



Ricerca di Sistema elettrico

Test di comparazione tra PdC con refrigerante di riferimento (R410A) e refrigeranti a basso GWP

A.Mariani, L. Gugliermetti, C. Menale,
M. Morlacca, L. Simonetti, R. Trinchieri

Report RdS/PTR(2021)/337

TEST DI COMPARAZIONE TRA PDC CON REFRIGERANTE DI RIFERIMENTO (R410A) E REFRIGERANTI A BASSO GWP

A.Mariani, L. Gugliermetti, C. Menale, M. Morlacca, L. Simonetti, R. Trinchieri (ENEA)

Dicembre 2021

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero della Transizione Ecologica - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - III annualità

Obiettivo: Tecnologie

Progetto: Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali

Work package: Pompe di Calore

Linea di attività: Attività su refrigeranti a basso GWP: Esecuzione test su PdC con refrigerante di riferimento (R410A) e con refrigeranti a basso GWP

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Responsabile del Work package: Raniero Trinchieri, ENEA

Indice

SOMMARIO	4
1 INTRODUZIONE	5
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	5
2.1 METODOLOGIA DI PROVA E FASE DI ACQUISIZIONE DEI DATI	5
2.2 UTILIZZO DELLA NORMATIVA UNI-EN 14825	6
2.2.1 <i>Condizioni di riferimento delle prove</i>	10
2.2.2 <i>Metodologia applicata per il calcolo dello SCOP</i>	13
2.3 RISULTATI CALCOLO DELLO SCOP	19
2.3.1 <i>Conclusioni per il calcolo dello SCOP</i>	33
2.4 CALCOLO DELLA CLASSE ENERGETICA E DEL SSHEE.....	34
2.4.1 <i>Conclusioni sulla classe energetica e del SSHEE</i>	35
3 CONCLUSIONI.....	36
4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	36
5 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	37

Sommario

La presente attività di ricerca prosegue l'attività precedentemente svolta nella LA 3.4 relativa alla realizzazione di prototipi di PdC di comparazione. L'obiettivo dell'attività attuale è l'esecuzione dei test sui prototipi di PdC utilizzando come refrigerante l'R410A e i refrigeranti a basso GWP precedentemente selezionati. A valle dei test si effettuerà la misurazione delle prestazioni della PdC e dal calcolo dello SCOP in accordo alla normativa vigente.

L'attività è stata realizzata nelle seguenti fasi:

- Esecuzione della campagna sperimentale sui due prototipi, costruttivamente simili (a parte il compressore), in regime invernale con modalità a pompa di calore secondo la normativa di riferimento per pompe di calore UNI-EN 14825 [1] e UNI EN 14511 [2];
- Elaborazione e riduzione dei dati sperimentali;
- Analisi dei risultati per il calcolo dei parametri di prestazione da normativa SCOP, SCOP-ON, SCOP-NET, SSHEE e classe energetica a carico parziale e stagionale;
- Calcolo della classe energetica secondo la direttiva 2010/30/UE [3];
- Interpretazione dei risultati.

A seguito della fase di progettazione sono stati testati i due prototipi di macchina a pompa di calore a basso GWP operanti con R1234ze (GWP100 < 1, Prototipo #1) e R410A (GWP100 = 1923) o R452B (GWP100 = 676) o R454B (GWP100 = 467, Prototipo #2). In questo documento vengono descritti e analizzati i risultati ottenuti a seguito della fase di test. Tutte le prove sono state svolte all'interno dell'impianto "Calorimetro Enea" in modo da operare a condizioni standard da normativa. Nel report vengono quindi riepilogati i risultati ottenuti e descritte le conclusioni tecnico/scientifiche a cui si è giunti.

1 Introduzione

L'attività qui descritta si pone l'obiettivo di valutare le performance dei nuovi refrigeranti a basso impatto ambientale GWP su due impianti a pompa di calore di piccola taglia.

I refrigeranti identificati per i test sono:

- R1234ze con $GWP_{100} < 1$;
- R410A con $GWP_{100} = 1923$;
- R452B con $GWP_{100} = 676$;
- R454B con $GWP_{100} = 467$.

I prototipi sono installati all'interno dell'impianto sperimentale "Calorimetro Enea" presente presso l'edificio F40 all'interno del Centro ricerche Enea Casaccia (Roma). Nelle attività condotte nelle precedenti annualità, sono stati progettati, sviluppati e installati due prototipi sperimentali di pompa di calore in grado di operare con i refrigeranti selezionati. In particolare, i due prototipi sono in grado di operare con:

- R1234ze 1 caricato nel Prototipo #1;
- R410A, R452B e R454B caricati alternativamente nel Prototipo #2.

Per la definizione, l'esecuzione e l'analisi dei dati provenienti dalle prove sono state seguite le normative di riferimento, la UNI EN 14511 [2] e la UNI EN 14825 [1] nella loro ultima revisione. Il calcolo dello SCOP e delle sue grandezze correlate è riportato nella UNI-EN 14825 [1] e i test sono stati svolti secondo le condizioni di prova prescritte. Inoltre, per il calcolo dello SSHEE e della classe energetica è stata seguita la direttiva 2010/30/UE.

2 Descrizione delle attività svolte e risultati

Questa sezione contiene la descrizione dei risultati sperimentali e delle procedure per il calcolo dei parametri di riferimento SCOP, SCOP-ON, SCOP-NET, SSHEE e della classe energetica.

2.1 Metodologia di prova e fase di acquisizione dei dati

La norma UNI-EN 14511 [2] prevede che i test siano effettuati in tre fasi distinte: condizionamento, equilibrio e raccolta dei dati. La durata della fase di raccolta dei dati può variare a seconda del funzionamento della pompa di calore, è necessario garantire, infatti, le condizioni di stabilità richieste dalla norma o, alternativamente, quelle transitorie. In dettaglio, le tre fasi devono avere le seguenti caratteristiche e il seguente ordine:

1. Condizionamento

Sia l'apparecchiatura di condizionamento in prova che la camera dove essa viene ospitata devono essere azionate sino a ottenere le tolleranze di misura specificate nel prospetto 4 della norma (richiamate in Tabella 1) per almeno 10 minuti.

2. Equilibrio

Il periodo di equilibrio segue immediatamente il condizionamento e un periodo di intermezzo detto di "recupero" dalla durata di 10 minuti che conclude il condizionamento. Il periodo di equilibrio completo ha una durata di un'ora. In questo periodo, a parte eventuali test eseguiti in condizioni transitorie, la pompa di calore deve essere azionata nel rispetto delle tolleranze di prova specificate nel prospetto 4 della norma.

3. Periodo di raccolta dati

Il periodo di raccolta dei dati segue immediatamente il periodo di equilibrio e ha una durata di almeno 70 minuti. I dati devono essere campionati tramite intervalli uniformi ad una cadenza di 30 s o meno, fatta

eccezione per i cicli di sbrinamento. Durante questi cicli, e per i primi 10 minuti successivi, i dati devono essere campionati con maggiore frequenza, a intervalli uniformi di 10 secondi o meno.

Per quanto riguarda la singola misura, le fluttuazioni periodiche delle grandezze misurate provocate dal funzionamento dei dispositivi di regolazione e controllo sono ammissibili, a condizione che sia il singolo valore sia il valore medio della misura nell'intervallo di acquisizione non sia maggiore degli scostamenti indicati nel prospetto 4 della norma.

Tabella 1: Scostamenti ammissibili dai valori impostati tratta dal prospetto 4 della norma UNI-EN 14511 parte terza [2]

Grandezza misurata	Scostamenti ammissibili dei valori di media aritmetica dai valori impostati	Scostamenti ammissibili di ciascuno dei valori misurati dai valori impostati
Liquidi		
Temperatura in entrata	±0,2 K	±0,5 K
Temperatura in uscita	±0,3 K	±0,6 K
Portata volumetrica	±1%	±2,5%
Aria		
Temperatura in entrata	±0,3 K	±1 K

2.2 Utilizzo della normativa UNI-EN 14825

Per le prove è stata seguita e integrata la normativa UNI-EN 14825 “Annex A” [1] per macchine adibite al solo riscaldamento e di potenza < 12 kW. In particolare, sono state seguite le Tabella 2 e Tabella 3 per condizioni climatiche “Average” e “Warmer” in quanto i sistemi installati non sono stati progettati per lavorare a temperature operative (TOL) inferiori ai -10 °C come temperatura dell’aria esterna a bulbo secco in quanto le macchine non sono in grado di fornire potenza termica per il riscaldamento, con una corrispondente richiesta di riscaldamento pari ad un incremento del 33% rispetto alla potenza termica fornita dalla HP (così come nell’annesso C riportato nella norma UNI EN 1482). Il valore della temperatura limite superiore è stato imposto pari a 16 °C, valore oltre il quale si assume nulla la richiesta termica da parte dell’utenza (così come nell’annesso C riportato nella norma UNI EN 14825).

Tabella 2: Numero di bin j, temperatura esterna T_j in °C e numero di ore per bin h_j corrispondenti alla stagione di raffrescamento di riferimento

j	#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
T _j	°C	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
h _j	h	205	227	225	225	216	215	218	197	178	158	137	109	88	63	39	31	24	17	13	9	4	3	1	0

Tabella 3: Numero di bin j , temperatura esterna T_j in °C e numero di ore per contenitore h_j corrispondenti alle stagioni di riscaldamento di riferimento “Warmer”, “Average”, “Colder”. Per le prove sono state utilizzate solo le condizioni “A” e “W”.

		Warmer (W)	Average (A)	Colder (C)
j	T_j	h_{jw}	h_{jA}	h_{jC}
#	°C	h	h	h
1 to 8	-30 to -23	0	0	0
9	-22	0	0	1
10	-21	0	0	6
11	-20	0	0	13
12	-19	0	0	17
13	-18	0	0	19
14	-17	0	0	26
15	-16	0	0	39
16	-15	0	0	41
17	-14	0	0	35
18	-13	0	0	52
19	-12	0	0	37
20	-11	0	0	41
21	-10	0	1	43
22	-9	0	25	54
23	-8	0	23	90
24	-7	0	24	125
25	-6	0	27	169
26	-5	0	68	195
27	-4	0	91	278
28	-3	0	89	306
29	-2	0	165	454
30	-1	0	173	385
31	0	0	240	490
32	1	0	280	533
33	2	3	320	380
34	3	22	357	228
35	4	63	356	261
36	5	63	303	279
37	6	175	330	229
38	7	162	326	269
39	8	259	348	233
40	9	360	335	230
41	10	428	315	243
42	11	430	215	191
43	12	503	169	146
44	13	444	151	150
45	14	384	105	97
46	15	294	74	61
Totale		3.590	4.910	6.446

Dai dati in Tabella 2 e Tabella 3 si ricavano quindi i dati complessivi riportati in *Tabella 4* e riferiti alle sole condizioni di riscaldamento.

Tabella 4: Numero di ore utilizzate per il calcolo dell'SCOP". Per le prove sono state utilizzate solo le condizioni "A" e "W"

	Heating only		
	"A"	"W"	"C"
Off mode (H_{OFF})	3.672 h	4.345 h	2.189 h
Thermostat-off (H_{TO})	179 h	755 h	131 h
Standby (H_{SB})	0 h	0 h	0 h
Equivalent activemode hours for heating (H_{HE})	1.400 h	1.400 h	2.100 h

La normativa riporta inoltre il numero di ore di utilizzo del riscaldatore interno alla macchina (Tabella 5), non essendone dotate le macchine sviluppate la potenza ad esso associata è stata considerata nulla. Inoltre, è stata considerata nulla anche la potenza a macchina spenta in quanto le macchine sono disalimentate da quadro e non presentano assorbimenti residui. Infine, è stato considerato un valore di riferimento di potenza a macchina spenta pari a 13 W (potenza residua di standby). Questi valori non sono comunque impattanti sul confronto tra i diversi SCOP in quanto costanti tra tutte le macchine, le quali differiscono per il solo refrigerante utilizzato e il modello di compressore (tutti gli assorbimenti a macchina spenta o in standby sono identici al fine di confrontare nelle stesse condizioni le macchine). I valori sono utilizzati sono riportati in Tabella 6.

Tabella 5: Ore con riscaldatore elettrico attivo per la determinazione dello SCOP.

	Heating only		
	"A"	"W"	"C"
Crankcase heater (H_{CK})	3.851 h	4.476 h	2.944 h

Tabella 6: Valori di potenza assorbita a macchina spenta, in stadby e del riscaldatore elettrico utilizzati per il calcolo dello SCOP

Thermostat-off power (PTO)	0,013	kW
Off power (POFF)	0,000	kW
Crank Case Mode (PCK)	0,000	kW

Le prove sono state effettuate nelle condizioni "Average" e "Warmer" e per acqua al secondario tra 30 e 35 °C per applicazioni "Low Temperature Application" su macchine aria-acqua. Le condizioni di carico da normativa UNI-EN 14825 [1] sono riportate in Tabella 7 e tengono conto della possibilità di effettuare prove a portata fissa o variabile. Nei casi analizzati le macchine sono state operate a condizioni fisse e stazionarie di portata. Queste condizioni devono essere anche utilizzate per il calcolo della capacità dichiarata (Pdh) e del coefficiente di prestazione dichiarato (COPd).

Tabella 7: Condizioni di carico per macchine aria-acqua a bassa temperatura da normativa UNI-EN 14825

Condition	Part Load Ratio				Outdoor heat exchanger		Indoor heat exchanger			
	in %				Inlet dry (wet) bulb temperature °C		Fixed outlet °C	Variable outlet ^d °C		
	Formula	A	W	C	Outdoor air	Exhaust air	All climates	A	W	C
A	$\frac{(-7 - 16)}{(T_{designh} - 16)}$	88	n/a	61	-7(-8)	20(12)	a / 35	a / 34	n/a	a / 30
B	$\frac{(+2 - 16)}{(T_{designh} - 16)}$	54	100	37	2(1)	20(12)	a / 35	a / 30	a / 35	a / 27
C	$\frac{(+7 - 16)}{(T_{designh} - 16)}$	35	64	24	7(6)	20(12)	a / 35	a / 27	a / 31	a / 25
D	$\frac{(+12 - 16)}{(T_{designh} - 16)}$	15	29	11	12(11)	20(12)	a / 35	a / 24	a / 26	a / 24
E	$(TOL - 16) / (T_{designh} - 16)$				TOL	20(12)	a / 35	a / b	a / b	a / b
F	$(T_{biv} - 16) / (T_{designh} - 16)$				T _{biv}	20(12)	a / 35	a / c	a / c	a / c
G	$\frac{(-15 - 16)}{(T_{designh} - 16)}$	n/a	n/a	82	-15	20(12)	a / 35	n/a	n/a	a / 32

^a Con condizioni di portata nominale determinata nello standard EN 14511-2 [2] a condizioni 30/35 per unità a portata fissa e con delta T fisso di 5 K per unità a portata variabile. Se per una qualsiasi delle condizioni di prova la portata risultante è inferiore alla portata minima, allora questa portata minima viene utilizzata come portata fissa con la temperatura di uscita per questa condizione di prova.

^b In condizioni variabili la temperatura deve essere calcolata per interpolazione tra T_{designh} e la temperatura più vicina alla TOL.

^c In condizioni variabili la temperatura deve essere calcolata per interpolazione tra la temperatura superiore e quella inferiore più vicina alla temperatura bivalente.

^d Se la temperatura in condizioni variabili fosse inferiore al minimo del range di funzionamento dell'unità, questo minimo dovrebbe essere considerato come riferimento.

Ai fini del calcolo di SCOP/SCOPon/SCOPnet i rapporti di carico parziale devono essere basati sulle formule del rapporto di carico parziale e non sui valori arrotondati per ciascun clima.

I valori T_{designh} rilevanti sono definiti come segue:

- Clima medio (Average): condizioni di temperatura esterna a bulbo secco a -10 °C e 20 °C di temperatura interna;
- Clima più freddo (Colder): condizioni di temperatura esterna a bulbo secco a -22 °C e 20 °C di temperatura interna;
- Clima più caldo (Warmer): condizioni di temperatura esterna a bulbo secco a +2 °C e 20 °C di temperatura interna.

Per temperature di bulbo secco dell'aria esterna maggiori o uguali a -10 °C, la temperatura di bulbo umido è uguale alla temperatura di bulbo secco meno 1 K. Per temperature di bulbo secco inferiori a -10 °C, la temperatura di bulbo umido non è definita.

Per le pompe di calore, il relativo T_{biv} è definito come segue:

- per la stagione di riscaldamento media (Average), la temperatura bivalente a bulbo secco è pari o inferiore a +2 °C;
- per la stagione di riscaldamento più fredda (Colder), la temperatura bivalente a bulbo secco è di -7 °C o inferiore;
- per la stagione di riscaldamento più calda (Warmer), la temperatura bivalente a bulbo secco è pari o inferiore a +7 °C;

Per le pompe di calore, il relativo TOL è definito come segue:

- per la stagione di riscaldamento media (Average), la temperatura a bulbo secco è di -7 °C o inferiore;
- per la stagione di riscaldamento più fredda (Colder), la temperatura a bulbo secco è di -15 °C o inferiore;
- per la stagione di riscaldamento più calda (Warmer), la temperatura a bulbo secco è pari o inferiore a +2 °C;

Se il TOL dichiarato è inferiore al $T_{designh}$ del clima considerato, la temperatura esterna a bulbo secco è uguale a $T_{designh}$ per la condizione di carico parziale E nella Tabella 7. In caso di clima più freddo e se il TOL è inferiore a -20 °C, per le pompe di calore aria-aria e aria-acqua si applica una condizione aggiuntiva di carico parziale G a -15 °C.

2.2.1 Condizioni di riferimento delle prove

Le condizioni riportate nella Tabella 7 sono state applicate per l'analisi delle prestazioni delle pompe di calore a R1234ze, R410A, R452B e R454B, come limiti operativi delle macchine sono state utilizzate come condizioni ambientali di temperatura di -10°C per l'aria esterna, in quanto le macchine non posseggono rendimenti superiori del 33% rispetto alla potenza elettrica immessa a condizioni di temperatura inferiori (norma UNI EN 14825) e di 16 °C per la massima, valore oltre il quale si assume nulla la richiesta termica da parte dell'utenza (UNI EN 14825).

Le Tabelle 8, 9, 10, 11 seguenti riportano quindi i dati misurati nelle condizioni imposte dalla normativa. Tutte le macchine sono state operate alla frequenza di 50Hz per rendere comparabili i risultati.

Tabella 8: Condizioni di carico per macchina operante a R1234ze

Average		Outdoor heat exchanger	Indoor heat exchanger								
Part load ratio	Part load ratio %	Outdoor air	Inlet/outlet temperatures								
		Inlet dry bulb (wet bulb) temperature °C	Fixed outlet °C	Q [m ³ /h]	W _{cp} [kW]	W _{ass} [kW]	W _{th} [kW]	COP _{cp}	COP _{hp}	T _{amb} [°C]	
A	(-7-16)/(Tdesignh -16)	88	-7(-8)	32,71 / 35	0,51	1,04	1,09	1,38	1,60	1,26	-6,97
B	(+2-16)/(Tdesignh -16)	54	2(1)	30,92 / 35	0,52	1,11	1,21	2,53	2,59	2,09	1,99
C	(+7-16)/(Tdesignh -16)	35	7(6)	30,03 / 35	0,52	1,16	1,26	3,03	2,94	2,40	7,03
D	(+12-16)/(Tdesignh -16)	-15	12(11)	29,46 / 35	0,52	1,16	1,29	3,38	3,19	2,62	11,98
E	(TOL-16)/(Tdesignh -16)		TOL	- / 35							
F	(Tbivalent-16)/(Tdesignh -16)		Tbivalent	- / 35							

Tabella 9: Condizioni di carico per macchina operante a R410A

Average		Outdoor heat exchanger	Indoor heat exchanger								
Part load ratio	Part load ratio %	Outdoor air	Inlet/outlet temperatures								
		Inlet dry bulb (wet bulb) temperature °C	Fixed outlet °C	Q [m ³ /h]	W _{cp} [kW]	W _{ass} [kW]	W _{th} [kW]	COP _{cp}	COP _{hp}	T _{amb} [°C]	
A	(-7-16)/(Tdesignh -16)	88	-7(-8)	32,22 / 35	0,68	1,29	1,36	2,17	1,92	1,60	-7,08
B	(+2-16)/(Tdesignh -16)	54	2(1)	30,02 / 35	0,68	1,40	1,47	3,40	2,75	2,32	2,04
C	(+7-16)/(Tdesignh -16)	35	7(6)	30,62 / 35	0,68	1,44	1,52	3,96	3,08	2,62	6,96
D	(+12-16)/(Tdesignh -16)	15	12(11)	29,12 / 35	0,68	1,50	1,59	4,81	3,53	3,02	11,92
E	(TOL-16)/(Tdesignh -16)		TOL	- / 35							
F	(Tbivalent-16)/(Tdesignh -16)		Tbivalent	- / 35							

Tabella 10: Condizioni di carico per macchina operante a R452B

Average		Outdoor heat exchanger	Indoor heat exchanger								
Part load ratio	Part load ratio %	Outdoor air	Inlet/outlet temperatures								
		Inlet dry bulb (wet bulb) temperature °C	Fixed outlet °C	Q [m³/h]	W _{cp} [kW]	W _{ass} [kW]	W _{th} [kW]	COP _{cp}	COP _{hp}	T _{amb} [°C]	
A	(-7-16)/(Tdesignh -16)	88	-7(-8)	32,27 / 35	0,68	1,26	1,35	2,15	1,92	1,60	-6,95
B	(+2-16)/(Tdesignh -16)	54	2(1)	30,80 / 35	0,69	1,34	1,44	3,33	2,75	2,31	1,99
C	(+7-16)/(Tdesignh -16)	35	7(6)	30,03 / 35	0,68	1,33	1,47	3,91	3,15	2,66	6,99
D	(+12-16)/(Tdesignh -16)	15	12(11)	29,21 / 35	0,68	1,34	1,46	4,53	3,67	3,10	11,90
E (TOL-16)/(Tdesignh -16)		TOL		- / 35							
F (Tbivalent-16)/(Tdesignh -16)		Tbivalent		- / 35							

Tabella 11: Condizioni di carico per macchina operante a R454B

Average		Outdoor heat exchanger	Indoor heat exchanger								
Part load ratio	Part load ratio %	Outdoor air	Inlet/outlet temperatures								
		Inlet dry bulb (wet bulb) temperature °C	Fixed outlet °C	Q [m³/h]	W _{cp} [kW]	W _{ass} [kW]	W _{th} [kW]	COP _{cp}	COP _{hp}	T _{amb} [°C]	
A	(-7-16)/(Tdesignh -16)	88	-7(-8)	33,92 / 35	0,65	1,32	1,40	0,82	0,70	0,58	-6,98
B	(+2-16)/(Tdesignh -16)	54	2(1)	31,25 / 35	0,65	1,35	1,45	2,87	2,36	1,98	2,12
C	(+7-16)/(Tdesignh -16)	35	7(6)	29,99 / 35	0,67	1,36	1,46	3,87	3,13	2,64	7,09
D	(+12-16)/(Tdesignh -16)	15	12(11)	29,01 / 35	0,65	1,34	1,45	4,57	3,74	3,15	11,79
E (TOL-16)/(Tdesignh -16)		TOL		- / 35							
F (Tbivalent-16)/(Tdesignh -16)		Tbivalent		- / 35							

Risulta quindi possibile utilizzare i dati per graficare gli andamenti delle diverse configurazioni al fine di confrontare le principali grandezze operative visibili in Figura 1: potenza totale elettrica assorbita a), potenza termica erogata b), COP solo compressore c) e COP complessivo d).

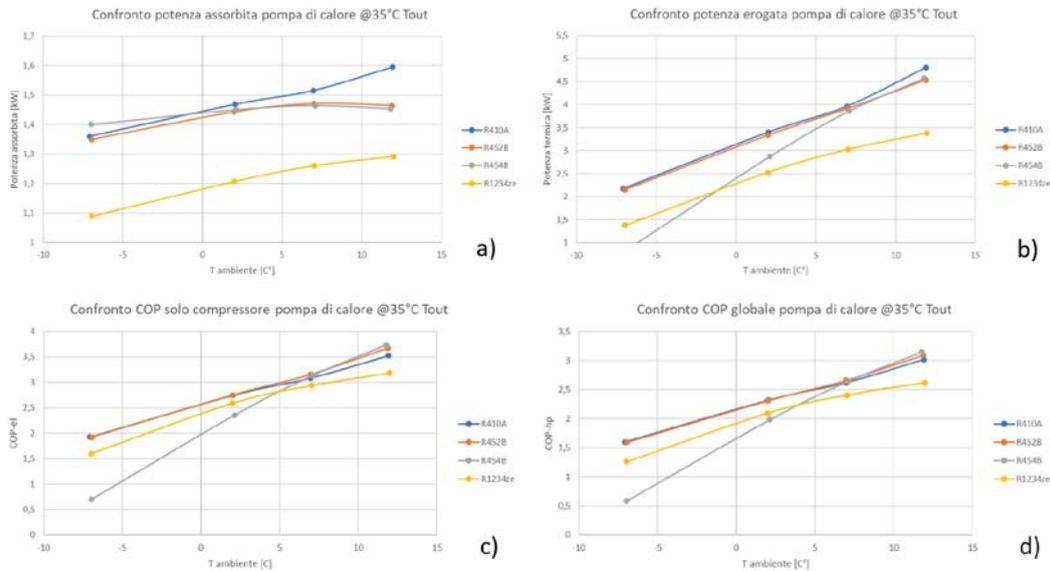


Figura 1: Confronti tra i principali parametri operativi tra i diversi fluidi operativi: Consumo elettrico (a), Potenza erogata (b), COP solo compressore (c), COP globale (d)

2.2.2 Metodologia applicata per il calcolo dello SCOP

Per il calcolo dello SCOP relativamente al prototipo elaborante R134a si è fatto riferimento alla norma UNI EN 14825. Le tabelle (Tabella 3, 4, 5) riportano i valori da normativa per il numero di Bin (j), le temperature esterne (T_j) in °C, il numero di per bin corrispondenti alle varie stagioni di riscaldamento di riferimento ("calda", "media" e "fredda" riportate come H_j) e il numero di ore di funzionamento della macchina alle differenti condizioni. L'indice di prestazione stagionale in modalità pompa di calore (SCOP) è calcolato tramite il rapporto tra la richiesta di riscaldamento annuale, Q_H, e il consumo elettrico annuale, Q_{HE}:

$$SCOP = \frac{Q_H}{Q_{HE}}$$

La richiesta di riscaldamento annuale Q_H (misurata in kWh) è calcolata come il prodotto tra la potenza di riscaldamento P_{designh} (kW) dichiarata dal costruttore nella condizione di progetto definita dalla norma, designh T, e il numero di ore equivalenti nella modalità attiva, H_{HE}, riportate nella **Tabella 4**, a seconda della stagione di riscaldamento di riferimento scelta:

$$Q_H = P_{designh} * H_{HE}$$

Questa richiesta va confrontata con il consumo elettrico annuale Q_{HE} che include i consumi elettrici nelle varie modalità: macchina attiva (ON), con termostato spento (TO), standby (SB), riscaldatore del carter attivo (CK), macchina completamente spenta (OFF).

$$Q_{HE} = \frac{Q_H}{SCOP_{ON}} + H_{TO}P_{TO} + H_{SB}P_{SB} + H_{CK}P_{CK} + H_{OFF}P_{OFF}$$

I termini H_{TO}, H_{SB}, H_{CK} e H_{OFF} e gli omologhi P_{TO}, P_{SB}, P_{CK} e P_{OFF} rappresentano rispettivamente le ore di funzionamento nelle diverse modalità e le potenze elettriche misurate a macchina in modalità termostato spento (TO), standby (SB), riscaldatore del carter attivo (CK), macchina completamente spenta (OFF). Il consumo elettrico nella sola modalità attiva dipende invece dal calcolo del coefficiente di prestazione stagionale SCOP_{ON} definito come:

$$SCOP_{ON} = \frac{\sum_{j=1}^n [h_j P_h(T_j)]}{\sum_{j=1}^n \left\{ h_j \left[\frac{P_h(T_j) - elbu(T_j)}{COP_{PL}(T_j)} + elbu(T_j) \right] \right\}}$$

Dove T_j rappresenta la temperatura al bin j , n il numero di bin totale e h_j il numero di ore corrispondenti alla temperatura T_j valutabili tramite la Tabella 3 a seconda della stagione di riferimento scelta.

$P_h(T_j)$ rappresenta la richiesta di riscaldamento dell'edificio, espressa in kW, per la corrispondente temperatura T_j , ed è determinata moltiplicando la potenza di riscaldamento a pieno carico, $P_{designh}$, per il coefficiente di carico parziale "P.L.R." valutato per ogni bin. Quest'ultimo è valutato come:

- $\frac{(T_j - 16)}{(-10 - 16)}$ per la stazione climatica media (Average)
- $\frac{(T_j - 16)}{(+2 - 16)}$ per la stazione climatica calda (Warmer)
- $\frac{(T_j - 16)}{(-22 - 16)}$ per la stazione climatica Fredda (Colder)

Il COP_{PL} indica invece il valore del COP della macchina a carico parziale, valutabile come:

$$COP_{PL} = \frac{COP_d CR}{Cc * CR + 1 - Cc}$$

Dove COP_d corrisponde al COP della macchina alle diverse condizioni di funzionamento, come imposto dalla normativa, Cc è un coefficiente di degrado delle performance e CR è il rapporto di capacità calcolato come rapporto tra la richiesta di riscaldamento P_h e la capacità dichiarata dalla macchina Q_{CO} alle stesse condizioni di temperatura.

$$Cc = 0.9$$

$$CR = \frac{P_h(T_j)}{Q_{co}}$$

Infine il termine $elbu(T_j)$ indica la capacità termica richiesta ad un riscaldatore elettrico operate in backup nel caso in cui la pompa di calore non fosse in grado di soddisfare da sola l'intero carico termico richiesto dall'utenza.

$$elbu(T_j) = P_h(T_j) - Q_{CO}(T_j)$$

Altro termine di interesse è lo $SCOP_{NET}$ che indica il valore dello SCOP al netto della potenza termica fornita dal riscaldatore elettrico di backup. Per il calcolo è possibile usare la relazione:

$$SCOP_{NET} = \frac{\sum_{j=1}^n \{h_j [P_h(T_j) - elbu(T_j)]\}}{\sum_{j=1}^n \left\{ h_j \left[\frac{P_h(T_j) - elbu(T_j)}{COP_{PL}(T_j)} \right] \right\}}$$

Utilizzando i dati provenienti dalle 3 diverse configurazioni delle pompe di calore è quindi possibile ottenere 3 tabelle per i valori totali di potenza assorbita (macchina + ausiliari) per il calcolo dello $SCOP_{ON_ASS}$ e dello $SCOP_{NET_ASS}$ partendo dai dati misurato del COP_{ASS} . Cambiando il valore di P_{design} a causa del diverso P.L.R. nelle condizioni climatiche Average e Warmer si hanno inoltre due tabelle per fluido. Le diverse tabelle così ottenute sono riportate di seguito (Tabella 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19).

Tabella 12: Dati per il calcolo dello SCOP_{ass} (considerando la potenza elettrica assorbita totale) relativi alla pompa di calore operante con R1234ze in condizioni Average, valutati nelle condizioni di funzionamento imposti dalla norma di riferimento.

Conditio n	Bin Temperatur e	Outdoor heat exchange r	Indoor Heat exchange r	Part Load Ratio	Part Loa d	Declare d Capacity	COP at Declare d Capacity	Degradatio n coefficient	Capacit y Ratio	Degradatio n Factor	COP at Part Load
				%	kW	kW	COP _{DC}	Cc	CR		COP _{P L}
A	-7	-7	35	88.5 %	4.15	1.38	1.26	0.90	1.00	1.00	1.26
B	2	2	35	53.8 %	2.53	2.53	2.09	0.90	1.00	1.00	2.09
C	7	7	35	34.6 %	1.63	3.03	2.40	0.90	0.54	0.92	2.21
D	12	12	35	15.4 %	0.72	3.38	2.62	0.90	0.21	0.73	1.91
E (TOL)	-7	-7	35	88.5 %	4.15	0.99	0.98	0.90	1.00	1.00	0.98

Tabella 13: Dati per il calcolo dello SCOP_{ass} (considerando la potenza elettrica assorbita totale) relativi alla pompa di calore operante con R410A in condizioni Average, valutati nelle condizioni di funzionamento imposti dalla norma di riferimento.

Conditio n	Bin Temperatur e	Outdoor heat exchange r	Indoor Heat exchange r	Part Load Ratio	Part Loa d	Declare d Capacity	COP at Declare d Capacity	Degradatio n coefficient	Capacit y Ratio	Degradatio n Factor	COP at Part Load
				%	kW	kW	COP _{DC}	Cc	CR		COP _{P L}
A	-7	-7	35	88.5 %	5.59	2.17	1.60	0.90	1.00	1.00	1.60
B	2	2	35	53.8 %	3.40	3.40	2.32	0.90	1.00	1.00	2.32
C	7	7	35	34.6 %	2.19	3.96	2.62	0.90	0.55	0.92	2.42
D	12	12	35	15.4 %	0.97	4.81	3.02	0.90	0.20	0.72	2.16
E (TOL)	-7	-7	35	88.5 %	5.59	1.85	1.39	0.90	1.00	1.00	1.39

Tabella 14: Dati per il calcolo dello SCOP_{ass} (considerando la potenza elettrica assorbita totale) relativi alla pompa di calore operante con R452B in condizioni Average, valutati nelle condizioni di funzionamento imposti dalla norma di riferimento.

Conditio n	Bin Temperatur e	Outdoor heat exchange r	Indoor Heat exchange r	Part Load Ratio	Part Loa d	Declare d Capacity	COP at Declare d Capacity	Degradatio n coefficient	Capacit y Ratio	Degradatio n Factor	COP at Part Load
				%	kW	kW	COP _{DC}	Cc	CR		COP _{P L}
A	-7	-7	35	88.5 %	5.47	2.15	1.60	0.90	1.00	1.00	1.60
B	2	2	35	53.8 %	3.33	3.33	2.31	0.90	1.00	1.00	2.31
C	7	7	35	34.6 %	2.14	3.91	2.66	0.90	0.55	0.92	2.46
D	12	12	35	15.4 %	0.95	4.53	3.10	0.90	0.21	0.73	2.25
E (TOL)	-7	-7	35	88.5 %	5.47	1.56	1.19	0.90	1.00	1.00	1.19

Tabella 15: Dati per il calcolo dello SCOP_{ass} (considerando la potenza elettrica assorbita totale) relativi alla pompa di calore operante con R454B in condizioni Average, valutati nelle condizioni di funzionamento imposti dalla norma di riferimento.

Condizione	Bin Temperature	Outdoor heat exchanger	Indoor Heat exchanger	Part Load Ratio	Part Load	Declared Capacity	COP at Declared Capacity	Degradation coefficient	Capacity Ratio	Degradation Factor	COP at Part Load
				%	kW	kW	COP _{DC}	Cc	CR		COP _P L
A	-7	-7	35	88.5 %	4.72	0.82	0.58	0.90	1.00	1.00	0.58
B	2	2	35	53.8 %	2.87	2.87	1.98	0.90	1.00	1.00	1.98
C	7	7	35	34.6 %	1.85	3.87	2.64	0.90	0.48	0.90	2.38
D	12	12	35	15.4 %	0.82	4.57	3.15	0.90	0.18	0.69	2.16
E (TOL)	-7	-7	35	88.5 %	4.72	0.14	0.12	0.90	1.00	1.00	0.12

Tabella 16: Dati per il calcolo dello SCOP_{ass} (considerando la potenza elettrica assorbita totale) relativi alla pompa di calore operante con R1234ze in condizioni Warmer, valutati nelle condizioni di funzionamento imposti dalla norma di riferimento.

Condizione	Bin Temperature	Outdoor heat exchanger	Indoor Heat exchanger	Part Load Ratio	Part Load	Declared Capacity	COP at Declared Capacity	Degradation coefficient	Capacity Ratio	Degradation Factor	COP at Part Load
				%	kW	kW	COP _{DC}	Cc	CR		COP _P L
A	-7	-7	35	164.3 %	7.74	1.38	1.26	0.90	1.00	1.00	1.26
B	2	2	35	100.0 %	4.71	2.53	2.09	0.90	1.00	1.00	2.09
C	7	7	35	64.3%	3.03	3.03	2.40	0.90	1.00	1.00	2.40
D	12	12	35	28.6%	1.35	3.38	2.62	0.90	0.40	0.87	2.27
E (TOL)	2	2	35	100.0 %	4.71	0.99	0.98	0.90	1.00	1.00	0.98

Tabella 17: Dati per il calcolo dello SCOP_{ass} (considerando la potenza elettrica assorbita totale) relativi alla pompa di calore operante con R410A in condizioni Warmer, valutati nelle condizioni di funzionamento imposti dalla norma di riferimento.

Condizione	Bin Temperature	Outdoor heat exchanger	Indoor Heat exchanger	Part Load Ratio	Part Load	Declared Capacity	COP at Declared Capacity	Degradation coefficient	Capacity Ratio	Degradation Factor	COP at Part Load
				%	kW	kW	COP _{DC}	Cc	CR		COP _P L
A	-7	-7	35	164.3 %	10.13	2.17	1.60	0.90	1.00	1.00	1.60
B	2	2	35	100.0 %	6.17	3.40	2.32	0.90	1.00	1.00	2.32
C	7	7	35	64.3%	3.96	3.96	2.62	0.90	1.00	1.00	2.62
D	12	12	35	28.6%	1.76	4.81	3.02	0.90	0.37	0.85	2.57
E (TOL)	2	2	35	100.0 %	6.17	1.85	1.39	0.90	1.00	1.00	1.39

Tabella 18: Dati per il calcolo dello SCOP_{ass} (considerando la potenza elettrica assorbita totale) relativi alla pompa di calore operante con R452B in condizioni Warmer, valutati nelle condizioni di funzionamento imposti dalla norma di riferimento.

Condizione	Bin Temperature	Outdoor heat exchanger	Indoor Heat exchanger	Part Load Ratio	Part Load	Declared Capacity	COP at Declared Capacity	Degradation coefficient	Capacity Ratio	Degradation Factor	COP at Part Load
				%	kW	kW	COP _{DC}	Cc	CR		COP _P L

Condizione	Bin Temperature	Outdoor heat exchange r	Indoor Heat exchange r	Part Load Ratio	Part Load	Declared Capacity	COP at Declared Capacity	Degradation coefficient	Capacity Ratio	Degradation Factor	COP at Part Load
A	-7	-7	35	164.3 %	10.00	2.15	1.60	0.90	1.00	1.00	1.60
B	2	2	35	100.0 %	6.09	3.33	2.31	0.90	1.00	1.00	2.31
C	7	7	35	64.3 %	3.91	3.91	2.66	0.90	1.00	1.00	2.66
D	12	12	35	28.6 %	1.74	4.53	3.10	0.90	0.38	0.86	2.67
E (TOL)	2	2	35	100.0 %	6.09	1.56	1.19	0.90	1.00	1.00	1.19

Tabella 19: Dati per il calcolo dello SCOP_{ass} (considerando la potenza elettrica assorbita totale) relativi alla pompa di calore operante con R454B in condizioni Warmer, valutati nelle condizioni di funzionamento imposti dalla norma di riferimento.

Condizione	Bin Temperature	Outdoor heat exchange r	Indoor Heat exchange r	Part Load Ratio	Part Load	Declared Capacity	COP at Declared Capacity	Degradation coefficient	Capacity Ratio	Degradation Factor	COP at Part Load
				%	kW	kW	COP _{DC}	Cc	CR		COP _P
A	-7	-7	35	164.3 %	9.88	0.82	0.58	0.90	1.00	1.00	0.58
B	2	2	35	100.0 %	6.01	2.87	1.98	0.90	1.00	1.00	1.98
C	7	7	35	64.3 %	3.87	3.87	2.64	0.90	1.00	1.00	2.64
D	12	12	35	28.6 %	1.72	4.57	3.15	0.90	0.38	0.86	2.70
E (TOL)	2	2	35	100.0 %	6.01	0.14	0.12	0.90	1.00	1.00	0.12

Per comodità sono stati riportati in figura i confronti tra i valori di COP_{PL} e di capacità dichiarata a parità di condizioni normative (Average, rispettivamente Figura 2 e Figura 3) e (Warmer, rispettivamente Figura 4 e Figura 5) per i diversi refrigeranti.

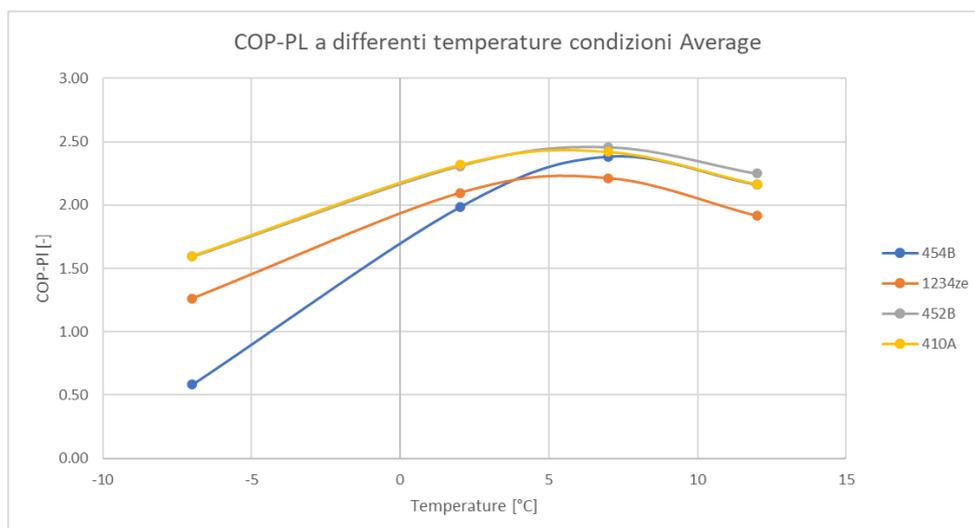


Figura 2: COP_{PL} in condizioni AVERAGE secondo la normativa UNI-EN 14825 [1] per i diversi tipi di fluido

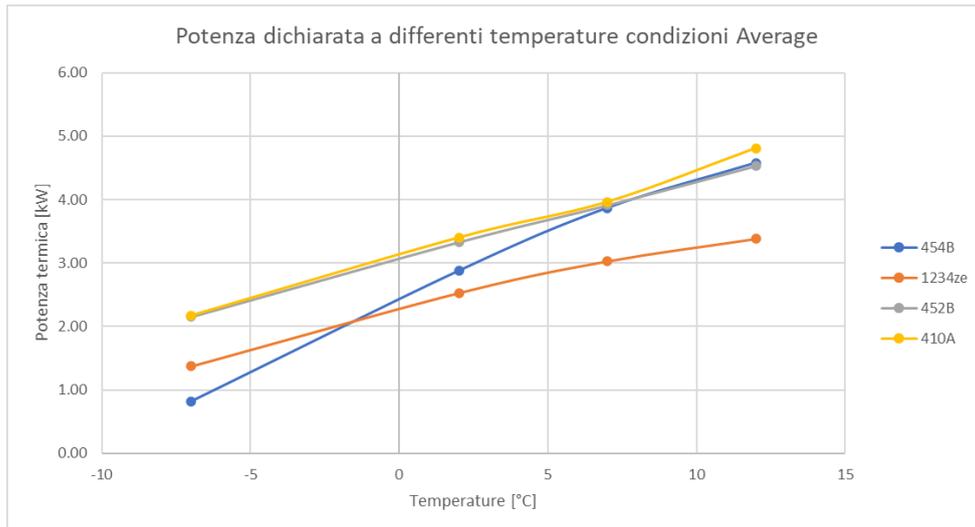


Figura 3: Capacità termica in condizioni AVERAGE secondo la normativa UNI-EN 14825 [1] per I diversi tipi di fluido

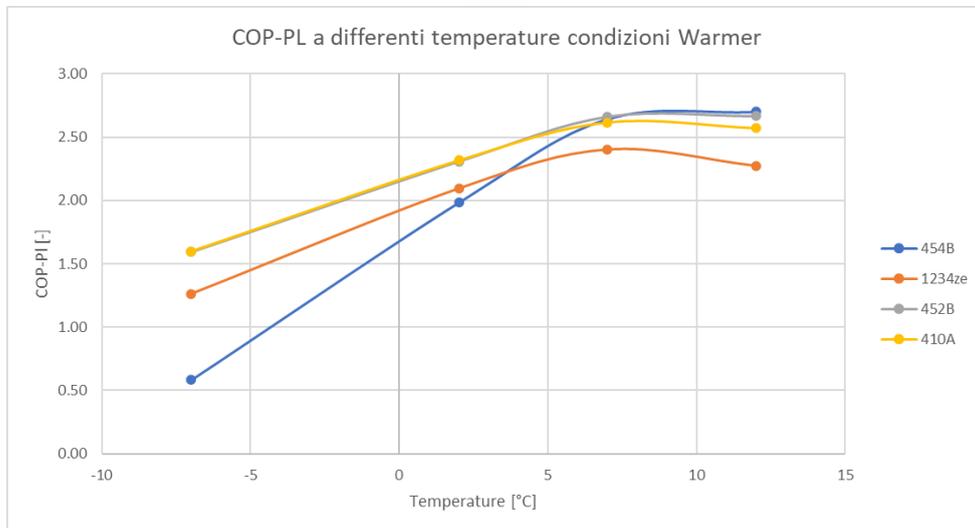


Figura 4: COP_{PL} in condizioni WARMER secondo la normativa UNI-EN 14825 [1] per I diversi tipi di fluido

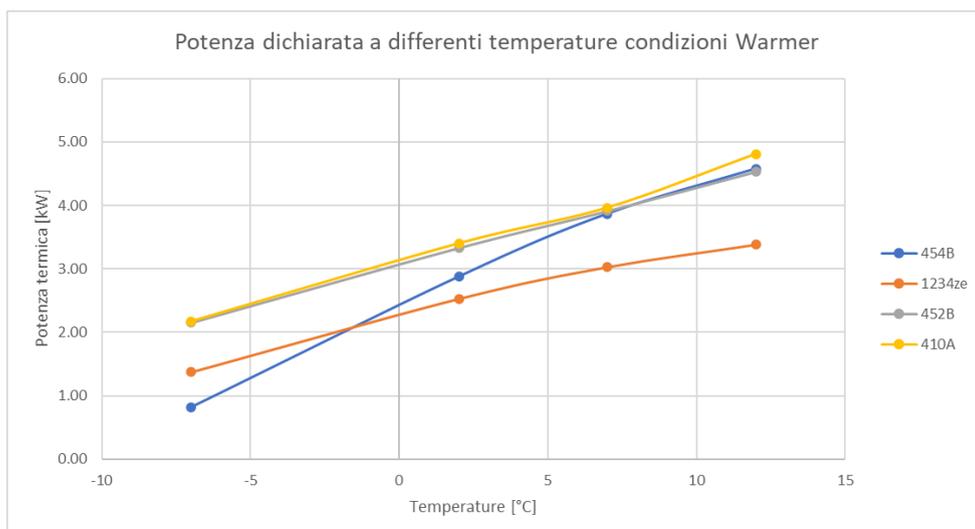


Figura 5: Capacità termica in condizioni WARMER secondo la normativa UNI-EN 14825 [1] per I diversi tipi di fluido

2.3 Risultati calcolo dello SCOP

Per il calcolo dello SCOP sono stati utilizzate 3 diverse condizioni, due da normativa (Average e Warmer), una per confronto ai limiti operativi della macchina riportati in Tabella 20. La condizione Colder non è risultata calcolabile in quanto per quelle condizioni la pompa di calore non è più in grado di fornire potenza termica per il riscaldamento superiore almeno del 33% rispetto alla potenza elettrica impiegata (UNI EN 14825 Annex C [1]). Il valore della temperatura limite superiore è stato imposto pari a 16 °C, valore oltre il quale si assume nulla la richiesta termica da parte dell'utenza.

Tabella 20: Condizioni utilizzate per il calcolo dello SCOP

Condizioni	Bin da normativa	TOL [°C]	T _{bivalente} [°C]	T _{design} [°C]
Custom	Average	-10	-7	-10
Average	Average	-7	2	-10
Warmer	Warmer	2	7	2

Per quanto riguarda i risultati nei diversi casi:

- I risultati del calcolo sono riportati per la condizione "Custom" con R1234ze in Tabella 21;
- I risultati del calcolo sono riportati per la condizione "Custom" con R410A in Tabella 22;
- I risultati del calcolo sono riportati per la condizione "Custom" con R452B in Tabella 23;
- I risultati del calcolo sono riportati per la condizione "Custom" con R454B in Tabella 24;
- I risultati del calcolo sono riportati per la condizione "Average" con R1234ze in Tabella 25;
- I risultati del calcolo sono riportati per la condizione "Average" con R410A in Tabella 26;
- I risultati del calcolo sono riportati per la condizione "Average" con R452B in Tabella 27;
- I risultati del calcolo sono riportati per la condizione "Average" con R454B in Tabella 28;
- I risultati del calcolo sono riportati per la condizione "Warmer" con R1234ze in Tabella 29;
- I risultati del calcolo sono riportati per la condizione "Warmer" con R410A in Tabella 30;
- I risultati del calcolo sono riportati per la condizione "Warmer" con R452B in Tabella 31;
- I risultati del calcolo sono riportati per la condizione "Warmer" con R454B in Tabella 32.

Tabella 21: SCOP R1234ze condizioni Custom

Bin	Outdoor temperature (dry bulb)	Hours	Part Load Ratio	Part Load	Annual Heating Demand	Heat Pump Capacity	Heat Load covered by HP	Electric back up heater	Annual Energy Input from Backup heater	COP _{PL}	Annual Energy Input including electric backup heater	Net Annual heating capacity	Net Annual power input
j	T _j	h _j		Ph _(Tj)	h _j x Ph _(Tj)			elbu _(Tj)	h _j x elbu _(Tj)		h _j x [Ph _(Tj) - elbu _(Tj) / COP _{PL(Tj)} + elbu _(Tj)]	h _j x {Ph _(Tj) - elbu _(Tj) }	h _j x Ph _(Tj) - elbu _(Tj) / COP _{PL(Tj)}
	°C	h		kW	kWh	kW	kW	kW	kWh		kWh	kWh	kWh
21	-10	1	1.00	1.55	2	0.99	0.99	0.57	1	0.98	2	1	1
22	-9	25	0.96	1.49	37	1.12	1.12	0.38	9	1.07	35	28	26
23	-8	23	0.92	1.44	33	1.25	1.25	0.19	4	1.17	29	29	25
24	-7	24	0.88	1.38	33	1.38	1.38	0.00	0	1.26	26	33	26
25	-6	27	0.85	1.32	36	1.50	1.32	0.00	0	1.32	27	36	27
26	-5	68	0.81	1.26	85	1.63	1.26	0.00	0	1.37	62	85	62
27	-4	91	0.77	1.20	109	1.76	1.20	0.00	0	1.42	76	109	76
28	-3	89	0.73	1.14	101	1.89	1.14	0.00	0	1.48	69	101	69
29	-2	165	0.69	1.08	178	2.02	1.08	0.00	0	1.53	116	178	116
30	-1	173	0.65	1.02	176	2.14	1.02	0.00	0	1.58	111	176	111
31	0	240	0.62	0.96	230	2.27	0.96	0.00	0	1.64	140	230	140
32	1	280	0.58	0.90	251	2.40	0.90	0.00	0	1.69	149	251	149
33	2	320	0.54	0.84	268	2.53	0.84	0.00	0	1.74	154	268	154
34	3	357	0.50	0.78	278	2.63	0.78	0.00	0	1.72	161	278	161
35	4	356	0.46	0.72	255	2.73	0.72	0.00	0	1.70	150	255	150
36	5	303	0.42	0.66	199	2.83	0.66	0.00	0	1.68	118	199	118
37	6	330	0.38	0.60	197	2.93	0.60	0.00	0	1.66	119	197	119
38	7	326	0.35	0.54	175	3.03	0.54	0.00	0	1.64	107	175	107
39	8	348	0.31	0.48	166	3.10	0.48	0.00	0	1.54	108	166	108
40	9	335	0.27	0.42	140	3.17	0.42	0.00	0	1.44	97	140	97
41	10	315	0.23	0.36	113	3.24	0.36	0.00	0	1.34	85	113	85
42	11	215	0.19	0.30	64	3.31	0.30	0.00	0	1.23	52	64	52
43	12	169	0.15	0.24	40	3.38	0.24	0.00	0	1.13	36	40	36
44	13	151	0.12	0.18	27	3.45	0.18	0.00	0	1.03	26	27	26
45	14	105	0.08	0.12	13	3.52	0.12	0.00	0	0.93	14	13	14
46	15	74	0.04	0.06	4	3.59	0.06	0.00	0	0.82	5	4	5

Tabella 22: SCOP R410A condizioni Custom

Bin	Outdoor temperature (dry bulb)	Hours	Part Load Ratio	Part Load	Annual Heating Demand	Heat Pump Capacity	Heat Load covered by HP	Electric back up heater	Annual Energy Input from Backup heater	COP _{PL}	Annual Energy Input including electric backup heater	Net Annual heating capacity	Net Annual power input
j	T _j	h _j		Ph _(Tj)	h _j x Ph _(Tj)			elbu _(Tj)	h _j x elbu _(Tj)		h _j x [Ph _(Tj) - elbu _(Tj) / COP _{PL(Tj)} + elbu _(Tj)]	h _j x {Ph _(Tj) - elbu _(Tj) }	h _j x Ph _(Tj) - elbu _(Tj) / COP _{PL(Tj)}
	°C	h		kW	kWh	kW	kW	kW	kWh		kWh	kWh	kWh
21	-10	1	1.00	2.46	2	1.85	1.85	0.61	1	1.39	2	2	1
22	-9	25	0.96	2.36	59	1.96	1.96	0.41	10	1.46	44	49	33
23	-8	23	0.92	2.27	52	2.06	2.06	0.20	5	1.53	36	47	31
24	-7	24	0.88	2.17	52	2.17	2.17	0.00	0	1.60	33	52	33
25	-6	27	0.85	2.08	56	2.31	2.08	0.00	0	1.64	34	56	34
26	-5	68	0.81	1.98	135	2.45	1.98	0.00	0	1.69	80	135	80
27	-4	91	0.77	1.89	172	2.58	1.89	0.00	0	1.73	99	172	99
28	-3	89	0.73	1.80	160	2.72	1.80	0.00	0	1.78	90	160	90
29	-2	165	0.69	1.70	281	2.86	1.70	0.00	0	1.82	154	281	154
30	-1	173	0.65	1.61	278	2.99	1.61	0.00	0	1.87	149	278	149
31	0	240	0.62	1.51	363	3.13	1.51	0.00	0	1.91	190	363	190
32	1	280	0.58	1.42	397	3.26	1.42	0.00	0	1.96	203	397	203
33	2	320	0.54	1.32	423	3.40	1.32	0.00	0	2.00	211	423	211
34	3	357	0.50	1.23	439	3.51	1.23	0.00	0	1.98	221	439	221
35	4	356	0.46	1.13	404	3.63	1.13	0.00	0	1.97	205	404	205
36	5	303	0.42	1.04	315	3.74	1.04	0.00	0	1.95	162	315	162
37	6	330	0.38	0.94	312	3.85	0.94	0.00	0	1.93	161	312	161
38	7	326	0.35	0.85	277	3.96	0.85	0.00	0	1.92	145	277	145
39	8	348	0.31	0.76	263	4.13	0.76	0.00	0	1.81	145	263	145
40	9	335	0.27	0.66	222	4.30	0.66	0.00	0	1.70	130	222	130
41	10	315	0.23	0.57	179	4.47	0.57	0.00	0	1.60	112	179	112
42	11	215	0.19	0.47	102	4.64	0.47	0.00	0	1.49	68	102	68
43	12	169	0.15	0.38	64	4.81	0.38	0.00	0	1.39	46	64	46
44	13	151	0.12	0.28	43	4.98	0.28	0.00	0	1.28	33	43	33
45	14	105	0.08	0.19	20	5.15	0.19	0.00	0	1.18	17	20	17
46	15	74	0.04	0.09	7	5.32	0.09	0.00	0	1.07	7	7	7

Tabella 23: SCOP R452B condizioni Custom

Bin	Outdoor temperature (dry bulb)	Hours	Part Load Ratio	Part Load	Annual Heating Demand	Heat Pump Capacity	Heat Load covered by HP	Electric back up heater	Annual Energy Input from Backup heater	COP _{PL}	Annual Energy Input including electric backup heater	Net Annual heating capacity	Net Annual power input
j	T _j	h _j		Ph _(Tj)	h _j x Ph _(Tj)			elbu _(Tj)	h _j x elbu _(Tj)		h _j x [Ph _(Tj) - elbu _(Tj) / COP _{PL(Tj)} + elbu _(Tj)]	h _j x {Ph _(Tj) - elbu _(Tj) }	h _j x Ph _(Tj) - elbu _(Tj) / COP _{PL(Tj)}
	°C	h		kW	kWh	kW	kW	kW	kWh		kWh	kWh	kWh
21	-10	1	1.00	2.43	2	1.56	1.56	0.87	1	1.19	2	2	1
22	-9	25	0.96	2.34	59	1.76	1.76	0.58	15	1.33	48	44	33
23	-8	23	0.92	2.25	52	1.96	1.96	0.29	7	1.46	38	45	31
24	-7	24	0.88	2.15	52	2.15	2.15	0.00	0	1.60	32	52	32
25	-6	27	0.85	2.06	56	2.28	2.06	0.00	0	1.64	34	56	34
26	-5	68	0.81	1.97	134	2.42	1.97	0.00	0	1.69	79	134	79
27	-4	91	0.77	1.87	170	2.55	1.87	0.00	0	1.73	98	170	98
28	-3	89	0.73	1.78	158	2.68	1.78	0.00	0	1.78	89	158	89
29	-2	165	0.69	1.69	278	2.81	1.69	0.00	0	1.82	153	278	153
30	-1	173	0.65	1.59	275	2.94	1.59	0.00	0	1.87	148	275	148
31	0	240	0.62	1.50	360	3.07	1.50	0.00	0	1.91	188	360	188
32	1	280	0.58	1.40	393	3.20	1.40	0.00	0	1.96	201	393	201
33	2	320	0.54	1.31	420	3.33	1.31	0.00	0	2.00	210	420	210
34	3	357	0.50	1.22	435	3.45	1.22	0.00	0	1.99	218	435	218
35	4	356	0.46	1.12	400	3.56	1.12	0.00	0	1.98	202	400	202
36	5	303	0.42	1.03	312	3.68	1.03	0.00	0	1.97	158	312	158
37	6	330	0.38	0.94	309	3.80	0.94	0.00	0	1.96	158	309	158
38	7	326	0.35	0.84	275	3.91	0.84	0.00	0	1.95	141	275	141
39	8	348	0.31	0.75	261	4.04	0.75	0.00	0	1.85	141	261	141
40	9	335	0.27	0.66	220	4.16	0.66	0.00	0	1.76	125	220	125
41	10	315	0.23	0.56	177	4.28	0.56	0.00	0	1.66	107	177	107
42	11	215	0.19	0.47	101	4.41	0.47	0.00	0	1.56	64	101	64
43	12	169	0.15	0.37	63	4.53	0.37	0.00	0	1.47	43	63	43
44	13	151	0.12	0.28	42	4.66	0.28	0.00	0	1.37	31	42	31
45	14	105	0.08	0.19	20	4.78	0.19	0.00	0	1.27	15	20	15
46	15	74	0.04	0.09	7	4.90	0.09	0.00	0	1.18	6	7	6

Tabella 24: SCOP R454B condizioni Custom

Bin	Outdoor temperature (dry bulb)	Hours	Part Load Ratio	Part Load	Annual Heating Demand	Heat Pump Capacity	Heat Load covered by HP	Electric back up heater	Annual Energy Input from Backup heater	COP _{PL}	Annual Energy Input including electric backup heater	Net Annual heating capacity	Net Annual power input
j	T _j	h _j		Ph(T _j)	h _j x Ph(T _j)			elbu(T _j)	h _j x elbu(T _j)		h _j x [Ph(T _j) - elbu(T _j) / COP _{PL(T_j)} + elbu(T _j)]	h _j x {Ph(T _j) - elbu(T _j)}	h _j x Ph(T _j) - elbu(T _j) / COP _{PL(T_j)}
	°C	h		kW	kWh	kW	kW	kW	kWh		kWh	kWh	kWh
21	-10	1	1.00	0.92	1	0.14	0.14	0.79	1	0.12	2	0	1
22	-9	25	0.96	0.89	22	0.36	0.36	0.53	13	0.27	46	9	33
23	-8	23	0.92	0.85	20	0.59	0.59	0.26	6	0.43	38	14	32
24	-7	24	0.88	0.82	20	0.82	0.82	0.00	0	0.58	34	20	34
25	-6	27	0.85	0.78	21	1.05	0.78	0.00	0	0.67	32	21	32
26	-5	68	0.81	0.75	51	1.27	0.75	0.00	0	0.75	67	51	67
27	-4	91	0.77	0.71	65	1.50	0.71	0.00	0	0.84	77	65	77
28	-3	89	0.73	0.67	60	1.73	0.67	0.00	0	0.92	65	60	65
29	-2	165	0.69	0.64	105	1.96	0.64	0.00	0	1.00	105	105	105
30	-1	173	0.65	0.60	104	2.19	0.60	0.00	0	1.09	96	104	96
31	0	240	0.62	0.57	136	2.42	0.57	0.00	0	1.17	116	136	116
32	1	280	0.58	0.53	149	2.65	0.53	0.00	0	1.26	119	149	119
33	2	320	0.54	0.50	159	2.87	0.50	0.00	0	1.34	119	159	119
34	3	357	0.50	0.46	165	3.07	0.46	0.00	0	1.32	125	165	125
35	4	356	0.46	0.43	152	3.27	0.43	0.00	0	1.31	116	152	116
36	5	303	0.42	0.39	118	3.47	0.39	0.00	0	1.29	92	118	92
37	6	330	0.38	0.35	117	3.67	0.35	0.00	0	1.27	92	117	92
38	7	326	0.35	0.32	104	3.87	0.32	0.00	0	1.25	83	104	83
39	8	348	0.31	0.28	99	4.01	0.28	0.00	0	1.15	86	99	86
40	9	335	0.27	0.25	83	4.15	0.25	0.00	0	1.06	79	83	79
41	10	315	0.23	0.21	67	4.29	0.21	0.00	0	0.96	70	67	70
42	11	215	0.19	0.18	38	4.43	0.18	0.00	0	0.86	44	38	44
43	12	169	0.15	0.14	24	4.57	0.14	0.00	0	0.76	31	24	31
44	13	151	0.12	0.11	16	4.72	0.11	0.00	0	0.67	24	16	24
45	14	105	0.08	0.07	7	4.86	0.07	0.00	0	0.57	13	7	13
46	15	74	0.04	0.04	3	5.00	0.04	0.00	0	0.47	6	7	6

Tabella 25: SCOP R1234ze condizioni Average

Bin	Outdoor temperature (dry bulb)	Hours	Part Load Ratio	Part Load	Annual Heating Demand	Heat Pump Capacity	Heat Load covered by HP	Electric back up heater	Annual Energy Input from Backup heater	COP _{PL}	Annual Energy Input including electric backup heater	Net Annual heating capacity	Net Annual power input
j	T _j	h _j		Ph _(Tj)	h _j x Ph _(Tj)			elbu _(Tj)	h _j x elbu _(Tj)		h _j x [Ph _(Tj) - elbu _(Tj) / COP _{PL(Tj)} + elbu _(Tj)]	h _j x {Ph _(Tj) - elbu _(Tj) }	h _j x Ph _(Tj) - elbu _(Tj) / COP _{PL(Tj)}
	°C	h		kW	kWh	kW	kW	kW	kWh		kWh	kWh	kWh
21	-10	1	1.00	4.69	5	0.00	0.00	4.69	5	0.98	5	0	5
22	-9	25	0.96	4.51	113	0.00	0.00	4.51	113	1.07	113	0	113
23	-8	23	0.92	4.33	100	0.00	0.00	4.33	100	1.14	100	0	100
24	-7	24	0.88	4.15	100	1.38	1.38	2.78	67	1.26	93	33	26
25	-6	27	0.85	3.97	107	1.50	1.50	2.47	67	1.35	97	41	30
26	-5	68	0.81	3.79	258	1.63	1.63	2.16	147	1.45	224	111	77
27	-4	91	0.77	3.61	329	1.76	1.76	1.85	169	1.54	272	160	104
28	-3	89	0.73	3.43	305	1.89	1.89	1.54	137	1.63	240	168	103
29	-2	165	0.69	3.25	536	2.02	2.02	1.23	204	1.72	397	333	193
30	-1	173	0.65	3.07	531	2.14	2.14	0.93	160	1.82	364	371	204
31	0	240	0.62	2.89	693	2.27	2.27	0.62	148	1.91	434	545	285
32	1	280	0.58	2.71	758	2.40	2.40	0.31	86	2.00	422	672	336
33	2	320	0.54	2.53	809	2.53	2.53	0.00	0	2.09	386	809	386
34	3	357	0.50	2.35	838	2.63	2.35	0.00	0	2.12	396	838	396
35	4	356	0.46	2.17	771	2.73	2.17	0.00	0	2.14	360	771	360
36	5	303	0.42	1.99	602	2.83	1.99	0.00	0	2.17	278	602	278
37	6	330	0.38	1.81	596	2.93	1.81	0.00	0	2.19	272	596	272
38	7	326	0.35	1.63	530	3.03	1.63	0.00	0	2.21	240	530	240
39	8	348	0.31	1.44	503	3.10	1.44	0.00	0	2.15	234	503	234
40	9	335	0.27	1.26	423	3.17	1.26	0.00	0	2.09	202	423	202
41	10	315	0.23	1.08	341	3.24	1.08	0.00	0	2.03	168	341	168
42	11	215	0.19	0.90	194	3.31	0.90	0.00	0	1.97	98	194	98
43	12	169	0.15	0.72	122	3.38	0.72	0.00	0	1.91	64	122	64
44	13	151	0.12	0.54	82	3.45	0.54	0.00	0	1.85	44	82	44
45	14	105	0.08	0.36	38	3.52	0.36	0.00	0	1.79	21	38	21
46	15	74	0.04	0.18	13	3.59	0.18	0.00	0	1.73	8	7	6

Tabella 26: SCOP R410A condizioni Average

Bin	Outdoor temperature (dry bulb)	Hours	Part Load Ratio	Part Load	Annual Heating Demand	Heat Pump Capacity	Heat Load covered by HP	Electric back up heater	Annual Energy Input from Backup heater	COP _{PL}	Annual Energy Input including electric backup heater	Net Annual heating capacity	Net Annual power input
j	T _j	h _j		Ph(T _j)	h _j x Ph(T _j)			elbu(T _j)	h _j x elbu(T _j)		h _j x [Ph(T _j) - elbu(T _j) / COP _{PL(T_j)} + elbu(T _j)]	h _j x {Ph(T _j) - elbu(T _j)}	h _j x Ph(T _j) - elbu(T _j) / COP _{PL(T_j)}
	°C	h		kW	kWh	kW	kW	kW	kWh		kWh	kWh	kWh
21	-10	1	1.00	6.32	6	0.00	0.00	6.32	6	1.39	6	0	6
22	-9	25	0.96	6.07	152	0.00	0.00	6.07	152	1.45	152	0	152
23	-8	23	0.92	5.83	134	0.00	0.00	5.83	134	1.52	134	0	134
24	-7	24	0.88	5.59	134	2.17	2.17	3.41	82	1.60	115	52	33
25	-6	27	0.85	5.34	144	2.31	2.31	3.04	82	1.68	119	62	37
26	-5	68	0.81	5.10	347	2.45	2.45	2.66	181	1.76	275	166	95
27	-4	91	0.77	4.86	442	2.58	2.58	2.28	207	1.84	335	235	128
28	-3	89	0.73	4.62	411	2.72	2.72	1.90	169	1.92	295	242	126
29	-2	165	0.69	4.37	722	2.86	2.86	1.52	250	2.00	486	471	236
30	-1	173	0.65	4.13	714	2.99	2.99	1.14	197	2.08	446	518	249
31	0	240	0.62	3.89	933	3.13	3.13	0.76	182	2.16	530	751	348
32	1	280	0.58	3.64	1020	3.26	3.26	0.38	106	2.24	515	914	409
33	2	320	0.54	3.40	1088	3.40	3.40	0.00	0	2.32	470	1088	470
34	3	357	0.50	3.16	1127	3.51	3.16	0.00	0	2.34	482	1127	482
35	4	356	0.46	2.92	1038	3.63	2.92	0.00	0	2.36	440	1038	440
36	5	303	0.42	2.67	810	3.74	2.67	0.00	0	2.38	340	810	340
37	6	330	0.38	2.43	802	3.85	2.43	0.00	0	2.40	334	802	334
38	7	326	0.35	2.19	713	3.96	2.19	0.00	0	2.42	295	713	295
39	8	348	0.31	1.94	676	4.13	1.94	0.00	0	2.37	286	676	286
40	9	335	0.27	1.70	570	4.30	1.70	0.00	0	2.32	246	570	246
41	10	315	0.23	1.46	459	4.47	1.46	0.00	0	2.27	203	459	203
42	11	215	0.19	1.21	261	4.64	1.21	0.00	0	2.21	118	261	118
43	12	169	0.15	0.97	164	4.81	0.97	0.00	0	2.16	76	164	76
44	13	151	0.12	0.73	110	4.98	0.73	0.00	0	2.11	52	110	52
45	14	105	0.08	0.49	51	5.15	0.49	0.00	0	2.06	25	51	25

Tabella 27: SCOP R452B condizioni Average

Bin	Outdoor temperature (dry bulb)	Hours	Part Load Ratio	Part Load	Annual Heating Demand	Heat Pump Capacity	Heat Load covered by HP	Electric back up heater	Annual Energy Input from Backup heater	COP _{PL}	Annual Energy Input including electric backup heater	Net Annual heating capacity	Net Annual power input
j	T _j	h _j		Ph _(Tj)	h _j x Ph _(Tj)			elbu _(Tj)	h _j x elbu _(Tj)		h _j x [Ph _(Tj) - elbu _(Tj) / COP _{PL(Tj)} + elbu _(Tj)]	h _j x {Ph _(Tj) - elbu _(Tj) }	h _j x Ph _(Tj) - elbu _(Tj) / COP _{PL(Tj)}
	°C	h		kW	kWh	kW	kW	kW	kWh		kWh	kWh	kWh
21	-10	1	1.00	6.19	6	0.00	0.00	6.19	6	1.19	6	0	6
22	-9	25	0.96	5.95	149	0.00	0.00	5.95	149	1.32	149	0	149
23	-8	23	0.92	5.71	131	0.00	0.00	5.71	131	1.45	131	0	131
24	-7	24	0.88	5.47	131	2.15	2.15	3.32	80	1.60	112	52	32
25	-6	27	0.85	5.23	141	2.28	2.28	2.95	80	1.67	116	62	37
26	-5	68	0.81	5.00	340	2.42	2.42	2.58	175	1.75	269	164	94
27	-4	91	0.77	4.76	433	2.55	2.55	2.21	201	1.83	328	232	126
28	-3	89	0.73	4.52	402	2.68	2.68	1.84	164	1.91	289	238	125
29	-2	165	0.69	4.28	707	2.81	2.81	1.47	243	1.99	476	463	233
30	-1	173	0.65	4.04	700	2.94	2.94	1.11	191	2.07	437	508	245
31	0	240	0.62	3.81	914	3.07	3.07	0.74	177	2.15	519	737	343
32	1	280	0.58	3.57	999	3.20	3.20	0.37	103	2.23	505	896	402
33	2	320	0.54	3.33	1066	3.33	3.33	0.00	0	2.31	462	1066	462
34	3	357	0.50	3.09	1104	3.45	3.09	0.00	0	2.34	472	1104	472
35	4	356	0.46	2.85	1016	3.56	2.85	0.00	0	2.37	429	1016	429
36	5	303	0.42	2.62	793	3.68	2.62	0.00	0	2.40	331	793	331
37	6	330	0.38	2.38	785	3.80	2.38	0.00	0	2.43	323	785	323
38	7	326	0.35	2.14	698	3.91	2.14	0.00	0	2.46	284	698	284
39	8	348	0.31	1.90	662	4.04	1.90	0.00	0	2.42	274	662	274
40	9	335	0.27	1.67	558	4.16	1.67	0.00	0	2.37	235	558	235
41	10	315	0.23	1.43	450	4.28	1.43	0.00	0	2.33	193	450	193
42	11	215	0.19	1.19	256	4.41	1.19	0.00	0	2.29	112	256	112
43	12	169	0.15	0.95	161	4.53	0.95	0.00	0	2.25	72	161	72
44	13	151	0.12	0.71	108	4.66	0.71	0.00	0	2.21	49	108	49
45	14	105	0.08	0.48	50	4.78	0.48	0.00	0	2.17	23	50	23

Tabella 28: SCOP R454B condizioni Average

Bin	Outdoor temperature (dry bulb)	Hours	Part Load Ratio	Part Load	Annual Heating Demand	Heat Pump Capacity	Heat Load covered by HP	Electric back up heater	Annual Energy Input from Backup heater	COP _{PL}	Annual Energy Input including electric backup heater	Net Annual heating capacity	Net Annual power input
j	T _j	h _j		Ph _(Tj)	h _j x Ph _(Tj)			elbu _(Tj)	h _j x elbu _(Tj)		$h_j \times [Ph_{(Tj)} - elbu_{(Tj)} / COP_{PL(Tj)} + elbu_{(Tj)}]$	$h_j \times \{Ph_{(Tj)} - elbu_{(Tj)}\}$	$h_j \times Ph_{(Tj)} - elbu_{(Tj)} / COP_{PL(Tj)}$
	°C	h		kW	kWh	kW	kW	kW	kWh		kWh	kWh	kWh
21	-10	1	1.00	6.19	6	0.00	0.00	6.19	6	1.19	6	0	6
22	-9	25	0.96	5.95	149	0.00	0.00	5.95	149	1.32	149	0	149
23	-8	23	0.92	5.71	131	0.00	0.00	5.71	131	1.45	131	0	131
24	-7	24	0.88	5.47	131	2.15	2.15	3.32	80	1.60	112	52	32
25	-6	27	0.85	5.23	141	2.28	2.28	2.95	80	1.67	116	62	37
26	-5	68	0.81	5.00	340	2.42	2.42	2.58	175	1.75	269	164	94
27	-4	91	0.77	4.76	433	2.55	2.55	2.21	201	1.83	328	232	126
28	-3	89	0.73	4.52	402	2.68	2.68	1.84	164	1.91	289	238	125
29	-2	165	0.69	4.28	707	2.81	2.81	1.47	243	1.99	476	463	233
30	-1	173	0.65	4.04	700	2.94	2.94	1.11	191	2.07	437	508	245
31	0	240	0.62	3.81	914	3.07	3.07	0.74	177	2.15	519	737	343
32	1	280	0.58	3.57	999	3.20	3.20	0.37	103	2.23	505	896	402
33	2	320	0.54	3.33	1066	3.33	3.33	0.00	0	2.31	462	1066	462
34	3	357	0.50	3.09	1104	3.45	3.09	0.00	0	2.34	472	1104	472
35	4	356	0.46	2.85	1016	3.56	2.85	0.00	0	2.37	429	1016	429
36	5	303	0.42	2.62	793	3.68	2.62	0.00	0	2.40	331	793	331
37	6	330	0.38	2.38	785	3.80	2.38	0.00	0	2.43	323	785	323
38	7	326	0.35	2.14	698	3.91	2.14	0.00	0	2.46	284	698	284
39	8	348	0.31	1.90	662	4.04	1.90	0.00	0	2.42	274	662	274
40	9	335	0.27	1.67	558	4.16	1.67	0.00	0	2.37	235	558	235
41	10	315	0.23	1.43	450	4.28	1.43	0.00	0	2.33	193	450	193
42	11	215	0.19	1.19	256	4.41	1.19	0.00	0	2.29	112	256	112
43	12	169	0.15	0.95	161	4.53	0.95	0.00	0	2.25	72	161	72
44	13	151	0.12	0.71	108	4.66	0.71	0.00	0	2.21	49	108	49
45	14	105	0.08	0.48	50	4.78	0.48	0.00	0	2.17	23	50	23

Tabella 29: SCOP R1234ze condizioni Warmer

Bin	Outdoor temperature (dry bulb)	Hours	Part Load Ratio	Part Load	Annual Heating Demand	Heat Pump Capacity	Heat Load covered by HP	Electric back up heater	Annual Energy Input from Backup heater	COP _{PL}	Annual Energy Input including electric backup heater	Net Annual heating capacity	Net Annual power input
j	T _j	h _j		Ph(T _j)	h _j x Ph(T _j)			elbu(T _j)	h _j x elbu(T _j)		h _j x [Ph(T _j) - elbu(T _j) / COP _{PL(T_j)} + elbu(T _j)]	h _j x {Ph(T _j) - elbu(T _j)}	h _j x Ph(T _j) - elbu(T _j) / COP _{PL(T_j)}
	°C	h		kW	kWh	kW	kW	kW	kWh		kWh	kWh	kWh
21	-10	0	1.86	8.75	0	0.00	0.00	8.75	0	0.98	0	0	0
22	-9	0	1.79	8.41	0	0.00	0.00	8.41	0	1.32	0	0	0
23	-8	0	1.71	8.07	0	0.00	0.00	8.07	0	1.29	0	0	0
24	-7	0	1.64	7.74	0	1.38	1.38	6.36	0	1.26	0	0	0
25	-6	0	1.57	7.40	0	1.50	1.50	5.90	0	1.35	0	0	0
26	-5	0	1.50	7.06	0	1.63	1.63	5.43	0	1.45	0	0	0
27	-4	0	1.43	6.73	0	1.76	1.76	4.97	0	1.54	0	0	0
28	-3	0	1.36	6.39	0	1.89	1.89	4.50	0	1.63	0	0	0
29	-2	0	1.29	6.06	0	2.02	2.02	4.04	0	1.72	0	0	0
30	-1	0	1.21	5.72	0	2.14	2.14	3.58	0	1.82	0	0	0
31	0	0	1.14	5.38	0	2.27	2.27	3.11	0	1.91	0	0	0
32	1	0	1.07	5.05	0	2.40	2.40	2.65	0	2.00	0	0	0
33	2	3	1.00	4.71	14	2.53	2.53	2.18	7	2.09	10	8	4
34	3	22	0.93	4.37	96	2.63	2.63	1.75	38	2.16	65	58	27
35	4	63	0.86	4.04	254	2.73	2.73	1.31	82	2.22	160	172	77
36	5	63	0.79	3.70	233	2.83	2.83	0.87	55	2.28	133	178	78
37	6	175	0.71	3.36	589	2.93	2.93	0.44	76	2.34	295	512	219
38	7	162	0.64	3.03	491	3.03	3.03	0.00	0	2.40	204	491	204
39	8	259	0.57	2.69	697	3.10	2.69	0.00	0	2.38	293	697	293
40	9	360	0.50	2.35	848	3.17	2.35	0.00	0	2.35	361	848	361
41	10	428	0.43	2.02	864	3.24	2.02	0.00	0	2.33	371	864	371
42	11	430	0.36	1.68	723	3.31	1.68	0.00	0	2.30	315	723	315
43	12	503	0.29	1.35	677	3.38	1.35	0.00	0	2.27	298	677	298
44	13	444	0.21	1.01	448	3.45	1.01	0.00	0	2.25	199	448	199
45	14	384	0.14	0.67	258	3.52	0.67	0.00	0	2.22	116	258	116

Tabella 30: SCOP R410A condizioni Warmer

Bin	Outdoor temperature (dry bulb)	Hours	Part Load Ratio	Part Load	Annual Heating Demand	Heat Pump Capacity	Heat Load covered by HP	Electric back up heater	Annual Energy Input from Backup heater	COP _{PL}	Annual Energy Input including electric backup heater	Net Annual heating capacity	Net Annual power input
j	T _j	h _j		Ph(T _j)	h _j x Ph(T _j)			elbu(T _j)	h _j x elbu(T _j)		h _j x [Ph(T _j) - elbu(T _j) / COP _{PL(T_j)} + elbu(T _j)]	h _j x {Ph(T _j) - elbu(T _j)}	h _j x Ph(T _j) - elbu(T _j) / COP _{PL(T_j)}
	°C	h		kW	kWh	kW	kW	kW	kWh		kWh	kWh	kWh
21	-10	0	1.86	11.45	0	0.00	0.00	11.45	0	1.39	0	0	0
22	-9	0	1.79	11.01	0	0.00	0.00	11.01	0	1.64	0	0	0
23	-8	0	1.71	10.57	0	0.00	0.00	10.57	0	1.62	0	0	0
24	-7	0	1.64	10.13	0	2.17	2.17	7.96	0	1.60	0	0	0
25	-6	0	1.57	9.69	0	2.31	2.31	7.38	0	1.68	0	0	0
26	-5	0	1.50	9.25	0	2.45	2.45	6.81	0	1.76	0	0	0
27	-4	0	1.43	8.81	0	2.58	2.58	6.23	0	1.84	0	0	0
28	-3	0	1.36	8.37	0	2.72	2.72	5.65	0	1.92	0	0	0
29	-2	0	1.29	7.93	0	2.86	2.86	5.07	0	2.00	0	0	0
30	-1	0	1.21	7.49	0	2.99	2.99	4.50	0	2.08	0	0	0
31	0	0	1.14	7.05	0	3.13	3.13	3.92	0	2.16	0	0	0
32	1	0	1.07	6.61	0	3.26	3.26	3.34	0	2.24	0	0	0
33	2	3	1.00	6.17	19	3.40	3.40	2.77	8	2.32	13	10	4
34	3	22	0.93	5.73	126	3.51	3.51	2.21	49	2.38	81	77	33
35	4	63	0.86	5.29	333	3.63	3.63	1.66	105	2.44	198	228	94
36	5	63	0.79	4.85	305	3.74	3.74	1.11	70	2.50	164	236	94
37	6	175	0.71	4.41	771	3.85	3.85	0.55	97	2.56	361	674	264
38	7	162	0.64	3.96	642	3.96	3.96	0.00	0	2.62	245	642	245
39	8	259	0.57	3.52	913	4.13	3.52	0.00	0	2.61	350	913	350
40	9	360	0.50	3.08	1110	4.30	3.08	0.00	0	2.60	427	1110	427
41	10	428	0.43	2.64	1131	4.47	2.64	0.00	0	2.59	437	1131	437
42	11	430	0.36	2.20	947	4.64	2.20	0.00	0	2.58	367	947	367
43	12	503	0.29	1.76	886	4.81	1.76	0.00	0	2.57	345	886	345
44	13	444	0.21	1.32	587	4.98	1.32	0.00	0	2.56	229	587	229
45	14	384	0.14	0.88	338	5.15	0.88	0.00	0	2.55	132	338	132

Tabella 31: SCOP R452B condizioni Warmer

Bin	Outdoor temperature (dry bulb)	Hours	Part Load Ratio	Part Load	Annual Heating Demand	Heat Pump Capacity	Heat Load covered by HP	Electric back up heater	Annual Energy Input from Backup heater	COP _{PL}	Annual Energy Input including electric backup heater	Net Annual heating capacity	Net Annual power input
j	T _j	h _j		Ph _(Tj)	h _j x Ph _(Tj)			elbu _(Tj)	h _j x elbu _(Tj)		h _j x [Ph _(Tj) - elbu _(Tj) / COP _{PL(Tj)} + elbu _(Tj)]	h _j x {Ph _(Tj) - elbu _(Tj) }	h _j x Ph _(Tj) - elbu _(Tj) / COP _{PL(Tj)}
	°C	h		kW	kWh	kW	kW	kW	kWh		kWh	kWh	kWh
21	-10	0	1.86	11.30	0	0.00	0.00	11.30	0	1.19	0	0	0
22	-9	0	1.79	10.87	0	0.00	0.00	10.87	0	1.69	0	0	0
23	-8	0	1.71	10.43	0	0.00	0.00	10.43	0	1.64	0	0	0
24	-7	0	1.64	10.00	0	2.15	2.15	7.84	0	1.60	0	0	0
25	-6	0	1.57	9.56	0	2.28	2.28	7.28	0	1.67	0	0	0
26	-5	0	1.50	9.13	0	2.42	2.42	6.71	0	1.75	0	0	0
27	-4	0	1.43	8.69	0	2.55	2.55	6.15	0	1.83	0	0	0
28	-3	0	1.36	8.26	0	2.68	2.68	5.58	0	1.91	0	0	0
29	-2	0	1.29	7.82	0	2.81	2.81	5.02	0	1.99	0	0	0
30	-1	0	1.21	7.39	0	2.94	2.94	4.45	0	2.07	0	0	0
31	0	0	1.14	6.96	0	3.07	3.07	3.89	0	2.15	0	0	0
32	1	0	1.07	6.52	0	3.20	3.20	3.32	0	2.23	0	0	0
33	2	3	1.00	6.09	18	3.33	3.33	2.76	8	2.31	13	10	4
34	3	22	0.93	5.65	124	3.45	3.45	2.20	48	2.38	80	76	32
35	4	63	0.86	5.22	329	3.56	3.56	1.65	104	2.45	196	224	92
36	5	63	0.79	4.78	301	3.68	3.68	1.10	69	2.52	161	232	92
37	6	175	0.71	4.35	761	3.80	3.80	0.55	96	2.59	353	664	256
38	7	162	0.64	3.91	634	3.91	3.91	0.00	0	2.66	238	634	238
39	8	259	0.57	3.48	901	4.04	3.48	0.00	0	2.66	338	901	338
40	9	360	0.50	3.04	1095	4.16	3.04	0.00	0	2.66	411	1095	411
41	10	428	0.43	2.61	1116	4.28	2.61	0.00	0	2.66	419	1116	419
42	11	430	0.36	2.17	935	4.41	2.17	0.00	0	2.67	351	935	351
43	12	503	0.29	1.74	875	4.53	1.74	0.00	0	2.67	328	875	328
44	13	444	0.21	1.30	579	4.66	1.30	0.00	0	2.67	217	579	217
45	14	384	0.14	0.87	334	4.78	0.87	0.00	0	2.67	125	334	125

Tabella 32: SCOP R454B condizioni Warmer

Bin	Outdoor temperature (dry bulb)	Hours	Part Load Ratio	Part Load	Annual Heating Demand	Heat Pump Capacity	Heat Load covered by HP	Electric back up heater	Annual Energy Input from Backup heater	COP _{PL}	Annual Energy Input including electric backup heater	Net Annual heating capacity	Net Annual power input
j	T _j	h _j		Ph _(Tj)	h _j x Ph _(Tj)			elbu _(Tj)	h _j x elbu _(Tj)		h _j x [Ph _(Tj) - elbu _(Tj) / COP _{PL(Tj)} + elbu _(Tj)]	h _j x {Ph _(Tj) - elbu _(Tj) }	h _j x Ph _(Tj) - elbu _(Tj) / COP _{PL(Tj)}
	°C	h		kW	kWh	kW	kW	kW	kWh		kWh	kWh	kWh
21	-10	0	1.86	11.17	0	0.00	0.00	11.17	0	0.12	0	0	0
22	-9	0	1.79	10.74	0	0.00	0.00	10.74	0	0.69	0	0	0
23	-8	0	1.71	10.31	0	0.00	0.00	10.31	0	0.63	0	0	0
24	-7	0	1.64	9.88	0	0.82	0.82	9.06	0	0.58	0	0	0
25	-6	0	1.57	9.45	0	1.05	1.05	8.40	0	0.74	0	0	0
26	-5	0	1.50	9.02	0	1.27	1.27	7.75	0	0.89	0	0	0
27	-4	0	1.43	8.59	0	1.50	1.50	7.09	0	1.05	0	0	0
28	-3	0	1.36	8.16	0	1.73	1.73	6.43	0	1.20	0	0	0
29	-2	0	1.29	7.73	0	1.96	1.96	5.77	0	1.36	0	0	0
30	-1	0	1.21	7.30	0	2.19	2.19	5.11	0	1.52	0	0	0
31	0	0	1.14	6.87	0	2.42	2.42	4.45	0	1.67	0	0	0
32	1	0	1.07	6.44	0	2.65	2.65	3.80	0	1.83	0	0	0
33	2	3	1.00	6.01	18	2.87	2.87	3.14	9	1.98	14	9	4
34	3	22	0.93	5.58	123	3.07	3.07	2.51	55	2.11	87	68	32
35	4	63	0.86	5.15	325	3.27	3.27	1.88	119	2.25	210	206	92
36	5	63	0.79	4.72	298	3.47	3.47	1.26	79	2.38	171	219	92
37	6	175	0.71	4.29	752	3.67	3.67	0.63	110	2.51	366	642	256
38	7	162	0.64	3.87	626	3.87	3.87	0.00	0	2.64	237	626	237
39	8	259	0.57	3.44	890	4.01	3.44	0.00	0	2.65	335	890	335
40	9	360	0.50	3.01	1082	4.15	3.01	0.00	0	2.66	406	1082	406
41	10	428	0.43	2.58	1103	4.29	2.58	0.00	0	2.68	412	1103	412
42	11	430	0.36	2.15	923	4.43	2.15	0.00	0	2.69	344	923	344
43	12	503	0.29	1.72	864	4.57	1.72	0.00	0	2.70	320	864	320
44	13	444	0.21	1.29	572	4.72	1.29	0.00	0	2.71	211	572	211
45	14	384	0.14	0.86	330	4.86	0.86	0.00	0	2.72	121	330	121

Per il calcolo dello SCOP si ricordano inoltre le ipotesi effettuate in Tabella 6 dove vengono riportati i valori utilizzati di potenza per il riscaldamento del corpo macchina, a macchina spenta e in standby. Applicando le formule per il calcolo dello SCOP dello SCOP-ON e dello SCOP-NET per le diverse condizioni e con i diversi refrigeranti si ottengono i risultati riportati in Tabella 33:

Tabella 33: SCOP, SCOP-ON e SCOP-NET calcolati per R452B, R410A, R454B e R1234ze

TOL/bivalente/ design	SCOP			SCOP-ON			SCOP-NET		
	-10/-7/-10	-7/+2/-10	+2/+7/+2	-10/-7/-10	-7/+2/-10	+2/+7/+2	-10/-7/-10	-7/+2/-10	+2/+7/+2
	custom	average	warmer	custom	average	warmer	custom	average	warmer
R452B	1.841	1.934	2.479	1.843	1.935	2.480	1.850	2.135	2.644
R410A	1.827	1.923	2.422	1.828	1.923	2.423	1.833	2.121	2.575
R454B	1.072	1.661	2.447	1.073	1.662	2.448	1.074	1.834	2.633
R1234ze	1.546	1.753	2.194	1.548	1.754	2.195	1.552	1.909	2.314

Gli stessi dati sono riportati sotto forma di istogrammi divisi a seconda delle diverse condizioni ambientali e per i diversi fluidi. I dati per lo SCOP sono riportati in Figura 6, per lo SCOP-ON in Figura 7 e per lo SCOP-NET in Figura 8.

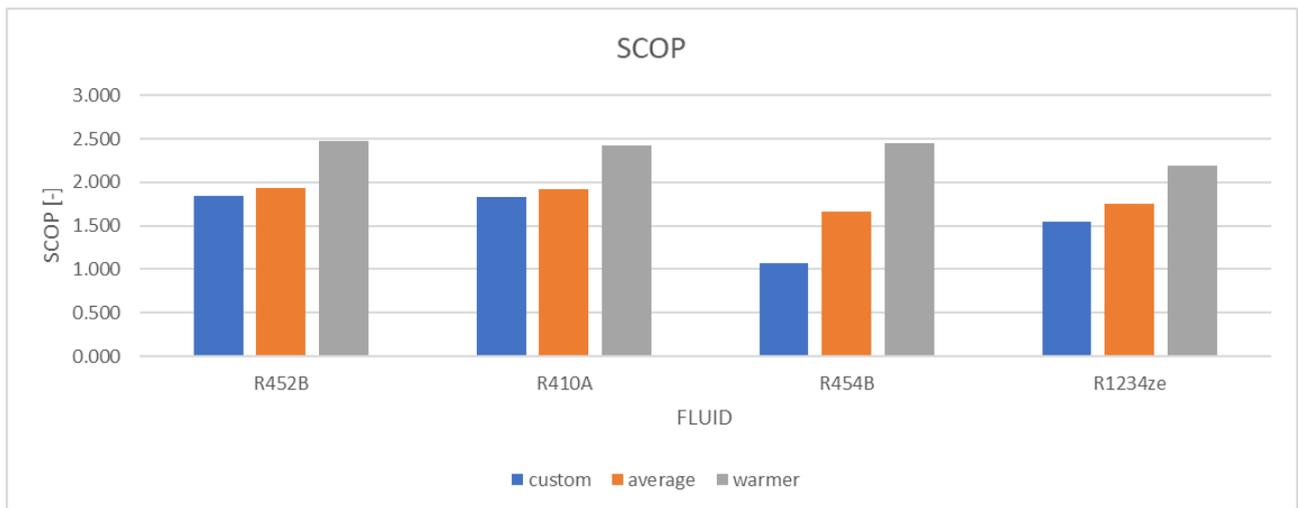


Figura 6: SCOP per i diversi refrigeranti e a diverse condizioni ambientali

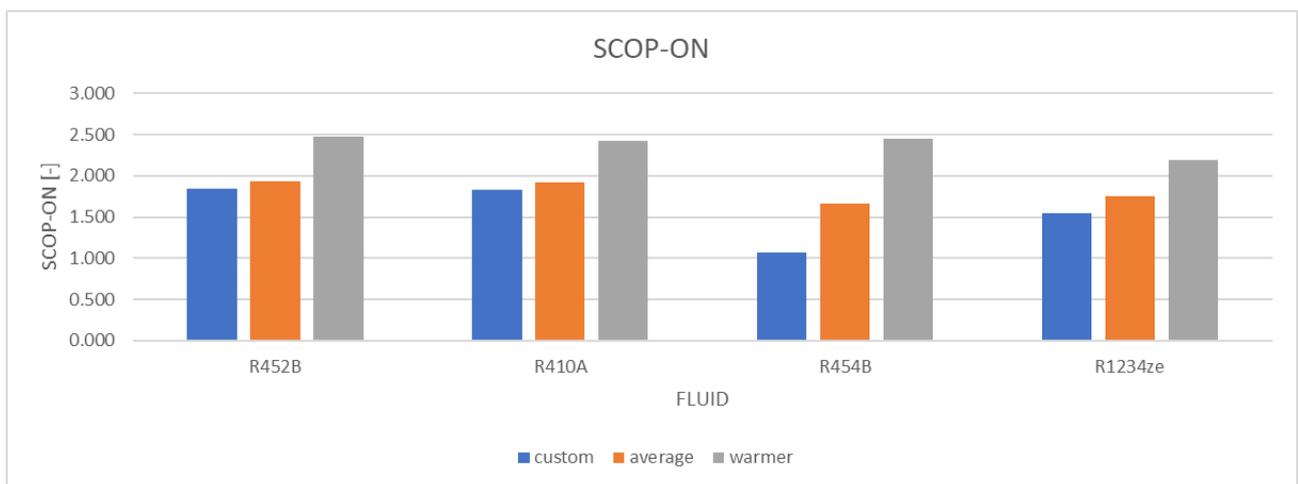


Figura 7: SCOP-ON per i diversi refrigeranti e a diverse condizioni ambientali

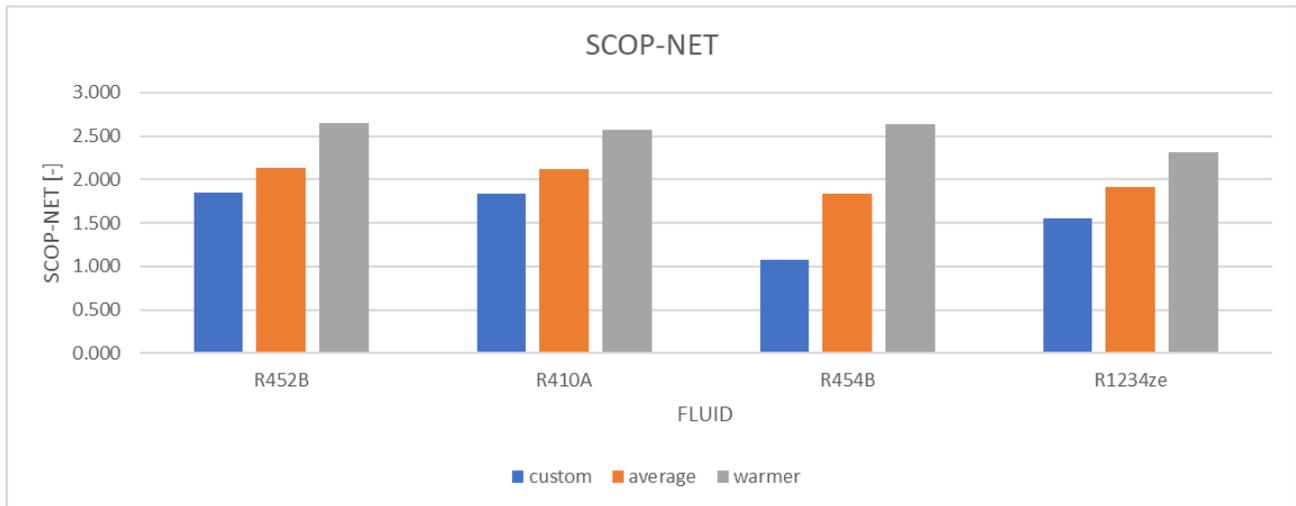


Figura 8: SCOP-NET per i diversi refrigeranti e a diverse condizioni ambientali

Dati i valori utilizzati in Tabella 6 per gli assorbimenti degli ausiliari (elettronica, riscaldatori, etc..) risulta evidente come il calcolo dei 3 valori di SCOP sia abbastanza vicino in termini relativi. I termini differiscono principalmente difatti del tempo in cui la macchina è considerata accesa e nel calcolo dell'utilizzo della macchina anche in standby o con il solo riscaldatori ausiliari. Riassumendo sotto forma di unico grafico per il valore generico di SCOP si ottiene:

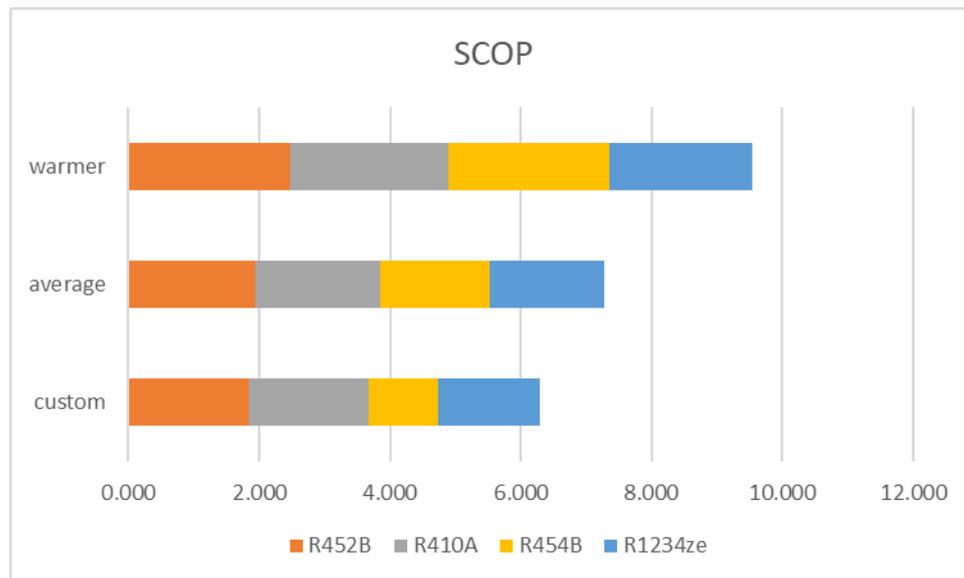


Figura 9: Grafico cumulativo dello SCOP per i diversi refrigeranti e a diverse condizioni ambientali

2.3.1 Conclusioni per il calcolo dello SCOP

Dall'analisi dei dati per le diverse condizioni ambientali risulta evidente come il miglior refrigerante sia l'R452B che permette efficienze maggiori anche del 70% rispetto all'R1234ze, anche l'R410A si comporta discretamente nonostante un calo prestazionale rispetto all'R454B in certe condizioni climatiche. Mediamente l'R452B si comporta meglio del 10% rispetto agli altri refrigeranti per climi "average", del 5% per climi "warmer" e del 7% per climi tra "average" e "warmer". La differenza di performance si assottiglia per i climi più caldi dove tutte le macchine lavorano vicino alle condizioni ottimali di temperatura esterna (minor salto termico e maggior rendimento termodinamico).

Bisogna tuttavia considerare l'utilizzo in macchine di piccola taglia (1.4kW massimi) e a basse pressioni. Inoltre, gli andamenti come evidenziato dalla Tabella 33 possono cambiare a seconda delle condizioni climatiche con un vantaggio con refrigeranti come L'R454 rispetto all'R410A a temperature più alte. La

motivazione risiede nelle diverse pressioni operative del sistema e nei conseguenti diversi valori di temperatura di saturazione e di densità. Con l'aumento della densità aumenta difatti la portata elaborata con conseguente miglioramento delle performance globali della macchina. Globalmente, comunque, R410A e R452B presentano comportamenti simili, soprattutto a temperature "average", e si presentano come la scelta migliore per macchine di queste dimensioni e alle temperature considerate.

2.4 Calcolo della classe energetica e del SSHEE

Con SSHEE si intende Seasonal Space Heating Energy Efficiency (efficienza stagionale per il riscaldamento degli ambienti) e viene impiegato assieme alla norma EU 811/2013 [4] per la definizione di classe energetica di un dispositivo. La misura stabilisce le prescrizioni obbligatorie in materia di etichettatura e informazioni standard sui prodotti sul mercato come riscaldatori, termoregolatori, dispositivi solari (collettori solari, serbatoi solari e altri prodotti simili) e per i rivenditori che offrono sistemi solari personalizzati. L'ambito di applicazione della misura comprende le misure inerenti alla progettazione ecocompatibile parallela. Includendo quindi i requisiti di progettazione per l'efficienza energetica, le emissioni di ossido di azoto e i livelli di potenza sonora degli apparecchi di riscaldamento.

La classe energetica si basa sullo schema stabilito nella direttiva 2010/30/UE [3] e prevede un'unica scala di efficienza per il riscaldamento degli ambienti che copre caldaie, cogenerazione, pompe di calore e prodotti simili.

La scala è inoltre aggiornata regolarmente per comprendere i sistemi tecnologicamente più avanzati e prevede l'introduzione di classi superiori alla A come, A+, A++ e fino alla A+++. La scala parte da valori G per i riscaldatori convenzionali (presumibilmente G–D per caldaie elettriche, C–B per caldaie non a condensazione, B–A per caldaie a condensazione), classi superiori A+ per la cogenerazione e A++ per le pompe di calore più innovative come le geotermiche.

Si ricorda inoltre che per la EU 813/2013 [5] gli apparecchi di riscaldamento devono avere una soglia minima di efficienza. Nello specifico per apparecchi di riscaldamento misti a pompa di calore, tranne pompe di calore a bassa temperatura l'efficienza energetica stagionale del riscaldamento d'ambiente non può essere inferiore al 100 %. E per pompe di calore a bassa temperatura non può essere inferiore al 125 %. Inoltre, per sistemi che producono acqua le efficienze di riferimento sono rispettivamente 115% e 140%.

Il calcolo dell'SSHEE può essere effettuato partendo dallo SCOP e applicando la seguente formula:

$$SSHEE = \left(\frac{100}{FC}\right) * SCOP - Fi$$

Dove:

$$FC = 2.5$$

FC rappresenta il coefficiente di correzione ed è pari ad un valore di riferimento di SCOP pari a 2.5.

$$Fi = F1 + F2$$

Dove:

$$F1 = \begin{cases} 0 & \text{per pompe di calore tradizionali aria/acqua} \\ 5 & \text{er pompe di calore a sorgente geotermica} \end{cases}$$

$$F2 = 3$$

Per quanto riguarda la classe energetica, infine, si può applicare la Tabella 34 per la determinazione della classe energetica.

Tabella 34: Tabella per la classificazione energetica delle pompe di calore EU 811/2013 [4]

CLASSE	MINIMO SSHEE (>)	MASSIMO SSHEE (\leq)
A+++	175	-
A++	150	175
A+	123	150
A	115	123
B	107	115
C	100	107
D	61	100
E	59	61
F	55	59
G	-	55

2.4.1 Conclusioni sulla classe energetica e del SSHEE

Partendo dalle formule di calcolo ed elaborando i dati ottenuti per i diversi refrigeranti si ottengono i seguenti dati per la classificazione energetica (Tabella 35):

Tabella 35: Classificazione energetica e SSHEE per diversi fluidi e a diverse condizioni climatiche

SSHEE			CLASS		
-10/-7/-10	-7/+2/-10	+2/+7/+2	-10/-7/-10	-7/+2/-10	+2/+7/+2
custom	average	warmer	custom	average	warmer
70.651	74.372	96.147	D	D	D
70.072	73.901	93.870	D	D	D
39.870	63.455	94.872	G	D	D
58.853	67.117	84.766	F	D	D

I dati del SSHEE sono stati anche riportati in Figura 10 per facilitarne il confronto visuale. Si ricorda che sono direttamente correlati al valore dello SCOP.

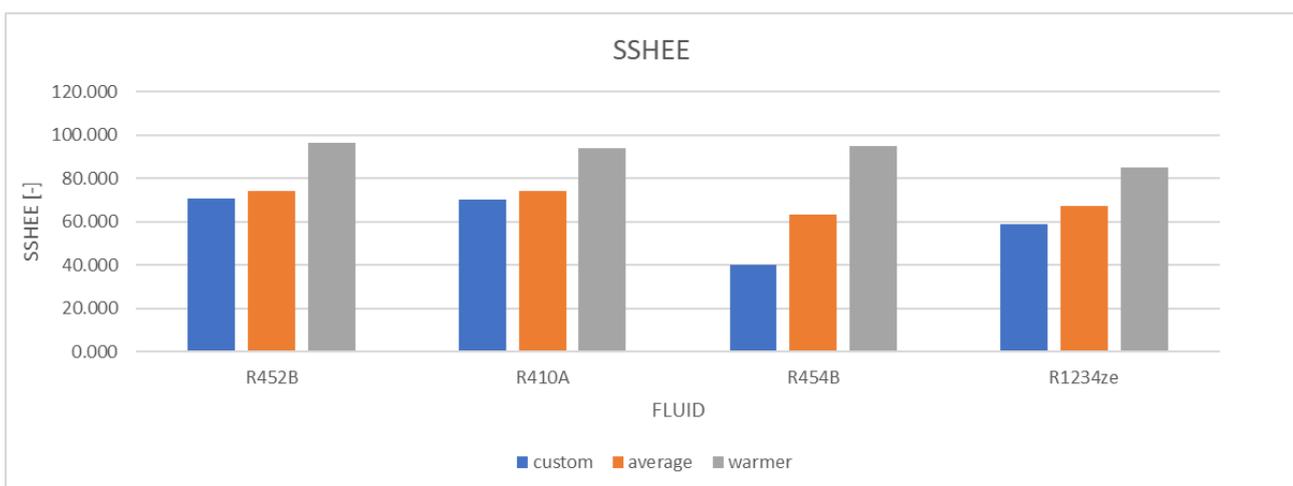


Figura 10: Grafico cumulativo dell'SSHEE per i diversi refrigeranti e a diverse condizioni ambientali

Per quanto riguarda le classi energetiche e il SSHEE non sono presenti differenze rispetto a quanto considerato riguardo allo SCOP. Inoltre, si sottolinea come la semplificazione indotta dalla classificazione energetica non permetta di distinguere (tranne nelle condizioni "custom") le diverse efficienze delle pompe di

calore e le cataloghi tutte in classe “D”. Distinzione forse troppo semplicistica e riduttiva nei confronti delle diverse efficienze calcolate.

Inoltre, sebbene i valori di classe energetica possano sembrare, bassi si ricorda che lo scopo della presente linea di attività non era di realizzare una macchina ad alta efficienza ma di consentire, tramite l’utilizzo di sistemi similari, una piattaforma che fosse in grado di confrontare diversi refrigeranti per studiarne il comportamento e identificare i refrigeranti più idonei in termini relativi. Si prevede quindi di utilizzare la conoscenza sviluppata durante queste annualità per indagare e ottimizzare i sistemi a R452B in quanto migliori in termini di performance grezze.

3 Conclusioni

Nel presente lavoro sono state analizzate le efficienze in termini di SCOP, SCOP-ON, SCOP-NET, SSHEE e classe energetica per i prototipi a pompa di calore contenenti R1234ze, R410A, R452B e R454B. Nel calcolo dei diversi valori sono state usate tutte le normative di riferimento comprendenti UNI-EN 14825 [1], UNI EN 14511 [2], 2010/30/UE [3], 811/2013 [4], EU 813/2013 [5]. Dai risultati si è evidenziato come il miglior refrigerante sia l’R452B che permette efficienze maggiori rispetto agli altri. Il peggiore si è dimostrato l’R1234ze con efficienze peggiori fino al 70% rispetto agli altri refrigeranti in esame. Anche l’R454B si è dimostrato un buon refrigerante leggermente superiore, in termini prestazionali, al refrigerante di riferimento. La differenza di performance si assottiglia nei climi più caldi (condizioni Warmer) dove tutte le macchine lavorano vicino alle condizioni ottimali di temperatura esterna (minor salto termico e maggior rendimento termodinamico). Si deve peraltro sottolineare che, in alcuni casi, i risultati potrebbero essere condizionati dall’architettura della pompa di calore, che prevede la presenza di due accumuli per il refrigerante (uno a valle del condizionatore e uno a monte dello scambiatore recuperatore). Pur avendo inserito tali accumuli nel circuito per ottimizzare le condizioni termodinamiche di esercizio dei refrigeranti (per esempio, ottimizzare il surriscaldamento in ingresso compressore), con alcuni di essi il sistema ha mostrato una certa instabilità (ad esempio con l’R1234ze), anche con diverse cariche di refrigerante. Per quanto riguarda le classi energetiche e il SSHEE valgono le stesse considerazioni effettuate durante il calcolo dello SCOP. Nelle future attività potrebbe essere utile verificare l’effetto di differenti configurazioni d’impianto ottimizzate per ogni refrigerante.

4 Riferimenti bibliografici

1. UNI EN 14825:2019, “Condizionatori d'aria, refrigeratori di liquido e pompe di calore, con compressore elettrico, per il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti”.
2. UNI EN 14511:2018, “Condizionatori, refrigeratori di liquido e pompe di calore con compressore elettrico per il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti e refrigeratori per cicli di processo con compressore elettrico”.
3. DIRETTIVA 2010/30/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 19 maggio 2010 concernente l’indicazione del consumo di energia e di altre risorse dei prodotti connessi all’energia, mediante l’etichettatura ed informazioni uniformi relative ai prodotti.
4. REGOLAMENTO DELEGATO (UE) N. 811/2013 DELLA COMMISSIONE del 18 febbraio 2013 riguardante l’etichettatura indicante il consumo d’energia degli apparecchi per il riscaldamento d’ambiente, degli apparecchi di riscaldamento misti, degli insiemi di apparecchi per il riscaldamento d’ambiente, dispositivi di controllo della temperatura e dispositivi solari e degli insiemi di apparecchi di riscaldamento misti, dispositivi di controllo della temperatura e dispositivi solari.
5. REGOLAMENTO (UE) N. 813/2013 DELLA COMMISSIONE del 2 agosto 2013 in merito alle specifiche per la progettazione ecocompatibile degli apparecchi per il riscaldamento d’ambiente e degli apparecchi di riscaldamento misti
6. DIRETTIVA 2009/125/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 21 ottobre 2009 relativa all’istituzione di un quadro per l’elaborazione di specifiche per la progettazione ecocompatibile dei prodotti connessi all’energia

5 Abbreviazioni ed acronimi

<i>Sigla</i>	Significato
C_c	Coefficiente di degradazione
COP_{ass}	Coefficiente di prestazione dell'impianto avendo considerato come spesa energetica la potenza elettrica assorbita dall'intero impianto, W_{ass}
COP_{el}	Coefficiente di prestazione dell'impianto avendo considerato come spesa energetica la sola potenza elettrica assorbita dal solo compressore, W_{c_el}
COP	Coefficiente di prestazione della macchina in modalità pompa di calore
COP_{PL}	COP dell'unità in modalità pompa di calore funzionante con carico parziale
GWP	Global Warming Potential del refrigerante
H_{CE}	Numero di ore equivalenti nella modalità attiva (MF) [h]
H_{CK}	Numero di ore di funzionamento nella modalità riscaldamento del carter
H_{HE}	Numero di ore equivalenti nella modalità attiva (HP) [h]
H_{OFF}	Numero di ore di funzionamento nella modalità spento
H_{SB}	Numero di ore di funzionamento nella modalità standby
H_{TO}	Numero di ore di funzionamento nella modalità termostato spento
H_j	Numero di ore considerate per la regione climatica di riferimento [h]
P_{CK}	Potenza elettrica misurata nella modalità riscaldamento del carter
P_{OFF}	Potenza elettrica misurata nella modalità spento
P_{SB}	Potenza elettrica misurata nella modalità standby
P_{TO}	Potenza elettrica misurata nella modalità termostato spento
$P_c(T_j)$	Richiesta di raffrescamento dell'edificio per la corrispondente temperatura T_j [kW]
$P_{designc}$	Potenza di raffrescamento dichiarata dal costruttore nella condizione di progetto [kW]
$P_{designh}$	Potenza di riscaldamento dichiarata dal costruttore nella condizione di progetto [kW]
$P(T)$	Richiesta di riscaldamento dell'edificio per la corrispondente temperatura T [kW]
$P.L.R.:$	Coefficiente di carico parziale
Q_{CO}	Potenza termica scambiata al condensatore [kW]
Q_{ev}	Potenza termica scambiata all'evaporatore [kW]
QC	Richiesta di raffrescamento annuale [kWh]
QH	Richiesta di riscaldamento annuale [kWh]
QH_{ass}	Consumo elettrico annuale in modalità pompa di calore, avendo considerato come spesa energetica la potenza elettrica assorbita dall'intero impianto, W_{ass} [kWh]
QH_{el}	Consumo elettrico annuale in modalità pompa di calore, avendo considerato come spesa energetica
$SCOP$	Coefficiente di prestazione stagionale, in modalità pompa di calore
$SCOP-ON$	Coefficiente di prestazione stagionale nella modalità attiva (HP) avendo considerato come spesa energetica la potenza elettrica assorbita dall'intero impianto, W_{ass}
$SCOP-NET$	Valore dello SCOP al netto della potenza termica fornita dal riscaldatore elettrico di backup, avendo considerato come spesa energetica la potenza elettrica assorbita dall'intero impianto, W_{ass}
$SSHEE$	Efficienza stagionale per il riscaldamento degli ambienti
$T_{designc}$	Condizione di progetto definita dalla norma [°C]
$T_{designh}$	Condizione di progetto definita dalla norma [°C]
T_j	Rappresenta la temperatura al bin j-mo [°C]
T_v	Tempo di vita della macchina
TOL	Temperatura limite operativa [°C]
T_{amb}	Temperatura dell'ambiente esterno [°C]
T_{aria}	Temperatura dell'aria in ingresso allo scambiatore di calore esterno [°C]
$T_{bivalent}$	Temperatura per la quale il carico termico richiesto dall'utenza è completamente

<i>Sigla</i>	Significato
	soddisfatto dall'impianto [°C]
W_{ass}	Potenza elettrica assorbita dall'intero impianto (compressore + ausiliari) [kW] W_{c_el} :potenza elettrica assorbita dal solo compressore nelle ipotesi di compressione reale [kW]
E_{el}	Energia elettrica mediamente consumata nell'unità di tempo [kWhel/anno] $e_{bu} \cdot T_j$: capacità termica richiesta ad un riscaldatore elettrico di backup [kW]
h_j	Numero di ore corrispondenti alla temperatura T_j [h]
j	Bin j-mo
n	Numero di bins totale
DT_{surr}	Surriscaldamento all'aspirazione del compressore [°C]
T_{cc}	Temperatura della camera climatica [°C]
$T_{in,w}$	Temperatura del fluido termovettore (acqua) in ingresso allo scambiatore di calore interno [°C]
$T_{out,w}$	Temperatura del fluido termovettore (acqua) in uscita dallo scambiatore di calore interno [°C]