

RTOC ASSESSMENT REPORT 2018 CONDIZIONAMENTO AUTO (CAPITOLO 10)

**Carloandrea Malvicino - FCA Italy SpA
Chap 10 Co-authors: Radim Čermák, Jiangping Chen,
Dave Godwin, Jürgen Köhler, Samuel Yana Motta**

1. INTRODUZIONE

Il Refrigeration Technical Options Committee (RTOC) ha pubblicato il suo Rapporto di valutazione 2018 nel marzo 2019.

Il capitolo 10 del Rapporto è dedicato al sistema di condizionamento d'aria mobile per autoveicoli e tratta i nuovi sviluppi de settore a partire da Rapporto 2014 ed include l'evoluzione relativa all'elettrificazione del veicolo.

I sistemi di condizionamento ferroviari sono invece trattati nel capitolo 6 (Trasporti refrigerati) per analogia delle tecnologie utilizzate nei due settori.

2. SCENARIO

La maggior parte delle nuove autovetture dotate di sistemi di climatizzazione utilizza HFC-134a, mentre l'HFO-1234yf sta aumentando rapidamente la propria quota di mercato negli Stati Uniti e in Europa a causa dei Regolamenti Normativi.

Benché la transizione dal CFC-12 sia completa nei sistemi nuovi, ci sono ancora veicoli circolanti nei paesi "Articolo 5" ove in genere l'età media dei veicoli è superiore rispetto alle altre regioni del mondo.

Nei prossimi anni più di un refrigerante sarà utilizzato per sistemi di climatizzazione di auto e veicoli commerciali leggeri. L'HFC-134a rimarrà ampiamente utilizzato in tutto il mondo mentre l'HFO-1234yf continuerà la sua crescita, l'R-744 attualmente usato in un paio di modelli potrebbe essere ri-considerato come un'opzione per i veicoli elettrificati che richiedono la funzionalità pompa di calore.

La decarbonizzazione del trasporto stradale e la sua progressiva elettrificazione stanno portando ad un cambiamento tecnologico molto rilevante che include il Mobile Air Conditioning.

Il ciclo di compressione del vapore rimarrà di gran lunga la tecnologia più adottata ma implementata con configurazioni diverse in cui l'espansione diretta sarà in parte sostituita da sistemi a liquido per consentire la gestione elettrica e della batteria.

HFO-1234yf aumenterà il suo tasso di utilizzo, ma il mercato globale dei sistemi di condizionamento per autoveicoli dipenderà in modo significativo anche da altri aspetti quali sicurezza, costi, approvazione normativa, affidabilità del sistema, prestazioni n modalità pompa di calore (veicoli elettrici) e assistenza.

La transizione verso refrigeranti nuovi che sono anche più costosi è principalmente forzata dai regolamenti, pertanto dove ci sono o saranno regolamenti specifici lo

HFO-1234yf aumenterà la sua penetrazione mentre lo HFC-134a sarà mantenuto come opzione principale fino a quando non saranno disponibili soluzioni economicamente sostenibili.

In questo contesto, è opportuno ricordare che esistono studi per valutare l'adozione di refrigeranti GWP a basso costo nei paesi "Articolo 5".

Infine, non è ancora chiaro se i sistemi autobus e veicoli pesanti seguiranno l'evoluzione in atto per le automobili o seguiranno percorso differente, utilizzando ad esempio HFO-1234yf o altre opzioni (miscele HFO, R-744, ...)

3. SISTEMI E TREND FUTURI

I veicoli leggeri utilizzano una carica di refrigerante da 0,3 kg a 1,4 kg, mentre per gli autobus la carica potrebbe essere compresa tra 8 kg e 16 kg in funzione della categoria del veicolo (ad esempio autobus semplice, autobus articolato).

Attualmente ci sono circa 1.000 ktonnes di refrigerante nei veicoli considerando che ci sono circa 1,3 miliardi di veicoli stradali in circolazione (vedi (<https://www.statista.com/statistics/281134/number-of-vehicles-in-use-worldwide/>)).

Stimando che il 75% dei veicoli circolanti è equipaggiato con MAC e ipotizzando un tasso di rinnovo annuale dell'8% (ad esempio 100 milioni di unità approssimativamente), la domanda di refrigerante (escluso il servizio) è di circa 75 mila tonnellate all'anno.

Lo HFC-134a è ampiamente utilizzato per nuove apparecchiature e per retrofit in tutto il mondo come sostituzione di CFC. A metà degli anni '90 a seguito della valutazione di refrigeranti a basso GWP in cui sono stati valutati diversi fluidi di lavoro sintetici e naturali (ad esempio R-744, R-290), lo HFO-1234yf è stato scelto per sostituire lo R-134a e ridurre il GWP nonostante la sua (bassa) infiammabilità e costi più elevati.

Nel 2013 l'industria autoveicolistica ha avviato la transizione verso i refrigeranti basso GWP più bassi, azione forzata principalmente dalle normative (regolamenti USA, direttiva EU MAC, normativa giapponese) e supportata da iniziative non normative (ad esempio il CRP per programmi di ricerca cooperativa SAE migliorata di climatizzazione mobile (I-MAC)) e quattro CRP SAE 1234yf e il Comitato per il controllo del clima degli interni di SAE).

4. VEICOLI LEGGERI E ELETTRIFICAZIONE

I sistemi per garantire il comfort termico dei passeggeri rimarranno sostanzialmente basati sul ciclo a compressione del vapore abbinato ad un sistema di ventilazione che include anche un circuito di raffreddamento e uno scambiatore di calore per utilizzare il calore residuo del motore per riscaldare la cabina. La combinazione della funzione di raffreddamento e riscaldamento assicura la deumidificazione dell'aria che migliora la funzione di prevenzione dell'appannamento.

La regolamentazione mondiale finalizzata a ridurre le emissioni di gas serra e l'inquinamento nei centri urbani sta portando alla progressiva introduzione di veicoli elettrificati che avrà un impatto rilevante sulla progettazione, sui componenti e sui requisiti dei sistemi condizionamento.

I veicoli ibridi abbinano al motore termico un motore elettrico che è utilizzato per recuperare l'energia cinetica del veicolo che viene immagazzinata in una batteria, per supportare il motore convenzionale e consentire al veicolo di viaggiare in modalità elettrica pura. Per garantire il comfort termico nella modalità di guida elettrica, viene generalmente utilizzato un compressore semi-ermetico elettrico.

Nel caso di un veicolo elettrico ibrido plug-in sono solitamente utilizzate batterie di maggiore capacità di accumulo che possono essere caricate collegando anche il veicolo alla rete di alimentazione elettrica (plug-in) consentendo al veicolo di percorrere distanze maggiori (ad esempio 50 km) in modalità elettrica pura.

In questa tipologia di veicoli e nei veicoli elettrici BEV (Battery Electric Vehicles) il sistema di condizionamento è utilizzato anche per la gestione termica delle batterie e dei sistemi elettronici di potenza soprattutto durante le fasi di carica.

In genere il sistema integra un chiller o un evaporatore ad espansione diretta, convenzionale per la gestione termica della batteria. La carica di refrigerante di un tale sistema è solitamente da circa il 30% al 50% superiore a quella di un sistema convenzionale.

Il riscaldamento della cabina è assicurato dal calore residuo del motore o, in modalità elettrica pura, da un riscaldatore elettrico o una pompa di calore. La funzione di riscaldamento e condizionamento dell'aria può influire in modo rilevante sull'autonomia elettrica riducendola fino al 50%.

5. VEICOLI PESANTI

I veicoli pesanti utilizzano un sistema principale basato sullo stesso concetto utilizzato nei veicoli commerciali leggeri ma con una carica di refrigerante superiore a causa della maggiore distanza dal compressore alla cabina.

In molti casi, per garantire il comfort in sosta, viene installato un sistema di aria condizionata ausiliaria che è in genere simile ai sistemi domestici con un condensatore esterno, un'unità interna di raffreddamento e ventilazione e un compressore elettrico ausiliario. Attualmente i sistemi di condizionamento per autocarri pesanti si basano sull'HFC-134a, sebbene su alcune classi sia consentito l'HFO-1234yf.

6. BUSES AND COACHES

Gli autobus, rispetto a quelli degli altri autoveicoli, utilizzano sistemi di climatizzazione di dimensioni maggiori con maggiore capacità di raffreddamento e maggiori cariche di refrigerante.

I sistemi operano a temperature ambiente comprese tra -30°C e 50°C e sono tipicamente del tipo a tetto o unità montate posteriormente con la cinghia dei compressori azionata dal motore del veicolo.

Il refrigerante più utilizzato è lo HFC-134a ed in alcuni casi lo R-407C per applicazioni ad alta temperatura ambiente in alcuni casi. Lo R-744 è impiegato ma per piccole serie in Europa.

Tipicamente la carica del refrigerante è di circa 10 kg ed è stata ridotta negli ultimi anni fino al 50% grazie all'impiego dei condensatori "mirco-channel".

7. EFFICIENZA ENERGETICA NELLE APPLICAZIONI MAC

HFO-1234yf e R-744 hanno efficienze confrontabili a quelle dello HFC-134a per il raffreddamento e il riscaldamento su media annuale.

Per raggiungere questi livelli di prestazioni, nel caso dell'HFO-1234yf, si deve utilizzare un livello di sotto-raffreddamento elevato spesso ottenuto utilizzando uno scambiatore intermedio (Internal Heat Exchanger) IHX che sfrutta il potere frigorifero residuo in uscita evaporatore per sottoraffreddare il liquido in uscita condensatore.

Nel caso dello R-744 è invece necessario un design specifico del sistema e anche in questo caso uno scambiatore intermedio (IHX) per assicurare un livello di sotto-raffreddamento adeguato e il controllo elettronico del compressore.

8. CONCLUSIONI

Attualmente sono impiegati diversi fluidi refrigeranti per i sistemi di condizionamento per autoveicoli: lo HFC-134a rimarrà in uso in gran parte dei mercati mondiali, mentre lo HFO-1234yf è l'opzione principale in Europa e Nord America. Lo R-744 è attualmente disponibile solo su un paio di modelli di automobile.

La progressiva diffusione di veicoli elettrificati (PHEV e BEV) in Europa, Cina e Nord America porterà all'implementazione della funzione pompa di calore, dove R-744 potrebbe essere nuovamente considerato come una opzione.

Altri refrigeranti sintetici a basso GWP e miscele di fluidi (ad esempio R-444A, R-445A) sono stati presi in considerazione ma non sembrano essere utilizzati nel prossimo futuro, mentre in paesi "Article 5" è in valutazione lo R-152 grazie al suo basso GWP e costo basso analogo a quello dello R-134°.