

Marco Masoero
Vicepresidente Associazione dei Tecnici
del Freddo ATF

Progetto di ricerca Green Gas: sfide e opportunità per l'applicazione di refrigeranti a basso GWP nel settore della refrigerazione commerciale

F. BARILE, M. MASOERO, C. SILVI

Dipartimento di Energia "Galileo Ferraris", Politecnico di Torino

ESTRATTO

La sostituzione a medio termine dei fluidi fluorurati negli impianti di refrigerazione commerciale con refrigeranti a basso GWP rappresenta una significativa sfida tecnologica e industriale per i produttori.

Il progetto Green Gas, finanziato dalla Regione Piemonte nell'ambito del programma Energy and Clean Technology Innovation, coinvolge tre partner industriali del distretto industriale di Casale Monferrato, che coprono prodotti distinti: distributori di bevande, vetrine e trasporto refrigerato.

La fase iniziale del progetto consiste in un'analisi approfondita delle caratteristiche della presente produzione e dei refrigeranti a basso GWP più promettenti per ciascuna applicazione, in un'ottica di costi-benefici ottimale.

La riprogettazione dei componenti principali richiesti dai nuovi fluidi verrà quindi affrontata, tenendo conto dei vincoli normativi (con particolare attenzione all'infiammabilità e ad altri problemi di sicurezza), degli obiettivi di efficienza energetica stabiliti dal produttore e del ciclo di vita di ciascun prodotto.

Nella fase finale del progetto, saranno effettuati test sperimentali sui prodotti riprogrammati per verificare le prestazioni del ciclo di vita in termini di energia primaria risparmiata e riduzione delle emissioni di gas serra.

INTRODUZIONE E REGOLAMENTAZIONE EUROPEA SUGLI F-GAS

L'industria della refrigerazione sta affrontando l'impegnativa fase di transizione da fluidi refrigeranti sintetici ad alto GWP a una nuova generazione di refrigeranti più rispettosi dell'ambiente e spesso naturali.

Tre società del distretto industriale di Casale Monferrato nel Nord-Ovest Italia - Cold Car, Sanden Vendo e Heegen - hanno collaborato con il Centro Studi Galileo, l'agenzia di sviluppo LAMORO, e il Dipartimento di Energia del Politecnico di Torino nella ricerca triennale progetto GREEN GAS.

Il progetto, finanziato dalla Regione Piemonte nell'ambito del programma FESR 2014-2020, ha lo scopo di indagare le sfide tecniche e le opportunità di innovazione tecnologica per le diverse gamme di prodotti in cui le aziende sono specializzate: trasporti refrigerati per Cold Car, distributori automatici di bevande per Sanden Vendo e vetrine refrigerate espositive per Heegen.

Il regolamento UE 517/2014 del Parlamento europeo e del Consiglio del 16 aprile hanno come obiettivo primario quello di limitare la produzione e l'immissione sul mercato europeo di specifici gas a effetto serra.

Questi ultimi, infatti, saranno sostanzialmente banditi nel 2030 secondo un meccanismo di progressiva riduzione dei quantitativi disponibili in UE. Il phase-down, ovvero il processo di

riduzione, si fonda su un sistema di quote indicanti i valori di CO₂ equivalente immessa in aria e l'indice a cui si fa riferimento per il calcolo della CO₂ equivalente è il GWP (Global Warming Potential).

Già dal 1 gennaio 2018 si è assistito a un consistente taglio delle quantità di HFC disponibili sul mercato dell'Unione Europea.

Oltre alla consistente riduzione dell'uso degli HFC nel 2018 e nel 2021, il Regolamento Europeo sugli F-Gas dal 2020 vieta l'uso degli HFC con GWP ≥ 2500 nelle nuove apparecchiature per la refrigerazione e anche per l'assistenza e la manutenzione degli impianti di refrigerazione con carica pari o superiore a 40 t CO₂ equivalente (circa 10 kg di R-404A / R-507A).

Dal 2022, gli HFC con GWP ≥ 150 saranno vietati in tutti i nuovi impianti commerciali di refrigerazione centralizzati multipack ≥ 40 KW, tranne per alcuni tipi di impianti a cascata, e nei frigoriferi e congelatori commerciali di tipo stand-alone.

L'introduzione nel mercato refrigeranti di nuove sostanze porterà non soltanto problematiche di approvvigionamento ma anche problematiche relative alla manutenzione e all'efficienza delle macchine, che dovranno ogni volta essere valutate in relazione alle caratteristiche dei nuovi refrigeranti. Con un mercato in continua e rapida evoluzione, le aziende sono così costrette a enormi sforzi per adattarsi alle mutevoli condizioni al contorno.

IL PROGETTO GREEN GAS

Il progetto GREEN GAS si inserisce nell'ambito del piano di razionalizzazione e diminuzione dell'utilizzo di HFC nell'industria del freddo come da disposizioni della Comunità Europea e dello stato Italiano (Regolamentazione CE 517/2014), favorendo, nel più breve tempo possibile, la creazione di una filiera di recupero, riciclo e rigenerazione dei gas esausti ed il passaggio ai gas refrigeranti naturali e a basso impatto ambientale con la riduzione degli HFC, sul modello di quanto già fatto per i gas responsabili del buco nell'ozono. Il programma di ricerca ha una durata totale di 36 mesi dal 22/12/2017 fino al 21/12/2020.

La proposta progettuale nasce dalle aziende coinvolte nell'ambito dell'iniziativa denominata "Protocollo Casale Monferrato Capitale del Freddo – Green Cold", promossa dal Comune di Casale Monferrato in collaborazione con l'Agenzia di Sviluppo LAMORO e il Centro Studi Galileo, di seguito anche "Monferrato Green Cold". L'area di Casale Monferrato si presta particolarmente a iniziative di questo genere. Nasce qui, infatti, il primo frigorifero artigianale europeo e ivi prendono corpo le prime produzioni industriali di celle frigorifere di ogni genere. Ancora oggi esiste una capillarità significativa, sia per numeri sia per offerta prodotta, di aziende del settore distribuite in un territorio di massimo 10 km quadrati comprendente la Città di Casale Monferrato e i comuni vicini.

Le tre aziende coinvolte nel Progetto sono:

- SandenVendo Europe è un'azienda riconosciuta in Europa da decenni come leader nell'industria della distribuzione automatica e offre una vasta gamma di distributori automatici per bevande calde e fredde, snack e gelati confezionati, ma anche prodotti correlati quali sistemi di pagamento sofisticati e vetrine.
- Cold Car è un'azienda operante nel settore delle carrozzerie refrigerate e isotermiche che ha acquisito un'esperienza pluridecennale nel campo della refrigerazione passiva applicata al settore del trasporto refrigerato di merci deperibili.
- Heegen è un'azienda che da 15 anni progetta, produce e commercializza

Tabella 1: Mappatura refrigeranti - SandenVendo

Refrigeranti	HFC (Alto GWP)		Fluidi candidati alla sostituzione			
	R 134a	R 404A	R 290	R 1234ze	R 32	R 600a
GWP	1430	3900	20	6	716	20
Classe di sicurezza	A1	A1	A3	A2L	A2L	A3
T _{Nb} [°C]	-26.07	-46.22	-42.11	-18.95	-51.65	-11.75
T _{cr} [°C]	101.06	72.05	96.74	109.37	136.81	134.66
P _{cr} [bar]	40.67	37.29	42.36	36.36	78.11	36.29
P _{cond} [bar]	10.17	18.16	13.66	5.09	24.78	5.36
P _{evap} [bar]	2.01	4.33	3.43	1.47	5.82	1.09
β	5.07	4.19	3.99	3.46	4.26	4.92
h ₄ [kJ/kg]	256.60	263.20	304.96	255.00	275.61	295.18
h ₁ [kJ/kg]	391.32	362.64	562.48	377.25	513.02	542.13
h ₂ [kJ/kg]	439.28	403.51	654.80	421.17	598.98	627.63
Δh _{ev} [kJ/kg]	134.72	99.44	257.52	122.25	237.41	246.95
Δh _{comp} [kJ/kg]	47.96	40.87	92.31	43.92	85.96	85.49
%Δh _{ev}		100%	259%	123%	239%	248%
COP	2.81	2.43	2.79	2.78	2.76	2.89
%COP		100%	115%	114%	114%	119%
T _{out} [°C]	58.43	55.95	58.94	50.89	101.63	49.31
Prezzo [€/kg]	37.50	55.00	32.55	29.33	15.60	14.28
Glide [°C]	0	0.7	0	0	0	0

vetrine refrigerate espositive.

La supervisione scientifica del progetto è stata affidata al Dipartimento di Energia (DENERG) del Politecnico di Torino. Il DENERG è la struttura di riferimento del Politecnico di Torino nelle aree culturali che affrontano i temi dell'energia e dello sviluppo sostenibile con l'obiettivo di migliorare le tecnologie energetiche esistenti, di promuoverne di nuove e di contribuire all'uso razionale e consapevole delle risorse energetiche.

Con riferimento al Progetto, il DENERG mette a disposizione competenze riguardanti la progettazione e la caratterizzazione sperimentale delle prestazioni di componenti e impianti in ambito frigorifero, sotto i profili termofluidodinamico, energetico, di sicurezza e di compatibilità ambientale.

Obiettivi generali e piano di lavoro

A partire dalle alternative attualmente disponibili, il progetto GREEN GAS ha il compito di rilevare le possibilità di impiego dei nuovi refrigeranti (rispetto ai requisiti ambientali ed energetici imposti dalle disposizioni legislative e dalle esigenze di mercato) nelle macchine frigorifere esistenti, così come in prodotti nuovi, appositamente progettati attorno alle tecnologie più recenti. Nel progetto viene coinvolta tutta la filiera del freddo:

- aziende costruttrici di componenti

primari, compressori, refrigeranti;

- aziende costruttrici di attrezzature e impianti, assemblatori;
- trasporti refrigerati.

Il Progetto prevede un piano di lavoro il quale si concretizza nelle seguenti fasi:

1) *Ricerca/indagine sul cambiamento delle apparecchiature refrigeranti esistenti con la sola sostituzione dei fluidi attuali con nuovi fluidi refrigeranti ammessi dalla legislazione europea, valutando i risultati dal punto di vista:*

- economico, verificando la maggiore spesa (o risparmio) dovuta a questo cambiamento;
- energetico, considerando l'opportunità del cambiamento per un aumento prestazionale della macchina;
- ambientale, verificando il minor impatto ambientale della macchina così modificata.

2) *Analisi della realizzazione e ottimizzazione di singoli componenti specializzati per l'uso di refrigeranti a basso impatto ambientale e la riduzione dei consumi energetici.*

La finalità è di identificare i componenti che richiedono un adeguamento della progettazione e determinare le linee guida per l'integrazione di tali componenti nelle macchine o sistemi identificati al precedente punto, relativo alla realizzazione delle nuove apparecchiature refrigeranti. Con particolare riferimento alle miscele o ai refrigeranti naturali, le proprietà di trasporto e le caratteristiche di densità e pressione

Tabella 2: Mappatura refrigeranti - Cold Car

Refrigeranti	HFC (Alto GWP)		Fluidi candidati alla sostituzione			
	R 404A	R 507	R 452A	R 448A	R 455A	R 449A
GWP	3900	3800	1945	1387	145	1397
Classe di sicurezza	A1	A1	A1	A1	A2L	A1
T _{Nb} [°C]	-46.22	-46.74	-46.93	-46.12	-52.02	-46.00
T _{cr} [°C]	72.05	70.62	75.10	83.70	85.60	87.12
P _{cr} [bar]	37.29	37.05	40.10	46.60	46.60	44.50
P _{cond} [bar]	20.45	21.19	20.66	20.06	19.82	19.68
P _{evap} [bar]	1.33	1.39	1.23	1.09	1.08	1.23
β	15.38	15.23	16.80	18.40	18.35	16.06
h ₄ [kJ/kg]	272.66	259.77	264.68	269.52	269.08	268.98
h ₁ [kJ/kg]	343.88	345.97	341.03	387.88	381.41	380.91
h ₂ [kJ/kg]	423.03	427.19	419.32	493.40	484.05	488.68
Δh _{ev} [kJ/kg]	71.23	86.21	76.35	118.36	112.33	111.93
Δh _{comp} [kJ/kg]	79.14	81.22	78.29	105.52	102.64	107.77
%Δh _{ev}		100%	89%	137%	130%	1.30
COP	0.90	1.06	0.98	1.12	1.09	1.04
%COP		100%	92%	106%	103%	0.98
T _{out} [°C]	76.29	91.47	79.14	108.00	101.17	105.86
Prezzo [€/kg]	55.00	49.00	47.00	37.00	45.00	33.00
Glide [°C]	0.7	0.0	3.0	6.18	9.68	5.97

Tabella 3: Mappatura refrigeranti - Heegen

Refrigeranti	HFC (Alto GWP)		Fluidi candidati alla sostituzione						
	R 134a	R 404A	R 290	R 600a	R 1234ze	R 32	R 452A	R 448A	R 449A
GWP	1430	3900	20	20	6	716	1945	1387	1397
Classe di sicurezza	A1	A1	A3	A3	A2L	A2L	A1	A1	A1
T _{Nb} [°C]	-26.07	-46.22	-42.11	-11.75	-18.95	-51.65	-46.93	-46.12	-46.00
T _{cr} [°C]	101.06	72.05	96.74	134.66	109.37	136.81	75.10	83.70	87.12
P _{cr} [bar]	40.67	37.29	42.36	36.29	36.36	78.11	40.10	46.60	44.50
P _{cond} [bar]	10.17	18.16	13.66	5.36	5.09	24.78	18.32	17.75	17.46
P _{evap} [bar]	2.01	4.33	3.43	1.09	1.47	5.82	4.19	3.90	4.09
β	5.07	4.19	3.99	4.92	3.46	4.26	4.38	4.55	4.27
h ₄ [kJ/kg]	256.60	263.20	304.96	295.18	255.00	275.61	256.61	261.05	260.72
h ₁ [kJ/kg]	391.32	362.64	562.48	542.13	377.25	513.02	358.16	400.71	401.12
h ₂ [kJ/kg]	439.28	403.51	654.80	627.63	421.17	598.98	398.39	452.64	457.23
Δh _{ev} [kJ/kg]	134.72	99.44	257.52	246.95	122.25	237.41	101.55	139.66	140.40
Δh _{comp} [kJ/kg]	47.96	40.87	92.31	85.49	43.92	85.96	40.23	51.93	56.11
%Δh _{ev}		100%	259%	248%	123%	239%	102%	140%	141%
COP	2.81	2.43	2.79	2.89	2.78	2.76	2.52	2.69	2.50
%COP		100%	115%	119%	114%	114%	104%	111%	103%
T _{out} [°C]	58.43	55.95	58.94	49.31	50.89	101.63	57.76	69.09	70.10
Prezzo [€/kg]	37.50	55.00	32.55	14.28	29.33	15.60	47.00	37.00	33.00
Glide [°C]	0	0.7	0	0	0	0	3.0	4.07	5.79

Legenda delle Tabelle 1-3

η _{vol}	Efficienza volumetrica
η _{is}	Efficienza isentropica
T _{Nb}	Temperatura di ebollizione normale
T _{ev}	Temperatura di evaporazione
T _{cond}	Temperatura di condensazione
T _{cr}	Temperatura critica
T _{out}	Temperatura allo scarico del compressore
P _{cr}	Pressione critica
β	Rapporto di compressione
h ₄	Entalpia all'ingresso dell'evaporatore
h ₁	Entalpia all'uscita dell'evaporatore
h ₂	Entalpia all'uscita del compressore
Δh _{ev}	Effetto utile frigorifero
COP	Coefficiente di prestazione

Note relative alle Tabelle 1-3

I dati inseriti nelle Tabelle 1-3 sono stati ricavati assumendo le seguenti ipotesi:

- η_{vol} = 1
- η_{is} = 0.7±0.8
- Nessun surriscaldamento all'evaporatore
- Nessun sottoraffreddamento al condensatore

Le temperature di evaporazione e condensazione assunte nei calcoli sono:

- T_{ev} = -10°C e T_{cond} = 40°C (Tabelle 1 e 3)
- T_{ev} = -40°C e T_{cond} = 45°C (Tabella 2)

peculiari, nonché la necessità di includere caratteristiche di infiammabilità dei refrigeranti, obbligano a ripensare la progettazione dei singoli componenti delle macchine frigorifere.

3) *Ricerca/indagine sulla costruzione di nuove apparecchiature refrigeranti atte ad utilizzare nel miglior modo possibile i nuovi fluidi refrigeranti ammessi dalla legislazione europea, valutando i diversi componenti necessari rispetto alle apparecchiature attualmente prodotte sotto i seguenti aspetti:*

- economico, valutando la differenza di costi della distinta base con i nuovi componenti;
- energetico-qualitativo, sfruttando l'occasione del cambio di refrigeranti per aumentare l'efficienza energetica dell'impianto ed aumentarne e migliorarne la qualità;
- dell'immagine, valutando l'impatto del cambio di refrigerante e dell'aumento energetico sul mercato europeo attuale;
- ambientale, verificando il minor impatto ambientale della macchina così modificata.

Particolare attenzione verrà dedicata in questa parte del progetto allo studio dei refrigeranti naturali, che sono sostanze da sempre presenti nel nostro pianeta: per questa ragione, il loro impiego negli impianti non induce alcun effetto sull'ambiente. Verranno, quindi, in questa fase creati dei prototipi nuovi partendo da nuovi componenti ottimizzati in cui verranno inseriti i nuovi fluidi refrigeranti.

Oltre all'aspetto ambientale, l'obiettivo è ottimizzare l'efficienza degli impianti con il cambio dei refrigeranti. Un risultato di grande interesse sarebbe fornire un contributo tecnico alla progettazione basata sull'analisi del ciclo di vita (LCA) delle macchine frigorifere e dei loro componenti. Uno degli aspetti qualificanti dell'approccio che si propone di utilizzare nella progettazione è l'attenzione al ciclo di vita complessivo di componenti e impianti. Il problema del riutilizzo o smaltimento dei materiali a fine ciclo di vita è particolarmente rilevante nell'ambito della refrigerazione commerciale a causa della durata relativamente breve della vita operativa degli impianti, rispetto alle applicazioni domestiche. Il problema del recupero e smaltimento riguarda tutti i materiali utilizzati ed in particolare il fluido refrige-

rante medesimo (con il lubrificante in esso contenuto) e i materiali per l'isolamento termico dell'involucro delle apparecchiature e delle carrozzerie; materiali quali i metalli e il vetro sono invece più facilmente recuperabili.

Scelta del refrigerante e prima fase di studio

La scelta di un refrigerante è dettata dal risultato della valutazione e della combinazione di diversi fattori, alcuni legati alla natura della sostanza, altri alla combinazione refrigerante/sistema, altri ad aspetti tecnico-economici. L'impatto ambientale (lesività per lo strato di ozono troposferico ed effetto serra), la tossicità, l'infiammabilità e la corrosività (da cui dipende la compatibilità del refrigerante con i materiali delle apparecchiature) sono tutte caratteristiche legate alla natura del refrigerante che dovrà possedere specifiche proprietà termodinamiche atte a garantire adeguati livelli di efficienza energetica dei sistemi.

Altri fattori condizionanti la scelta del refrigerante sono la sua disponibilità commerciale, il suo costo e il costo della tecnologia associata. Se alcuni refrigeranti possono essere sostituiti da altri senza alcun intervento (operazione di drop-in), altri richiedono modifiche delle apparecchiature di grado variabile, che possono andare da semplici interventi sul sistema o su parti di esso (retrofit delle apparecchiature esistenti), al cambiamento radicale della tipologia di sistema e quindi alla sua sostituzione.

Nella prima fase iniziale di progetto,

per ognuna delle aziende coinvolte nel Progetto Green Gas, è stato condotto uno studio volto a identificare il refrigerante più adatto alle loro applicazioni. Per una scelta coerente e appropriata del tipo di refrigerante, assumono un ruolo di vitale importanza le caratteristiche intrinseche e le proprietà termodinamiche della sostanza. Queste devono essere più o meno comparabili con quelle del refrigerante prossimo alla sostituzione in modo da poter considerare una semplice operazione di drop-in, mantenendo così inalterata la componentistica dell'impianto. Nelle Tabelle sottostanti, per ciascuna azienda, è stata stilata una mappatura dei refrigeranti compatibili alle rispettive applicazioni dove in verde è stato indicato il refrigerante reputato più idoneo alla sostituzione. SandenVendo e Heegen hanno entrambe scelto come via percorribile quella dei fluidi naturali selezionando entrambe R290 come fluido di processo.

Differentemente Cold Car, a fronte delle minori restrizioni normative rispetto alle altre applicazioni e gli alti quantitativi di carica, ha preferito virare sulle miscele di fluidi sintetici (HFO-HFC) optando per R452A, una miscela perfettamente intercambiabile con R507.

RISULTATI ATTESI E CONCLUSIONI

Il principale risultato, che ci si aspetta di ottenere dal progetto, consiste nel raggiungimento di un quadro organico e completo delle tecnologie disponibili e applicabili, compatibile con i nuovi

refrigeranti rispettosi dell'ambiente. La maggior parte delle tecnologie sono già disponibili, ma finora non sono state esaminate e testate in modo completo nelle applicazioni di mercato di interesse per le aziende partner.

I refrigeranti alternativi di nuova generazione (quarta generazione dopo i CFC, HCFC e ora i prossimi di dismissione HFC) denominati HFO o le loro miscele sono appena stati commercializzati in Europa e ancora non sono utilizzati nel resto del mondo.

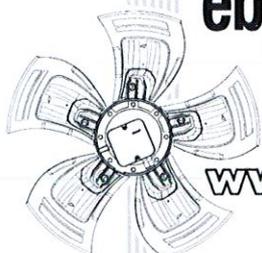
I componenti (compressori, condensatori, evaporatori, valvole, tubazioni, sicurezze, ecc.), che servono per poter utilizzare i nuovi refrigeranti alternativi ai tradizionali fluorurati HFC, esistono già e vengono approvati da parte dei costruttori ed utenti finali man mano che vengono immessi sul mercato. Ci si aspetta anche un calo dei prezzi con la creazione di una massa critica dei refrigeranti e dei componenti tale da rendere economica la rimodulazione delle linee produttive per una maggiore produzione.

Questa evoluzione permetterà alle aziende partecipanti al progetto di assemblare i diversi componenti per sviluppare e produrre il prodotto finito (prototipo) necessario per il mercato della refrigerazione e del trasporto refrigerato garantendo così il vantaggio competitivo che ha sempre permesso loro di affrontare il mercato in modo concorrenziale.

 **FRIGOPLANNING**
Frigoriferi Industriali e Componenti

rappresentante con deposito

ebmpapst



per disponibilità in tempo reale

www.frigoplanning.com

83100 - AVELLINO Via Antonio Ammaturo, 100 - Tel. 0825780955 - Fax 0825780966

RIVISTA DIGITALE

Tutte le riviste possono essere pure sfogliate online in formato digitale.

Al seguente link:

<http://bit.ly/rivista7-2018>

può prendere visione delle ultime notizie dal mondo della refrigerazione e del condizionamento

