Passivhaus, che ne attesta la possibilità di installazione all'interno delle case passive che rispecchiano gli standard del suddetto protocollo di qualità.

Tabella 45 - Prestazioni generali secondo PHI, Aerosmart M

Heat recovery		78%
Electric efficiency		0.29 Wh/m ³
Air tightness	$V_{leak, internal}$	2.3%
	$V_{leak, external}$	1.2%
Frost protection		-3 °C
Total primary Energy Demand		47.8 kWh/(m ² a)

La minima temperatura di mandata, pari a 16.5 °C, è raggiunta con l'uso della pompa di calore a patto che la temperatura esterna non sia inferiore ai -3°C. Pertanto, risulta necessaria

l'installazione di uno scambiatore geotermico a monte del recuperatore, in grado di preriscaldare il flusso di rinnovo.

Il consumo elettrico è pari a 0.29 Wh/m³ con una portata di 173 m³/h, inferiore al valore massimo consentito dal protocollo. Le perdite di standby sono pari a 6.8 W, superiori al limite di 1 W dichiarato come massimo da Passivhaus, pertanto, durante l'inutilizzo prolungato, è consigliato scollegarlo dalla rete elettrica.

L'unità calibra in modo automatico il flusso di aria negli ambienti, si può settare manualmente il tasso di ventilazione minima richiesta ed è presente una funzione che permette di aumentare il tasso di ventilazione per determinati periodi di tempo.

1. Riscaldamento;

Tabella 46 - Prestazioni in riscaldamento secondo PHI, Aerosmart M

HEATING		Test point 1	Test point 2	Test point 3	Units
Outside air temperature	T_{amb}	-2	2	7	°C
Thermal output heating heat pump	P_{WP, Heiz}	1.03	1.18	1.34	kW
COP number heating heat pump	COP_{Heiz}	2.22	2.73	3.07	-
Maximum available supply air temperature with heat pump only		33			°C

2. Produzione di acqua calda;

Tabella 47 - Prestazioni in produzione ACS secondo PHI, Aerosmart M

HOT WATER		Test point 1	Test point 2	Test point 3	Test point 4	Units
Outside air temperature	T_{amb}	-2	2	7	20	°C
Thermal output heat pump for heating up storage tank	P_{DHW, heating up}	0.92	1.13	1.28	1.49	kW
Thermal Output Heat Pump for reheating storage tank	P_{DHW, reheating}	0.88	1.10	1.28	1.41	kW
COP Heat Pump for heating up storage tank	COP_{DHW, heating up}	2.51	2.93	3.26	3.47	-

<i>COP Heat Pump for reheating storage tank</i>	COP_{DHW, reheating}	2.08	2.39	2.71	2.71	-
<i>Average storage tank temperature</i>		47.1				°C
<i>Specific storage heat losses</i>		1.60				W/K

3. Isolamento acustico;

Il livello di pressione sonora dichiarato è pari a 46 dB(A). Il valore è stato misurato all'interno della stanza in cui era installato il macchinario, con un'area di assorbimento equivalente pari a 4 m², con flusso di aria di 200 m³/h. Il valore eccede i 35 dB(A) ed anche in questo caso è consigliata l'installazione in luogo acusticamente isolato e separato dalla zona notte.

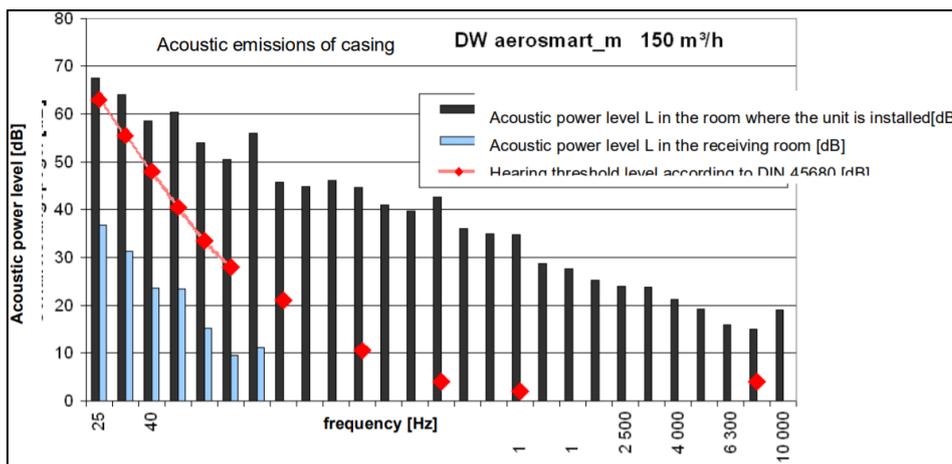


Figura 44 – Spettro di emissione sonora, Aerosmart M. Fonte: PHI

4. Indoor air quality;

L'unità di ventilazione è facilmente accessibile e di facile pulizia. I filtri possono essere sostituiti direttamente dall'utente seguendo le istruzioni del manuale.

Tabella 48 - Filtri installati, Aerosmart M

Filtri utilizzati	
Aria esterna in ingresso	G4
Aria esausta	G4

Per rispettare lo standard Passivhaus, il produttore raccomanda l'installazione di un filtro F7 all'ingresso dello scambiatore aria-terreno (dichiarato come obbligatorio) a monte del recuperatore.

5. Protezione antigelo

Il sistema è dotato di protezione dal gelo fino a $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, ma per garantire la minima temperatura di mandata di $16.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ è necessario un sistema di preriscaldamento dell'aria nel terreno.

6. Pompa di calore

Utilizzabile in case passive nel range dai 162 ai 242 m^2 considerando un'occupazione di $35\text{ m}^2/\text{persona}$ e una portata di $30\text{ m}^3/\text{h}/\text{persona}$ con un carico termico di riscaldamento pari a $12\text{ W}/\text{m}^2$. Il sistema è stato testato con un particolare serbatoio per l'acqua calda, di conseguenza utilizzandone un altro potrebbero variare molto le prestazioni.

Tabella 49 – SPF secondo PHI, Aerosmart M

Seasonal performance factor SPF	2.1
Primary energy consumption	$47.8\text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

*rispetto all'edificio di riferimento utilizzato nelle misure

Il sistema presenta consumi di energia primaria ben al di sotto dei $55\text{ kWh}/\text{m}^2/\text{y}$ per il funzionamento con portate nominali dai 139 ai $207\text{ m}^3/\text{h}$, relativi ad una superficie dell'abitazione nel range dai 162 ai 242 m^2 .

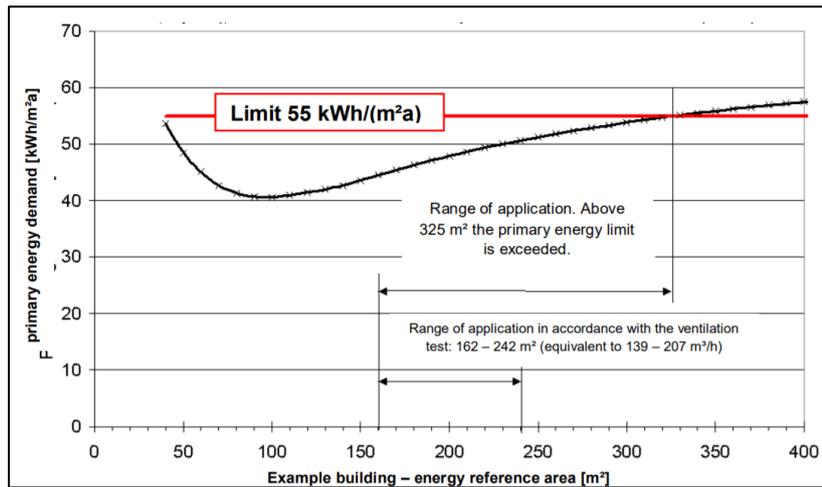


Figura 45 – Consumo di energia primaria, Aerosmart M. Fonte: PHI

5.8 Confronto tecnico tra le diverse soluzioni

Il confronto tra gli aggregati compatti analizzati, riportato nell'allegato 1, è basato sui dati relativi alle prestazioni, ai consumi, alle modalità di utilizzo ed ai limiti di funzionamento forniti sia dai produttori che dal Passivhaus Institute.

Tra le differenze più evidenti riscontrate si nota che l'aggregato compatto proposto da Zehnder utilizza un serbatoio di accumulo separato ed una pompa di calore geotermica già nella versione di base. Questo può essere un vantaggio poiché il boiler ha una maggiore capacità e la pompa di calore è in grado di operare in condizioni più stabili di temperatura e quindi di efficienza, fornendo maggiori potenze termiche. D'altra parte, si preclude la possibilità di installazione e utilizzo in edifici multipiano, senza riscaldamento centralizzato, al servizio di unità immobiliari situate ai piani superiori rispetto al piano terra.

Dal punto di vista impiantistico, i sistemi compatti proposti da Zehnder (la serie ComfoBox) e Stiebel Eltron (LWZ 304 SOL) prevedono superfici o sistemi radianti per il riscaldamento e raffrescamento degli ambienti. Questo è un vantaggio dal punto di vista del comfort, in quanto è possibile mantenere costanti e omogenee le temperature superficiali degli ambienti, ma a fronte di un maggior costo di investimento e problematiche legate al condizionamento estivo (condensa superficiale).

Anche la serie Compact P propone tra le varianti di impianto, offrendo soluzioni con pompe di calore geotermiche o ad aria con installazione all'esterno, concedendo la possibilità di

climatizzare gli ambienti con un impianto a tutt'aria o misto. Queste sono però delle varianti che è possibile utilizzare in abitazioni di grande superficie o con carichi termici superiori alle case passive, offrendo quindi una soluzione compatta adatta ad ogni esigenza, espandendo il campo di applicazione del loro prodotto.

L'aggregato PKOM4 è un'ottima soluzione per case passive e a basso consumo, grazie alle due pompe di calore che possono lavorare in modo completamente indipendente l'una dall'altra. D'altra parte, non essendoci differenti versioni né di pompa di calore né di tipologia di climatizzazione, il campo di applicazione ideale rimane limitato a edifici passivi o nZEB ad altissime prestazioni, compatti e di superficie limitata.

Il sistema compatto Aerosmart M è una soluzione in linea con la versione standard Compact P e Pkom4, che propongono una climatizzazione a tutt'aria attraverso un sistema poco ingombrante e installabile in qualsiasi tipo di abitazione ad altissime prestazioni. A differenza delle altre è vincolante l'obbligo di un canale interrato di scambio termico tra aria e terreno, qualora la temperatura invernale scenda di poco al di sotto degli 0°C. Gli altri macchinari consentono invece di preriscaldare o preraffreddare l'aria in ingresso al recuperatore per mezzo di scambiatori direttamente collegati alla pompa di calore, senza sforare i consumi massimi previsti dal PHI. Anche Drexel offre una differente versione del macchinario, l'Aerosmart L, che consente di soddisfare fabbisogni superiori e di conseguenza il campo di applicazione è più esteso rispetto al prodotto di casa Pichler.

L'emissione sonora degli aggregati è un parametro molto importante per il comfort acustico, da tenere in considerazione soprattutto in abitazioni di dimensioni ridotte o che non presentano un vero e proprio locale tecnico. Tra i macchinari analizzati l'Aerosmart m è quello con le migliori prestazioni acustiche, ma è comunque consigliata l'installazione nei locali lontani dalla zona notte.

La potenza utile fornita dai macchinari in esame è strettamente correlata alla tipologia di pompa di calore, ma in generale è evidente che macchinari con output maggiori sono anche più ingombranti.

Nonostante siano molte le aziende nel campo della ventilazione e del condizionamento degli ambienti che hanno sviluppato questa tecnologia, ad oggi non si sono ancora delineate delle distinte categorie di aggregati compatti. Infatti, pur rientrando nella stessa tipologia essi presentano soluzioni costruttive notevolmente diverse tra loro, che ne influenzano le caratteristiche e il layout di impianto. Questo è dovuto alla difficoltà nel dimensionamento

dei componenti, che essendo strettamente correlati l'uno all'altro sono vincolati a campi di funzionamento limitati. Il sovradimensionamento di uno o più componenti porterebbe l'aggregato compatto a lavorare in condizioni molto lontane dall'ottimo, con consumi più elevati a parità di potenza utile fornita.

Per ottenere la miglior prestazione possibile, un impianto con aggregato compatto non può essere sovradimensionato ma l'esatto opposto. A fronte di un lieve sottodimensionamento il macchinario è in grado di operare in condizioni nominali per un periodo più lungo, ottenendo il massimo rendimento e preservando i componenti nel tempo. I picchi di richiesta possono essere soddisfatti tramite sistemi elettrici integrativi, il cui azionamento non altera in modo significativo la prestazione complessiva poiché se utilizzato saltuariamente introduce consumi trascurabili su base annuale.

5.9 Limiti di funzionamento

La stima sui limiti di funzionamento dei sistemi in analisi è basata su diverse tipologie di edificio e di diversa superficie. Gli edifici considerati sono riconducibili ad un fabbricato di tipo passivo ed uno in classe A+, valutando in entrambi i casi una superficie utile di 100 m² e 150 m².

Nella seguente tabella sono riportati i dati utilizzati per la stima dei carichi termici invernali.

Tabella 50 - Dati di input per la stima delle condizioni di funzionamento invernali

Parametri	Edificio Passivo		Edificio in classe A+		U.M
Stagione	Inverno	Inverno	Inverno	Inverno	-
Zona climatica	E	E	E	E	-
U_{medio}	0.13	0.13	0.25	0.25	W/m ² /K
T_{media,ext}	12.40	12.40	12.40	12.40	°C
T_{ext}	-8.00	-8.00	-8.00	-8.00	°C
UR_{ext}	80%	80%	80%	80%	-
T_{in}	20.00	20.00	20.00	20.00	°C
UR_{int}	50%	50%	50%	50%	-
n° occupanti	4.00	5.00	4.00	5.00	pers.
Sup. utile	100.00	150.00	100.00	150.00	m ²
Lu	12.50	15.00	12.50	15.00	m

La	8.00	10.00	8.00	10.00	m
h interpiano	2.7	2.7	2.7	2.7	m
h	3.50	3.50	3.50	3.50	m
V	30.00	30.00	30.00	30.00	m ³ /h/pers
V_{min}	120	150	120	150	m ³ /h
n₅₀	0.60	0.60	1	1	1/h
V_{inf}	3.24	4.86	3.24	4.86	m ³ /h
ACS	260.00	325.00	260.00	325.00	l/G
ACS dT	30.00	30.00	30.00	30.00	°C
t_{pr}	3.00	3.00	3.00	3.00	h
t_{pu}	1.00	1.00	1.00	1.00	h
T_{acc}	50.00	50.00	50.00	50.00	°C
T_f	10.00	10.00	10.00	10.00	°C
η_{rec}	0.80	0.80	0.80	0.80	-

Nel caso invernale il carico termico è stato stimato senza considerare eventuali apporti endogeni. La potenza utile a coprire il carico termico dell'edificio è infatti rappresentativa delle sole perdite per trasmissione e ventilazione, stimate in modo cautelativo e alla temperatura di progetto della zona climatica E.

Di seguito sono riportati i risultati ottenuti.

Tabella 51 – Risultati della stima in condizioni di funzionamento invernali

Parametri	Edificio Passivo		Edificio in classe A+		U.M.
V prog.	200	250	280	300	m ³ /h
T_{imm}	39.3	40.3	44.4	49.1	°C
UR_{sens}	8%	8%	5%	<5%	-
UR_{tot}	15%	15%	11%	<10%	-
Infiltrazione	0.03	0.05	0.05	0.08	kW
VMC	1.87	2.33	2.61	2.80	kW
di cui non recuperata	0.37	0.47	0.52	0.56	kW
di cui recuperata	1.49	1.87	2.09	2.24	kW
Trasmissione	0.89	1.18	1.70	2.28	kW
Vent. + Trasm.	2.78	3.56	4.37	5.15	kW
P_{ACS}	2.02	2.52	2.02	2.52	kW
V_{acc,min}	130	162.5	130	162.5	L
En_{ACS}	9063.60	11329.50	9063.60	11329.50	Wh/G

Dai risultati si nota che, sfruttando un layout di impianto con riscaldamento a tutt'aria, si possono ottenere ottimi risultati in regime invernale. Considerando la stima cautelativa, si può affermare che in un edificio di tipo passivo di 150 m² gli aggregati compatti di taglia minore come le soluzioni proposte da Nilan, Pichler e Drexel und Weiss possono essere utilizzate. In tutti e tre i casi è possibile soddisfare il carico termico invernale utilizzando i sistemi elettrici integrativi solo nei giorni più sfavorevoli della stagione fredda.

Negli edifici in classe A+ e in particolare oltre i 100 m² la situazione diventa più critica. Con carichi termici maggiori rispetto alle abitazioni di tipo passivo è sicuramente più idoneo ricorrere a superfici radianti, per non compromettere il comfort con temperature dell'aria di mandata troppo elevate. Di conseguenza ComfoBox 5 e LWZ 304 SOL si rivelano le soluzioni più adeguate.

In ogni caso il sistema di accumulo di ACS è più che sufficiente a garantire il fabbisogno di quattro persone, con tempi di ricarica di circa tre ore.

Gli aggregati compatti regolano l'umidità degli ambienti interni variando la portata di immissione e di conseguenza anche la temperatura. In termini di comfort potrebbe accadere che per aumentare l'umidità in ambiente venga erogata una portata inferiore che potrebbe causare discomfort locale.

In estate la situazione è molto diversa, poiché il carico termico dipende dagli apporti endogeni e dall'irraggiamento solare, che per una stima più dettagliata richiedono una simulazione dinamica. Di seguito è proposta una stima in regime stazionario.

Tabella 52 - Dati di input per la stima delle condizioni di funzionamento estive

Parametri	Edificio Passivo		Edificio in classe A+		U.M.
Stagione	Estate	Estate	Estate	Estate	-
Zona climatica	E	E	E	E	-
U_{medio}	0.13	0.13	0.25	0.25	W/m ² /K
T_{media,ext}	12.40	12.40	12.40	12.40	°C
T_{ext}	33.50	33.50	33.50	33.50	°C
UR_{ext}	50%	50%	50%	50%	-
T_{in}	26.00	26.00	26.00	26.00	°C
UR_{int}	50%	50%	50%	50%	-
n° occupanti	4.00	5.00	4.00	5.00	pers.

Sup. utile	100.00	150.00	100.00	150.00	m2
Lu	12.50	15.00	12.50	15.00	m
La	8.00	10.00	8.00	10.00	m
h interpiano	2.7	2.7	2.7	2.7	m
h	3.50	3.50	3.50	3.50	m
V	30.00	30.00	30.00	30.00	m3/h/pers
V_{min}	120	150	120	150	m3/h
n₅₀	0.60	0.60	1	1	1/h
V_{inf}	3.24	4.86	3.24	4.86	m3/h
ACS	260.00	325.00	260.00	325.00	l/G
ACS dT	30.00	30.00	30.00	30.00	°C
t_{pr}	3.00	3.00	3.00	3.00	h
t_{pu}	1.00	1.00	1.00	1.00	h
T_{acc}	50.00	50.00	50.00	50.00	°C
T_f	10.00	10.00	10.00	10.00	°C
η_{rec}	0.80	0.80	0.80	0.80	-
Q_{apparecchi}	8	8	8	8	W/m ²
Q_{occupanti}	115	115	115	115	W/persona

La temperatura esterna considerata durante il periodo estivo è fissata pari a 33.5 °C. Analizzando i dati meteo pubblicati da “Meteo.it” per la località di Torino, nei mesi di luglio degli anni dal 2017 al 2020 si può riscontrare che tale temperatura sia stata registrata per oltre l’8% dei giorni. Di conseguenza viene assunta in via cautelativa tale temperatura, al posto della convenzionale temperatura di progetto di 30.5°C.

Gli apporti solari sono stati calcolati utilizzando la temperatura sole-aria, considerando i valori di irraggiamento massimi ad una latitudine di 45°. ¹¹ Per quanto riguarda gli apporti endogeni si è considerata un’attività metabolica leggera per gli occupanti e un’emissione degli apparecchi pari a 8 W/m². ¹²

Tabella 53 - Risultati della stima in condizioni di funzionamento estive

Parametri	Edificio Passivo		Edificio in classe A+		U.M
V prog.	270	330	350	400	m3/h
T_{imm}	3.5	4.1	3.3	1.6	°C

¹¹ Tabella 32.6, Manuale del Termotecnico, IV Edizione

¹² Tabella 32.24, Manuale del Termotecnico, IV Edizione

UR_{sens}	sat.	sat.	sat.	sat.	-
UR_{tot}	sat.	sat.	sat.	sat.	-
Infiltrazione	0.01	0.01	0.01	0.02	kW
VMC	0.68	0.83	0.88	1.00	kW
di cui non recuperata	0.14	0.17	0.18	0.20	kW
di cui recuperata	0.54	0.66	0.70	0.80	kW
Trasmissione	0.62	0.86	1.20	1.66	kW
persone	0.46	0.58	0.46	0.58	kW
apparecchi	0.80	0.80	0.80	0.80	kW
Vent. + Tr. + end.	2.57	3.07	3.35	4.05	kW
P_{ACS}	2.02	2.52	2.02	2.52	kW
V_{acc,min}	130	162.5	130	162.5	l
En_{ACS}	9063.60	11329.50	9063.60	11329.50	Wh/G

In estate, senza considerare la dinamicità dell'involucro e degli apporti solari ed endogeni, gli aggregati compatti che prevedono una climatizzazione a tutt'aria sarebbero messi a dura prova. Già in edifici passivi di superficie oltre i 100 m² potrebbero verificarsi lievi surriscaldamenti degli ambienti interni in quei giorni dell'anno caratterizzati da temperature esterne ed irraggiamento molto elevati. In abitazioni meno efficienti e di maggiore superficie risulta necessario effettuare il raffrescamento degli ambienti con superfici radianti, in quando le portate d'aria massime erogabili dalle soluzioni analizzate (escluso Zehnder ComfoBox) non permettono di raggiungere valori adeguati alle temperature di immissione.

6. Conclusioni

Nonostante gli ottimi risultati raggiunti con l'utilizzo di queste tecnologie, anche in condizioni limite, non esiste ad oggi un sistema compatto perfetto per ogni situazione, ma esistono diverse soluzioni che possono essere più o meno adatte a seconda dell'abitazione in esame e delle necessità del cliente. Il progettista deve quindi valutare in modo meticoloso l'ubicazione dell'immobile, l'esposizione, il clima, la disponibilità delle fonti e l'occupazione in modo da proporre la soluzione più adatta a soddisfare il fabbisogno finale con il minimo consumo di energia. La scelta dell'aggregato compatto da parte del progettista è vincolata dal funzionamento dello stesso all'interno dell'abitazione, e la stretta correlazione tra edificio e impianto deve essere verificata da calcoli dinamici degli apporti e dei consumi energetici.

Dalle stime effettuate è evidente che il layout di impianto con climatizzazione a tutt'aria sia possibile solo in edifici passivi di dimensioni massime pari o inferiori ai 150 m², mentre per edifici passivi di maggior superficie o per edifici meno prestazionali è possibile ricorrere alle soluzioni che prevedono l'utilizzo di sistemi radianti, in grado di fornire maggiori potenze termiche sia in riscaldamento che in raffrescamento. Il campo di applicazione rimane comunque limitato a fabbricati altamente efficienti come gli edifici nZEB, Passivhaus o CasaClima, ed in particolare le nuove costruzioni. Per quanto riguarda l'ambito delle ristrutturazioni e degli edifici sottoposti a riqualificazione energetica, considerando lo stato attuale del parco immobiliare, è essenziale predisporre il fabbricato all'installazione e al funzionamento dell'impianto. Infatti, considerando lo stretto connubio edificio-impianto, non è possibile prevedere la sola sostituzione del generatore, ma in concomitanza è d'obbligo prevedere gli interventi idonei sull'involucro in termini di isolamento ed ermeticità.

Inoltre, la tecnologia non è ancora sufficientemente matura da poter supportare processi di controllo accurato dell'umidità, che oggi potrebbero dover prevedere ulteriori sistemi esterni all'aggregato, come per esempio gli umidificatori ad ultrasuoni per la stagione invernale.

In conclusione, si può affermare che allo stato attuale gli aggregati compatti consentano di soddisfare il fabbisogno e il comfort dell'utenza per la maggioranza dei giorni dell'anno ma solo in contesti specifici. Nonostante ciò può essere necessario attuare degli accorgimenti per sopperire ad alcune mancanze, soprattutto legate al controllo dell'umidità e ai picchi di richiesta energetica.

Allegato 1

	Compact P	Pkom 4	LWZ 304 SOL	ComfoBox 5	Aerosmart m	U.M.
CARATTERISTICHE						
Riscaldamento ambienti	Aria	Aria	Aria e Acqua (pannelli radianti, radiatori o ventilconvettori)	Acqua (pannelli radianti o radiatori)	Aria	-
Raffrescamento ambienti	Aria	Aria	Aria e Acqua (pannelli radianti o ventilconvettori)	Acqua (pannelli radianti o radiatori)	Aria	-
Deumidificazione	si	si	si	ComfoFond L (opzionale)	si	-
Tipo di pompa di calore	integrata aria/aria	2 integrate (circuito aria e circuito acqua)	integrata aria/acqua	integrata salamoia/acqua (sonda geotermica)	Integrata aria/aria	-
Tipo di refrigerante	R134a	R134a	R407c	R134a	R134a	-
Quantità refrigerante	2	1+1	2,5	1.2	2,3	kg
GWP specifico	1430	1430	1773,8	1430	1430	kgCO2eq/kg
GWP totale	2860	2860	4434,6	1716	3289	kgCO2eq
Boiler integrato	si	si	si	no	si	-
ALLOGGIAMENTO						
Dimensioni	900 x 610 x 2065	741 x 734 x 2012	1885 x 1430 x 812	1980 x 920 x 560 + boiler 750 x 1590	600 x 1200 x 2053	mm

Locale tecnico	non necessario	non necessario	necessario, ≥ 8 m3	necessario, isolato non esposto al gelo	700 mm per l'apertura e condizioni ambientali tra i 5 e i 40°C con un massimo del 70% di umidità	-
Peso (a vuoto)	202	240	424	232 + boiler 165	255	kg
VENTILAZIONE						
Portata aria	fino a 300	fino a 250	fino a 300	fino a 550	fino a 300	m3/h
Portata di aria nominale	172 (PHI)	157 (PHI) 175 (EN13141-7)	240 (produttore)	500 (produttore)	160 (produttore)	m3/h
Preriscaldatore	Compact polar (optional)	presente (collegato al circuito della PDC)	presente (collegato al circuito della PDC)	Comfofond L (optional)	Geotermico, solare o elettrico (optional)	-
IAQ						
Filtro dell'aria di immissione	F7	F7	M5	F7	G4	-
Filtro dell'aria di ritorno	G4	M5	G4	G4	G4	-
Necessità filtri aggiuntivi (st. PHI)	no	no	F7 (aria di immissione)	no	F7 (aria di immissione)	-
PRESTAZIONI						
Portata di riferimento	(aria estratta) 220	(aria estratta) 250	(aria estratta) 170 (acqua) 0.9	(salamoia) 2 (acqua) 1.9	(aria estratta) 160	m3/h

Potenza di riscaldamento	PDC+WRG (A-7) 2.28; PDC+WRG (A2) 2.10; PDC+WRG (A7) 1.88;	PDC (A2) = 1.3; PDC+WRG (A2) = 2.76 (stimato);	PDC (A-7/W35) 2.98; PDC (A2/W35) 4.32; PDC (A7/W35) 5.29;	PDC (B0/W35) 5.3; PDC (B0/W50) 5.2;	PDC + WRG (A0) 2.2; PDC + WRG (A2) 2.1; PDC + WRG (A7) 2.0;	kW
Potenza di raffrescamento	PDC+WRG (A30) 1.52; PDC+WRG (A35) 1.86; PDC+WRG (A40) 2.19;	PDC (A35) = 1.3; PDC+WRG (A35) =2.0 (stimato);	PDC (A35/W7) 3.6	F.C. (B15/W21) 4	-	kW
COP*	PDC+WRG (A-7) 7.13; PDC+WRG (A2) 5.99; PDC+WRG (A7) 5.17;	PDC+WRG (A7) = 6.8	PDC (A-7/W35) 2.72; PDC (A2/W35) 3.4; PDC (A7/W35) 3.84	PDC (B0/W35) 4.5; PDC (B0/W50) 3;	PDC + WRG (A0) 4.9; PDC + WRG (A2) 4.6; PDC + WRG (A7) 4.4;	-
EER	PDC+WRG (A30) 4.00; PDC+WRG (A35) 4.65; PDC+WRG (A40) 5.21;	PDC+WRG (A35) = 4.2	A(35/W7) 2.08;	PDC non invertibile, solo F.C.	-	-
Efficienza termica recupero st/h	(PHI) 80%/-	(PHI) 88%/85%	(PHI) 87%/-	(Zehnder) 95%/-	(PHI) 78%/-	%
Efficienza elettrica	0,4	0,33	0,42	-	0,29	W/m3/h
Perdite interne	1,00	0,80	2,60	-	2,30	%
Perdite esterne	1,10	1,40	2,00	-	1,20	%
PRODUZIONE ACS						
Profilo di carico	L	L	XL	-	L	-
Capacità serbatoio	180	212	235	400	200	l
Tmax con PDC	-	55°C	50	54	-	°C
Tmax con PDC e EHP	65	65	-	65	-	°C

Potenza EHP	1,5	1,5	da 2.9 a 8.8	2	2	kW
Classe di efficienza energetica	A	A	A	-	A	-
Efficienza energetica	94	95	96	-	-	%
Consumo annuo (UE 812/813-2013)	1081	1112	4000	3000 (fonte Zehnder)	-	kWh/y
Consumo totale di energia primaria	51,4	45	39	-	47.8	kWh/m2/y
CARATTERISTICHE ELETTRICHE						
Consumo elettrico massimo	2,2	2,8	-	-	-	kW
Voltaggio	230V 50/60 Hz	230 V 50Hz	230 V 50Hz	400 V 50Hz	230 V 50Hz	-
Consumo elettrico in standby	9,6	9,6	1,5	-	6.8	W
EMISSIONI ACUSTICHE						
Livello di emissione sonora (PHI)	57	49	56	-	46	dB(A)
Livello di emissione sonora dichiarato	46	52	56	PDC 42 ComfoAir fino a 79	<50	dB(A)
LIMITI						
Superficie massima abitazione	<130	<130	<200 m2	<200	<242 (PHI)	m2

Range di temperature esterne	da -20 a +40	da -15 a +40	da -20 a +35	-6/20 (acqua glicolata)	≥ -6	°C
Protezione gelo	-4	-15	-15	-17 ± 2	-3	°C
Necessità canale di preriscaldamento interrato	no	no	no	no	si	-

Bibliografia

Reg. UE 16 aprile 2014, n. 517

Dir. UE 30 maggio 2018, n. 844

D. lgs 10 giugno 2020, n. 48

D.M. 26 giugno 2015

D.L. 19 agosto 2005, n. 192

D. lgs 3 marzo 2011, n. 28

ROSSI N., *Manuale del Termotecnico*, Milano, IV edizione

CORRADO V., FABRIZIO E., *Fondamenti di termofisica dell'edificio e climatizzazione*, Torino, 2014

GIARETTO V., *Lezioni di termodinamica applicata e trasmissione del calore*, Torino, 2014

COMINI G., CROCE G., SAVINO S., *Energetica generale, V edizione*, Padova 2011

International Passive House Association, *Attiva per un maggior comfort: La Passivhaus. Informazioni per operatori immobiliari, imprenditori e committenti*, Zephyr, 2010

Coppo L., *Gli standard legati al risparmio energetico: Passivhaus e CasaClima*, www.lauracoppo.it

Appunti delle lezioni del corso di "Energetica dell'edificio", prof. CAPOZZOLI A.

Appunti delle lezioni del corso di "Energy savings and comfort in buildings", prof. PERINO M.

Appunti delle lezioni del corso di "Design of HVAC systems and mechanical equipment", prof. MASOERO M. C.

13_f Ventilatori, dicembre 2018, www.diem.ing.unibo.it

Generatori di calore: pompe di calore, www.iuav.it

Comfort Ambientale, www.sicuring.it

Censimento delle abitazioni, 23 dicembre 2013, ISTAT

Edifici e abitazioni, 11 agosto 2014, ISTAT

MISE, *La situazione energetica nazionale nel 2018, 2019*, www.dgsaie.mise.gov.it

Lochbaur, www.infobuildenergia.it/progetti/lochbaur

Pompe di calore: un mercato che gode (ancora) di ottima salute, 15 luglio 2019,
www.casaclima.com

Filippi M., *Passivhaus: requisiti e procedura di certificazione*, dicembre 2018

Carletti C., Scurpi F., Raffaellini G., *Riqualificazione energetica e target passivhaus: problematiche e risultati di un'indagine sul campo*, Università di Firenze

Carotti A., Madè D., *La casa passiva in Italia. Teoria e progetto di una "casa passiva" in tecnologia tradizionale*, Milano, ottobre 2006

ANCE, *Lo stock abitativo in Italia*, 5 maggio 2015

TOSO F., MURA A., *Analisi sulla dotazione impiantistica di climatizzazione (estiva ed invernale) del patrimonio edilizio ad uso residenziale e terziario e valutazione dell'impatto economico in relazione a misure di politiche energetiche e ambientali*, settembre 2015

FAGANELLO S., *L'aggregato compatto: un unico elemento impiantistico per gli nZEB*

FIAIP, *Osservatorio immobiliare nazionale settore urbano 2018*, www.fiaip.it

MISE, *Relazione annuale sull'efficienza energetica. Risultati conseguiti e obiettivi al 2020*, aprile 2019, www.mise.gov.it

Passive House Institute, *Edifici a energia quasi zero (NZEB). Il ruolo dei comuni*, www.agenateramo.it

COSTANZO E., BASILI R., HUGONY F., MISCEO M., PALLOTTELLI R., ZANGHIRELLA F., LABIA N., *Osservatorio degli edifici a energia quasi zero (nZEB) in Italia 2016-2018*, 2019, ENEA

Piano di azione italiano per l'Efficienza Energetica, giugno 2017, www.mise.gov.it

Maroccolo G, *Implementazione di un modello numerico per la previsione delle prestazioni di una pompa di calore compatta ad uso residenziale per la produzione di acqua calda sanitaria, con recupero di calore e post trattamento lato aria*, Padova, 2013/2014

SANTA U., *Gli aggregati compatti*, in “CasaClima” n° 2, aprile 2015

CasaClima, *Direttiva Tecnica Nuovi Edifici*, settembre 2017

AERMEC, *Nozioni di aeraulica*, edizione 03/2002

Stiebel Eltron, *Installation. Central ventilation appliance with heat recovery. LWZ 304 SOL, LWZ 404 SOL*

Stiebel Eltron, *Engineering and installation. Ventilation technical guide*

Stiebel Eltron, *La massima efficienza sfruttando ogni briciolo di energia*, maggio 2017

Zehnder, *Zehnder ComfoBox Il tuttofare per un clima perfetto*

Zehnder, *Comfosystem. Centrale énergétique Zehnder ComfoBox. Prix e technique 2016*

Zehnder, *ComfoBox di Zehnder serie 5. Istruzioni per l'uso*, maggio 2013

Zehnder, *Manuale d'uso e manutenzione. Centrale termica compatta comfobox-4*

Zehnder, *Centrale termica compatta ComfoBox serie 5. Manuale per la progettazione e specifiche tecniche*, 20 febbraio 2009

Zehnder, *Zehnder ComfoBox CB-SW-IN. Pompa di calore ad acqua glicolata/acqua con apparecchio di ventilazione integrato*

Nilan, *Product Data. Compact P – series by Nilan*

Pichler, *Sistema Ventech Pkom⁴. Apparecchio combinato con pompa di calore in casa passiva*, novembre 2017

Passive House Institute, *Certification of Compact Heat Pump Unit*, febbraio 2012

Passive House Institute, *Certificate. Compact Heat Pump System. Compact P*

Passive House Institute, *Certificate. Compact Heat Pump System. Pkom 4*

Passive House Institute, *Certificate. Compact Heat Pump System. LWZ 304 SOL*

Passive House Institute, *Certificate. Compact Heat Pump System. Aerosmart M*

Drexel und Weiss, *Produkte. Aerosmart m/ Aerosmart L*

Drexel und Weiss, *Aerosmart. Frischluftheizung. Luftten, Heizen und Warmwasser*

Drexel und Weiss, *Inbetriebnahmeanleitung. Aerosmart m l*

Drexel und Weiss, *Aerosmart m l. Einbau*