

Il Regolamento F-GAS ed i problemi di sicurezza nell'uso dei nuovi gas refrigeranti

Ennio CAMPAGNA

Matteo ARONA

Assogastecnici - Federchimica

3 aprile 2025

Il Regolamento F-GAS (UE) 2024/573

Il nuovo Regolamento F-GAS, che sostituisce il precedente Regolamento (UE) n. 517/2014, è entrato in vigore l' **11 marzo 2024** e si applica ai gas fluorurati a effetto serra elencati negli Allegati I, II e III, da soli o come miscele, ed ai prodotti e alle apparecchiature, e loro parti, che contengono gas fluorurati a effetto serra o il cui funzionamento dipende da tali gas.



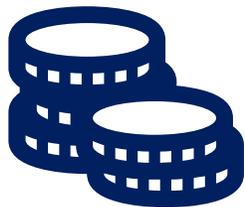
Phase down



Divieti di immissione
sul mercato
(allegato IV)



Manutenzione
GWP < 2500



Tassa per assegnazione
di quote pari a 3 euro
per tonn. CO2



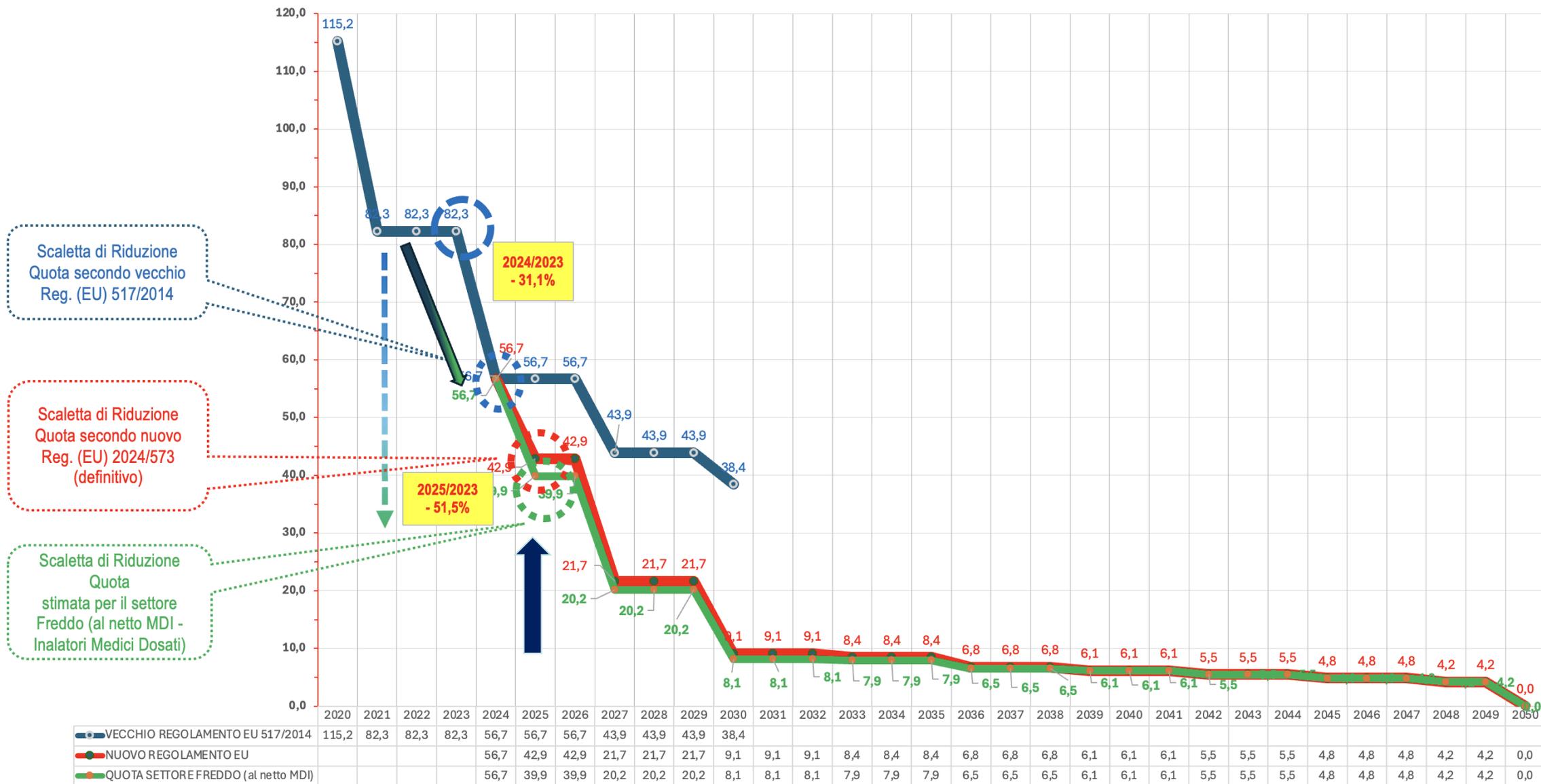
Controlli periodici
di sicurezza (art. 5)



Controlli doganali

Ton CO₂eq. immesse in EU

Attuale Reg. (EU)517/2014 confrontato a nuovo Reg. (EU) 2024/573 approvato dal parlamento Europeo (definitivo)



Tassa per assegnazione di quote

pari a 3 euro per tonn. CO₂

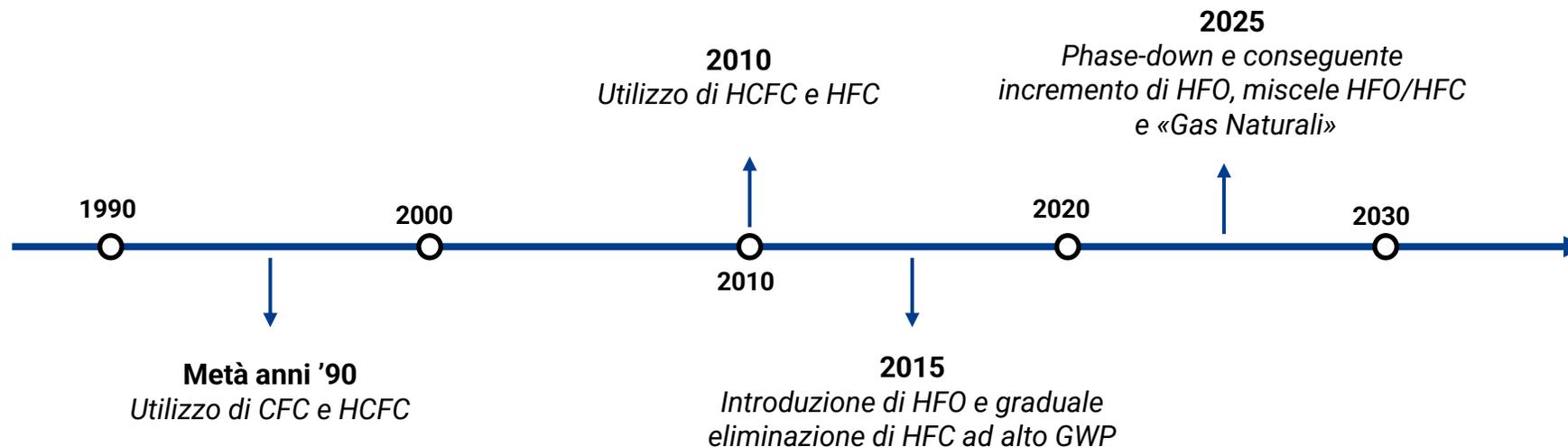
Esempi di tassazione di alcuni tra i principali gas refrigeranti:

- R410A (GWP = 2088)
→ 6,26 euro al kg
- R134a (GWP = 1430)
→ 4,29 euro al kg
- R32 (GWP = 675)
→ 2,02 euro al kg

In questo modo viene incentivato l'utilizzo di prodotti con minore GWP (e di conseguenza con minore impatto sul riscaldamento globale)

Gas Refrigeranti utilizzati

- I gas refrigeranti sono comunemente utilizzati per applicazioni di **Refrigerazione, Condizionamento e Pompe di calore** (RACHP).
- In funzione delle loro caratteristiche, vanno osservate specifiche norme di sicurezza per i costruttori, gli installatori, i manutentori e gli utenti finali.
- Negli ultimi 3 decenni i protocolli globali (**Protocollo di Montreal** per i gas che distruggono l'ozono stratosferico e quelli di **Kyoto** e di **Parigi** per i gas "serra") e la legislazione dell'Unione Europea (ultimo il **Regolamento F-Gas UE 2024/573**) hanno mutato più volte la gamma di prodotti utilizzabili per le applicazioni RACHP.



La scelta del refrigerante

I.



Efficienza
Energetica

II.



Impatto
ambientale

III.



Sicurezza

IV.



Costi per l'intero
ciclo vita

- L'uso dei nuovi refrigeranti ha reso necessaria una modifica degli standard di costruzione delle apparecchiature ed impianti e una maggiore attenzione alle normative di sicurezza, anche per gli installatori, i manutentori e gli utenti finali.
- Mentre i vecchi refrigeranti CFC, HCFC ed HFC erano tutti classificati A1 (ASHRAE safety standards), cioè non infiammabili e non tossici, la maggior parte dei nuovi gas proposti sono classificati A2L (leggermente infiammabili), come gli HFO, o A3 (infiammabili), come il Propano (R290), oppure, come la CO2, presentano problemi di sicurezza per le elevate pressioni di funzionamento.

Le classi di infiammabilità

- Non tutti i gas infiammabili presentano gli stessi rischi: è importante distinguere i fluidi a limitata infiammabilità (come quelli classificati "A2L") da quelli altamente infiammabili, come gli idrocarburi (classe A3)
- I parametri per la **classificazione dell'infiammabilità** sono i seguenti:
 - Limite inferiore e superiore di infiammabilità (kg/ m³)
 - Energia di innesco (MJ)
 - Velocità di propagazione del fronte di fiamma (m/s)
 - Calore di combustione (KJ/KG)

A2L Refrigeranti:

Propagazione della fiamma a 60 ° C

Limite di infiammabilità inferiore

> 100 g/m³

Calore di combustione
< 19 MJ/kg

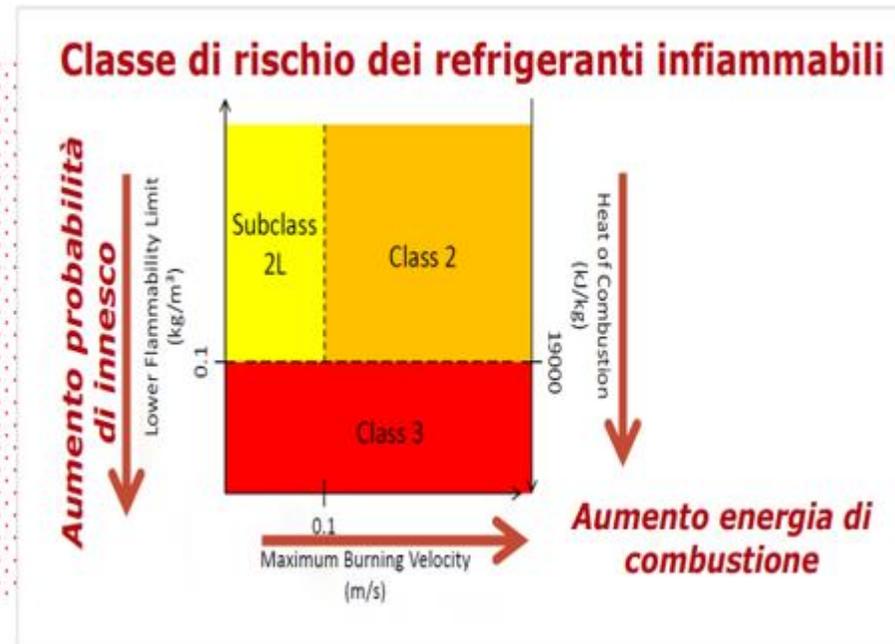
Velocità di fiamma
≤ 10 cm/s

ASHRAE Standard 34: 2010

		SAFETY GROUP	
F I L C M R E A B S I L I N I T Y	Higher Flammability	A3	B3
	Lower Flammability	A2	B2
	No Flame Propagation	A1	B1
		Lower Toxicity	Higher Toxicity

INCREASING TOXICITY

* A2L and B2L are lower flammability refrigerants with a maximum burning velocity of ≤10 cm/s (3.9 in/s).



Riferimenti antincendio

RIFERIMENTI	
DM 10 marzo 2020	vengono fornite le disposizioni per la progettazione, la costruzione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti di climatizzazione inseriti nelle attività soggette ai controlli di prevenzioni incendi. Consente impiego di fluidi classificati A1 o A2L laddove è prescritto l'utilizzo di fluidi frigorigeni non infiammabili o non infiammabili e non tossici.
DM 03 settembre 2021 ("MINICODICE")	stabilisce criteri semplificati per la valutazione del rischio di incendio ed indica le misure di prevenzione, protezione e gestionali antincendio da adottare nei luoghi di lavoro a basso rischio d'incendio
DM 3 agosto 2015 ("CODICE PREVENZIONE INCENDI")	definisce le norme tecniche da applicare per la progettazione, alla realizzazione e all'esercizio di alcune attività di cui all'allegato I del DPR 151/2011. Unico testo organico e sistematico di disposizioni di prevenzione incendi applicabili ad attività soggette ai controlli di prevenzione incendi e mediante l'utilizzo di un nuovo approccio metodologico più aderente al progresso tecnologico e agli standard internazionali
DPR 1 agosto 2011, n. 151	individua le attività soggette ai controlli di prevenzione incendi e disciplina, per il deposito dei progetti, per l'esame dei progetti, per le visite tecniche, per l'approvazione di deroghe a specifiche normative, la verifica delle condizioni di sicurezza antincendio che, in base alla vigente normativa, sono attribuite alla competenza del Corpo nazionale dei vigili del fuoco
EN 378	La norma specifica i requisiti per la sicurezza delle persone e dei beni, fornisce una guida per la tutela dell'ambiente e stabilisce procedure per il funzionamento, la manutenzione e la riparazione di impianti di refrigerazione e il recupero dei refrigeranti

Gas Refrigeranti caratteristiche

Refrigerante	Esempi	Class. ASHRAE	Tossicità	Infiammabilità	Alta Pressione	NOTE su Reg. UE
CFC	R11, R12, R502	A1	NO	NO	NO	Vietati
HCFC	R22	A1	NO	NO	NO	Vietati
HFC	R134a, R404A	A1	NO	NO	NO	Vietati se a GWP elevato
HFO	R1234yf / ze	A2L	NO	Moderata	NO	
Mix HFO/HFC	R448A, R449A	A1 o A2L	NO	NO o moderata	NO	Vietati se a GWP elevato
HC	R290 (propano)	A3	NO	SI	NO	
CO2 (R744)	anidride carbonica	A1	NO	NO	SI	
NH3 (R717)	ammoniaca	B2	SI	SI	Media	

Come operare in sicurezza con i gas refrigeranti HFC (es. R-134a, R-404A, R-407C, R-410A,...)

- I refrigeranti HFC :
 - Non sono esplosivi, né infiammabili
 - Hanno una tossicità bassissima (TLV=1000 p.p.m)
 - Non sono corrosivi nelle condizioni normali (per la compatibilità con i materiali, consultare gli specifici “Material Safety Data Sheets”)
- Non pressurizzare con aria compressa gli impianti contenenti refrigeranti: oltre ad introdurre umidità nel circuito, alcuni refrigeranti, non infiammabili a pressione atmosferica, possono dare miscele esplosive se pressurizzati con aria; in caso di necessità usare solo Azoto a basso punto di rugiada.
- Tenere lontani i vapori di refrigeranti dalle fiamme e dalle superfici metalliche calde. A temperature molto elevate i vapori potrebbero decomporsi, formando prodotti tossici ed irritanti (ad es. acido fluoridrico).

Come operare in sicurezza con i gas refrigeranti HFC (2)

- Evitare concentrazioni eccessive di vapore: i refrigeranti sono più pesanti dell'aria e possono accumularsi nei punti più bassi. I posti di lavoro dovrebbero disporre di una ventilazione adeguata;
- proteggere le mani e la pelle dal contatto con i refrigeranti liquidi, che può causare congelamenti;
- proteggere gli occhi dagli spruzzi di refrigerante liquido;
- non surriscaldare le bombole che contengono, o hanno contenuto del refrigerante;
- non danneggiare le bombole (evitare gli urti) e non superare i riempimenti massimi consentiti;
- non utilizzare bombole a perdere (“disposables”) che, pur accettate in alcuni stati, sono espressamente VIETATE in Italia (Circolare N° 60/96 Ministero dei Trasporti) e nella Unione Europea;
- utilizzare solo bombole marcate T-Ped e riportanti la punzonatura del gas contenuto;
- fare molta attenzione, poiché in nuovi refrigeranti hanno generalmente una pressione più elevata e le vecchie bombole non sono adatte per tutti i nuovi gas (ad esempio: non recuperare mai R410A in bombole per R-22 !).

Quale futuro per gli HFC?



Quasi tutti gli HFC hanno un GWP medio-alto ed alcuni, quelli con $GWP > 2500$ (come R404A ed R507) sono già stati vietati.



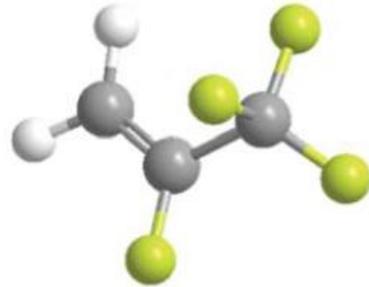
Sono ancora utilizzabili, con alcune limitazioni:

- **R134a** (GWP=1430) → usato in molte applicazioni commerciali ed industriali e per la manutenzione dei climatizzatori auto di vecchia generazione
- **R32** (GWP=675) → utilizzato per la maggior parte dei condizionatori domestici “split” ed in alcuni sistemi centralizzati
- **R448A, R449A, R452A** (miscele HFC-HFO) → usati per il retrofit e la manutenzione degli impianti di refrigerazione esistenti a temperature medio-basse.

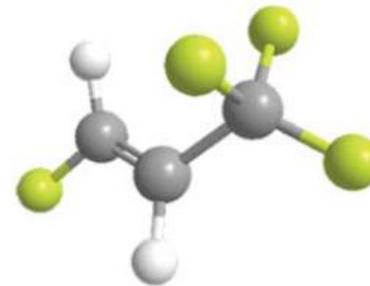
Tutti i prodotti sopra indicati NON sono infiammabili, ad eccezione del R32, che è classificato A2L (moderatamente infiammabile)

HFO

- Gli HFO sono molecole fluorurate che presentano un doppio legame C=C e per questo motivo presentano un GWP estremamente basso, paragonabile a quello degli idrocarburi.
- Gli HFO utilizzabili come refrigeranti sono:
 - **R1234yf**: utilizzato per la climatizzazione delle auto
 - **R1234ze**: utilizzabile per chiller, anche con compressori centrifughi, per temperature positive
 - **R1233zd**: per chiller centrifughi, per pompe di calore ad alta temperatura e per cicli ORC *



Molecola 1234yf - $\text{CF}_3\text{CF}=\text{CH}_2$



Molecola 1234ze(E) - $\text{CF}_3\text{CF}=\text{CHF}$

* ORC=Organic Rankin Cycle, per produrre energia elettrica mediante l'espansione di un fluido in una turbina.

Miscela HFO / HFC

- Gli HFO sono utilizzati anche come componenti di diverse miscele con HFC. In questi casi l'HFC ha la funzione di ottimizzare le prestazioni termodinamiche della sistema, mentre l'HFO riduce il GWP della miscela.
- In tabella sono indicate alcune miscele HFO / HFC con GWP<1500:

Miscela	GWP	Classe	Applicazioni
R448A	1387	A1	Refrig. BT, anche per retrofit imp. a R404A
R449A	1397	A1	Refrig. BT, anche per retrofit imp. a R404A
R452B	698	A2L	A/C
R454B	466	A2L	A/C
R513A	631	A1	A/C Chiller, refrig. TN, anche per retrofit imp. a R134a
R515B	293	A2L	A/C Chiller
R454A	239	A2L	Refrig. BT
R454C	148	A2L	Refrig. BT
R455A	148	A2L	Refrig. BT

GWP<150

→ Gli HFO e le loro miscele hanno il vantaggio di poter essere utilizzati con le attuali tecnologie impiantistiche, senza dover affrontare le problematiche di sicurezza legate all'elevata infiammabilità (fluidi A3) e a quella delle alte pressioni operative (es. uso della CO2)

Idrocarburi come gas refrigeranti

- La ricerca di gas refrigeranti ad effetto serra (GWP=Potenziale di riscaldamento globale), dovuta anche alle restrizioni imposte dal Regolamento F-Gas, ha spinto i progettisti ed i costruttori di impianti di refrigerazione, condizionamento e pompe di calore a considerare anche l'uso di IDROCARBURI, un tempo raramente impiegati a causa della loro estrema infiammabilità.
- Gli idrocarburi utilizzati sono:
 - **R600a = isobutano** → per i frigoriferi domestici e piccoli refrigeratori autonomi commerciali
 - **R290 = propano** → è l'idrocarburo più diffuso in refrigerazione ed è impiegato per la maggior parte dei banchi frigoriferi autonomi commerciali ed in alcune applicazioni industriali.
 - **R1270 = propilene** → usato per alcuni impianti industriali di refrigerazione a bassa temperatura
 - **R170 = etano** → usato solo in alcuni impianti speciali per bassissime temperature (fino a circa -80°C)

Idrocarburi come gas refrigeranti: PERICOLI

ELIMINARE le fonti di innesco

- Fiamme libere
- Fumare
- Saldare e tagliare
- Scintille
- Elettricità statica

ATTENZIONE quindi ai seguenti componenti:

- Motori elettrici / ventole (non utilizzare motori "a spazzole")
- Pompe
- Termostati, pressostati, interruttori, relé
- Resistenze di sbrinamento
- Sovraccarico termico

Idrocarburi: come operare in sicurezza



CO₂ (R744) come gas refrigerante

L'unico "Gas Naturale" non infiammabile utilizzato in refrigerazione è **l'Anidride Carbonica**.

Rispetto ai tradizionali gas fluorurati la CO₂ ha un Punto Critico molto basso (31°C) e delle pressioni di lavoro molto più elevate e queste sue caratteristiche hanno richiesto lo sviluppo di una diversa componentistica (es. compressori per alta pressione) ed un'impiantistica differente (es. cicli transcritici o impianti di refrigerazione in cascata).



Come qualsiasi gas diverso dall'aria e dall'ossigeno la CO₂ può causare basse concentrazioni di ossigeno, tramite suo dislocamento. La CO₂ non è però solo un **gas asfissiante** ma, sebbene non sia classificata come sostanza "tossica", ha anche un **effetto "intossicante"**.

L'intossicazione da CO₂ provoca anche carenza di ossigeno nel sangue
Si raggiungono condizioni pericolose prima che la concentrazione di ossigeno raggiunga livelli di rischio.

- Valore limite per un'esposizione di 8 ore (TWA): 5000 ppm=0,5% di CO₂
- I limiti di esposizione a breve termine (STEL) variano da un paese all'altro. Comunemente si usa il limite di 30.000 ppm= 3% di CO₂

PERICOLI: eccesso di CO2

- Dall'1 all'1,5%: Leggero effetto sulle reazioni chimiche del metabolismo dopo un'esposizione di svariate ore
- 3%: A questo livello, il gas è un debole narcotico e provoca:
 - Respiri più profondi
 - Ridotta capacità di udire
 - Cefalea
 - Aumento della pressione sanguigna e della frequenza
- Dal 4 al 5%: Respiro più rapido e profondo
I sintomi dell'intossicazioni diventano più evidenti dopo 30 minuti di esposizione
- Dal 5 al 10%: Il respiro diventa più laborioso
Forte cefalea e perdita di giudizio
- > 10%: Perdita di coscienza entro un minuto
Un'esposizione prolungata risulta fatale

PERICOLI: eccesso di CO₂ e sotto ossigenazione

Misure di sicurezza personale

- Usare un rilevatore di ossigeno portatile in tutti gli interventi che comportano il rischio di deplezione dell'ossigeno o di un incremento della CO₂.
 - Livello di allarme per l'O₂: 19,5%
 - Livello di allarme per la CO₂: 5000 ppm (= 0,5%)
- Non entrare mai in uno spazio confinato senza la debita autorizzazione, formazione e preparazione
- Non tentare mai un salvataggio improvvisato in ambienti in cui si sospetti la presenza di una concentrazione di O₂ ridotta o di una concentrazione elevata di CO₂
 - Misurare la concentrazione di O₂ o/e di CO₂ con un rilevatore di atmosfera portatile
 - Potrebbe essere necessario l'intervento di una squadra di operatori dotati di respiratori ad aria compressa (respirabile).
 - Assicurarsi che non si faccia uso di maschere filtranti a tale scopo (non offrono protezione né contro la carenza di ossigeno né contro l'eccesso di anidride carbonica).
 - Gli incidenti per asfissia spesso provocano più di una vittima a causa di tentativi di salvataggio improvvisati.

PERICOLI: eccesso di CO₂ e sotto ossigenazione

Raccomandazioni per gli utilizzatori di impianti a CO₂

- Garantire una buona ventilazione nei luoghi in cui è possibile la fuoriuscita di gas
- Non chiudere o bloccare mai i fori di ventilazione
- Uso di dispositivi fissi di monitoraggio dell'aria nei locali dove è maggiore il rischio di calo dell'ossigeno o di arricchimenti dell'anidride carbonica
 - In base alla valutazione dei rischi si deve considerare la possibilità di un guasto degli impianti di ventilazione / aspirazione
 - Livello di allarme O₂: 19,5%
 - Livello di allarme CO₂: 5000 ppm (= 0,5%) CO₂
 - Osservazione: i valori compresi tra valore normale (21% di O₂ e 0,04% di CO₂) e il valore di allarme non devono essere automaticamente considerati sicuri: qualsiasi scostamento deve essere investigato e, ove possibile, eliminato
- Fermare i macchinari che consumano gas (dotati di estrattori) se l'impianto di estrazione si guasta o viene disattivato
 - Ove possibile, montare sistemi di asservimento automatici
- Marcare chiaramente le tubazioni e le zone che presentano rischi atmosferici
- Riparare sempre le perdite di gas

TEWI – Total Equivalent Warming Impact

- L'impatto ambientale di un sistema di condizionamento e refrigerazione non dipende esclusivamente dal GWP del gas utilizzato, ma anche dall'efficienza energetica del sistema e quindi dall'energia elettrica consumata (sulla base della % di fonti fossili utilizzate per la sua produzione).
- Il TEWI è un parametro di giudizio del comportamento globale ai fini dell'effetto serra di una macchina frigorifera.



Conclusioni

- L'uso dei “Gas Naturali”, incentivato dal Regolamento F-Gas, ha degli indubbi vantaggi per la limitazione del Riscaldamento Globale, ma presenta alcune criticità dal punto di vista della sicurezza e dell'efficienza energetica.
- Tali criticità vanno attentamente considerate sia in fase di progettazione degli impianti, sia nella loro realizzazione, installazione e manutenzione.
- Gli HFO e le loro miscele possono essere un'ottima soluzione alternativa ai gas naturali in tutti i casi in cui sia necessario garantire un maggiore sicurezza per operatori e gli utilizzatori, limitando l'effetto di riscaldamento globale a valori trascurabili e garantendo in molti casi una migliore efficienza energetica.