



Cambiamenti climatici: i ghiacciai si ritraggono, l'acqua diminuisce, i raggi solari intrappolati aumentano l'effetto serra



FLUIDI A BASSO GWP PER L'ARIA CONDIZIONATA

**P. DE LARMINAT
JOHNSON CONTROLS**

FLUIDI A BASSO GWP PER APPLICAZIONI DI CONDIZIONAMENTO DELL'ARIA. CONFRONTI TRA ALTERNATIVE

Paul De Larminat
Johnson Controls

Introduzione

Nelle applicazioni di condizionamento dell'aria (gruppi refrigeratori e macchine ad espansione diretta), si stanno sostanzialmente usando quattro fluidi di riferimento: R123, R134a, R22 e R410A. L'eliminazione graduale dei refrigeranti HCFC R123 e R22 è completata nei "paesi sviluppati" ed è in corso nei paesi Art-5. Ma sono anche richieste alternative a più basso GWP degli HFC R134a e R410A. Una progressiva eliminazione degli HFC è in corso in Europa per il regolamento F-Gas, ed è pianificata a livello globale per l'emendamento di Kigali al Protocollo di Montreal. Per questo si stanno ricercando alternative a tutti i fluidi che sono attualmente utilizzati nel settore del condizionamento dell'aria. Tra le alternative prese in considerazione più di frequente, una (R-290) è altamente infiammabile; altre hanno una minore infiammabilità (classe "2-L").

È comune opinione, inoltre, che le soluzioni alternative non dovrebbero portare come conseguenza efficienze energetiche inferiori. Così, la ricerca di alternative conduce ad un compromesso tra infiammabilità, GWP, efficienza energetica ed anche costo. Lo scopo di questa memoria è quello di fare luce su alcuni dei problemi legati a questi compromessi. Per fare questo, vengono presentate alcune delle alternative più importanti. Siccome alcune di queste sono miscele, vengono presentati i concetti alla base della loro formulazione.

Refrigerant	Critical Temperature		Alternative to R-N°:				At 40°C (104°F)		GWP 100 (AR5)	Safety class	
	R-N°	°C	°F	123	134a	22	410A	Pressure Bar-a			Glide K
125	66.0	151				O		20.1	/	3170	A1
410A	71.3	160				O		24.2	0.1	1900	A1
32	78.1	173				√		24.8	/	677	A2L
452B	79.7	175				√		22.6	1.3	680	A2L
454B	80.9	178				√		22.3	1.5	470	A2L
447B	81.3	178				√		21.4	3.9	710	A2L
459A	81.5	179				√		21.9	2.0	461	A2L
HPR-2A	81.9	179				√		21.7	3.0	593	A2L
447A	82.6	181				√		20.8	3.9	570	A2L
446A	84.2	184				√		20.7	4.2	460	A2L
407C	86.0	187			O			16.4	5.0	1600	A1
449C	86.1	187			√			16.3	4.6	1100	A1
454C	88.5	191			√			15.6	6.3	150	A2L
N-20B	89.6	193			√			14.5	4.5	904	A1
444B	92.1	198			√			15.9	7.7	300	A2L
1234yf	94.7	202		√				10.2	/	<1	A2L
22	96.1	205			O			15.3	/	1760	A1
290	96.7	206			√			13.7	/	0	A3
513A	97.7	208		√				10.7	/	570	A1
516A	99.3	211		√				10.5	0.0	131	A2L
134a	101	214		O				10.2	/	1300	A1
227ea	102	215		O				7.0	/	3350	A1
450A	106	222		√				8.9	0.6	550	A1
515A	109	228		√				7.6	/	400	A1
1234zeE	109	229		√				7.7	/	<1	A2L
152a	113	236		√				9.1	/	138	A2
717	132	270			√			15.6	/	0	B2L
1233zdE	166	330	√					2.2	/	1	A1
1336mzzZ	171	340	√					1.3	/	2	A1
123	184	363	O					1.5	/	79	B1
514A	197	387	√					1.5	/	1.7	B1

Vengono presentati i confronti tra i fluidi a livello di ciclo, evidenziando l'interazione tra il comportamento delle miscele ed i sistemi in cui sono usate, con l'impatto potenziale sulle prestazioni di questi sistemi. E' mostrato un esempio dei compromessi nel caso specifico dei possibili sostituti del refrigerante R134a nei gruppi refrigeratori.

Tabella 1: Fluidi allo studio

Fluidi allo studio

La lista dei fluidi che sono presi in esame è riportata nella tabella 1, che mostra quale dei quattro fluidi di riferimento l'alternativa si propone di sostituire. I fluidi sono elencati in ordine di temperatura critica. Sono

inoltre indicate alcune altre proprietà fondamentali: GWP, classe di infiammabilità, pressione e “glide” a 40°C. Questa lista non può essere esaustiva, ma rappresenta un ampio esempio di alcune delle alternative menzionate più di frequente. La Figura 1 mostra il GWP di tutti questi fluidi insieme alla loro temperatura critica, perché la temperatura critica è fortemente correlata a importanti parametri ingegneristici come le pressioni operative (come risulta dalla tabella 1), ma anche la capacità volumetrica e l’efficienza del ciclo dei fluidi.

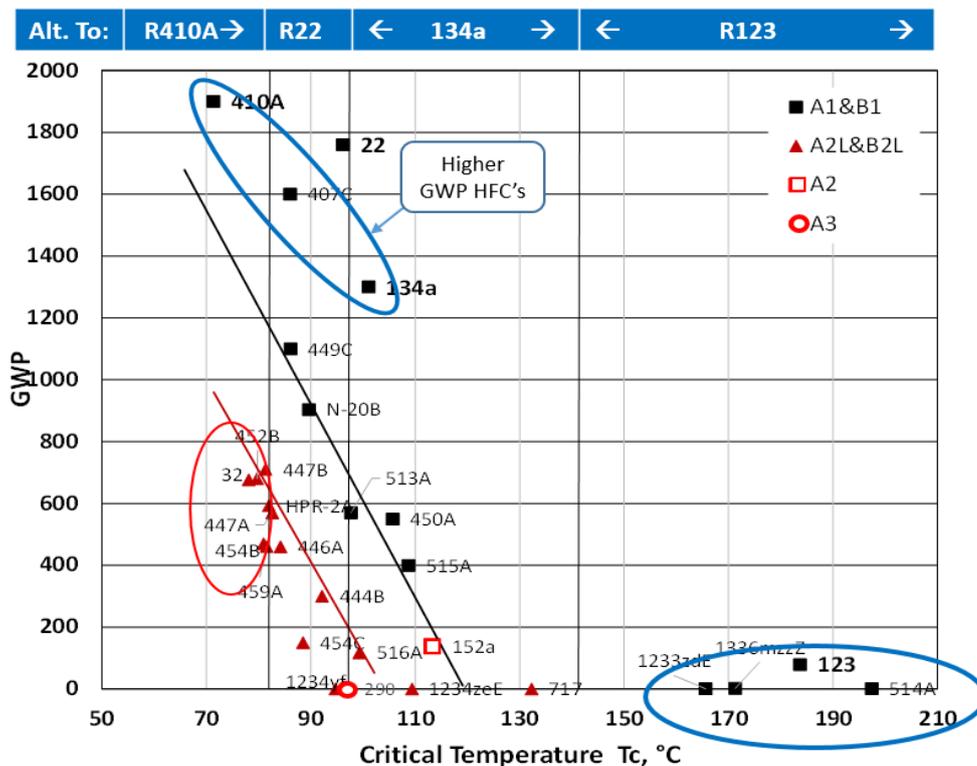


Figura 1: GWP di tutti i fluidi e loro temperatura critica

In Figura 1 si nota che:

Sul lato destro del grafico, tutte le alternative a R123 hanno un GWP prossimo a zero e non sono infiammabili.

Come si legge dalla tabella 1, esse hanno anche un “glide” molto piccolo o nullo.

- Sul lato sinistro, tutte le alternative a R410A sono infiammabili e con GWP>400. Il GWP aumenta al diminuire della temperatura critica, ciò significa anche pressione e capacità volumetrica più alte.
- Nel mezzo ci sono le alternative a R22e 134a. Alcune sono infiammabili, altre no. Tra queste, alla stessa Tc, il GWP dei fluidi non infiammabili è in media di circa 500 più alto rispetto a quelli infiammabili.

Perché è Necessario Proporre delle Miscele?

Dopo queste osservazioni iniziali, ci si potrebbe chiedere perché sono necessarie le miscele. L’idea di base è che per ognuno dei fluidi di riferimento (R123, R134a, R22, R410A), sarebbero auspicabili alterative con una resa relativamente simile (tipicamente circa +/- 15% rispetto al refrigerante di riferimento). Nel caso dell’R22, per esempio, le sole sostanze pure con una resa frigorifera “simile” sono l’ammoniaca (R717) e il propano (R290). Ma l’ammoniaca è tossica ed attualmente non è adatta ai sistemi ad espansione diretta a causa dell’incompatibilità con i materiali e dell’alta temperatura di scarico. Un’altra possibile alternativa è il propano (R290), ma il suo uso è limitato dall’elevata infiammabilità. Altrimenti nessun’altra sostanza pura utilizzabile ha una resa frigorifera simile all’R22. Per questa ragione le alternative a R22 devono essere delle miscele con parecchi componenti comprendenti:

- Alcuni fluidi con pressione e resa superiori a quelle di R22. Nelle miscele proposte vengono usati due fluidi “ad alta pressione” (HP): R-125 e R-32.
- Alcuni fluidi “a media pressione” (MP) con pressione e resa inferiore a R22, scelti tra HFC R134a e gli HFO R1234ze e yf.
- Piccole quantità di altri fluidi vengono usate saltuariamente, come R152a e R290, per le alternative a R22.

Il glide è una conseguenza della differenza di proprietà tra i component ad alta e media pressione della miscela.

Ref. fluid	Brand name	ASHRAE R-N°	Compositions by mass					Glide (K) @ 40°C	Safety class	GWP 100 (AR-5)	
			R32	R125	134a	1234yf	1234ze				Others
R-410A		410A	50	50					0.12	A1	1900
	DR-5A	454B	68.9			31.1			1.53	A2L	470
	DR-55	452B	67	7		26			1.34	A2L	680
	L-41-1	446A	68				29	R-290, 3%	4.19	A2L	460
	L-41-2	447A	68	3.5			28.5		3.94	A2L	570
	ARM-71A	459A	68			26	6		2.04	A2L	461
	L41z	447B	68	8			24		3.43	A2L	710
	HPR-2A	/	76		6		18		2.97	A2L	593
R-22	L-20A	444B	41.5				48.5	R-152a, 10%	7.71	A2L	300
	N-20B	/	13	13	31	43			4.54	A1	904
		407C	23	25	52				5.00	A1	1600
	DR-3	454C	21.5			78.5			6.29	A2L	150
	DR-93	449C	20	20	29	31			4.62	A1	1100
R-134a	XP10	513A			44	56			0.00	A1	570
	N-13	450A			42		58		0.63	A1	550
	HDR115	515A					88	R-227ea, 12%	0.00	A1	400
	ARM-42	516A			8.5	77.5		R-152a, 14%	0.01	A2L	131
R-123	DR-10	514A	1336mzz, 74.7% ; R-1130E, 25.3%						0.00	B1	1.7

Tabella 2: Composizione delle miscele

La Tabella 2 mostra la composizione delle miscele proposte. Si vede che il compromesso tra GWP ed infiammabilità deriva molto logicamente dalla composizione. Per i componenti ad alta pressione R32 e R125, R32 ha un GWP più basso, ma è infiammabile, mentre R125 no. Alla stessa maniera per i componenti a media pressione, R134a ha un GWP più alto, ma non è infiammabile, mentre è il contrario per gli HFO R1234ze e yf. Perciò, un più alto contenuto di R32 (come componente HP) e HFO (per MP) riduce il GWP, ma aumenta l'infiammabilità. Viceversa, l'aggiunta di più R134 e R125 riduce l'infiammabilità, ma aumenta il GWP.

Confronto a Livello di Prestazioni

Tutti i vari fluidi nello studio sono stati confrontati operando simulazioni del ciclo nel caso specifico di una macchina di riferimento: l'unità mini-split 410A testata nell'ambito dei programmi AREP / ORNL alle condizioni AHRI. I calcoli ipotizzano lo stesso scambio termico e la stessa efficienza del compressore per tutti i fluidi. Questa ipotesi non è necessariamente accurata, ma lo scopo è permettere il confronto delle prestazioni in simili condizioni di ciclo. I risultati mostrati nella Figura 2 danno la resa volumetrica dei fluidi ed i corrispondenti COP.

Poiché molti fluidi sono miscele con glide, l'evaporazione e la condensazione all'interno del tubo non sono isoterme. Inoltre le prestazioni sono fortemente sensibili alla configurazione degli scambiatori di calore. Le prestazioni (resa e COP) sono migliori con scambiatori contro-corrente (Counter-Flow "Cf") piuttosto che con scambiatori a flusso parallelo (Parallel Flow "Pf"). Un metodo dedicato a DTML costante è stato sviluppato per analizzare questo effetto (Rif.1). Sui diagrammi, un fluido puro è rappresentato da un singolo punto. Una miscela con glide è rappresentata da un segmento tra il punto migliore ("Cf" in evaporatore e condensatore) ed il caso peggiore ("Pf" in entrambi gli scambiatori).

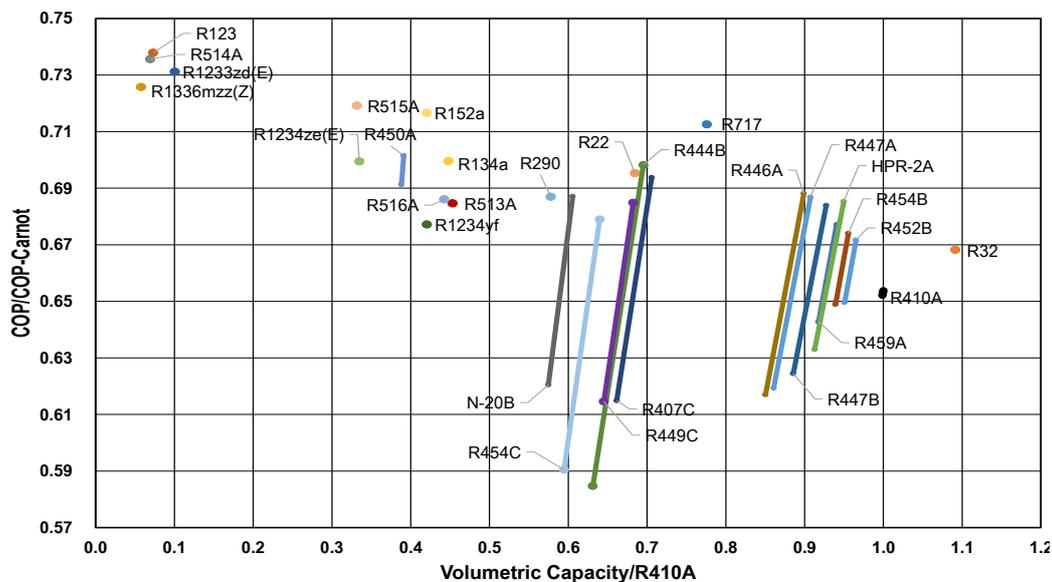


Figura 2: Confronto prestazioni

Commenti sui Risultati

La Figura 2 conferma la ben nota tendenza che i fluidi con più bassa T_c (e più alta pressione) tendono ad avere una resa maggiore, ma un COP inferiore. Questo spiega il compromesso generale tra resa e COP.

Nella configurazione ottimale (scambiatori contro-corrente), miscele con glide possono avere un COP leggermente migliore rispetto alla tendenza generale per i fluidi puri a pari resa. Ma le prestazioni possono anche essere molto inferiori se la configurazione degli scambiatori non è ottimale. Il progetto reale dovrebbe essere il più vicino possibile all'ottimale, ma l'ottimizzazione non è necessariamente semplice. Per esempio, la maggior parte delle piccole unità split per il condizionamento dell'aria utilizzano evaporatori a flusso incrociato; o sistemi reversibili (alternativamente usati come refrigeratori o pompe di calore) non possono essere facilmente configurati per essere ottimizzati in entrambe le modalità di funzionamento. Si deve anche ricordare che le miscele zeotropiche non sono generalmente consigliate negli scambiatori a fascio tubiero in cui l'evaporazione e la condensazione avvengono all'esterno dei tubi (es. evaporatori allagati).

Tutte le alternative a 410A hanno una resa più bassa ed un migliore COP rispetto a R410A. Tutte hanno anche una resa volumetrica inferiore, eccetto R-32.

Le miscele alterative a R-22 hanno resa equivalente o inferiore a R-22. Nessuna di esse ha lo stesso COP di R-22.

Un Esempio di Compromesso: R-134a e Alternative nei Gruppi Refrigeratori

Brand name	ASHRAE R-N°	Composition				Glide @ 40°C	Safety class	GWP	Versus 134a	
		134a	1234yf	1234ze	Others				Capacity	COP
	1234yf		100			0.0015	A2L	<1	0.94	0.97
	1234ze			100		0.0015	A2L	>1	0.74	1.00
ARM-42	516A	8.5	77.5		R-152a, 14%	0.01	A2L	131	0.99	0.98
XP10	513A	44	56			0.00	A1	570	1.01	0.98
N-13 (*)	450A (*)	42		58		0.63	A1	550	0.88	1.00
									0.87	0.99
HDR115	515A			88	R-227ea, 12%	0.00	A1	400	0.74	1.03

(*) The performance of N-13 / R-450A is given in 2 configurations: both exchangers Counter flow or Parallel flow

Tabella 3: Alternative a R-134a e confronto prestazioni

La Tabella 3 mostra le principali alternative possibili a R134a, con i risultati dei confronti dei cicli per resa e COP. Per quanto riguarda la resa, si vede che alcune delle alternative sono caratterizzate da una sostanziale perdita di resa (>10%). Quelle che conservano circa la stessa resa sono:

- R1234yf, ma è infiammabile ed ha un COP più basso del 3% rispetto a R134a.
- R516A e R513A sono quasi dei sostituiti "drop-in" di 134a, avendo circa la stessa resa ed un COP leggermente inferiore (-2%). 516A ha un GWP più basso di 513A (131 contro 570), ma è infiammabile, mentre 513A non lo è.

Sulla base di questo, una possibile soluzione è quella di proporre macchine che possono funzionare sia con R134a o 513A senza la necessità di modifiche. Anche se sono inizialmente vendute con R134a, per tali macchine è possibile garantire la possibilità di un futuro retrofit al refrigerante 513A, non infiammabile e con più basso GWP, qualora ciò diventasse obbligatorio come conseguenza di futuri regolamenti.

Conclusioni

Molti compromessi intervengono nella scelta dei fluidi; tra GWP, sicurezza, costo ed efficienza energetica. E' opinione comune che le soluzioni alternative non devono comportare una inferiore efficienza dei sistemi. Ma i confronti delle prestazioni sono complessi, specialmente con le miscele, poiché essi sono fortemente influenzati dalla configurazione dei sistemi.

C'è una tendenza generale a focalizzarsi molto sul GWP dei fluidi. Ma persino il concetto di "basso GWP" è praticamente impossibile da definire in generale: è fortemente collegato all'applicazione (livello di pressione / resa) ed all'accettabilità dell'infiammabilità per l'applicazione. Gli aspetti economici devono essere valutati tenendo in considerazione l'intero ciclo di vita, includendo il costo iniziale dei sistemi, il costo del fluido, il costo dell'energia, il costo delle misure di sicurezza quando necessarie, determinando il costo totale di possesso. Assumendo come obiettivo quello di limitare le emissioni di gas ad effetto serra, il criterio finale dovrebbe essere quello del migliore LCCP (Life Cycle Climate Performance) del sistema per un dato costo di possesso.

Riferimenti:

Paul de Larminat & Anthony Wang: "Performance Analysis of Blends for A/C Applications" - Part 2 (ASHRAE Journal, Giugno 2017).