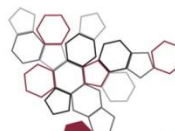




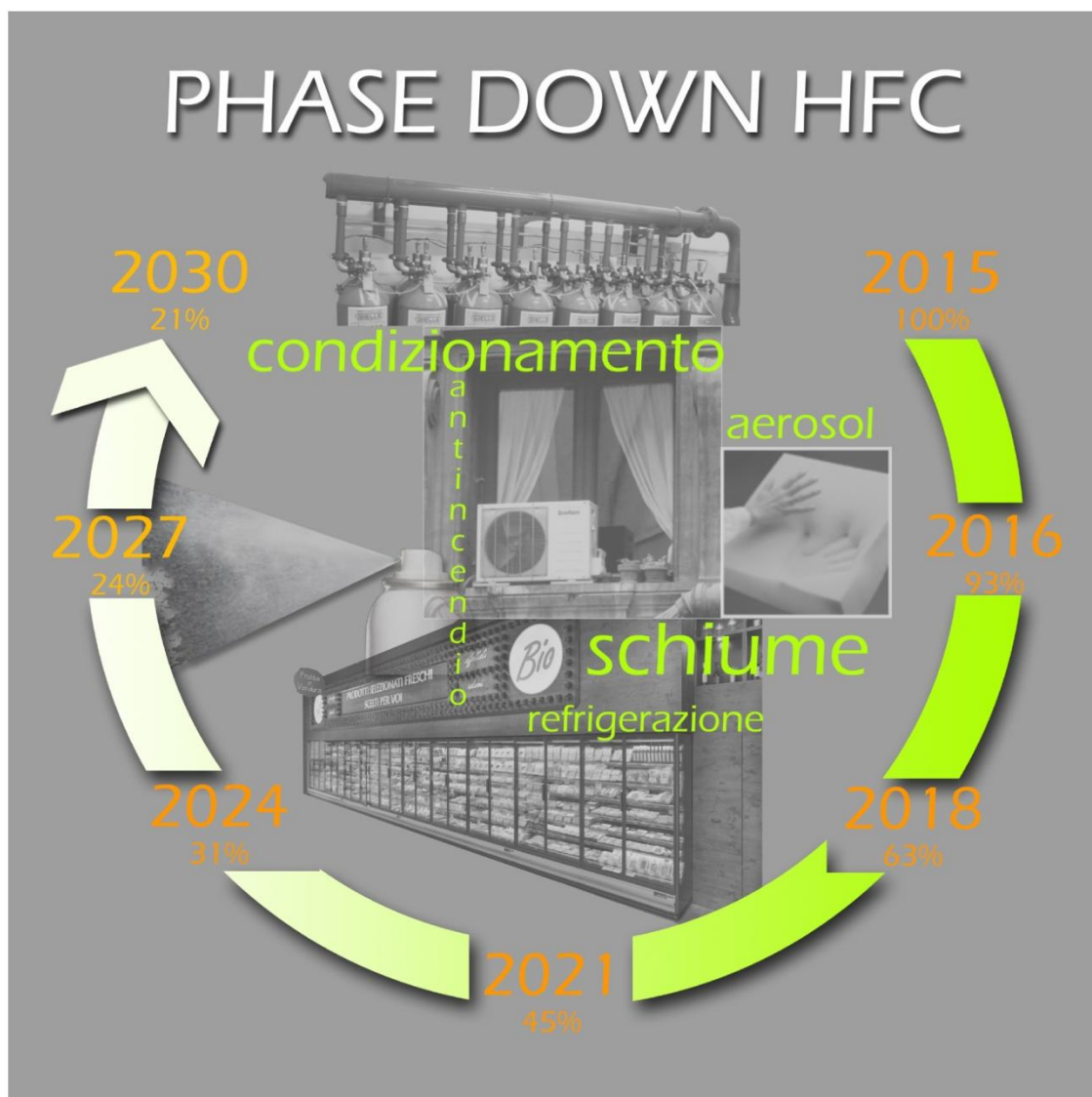
ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Sistema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente

Studio sulle alternative agli idrofluorocarburi (HFC) in Italia

RAPPORTI





ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Sistema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente

Studio sulle alternative agli idrofluorocarburi (HFC) in Italia

Informazioni legali

L'istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ispra), insieme alle 21 Agenzie Regionali (ARPA) e Provinciali (APPA) per la protezione dell'ambiente, a partire dal 14 gennaio 2017 fa parte del Sistema Nazionale a rete per la Protezione dell'Ambiente (SNPA), istituito con la Legge 28 giugno 2016, n.132.

Le persone che agiscono per conto dell'Istituto non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo rapporto.

ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
Via Vitaliano Brancati, 48 – 00144 Roma
www.isprambiente.gov.it

ISPRA, Rapporti 286/2018
ISBN 978-88-448-0900-3

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Elaborazione grafica

Grafica di copertina: Franco Iozzoli - ideazione e progettazione arch. Gabriella Rago

Foto di copertina: a gentile concessione di EPTA, GIELLE, Barbara Gonella, Andrea Gagna, Gabriella Rago

ISPRA – Area Comunicazione

Coordinamento pubblicazione on line:

Daria Mazzella

ISPRA – Area Comunicazione

Autori

Federica Moricci (ISPRA), Gabriella Rago (ISPRA), Barbara Gonella (ISPRA), Andrea Gagna (ISPRA), Riccardo De Lauretis (ISPRA)

Per la redazione del presente rapporto sono stati contattati gli esperti e i rappresentanti delle Associazioni di categoria dei settori oggetto di indagine. Molte delle informazioni riportate nei paragrafi dedicati all'approfondimento sulle alternative agli HFC in Italia sono state acquisite nel corso di numerosi incontri avuti con i suddetti esperti; in bibliografia, invece, sono riportate tutte le pubblicazioni, documenti, articoli, siti web, ecc., consultati per lo sviluppo di questo lavoro.

Ringraziamenti

Si ringraziano tutti gli esperti degli argomenti trattati per l'aiuto prezioso fornito durante la realizzazione del Rapporto, per la grande cortesia e disponibilità dimostrate. In particolare, si desidera ringraziare:

AIA - FEDERCHIMICA (Assogastecnici e Associazione Italiana Aerosol Assogastecnici): Andrea Fieschi

ANIMA (Federazione delle Associazioni dell'Industria Meccanica varia e affine): Giorgio Beretta, Alberto Spotti, Federico Cacciatori

ANPE (Associazione Nazionale Poliuretano Espanso rigido): Marco Monzeglio

ASSOCLIMA (Associazione dei costruttori di Sistemi di Climatizzazione): Walter Pennati, Maria Elena Proietti, Alberto Spotti

CAREL: Biagio Lamanna

CECED Italia: Nadia Carbonaro, Carlo Carincola, Mara Rossi

CPF INDUSTRIALE: Domenico Tortora

EPTA: Maurizio Orlandi

GASTEC VESTA: Giancarlo Bianchi

GENERAL GAS S.r.l.: Stefano Fedeli, Carmine Marotta

GIELLE: Giovanni Berloco, Vincenzo Galantucci

HONEYWELL: Alberto Malerba

INRES-COOP: Fortunato della Guerra

RIVOIRA REFRIGERANTS S.r.l.: Ennio Campagna

SINTECO S.r.l.: Pietro Borando

TAGOS S.r.l.: Marco Monzeglio

Università degli Studi di Padova: Claudio Zilio

Università POLITECNICA DELLE MARCHE: Fabio Polonara

SOMMARIO

PREMESSA: SFIDE E OPPORTUNITA' NELLA RIDUZIONE DEGLI IDROFLUOROCARBURI	1
INTRODUZIONE	3
1 GLI IDROFLUOROCARBURI (HFC)	4
1.1 Caratteristiche degli idrofluorocarburi	4
1.2 L'ingresso degli HFC nel mercato mondiale	5
1.3 Le emissioni degli HFC	6
1.3.1 <i>Le emissioni nel mondo</i>	6
1.3.2 <i>Le emissioni in Italia</i>	6
1.4 Quantità di HFC in Italia	8
1.4.1 <i>Import/export degli HFC ai sensi del Regolamento F-gas</i>	8
1.4.2 <i>Stima delle quantità di HFC importate in Italia</i>	11
1.4.3 <i>HFC comunicati con la Dichiarazione F-gas</i>	12
1.4.3.1 Numero di Dichiarazioni F-gas e numero di apparecchiature comunicate	12
1.4.3.2 Quantità di HFC comunicati con la Dichiarazione F-gas	13
1.4.3.3 Principali HFC comunicati con la Dichiarazione F-gas	14
2 LA NORMATIVA DI RIFERIMENTO SUGLI F-GAS	18
2.1 Il Regolamento (UE) n.517/2014	18
FOCUS: l'Emendamento di Kigali sugli HFC - MOP 28 del Protocollo di Montreal (10/15/2016)	21
2.2 Gli effetti del nuovo Regolamento (UE) n.517/2014 sul mercato europeo dei refrigeranti	22
2.2.1 <i>Effetti nel medio/breve periodo del Regolamento F-gas</i>	22
2.2.2 <i>Effetti nel lungo periodo del Regolamento F-gas</i>	25
2.2.3 <i>Effetti sul mercato italiano</i>	26
2.2.4 <i>Effetti del Regolamento F-gas sul costo degli HFC</i>	27
2.2.5 <i>Notizie dal mercato dei refrigeranti e delle materie prime: il 2017</i>	30
2.2.6 <i>Costi e disponibilità dei refrigeranti in Italia</i>	32
2.2.7 <i>Costo delle tecnologie che utilizzano refrigeranti alternativi agli HFC</i>	32
3 LE SOSTANZE ALTERNATIVE AGLI HFC	37
3.1 Fattori da considerare nella selezione dei refrigeranti	37
3.1.1 <i>Impatto climatico</i>	37
3.1.1.1 Criticità e punti di vista delle aziende italiane	40
3.1.2 <i>Efficienza energetica</i>	40
3.1.3 <i>Tossicità, infiammabilità, corrosività</i>	40
3.2 Refrigeranti naturali	43
3.2.1 <i>Idrocarburi (HC)</i>	44
3.2.2 <i>Ammoniaca (NH₃)</i>	44
3.2.3 <i>Anidride carbonica (CO₂)</i>	45
3.2.4 <i>Acqua (H₂O)</i>	47
3.2.5 <i>Aria</i>	47
3.3 Refrigeranti sintetici di ultima generazione	47
3.3.1 <i>Idrofluoroolefine (HFO)</i>	47
4 LE ALTERNATIVE AGLI HFC NEL SETTORE DELLA REFRIGERAZIONE	50
4.1 Focus sui cicli frigoriferi	50
4.1.1 <i>Il ciclo frigorifero standard</i>	50
4.1.2 <i>Il ciclo frigorifero ottimizzato</i>	52
4.2 Refrigerazione domestica	53
4.2.1 <i>Caratteristiche del settore</i>	53

4.2.2	<i>Le alternative agli HFC nella refrigerazione domestica a livello europeo e internazionale..</i>	54
4.2.3	<i>Le alternative agli HFC nella refrigerazione domestica in Italia.....</i>	55
4.3	Refrigerazione commerciale.....	55
4.3.1	<i>Caratteristiche del settore.....</i>	55
4.3.1.1	Unità stand-alone.....	56
4.3.1.2	Unità a condensazione.....	56
4.3.1.3	Sistemi Centralizzati.....	57
4.3.2	<i>Le alternative agli HFC nella refrigerazione commerciale a livello europeo e internazionale.....</i>	61
4.3.2.1	Le alternative agli HFC nel mondo: unità stand-alone.....	61
4.3.2.2	Le alternative agli HFC nel mondo: unità a condensazione.....	62
4.3.2.3	Le alternative agli HFC nel mondo: sistemi centralizzati.....	63
4.3.3	<i>Le alternative agli HFC in Italia nel settore della refrigerazione commerciale.....</i>	64
4.3.3.1	Le alternative agli HFC in Italia: unità stand-alone.....	64
4.3.3.2	Le alternative agli HFC in Italia: unità a condensazione.....	64
4.3.3.3	Le alternative agli HFC in Italia: sistemi centralizzati.....	64
4.4	Apparecchiature professionali.....	67
4.4.1	<i>Caratteristiche del settore.....</i>	67
4.4.2	<i>Gli effetti del Regolamento F-gas sulle apparecchiature professionali.....</i>	68
4.4.2.1	Abbattitori professionali e produttori di ghiaccio.....	68
4.4.2.2	Frigoriferi professionali/refrigeratori professionali.....	69
4.4.2.3	Altre apparecchiature del settore domestico.....	69
4.4.2.4	Certificazione energetica ed efficienza energetica delle apparecchiature.....	70
4.5	Refrigerazione industriale.....	70
4.5.1	<i>Caratteristiche del settore.....</i>	70
4.5.2	<i>Panoramica sulle alternative utilizzate attualmente a livello europeo e internazionale e nazionale:.....</i>	71
5	LE ALTERNATIVE AGLI HFC NEL SETTORE DELLA CLIMATIZZAZIONE.....	73
5.1	Apparecchiature di climatizzazione.....	73
5.1.1	<i>Piccoli condizionatori autonomi e indipendenti.....</i>	73
5.1.2	<i>Condizionamento a split (Small split Air –conditioning).....</i>	75
5.1.3	<i>Grandi impianti di condizionamento d’aria (air to air).....</i>	76
5.1.4	<i>Refrigeratori ad acqua per il condizionamento d’aria (water chiller).....</i>	78
5.1.5	<i>Pompe di Calore.....</i>	79
5.2	Le alternative agli HFC nel settore del condizionamento.....	80
5.2.1	<i>Le alternative agli HFC nel settore del condizionamento a livello europeo e internazionale.....</i>	80
5.2.1.1	Le alternative agli HFC nel mondo: piccoli condizionatori autonomi e indipendenti.....	80
5.2.1.2	Le alternative agli HFC nel mondo: small split air –conditioning.....	81
5.2.1.3	Le alternative agli HFC nel mondo: grandi impianti di condizionamento d’aria (air-to-air).....	81
5.2.1.4	Le alternative agli HFC nel mondo:refrigeratori ad acqua per il condizionamento d’aria (water chiller).....	82
5.3	Il settore del condizionamento in Italia.....	82
5.3.1	<i>Il mercato delle apparecchiature di condizionamento.....</i>	82

5.3.1.1	Refrigeranti HFC attualmente utilizzati nel settore del condizionamento in Italia	85
5.3.2	Alternative agli HFC nel settore del condizionamento in Italia.....	86
5.3.3	Criticità segnalate dal settore	87
6	LE ALTERNATIVE AGLI HFC NEL SETTORE DEGLI AEROSOL.....	89
6.1	Caratteristiche del settore	89
6.2	Alternative agli HFC nel settore degli aerosol a livello europeo e internazionale	90
6.3	Il settore degli aerosol in Italia	91
6.3.1	Le alternative agli HFC nel settore degli aerosol in Italia	93
7	LE ALTERNATIVE AGLI HFC NEL SETTORE DELLE SCHIUME	95
7.1	Caratteristiche del settore	95
7.2	Gli agenti espandenti HFC	96
7.3	Alternative agli HFC nel settore delle schiume a livello europeo e internazionale.....	97
7.4	Il settore delle schiume in Italia e le alternative agli HFC.....	99
8	LE ALTERNATIVE AGLI HFC NEL SETTORE DELLE APPARECCHIATURE FISSE DI PROTEZIONE ANTINCENDIO.....	101
8.1	Caratteristiche del settore	101
8.2	Le alternative agli HFC nei sistemi fissi di protezione antincendio a livello europeo e internazionale	102
8.3	Le alternative agli HFC nei sistemi fissi di protezione antincendio in Italia.....	105
9	IL MERCATO EUROPEO DELLE TECNOLOGIE CHE USANO REFRIGERANTI NATURALI.....	106
9.1	Numero di compagnie che lavorano con refrigeranti naturali	106
9.2	Il mercato europeo della refrigerazione commerciale con refrigeranti naturali	107
10	ATTIVITÀ DI RICERCA, SVILUPPO E FORMAZIONE SULLE ALTERNATIVE AGLI HFC	112
10.1	Le attività di ricerca e sviluppo in Europa.....	112
10.2	Le attività di ricerca e sviluppo in Italia	113
10.2.1	Specificità dell'industria italiana	116
10.3	La formazione sui refrigeranti alternativi agli HFC in Europa e in Italia.....	117
10.4	Uno sguardo alle tecnologie future nel settore della refrigerazione: la refrigerazione magnetica	119
10.4.1	Progetti di ricerca sulla refrigerazione magnetica in Italia.....	121
10.5	Attività di ricerca sulle pompe di calore.....	122
10.5.1	Progetto Heat4U.....	122
10.5.2	Progetto NxtHPG	123
11	CONCLUSIONI	125
	BIBLIOGRAFIA	127

PREMESSA: SFIDE E OPPORTUNITA' NELLA RIDUZIONE DEGLI IDROFLUOROCARBURI

Negli ultimi anni è emersa la necessità di affrontare il tema del permanere dell'impatto sul clima derivante comunque dalle sostanze impiegate dalla graduale sostituzione degli idroclorofluorocarburi (HCFC) nell'ambito del Protocollo di Montreal, che sta provocando un uso sempre più diffuso degli idrofluorocarburi (HFC), che seppur non hanno un impatto sullo strato d'ozono stratosferico, hanno un elevato potenziale di riscaldamento globale - GWP¹ (la misura della capacità di assorbire la radiazione infrarossa emessa dalla superficie del pianeta intrappolandola nell'atmosfera, il cosiddetto effetto serra). Secondo stime del Panel Intergovernativo sui Cambiamenti Climatici (IPCC), infatti, in assenza di un'azione globale, gli HFC potrebbero rappresentare dal 9 al 19% delle emissioni globali di gas serra entro il 2050. È diventato sempre più urgente, pertanto, orientare il processo di sostituzione degli HCFC verso HFC con basso GWP (la misura della capacità di assorbire la radiazione infrarossa emessa dalla superficie del pianeta intrappolandola nell'atmosfera, il cosiddetto effetto serra) o verso alternative non clima-alteranti, ove già disponibili sul mercato. L'emendamento di Kigali al Protocollo di Montreal sulle sostanze che danneggiano la fascia d'ozono, adottato nell'ottobre del 2016 in Ruanda, impone di ridurre gradualmente la produzione e l'utilizzo degli HFC, contribuendo in misura significativa al raggiungimento degli obiettivi fissati dall'Accordo di Parigi sul clima. L'attuazione delle misure dell'emendamento, infatti, eviteranno l'emissione di 70 miliardi di tonnellate di CO₂ equivalente nel lungo periodo e il conseguente aumento di temperatura di 0.5°C alla fine del secolo. L'adozione dell'emendamento di Kigali da parte di 197 nazioni ha confermato il Protocollo di Montreal quale uno dei più validi accordi internazionali che nei suoi 30 anni di attuazione ha registrato numerosi successi nell'eliminazione delle sostanze dannose per lo strato d'ozono, portando notevoli benefici alla salute umana e all'ambiente.

Gli impegni di riduzione previsti nell'emendamento saranno vincolanti già nel 2019 per i Paesi sviluppati, essendo stato già ratificato da più di 20 Paesi. Gran parte dei Paesi in via di sviluppo, tra cui Cina, Brasile e Sud Africa, hanno mostrato un soddisfacente grado di ambizione nel ridurre gli HFC, impegnandosi a congelare, impedendo quindi che aumenti, il consumo di HFC nel 2024 mentre altri Paesi, tra cui l'India e i Paesi del Golfo, dovranno congelare il loro consumo di HFC soltanto al 2028. Al 2040 tutti i Paesi sono tenuti a consumare non più del 15-20% delle loro rispettive quote base.

Essendo nell'era "post-Kigali", risulta necessario identificare e attuare misure concrete per ridurre significativamente le emissioni degli HFC in maniera efficace ed economicamente sostenibile, individuando le alternative non clima-alteranti o caratterizzate da un basso GWP, evitando quindi l'introduzione degli HFC ad alto GWP per tutti i settori di interesse e soprattutto per quei settori che mostrano un trend in continuo aumento. La domanda relativa al condizionamento d'aria e alla refrigerazione, infatti, è in costante crescita, in particolare nei Paesi in via di sviluppo, e l'introduzione di soluzioni ambientalmente sostenibili consentirà alle Parti di rispettare gli obblighi previsti dal Protocollo.

Con la dichiarazione della coalizione per assicurare un ambizioso emendamento per la riduzione degli HFC, rilasciata a New York il 22 settembre 2016, un gruppo di 16 paesi donatori, tra i quali l'Italia, si è impegnato a garantire un supporto tecnico e finanziario aggiuntivo a quello fornito dal Fondo Multilaterale del Protocollo di Montreal per sostenere una rapida attuazione dell'emendamento.

In aggiunta, il Ministero dell'ambiente e della tutela del mare ha intrapreso numerose attività di cooperazione bilaterale per il raggiungimento degli obiettivi fissati a livello globale e al fine di contribuire al contempo alla crescita economica sostenibile dei Paesi in via di sviluppo con conseguenze positive per l'ambiente e la salute umana.

L'impatto dell'Emendamento di Kigali sullo sviluppo di un paese influenzerà fortemente le sue "prestazioni ambientali", il tipo e la qualità dei prodotti futuri, la crescita economica e la cooperazione con altri paesi. Nell'attuare l'emendamento di Kigali, sarà necessario garantire sinergia con le politiche energetiche e climatiche del paese, aggiornare la legislazione ambientale, rafforzare la cooperazione tra i vari organi tecnici e politici nonché identificare i settori ai quali dare priorità nella riduzione dell'uso degli HFC. Questi aspetti sono inevitabilmente legati alla disponibilità delle alternative agli HFC e agli aspetti tecnici da affrontare e risolvere per consentire una ampia diffusione delle alternative in tutti i settori interessati, con particolare riferimento ai settori della refrigerazione e del condizionamento d'aria dove, l'utilizzo degli HFC a elevato GWP, o loro miscele, è attualmente predominante e le alternative disponibili a livello globale non sono di facile individuazione.

¹ GWP= Global Warning Potential

Per poter individuare le tecnologie alternative agli HFC, si deve tuttavia tener conto di alcune loro peculiarità, ovvero efficienza energetica, prestazione, sicurezza, disponibilità sul mercato e i costi a loro legati nell'intero ciclo di vita. Tra tali aspetti, l'efficienza energetica rappresenta uno dei temi prioritari nell'ambito dei lavori del Protocollo di Montreal, che ha portato le Parti a incaricare il "Technology and Economic Assessment Panel", suo organo tecnico-finanziario, di esaminare il rapporto tra le opportunità di incrementare l'efficienza energetica nei settori della refrigerazione, dell'aria condizionata e delle pompe di calore in relazione a una transizione verso alternative a basso GWP. L'efficienza energetica è una componente chiave dell'emendamento di Kigali per introdurre soluzioni tecnologiche alternative che non solo abbiano un basso potenziale di riscaldamento globale, ma anche un basso impatto ambientale complessivo. Per una corretta valutazione della problematica, quindi, devono essere affrontate due tipi di emissioni che risultano dalle apparecchiature di refrigerazione e condizionamento dell'aria (RAC), ovvero, sia le emissioni dirette di sostanze clima-alteranti dovute all'impiego di gas refrigeranti, schiume o solventi, sia le emissioni indirette dovute alla produzione di energia elettrica consumata per il funzionamento delle apparecchiature RAC. Poiché la produzione di energia elettrica rappresenta il fattore principale nell'emissione di gas a effetto serra nell'atmosfera, le emissioni indirette rappresentano dal 60 al 90% dell'impatto climatico totale del settore mentre le restanti contano per il 10% - 40%. Altri aspetti fondamentali da considerare nell'individuazione delle alternative agli HFC sono la loro eventuale tossicità e la sicurezza nel loro utilizzo. La maggior parte degli HFC attualmente utilizzati nei sistemi di refrigerazione e condizionamento d'aria non sono né infiammabili né tossici, pur avendo, come già evidenziato, GWP relativamente alti.

Molte delle alternative individuate con GWP più basso o nullo hanno tuttavia un certo grado di infiammabilità e alcune di loro sono tossiche, caratteristiche che ne limitano l'uso diffuso come refrigeranti. A riguardo c'è da evidenziare che molti standard di sicurezza esistenti sono stati scritti quando l'industria utilizzava prevalentemente refrigeranti non infiammabili e non tossici. Tuttavia l'esperienza e le conoscenze tecniche relative ai rischi di infiammabilità e tossicità nelle apparecchiature considerate si sono evolute negli ultimi anni, portando all'introduzione di nuovi sistemi che possono rendere sicuro l'uso di refrigeranti infiammabili e/o tossici e minimizzare i rischi per una determinata gamma di apparecchiature. Ne risulta che la revisione degli standard di sicurezza è importante e necessaria per riflettere il progresso tecnico raggiunto fino a oggi. Tuttavia, questa revisione è generalmente un processo che richiede molto tempo, che coinvolge molte parti interessate e richiede dati significativi, conoscenze tecniche e valutazioni di rischio. Il conseguimento della riduzione graduale dell'HFC, definita nell'emendamento Kigali, sarà facilitato se gli standard di sicurezza saranno adeguati al progresso tecnologico e se un uso più ampio di alternative rispettose del clima verrà consentito, ovunque sia sicuro farlo.

Il miglioramento dell'efficienza energetica è legato anche ad altre misure atte a ridurre il consumo energetico nel suo complesso, come un miglior isolamento degli edifici, che comporta una minore necessità di raffreddamento e di riscaldamento, una migliore progettazione degli edifici e migliori procedure tecniche per l'installazione e la manutenzione delle apparecchiature.

Per consentire una graduale e costante transizione ad alternative ambientalmente sostenibili in tutti i settori dove vengono attualmente utilizzati gli HFC, la politica dovrebbe prevedere misure che incoraggino il passaggio a refrigeranti a basso GWP e ad apparecchiature più efficienti dal punto di vista energetico, anche attraverso la definizione e l'aggiornamento di standard, supportare l'innovazione tecnologica e introdurre incentivi finanziari che stimolino ancor di più l'introduzione delle alternative sul mercato, coprendo i costi iniziali più alti.

In conclusione si può comunque affermare che il miglioramento dell'efficienza energetica è stato già un beneficio indiretto derivante dall'attuazione del Protocollo di Montreal. Infatti le tre transizioni consecutive dei refrigeranti avvenute negli ultimi trent'anni che hanno portato all'eliminazione delle sostanze ozonolesive hanno comunque comportato anche un miglioramento dell'efficienza energetica grazie all'introduzione di nuove progettazioni e componentistica.

Dott. Paolo Angelini (MATTM)

Dott. Marco Strincone (CNR-IIA presso MATTM)

INTRODUZIONE

Gli idrofluorocarburi (HFC) sono composti chimici di origine sintetica formati da atomi di carbonio, fluoro e idrogeno. Il legame tra carbonio e fluoro conferisce a queste sostanze proprietà particolari (inerzia termica e chimica), tali da renderle particolarmente adatte a essere utilizzate, come sostanze pure o in miscela, in diversi campi di applicazione tra i quali: climatizzazione, refrigerazione e pompe di calore, come fluidi frigorigeni, sistemi fissi di protezione antincendio come fluidi estinguenti, schiume come agenti espandenti e aerosol medici e tecnici come propellenti.

Utilizzati sin dagli anni '90, gli HFC sono stati introdotti in apparecchiature e applicazioni sopra descritte come sostituti dei clorofluorocarburi (CFC) e degli idroclorofluorocarburi (HCFC), i quali sono stati progressivamente eliminati con l'entrata in vigore del Protocollo di Montreal, in quanto contribuiscono alla riduzione dello strato di ozono stratosferico. Negli anni gli HFC, grazie alle buone proprietà di non infiammabilità e bassa tossicità, sono divenuti la migliore alternativa sia per i nuovi impianti sia per gli impianti esistenti. Sebbene tali sostanze abbiano un ODP (potenziale di impoverimento dello strato di ozono stratosferico) praticamente nullo, possiedono però un potenziale di riscaldamento globale - GDP (che rappresenta la misura della capacità di una sostanza di assorbire la radiazione infrarossa emessa dalla superficie del pianeta intrappolandola nell'atmosfera, il cosiddetto effetto serra), che varia da 4 a circa 15.000 volte quello della molecola di anidride carbonica. L'incremento dell'uso degli HFC ha comportato negli ultimi due decenni la crescita esponenziale delle emissioni complessive dei gas fluorurati ad effetto serra, pertanto, si pone adesso la necessità di sostituirli con sostanze alternative non climalteranti. Anche al fine di garantire un adeguamento alle politiche internazionali, oggi è più che mai opportuno delineare un quadro esaustivo dello stato dell'arte in Italia degli HFC in uso e individuare per i settori interessati (refrigerazione, climatizzazione, schiume, aerosol e sistemi fissi di protezione antincendio) le sostanze e/o le tecnologie alternative. Per questo il Ministero dell'Ambiente ha siglato un Accordo di collaborazione tecnica con l'ISPRA che ha redatto uno studio sulle alternative agli HFC basandosi su dati derivanti dalle attività istituzionali dell'ISPRA (Inventario nazionale dei gas serra; dichiarazione F-Gas), sull'analisi della letteratura scientifica internazionale e sul coinvolgimento delle associazioni di categoria e degli stakeholders, individuando per ogni settore le possibili criticità e le risposte del mercato. La ricognizione è stata la prima a livello nazionale e da essa sono emerse diverse criticità in relazione alla disponibilità dei dati necessari per fare un primo stato dell'arte del Sistema Paese.

Il lavoro svolto dall'ISPRA ha previsto inoltre il supporto tecnico al MATTM in ambito internazionale, nella valutazione tecnica dei progetti che i Paesi in via di sviluppo hanno sottoposto al Fondo Multilaterale del Protocollo di Montreal. Il Fondo ha lo scopo di finanziare i Paesi in via di sviluppo che sono obbligati a sostituire gli idroclorofluorocarburi (HCFC) e che vogliono investire direttamente nelle alternative agli HFC. I progetti sono di diversa natura e riguardano generalmente la sostituzione di sostanze, la conversione e/o introduzione di nuove tecnologie, la formazione specialistica per tecnici e top manager, aspetti caratterizzanti il know-how delle realtà imprenditoriali italiane che operano nei settori menzionati. Per questo il Protocollo di Montreal potrebbe essere una ulteriore opportunità per il Sistema Paese per entrare in nuovi mercati ,attraverso la partecipazione a progetti e a bandi di gara in altri Paesi. Cambiamenti climatici quindi non soltanto come obblighi internazionali, ma anche come opportunità per l'economia italiana.

1 GLI IDROFLUOROCARBURI (HFC)

1.1 Caratteristiche degli idrofluorocarburi

Gli idrofluorocarburi (HFC), insieme ai perfluorocarburi (PFC) e all'esafluoruro di zolfo (SF₆), fanno parte della famiglia dei gas fluorurati, i cosiddetti F-gas, sostanze artificiali a effetto serra.

Sono composti chimici di origine sintetica formati da atomi di carbonio, fluoro e idrogeno. Il legame tra carbonio e fluoro conferisce a queste sostanze proprietà particolari tali da renderle particolarmente adatte ad essere utilizzate, come sostanze pure o in miscela, in diversi campi di applicazione, tra i quali la climatizzazione e la refrigerazione (come fluidi frigorigeni) e l'antincendio (come fluidi estinguenti).

Rispetto agli idroclorofluorocarburi (HCFC) e ai clorofluorocarburi (CFC), sostanze sintetiche poi sostituite dagli HFC, nella composizione degli HFC non è presente la molecola del cloro. Le sostanze contenenti la combinazione di cloro e fluoro, come i CFC, risultano essere molto stabili nell'atmosfera dove possono accumularsi per diversi anni e spostarsi nella troposfera. Qui, grazie alla combinazione dell'ozono con la molecola di Cl e alla radiazione solare ultravioletta, possono dare origine alle reazioni chimiche di distruzione delle molecole di ozono.² La molecola di idrogeno presente negli HCFC, introdotti nel mercato come sostituti dei CFC perché molto dannosi per l'ambiente, conferisce invece alla sostanza una maggiore instabilità in atmosfera e quindi un minor impatto ambientale rispetto ai CFC, seppure accompagnato da maggiore infiammabilità. L'accumulo di questi composti in atmosfera, oltre che alla distruzione dello strato di ozono, contribuisce anche al fenomeno dell'effetto serra.

Grazie alla completa assenza del cloro, gli HFC hanno invece un potenziale di impoverimento dello strato di ozono stratosferico (ODP³) praticamente nullo⁴, il che li rende degli ottimi sostituti dei refrigeranti tradizionali nell'ambito delle politiche di lotta contro il cosiddetto buco nell'ozono, tuttavia anche queste sostanze possiedono un forte effetto clima-alterante; il loro potenziale di riscaldamento globale - GWP⁵ (la misura della capacità di assorbire la radiazione infrarossa emessa dalla superficie del pianeta intrappolandola nell'atmosfera, il cosiddetto effetto serra) risulta molto elevato e superiore da 4 a circa 15.000 volte quello della molecola di anidride carbonica. Per questo motivo gli HFC rientrano tra i gas controllati dal Protocollo di Kyoto, trattato internazionale avente come obiettivo la riduzione delle emissioni dei gas ad effetto serra.⁶ In Europa il loro uso viene attualmente disciplinato dal Regolamento UE n. 517 del 2014, di cui si parlerà in dettaglio nei paragrafi successivi.

Gli HFC sono mediamente non infiammabili, con una bassa tossicità e una buona efficienza dal punto di vista energetico; sono inoltre incolori, inodori, non aggressivi rispetto a materiali come il rame e la plastica e non reattivi. Gli idrofluorocarburi si usano spesso anche in miscele. Rispetto alle sostanze pure, con le miscele è possibile regolare le caratteristiche del refrigerante e realizzare la composizione ottimale per le esigenze specifiche di impiego.

² La radiazione solare porta alla liberazione della molecola di cloro in atmosfera. La molecola di cloro a sua volta esercita una funzione catalitica di riduzione dell'ozono a ossigeno.

³ ODP= Ozone depleting substances

⁴ Gli HFC possono rimanere in atmosfera fino a un massimo di 15 anni (Fonte: Parnell N. B. et al.)

⁵ GWP= Global Warning Potential che considera l'effetto serra dei gas rilevanti rispetto alla sostanza di riferimento CO₂ (GWP = 1) per un periodo generale di 20, 100 o 500 anni.

⁶ Il Protocollo di Kyoto è un trattato internazionale nato per contrastare i cambiamenti climatici. E' stato sottoscritto a Kyoto l'11 dicembre del 1997 durante la Conferenza COP3 della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC) ed è entrato in vigore il 16 febbraio 2005. L'Italia ha ratificato il Protocollo di Kyoto attraverso la Legge n. 120/2002, contenente il Piano nazionale per la riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra.

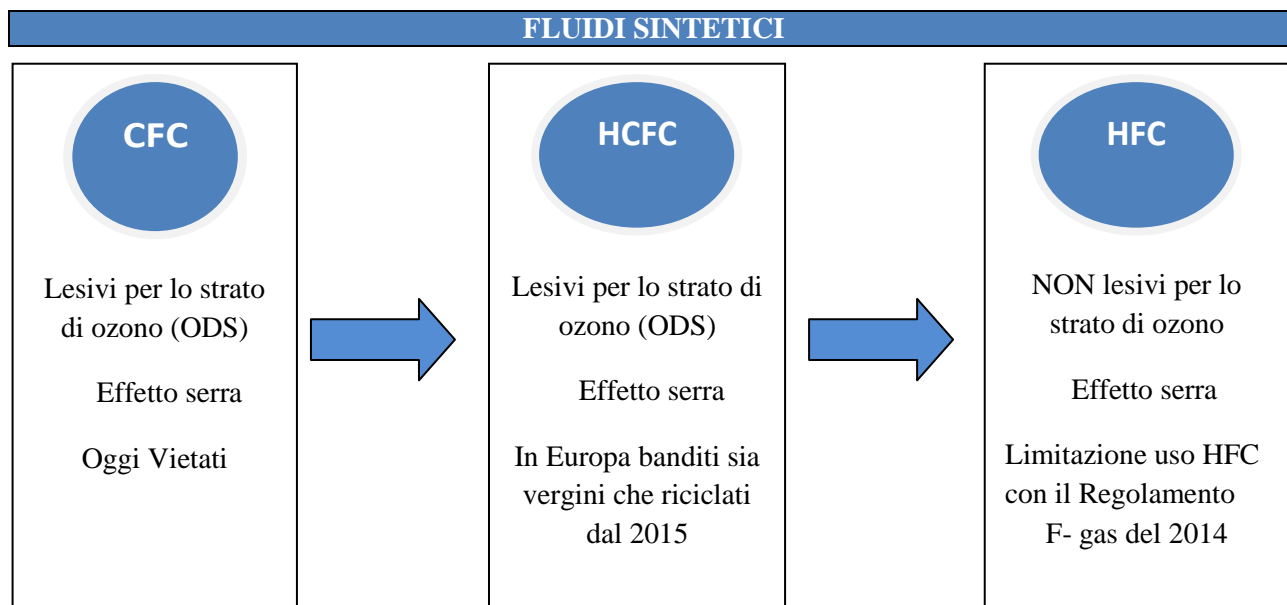


Figura 1.1 - Fluidi sintetici usati come refrigeranti nel corso degli anni.

1.2 L'ingresso degli HFC nel mercato mondiale

Gli HFC sono stati introdotti nel mercato mondiale alla fine degli anni '80, come sostituti dei CFC e degli HCFC. Per far fronte al problema dell'assottigliamento dello strato di ozono nel 1989 è entrato in vigore il Protocollo di Montreal⁷ che ha vincolato i 197 paesi firmatari a ridurre sia la produzione che l'utilizzo delle sostanze lesive per il buco dell'ozono, tra cui appunto i CFC e gli HCFC.

Il phase out dei CFC⁸ è stato portato a termine e queste sostanze non possono più essere vendute per l'uso a livello globale. Per gli HCFC gli emendamenti del protocollo di Montreal stabiliscono per l'Europa il divieto del loro uso nei nuovi sistemi a partire dal 2000; in altri paesi sviluppati il phase out totale della produzione e consumo di queste sostanze entrerà in vigore entro il 2030 e nei paesi in via di sviluppo entro il 2040.

In attuazione del Protocollo di Montreal la Comunità Europea ha adottato il Regolamento CEE 3093/94 poi abrogato dal Regolamento n. 2037/2000 a sua volta sostituito dal nuovo Regolamento (CE) n. 1005/2009⁹ e dal Regolamento (UE) n. 744/2010 relativo agli usi critici di halon.

A seguito dell'entrata in vigore di tali regolamenti l'uso degli HCFC vergini per la manutenzione e la carica degli impianti di refrigerazione e condizionamento è stato vietato in Europa dal 2010. Gli HCFC come prodotto riciclato, invece, si sono potuti utilizzare fino al 2014 unicamente per le attività di manutenzione o assistenza di apparecchiature di refrigerazione, condizionamento d'aria e pompe di calore esistenti, purché recuperati dalle stesse apparecchiature e utilizzati solamente dall'impresa che ha effettuato il recupero; analogamente, sempre fino al 2014, è stato possibile immettere nel mercato HCFC rigenerati se utilizzati per le attività di manutenzione ed assistenza delle stesse apparecchiature (Art. 11¹⁰ commi 3 e 4 del Regolamento (CE) n. 1005/2009) (CE, 2009). Di conseguenza, dal primo gennaio 2015 è vietato ogni uso degli HCFC e gli impianti potranno continuare a funzionare fino a che non necessiteranno di ulteriori rabbocchi; in caso di rabbocchi dovranno essere retrofittati con HFC oppure dismessi.

L'applicazione degli accordi internazionali e il recepimento degli stessi, ha comportato la necessità di trovare delle alternative ai CFC e agli HCFC, non più utilizzabili; gli HFC hanno rappresentato fin dall'inizio una

⁷Il protocollo di Montreal è un trattato internazionale volto a ridurre la produzione e l'uso delle sostanze che minacciano lo strato di ozono, firmato il 16 settembre 1987 ed entrato in vigore il 1° gennaio 1989. E' stato sottoposto alle revisioni del 1990 (Londra), 1992 (Copenaghen), 1995 (Vienna), 1997 (Montreal) e 1999 (Pechino).

(<http://www.minambiente.it/pagina/il-protocollo-di-montreal>)

⁸La produzione e il consumo dei CFC nei Paesi industrializzati è vietata dal 1 gennaio 1996 e nei paesi in via di sviluppo dal 1 gennaio 2010 (<http://ozone.unep.org/en/handbook-montreal-protocol-substances-deplete-ozone-layer/44>). In Italia l'uso dei CFC è vietato dal 1994 (Legge 549/93 di recepimento del Protocollo di Montreal).

⁹Il Regolamento CE 1005/2009 sulle sostanze che riducono lo strato di ozono prevede progressive tappe di riduzione fino alla definitiva cessazione delle produzioni, immissione nel mercato e consumi delle sostanze dannose per la fascia di ozono (CFC, HCFC, Halon), anticipando le date di scadenza previste dal Protocollo di Montreal.

¹⁰Articolo 11 del Regolamento (CE) n.1005/2009 del 16 settembre 2009 sulle sostanze che riducono lo strato di ozono, Produzione, immissione sul mercato e uso di idroclorofluorocarburi e immissione sul mercato di prodotti e apparecchiature che contengono o dipendono da idroclorofluorocarburi

valida alternativa in diversi ambiti di applicazione. Conseguentemente la loro produzione, il consumo e le emissioni sono aumentati esponenzialmente a livello globale.

1.3 Le emissioni degli HFC

1.3.1 Le emissioni nel mondo

Il ricorso all'uso degli HFC ha comportato negli ultimi decenni una crescita significativa delle emissioni complessive dei gas fluorurati ad effetto serra. La figura successiva mostra l'incremento della domanda di HFC dal 1994 al 2014 a livello globale e per gruppo di paesi: i Paesi industrializzati (definiti ai sensi del Protocollo di Montreal Paesi Non articolo 5) e i Paesi in via di sviluppo (definiti Paesi Articolo 5). La domanda di HFC è aumentata del 10-12% all'anno nei Paesi non Articolo 5 nel periodo 2001-2011 con una crescita stimata dopo il 2014 dell'1-3% annuo. Nei Paesi Articolo 5 tale domanda è aumentata del 30% nel periodo 2006 – 2011; si stima una crescita ulteriore del 5-7% dopo il 2016 (Maranion B., 2015). Secondo quanto riportato dal *Technology and Economic Assessment Panel (TEAP)*, che rappresenta l'organo tecnico scientifico a supporto del Protocollo di Montreal, il mercato degli HFC al 2015 ha segnato un ulteriore incremento tanto nei paesi in via di sviluppo quanto in quelli industrializzati.

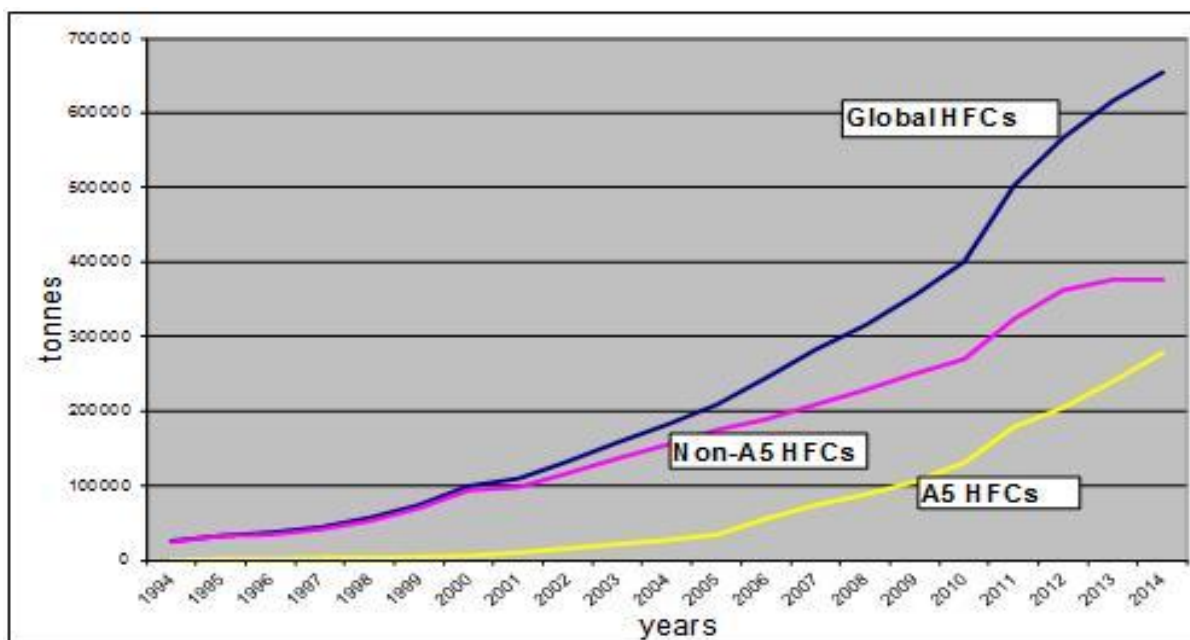


Figura 1.2 - Domanda di HFC (tonnellate) nel mondo, nei paesi in via di sviluppo (A5) e nei paesi sviluppati (Non-A5) nel periodo 1994 - 2014 (Fonte: Maranion B., 2015)

1.3.2 Le emissioni in Italia

Informazioni sul trend delle emissioni di HFC in Italia possono essere ricavate dall'Inventario Nazionale dei Gas Serra (ISPRA, 2017). Nell'ambito della Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici e del relativo Protocollo di Kyoto, l'Italia predispone ogni anno l'Inventario, che include le emissioni di gas fluorurati (F-gas). Tali emissioni sono stimate per diversi settori di utilizzo di queste sostanze e includono anche composti e famiglie di composti che non sono però contemplate tra le alternative agli HFC oggetto di studio (es. SF₆, NF₃ e PFC). Ad oggi le emissioni di gas fluorurati provengono dall'industria elettronica ed elettrica e dall'uso di queste sostanze come sostituti delle sostanze lesive dello strato di ozono (prevalentemente refrigerazione e condizionamento). Al 2015, le emissioni di gas fluorurati rappresentano il 3,3% del totale delle emissioni di gas serra in termini di CO₂ equivalente e tra il 1990 e il 2015 hanno avuto una crescita molto significativa, come mostra il grafico sotto riportato. L'aumento delle emissioni di F-gas è attribuibile a diverse cause, a seconda del gas preso in considerazione.

Le emissioni di HFC hanno avuto un incremento sostanziale passando da 0,4 Mt di CO₂eq nel 1990 a 12 Mt di CO₂ eq nel 2015. Esse sono attribuibili per la maggior parte al consumo di HFC-134a, HFC-125, HFC-32 e HFC-143a nella refrigerazione e nel condizionamento, ma anche al consumo dell'HFC-134a negli aerosols medicali. L'aumento sostanziale dell'uso degli HFC nella refrigerazione e nel condizionamento è dovuto non

solo alla progressiva sostituzione dei refrigeranti lesivi dello strato di ozono, ma anche all'aumento dell'uso dell'aria condizionata legato alle abitudini di vita e a nuovi standard costruttivi.

Per contro i perfluorocarburi (PFC) hanno invece subito un decremento del 43,6% dal 1990 al 2015, sostanzialmente legato alla produzione di alluminio primario. Le emissioni di PFC nel 2015 ammontano a 1,6 Mt di CO₂ equivalente e derivano dalle emissioni di prodotti provenienti dalla produzione di HCFC22/TFM (step intermedio nel processo di produzione di fluoropolimeri e fluoroelastomeri) e dalla produzione di semiconduttori (industria elettronica). Le emissioni di esafluoruro di zolfo (SF₆) nel 2015 ammontano a 0,35 Mt di CO₂ equivalente e sono diminuite del 15,5% rispetto al 1990. Fino al 2004 in Italia si produceva SF₆ in uno degli stabilimento di Porto Marghera (Solvay) e si sono avute quindi in passato emissioni fuggitive di esafluoruro di zolfo. L'impegno dei costruttori di apparecchiature elettriche isolate in SF₆ nell'adoptare tutte le misure necessarie per contribuire al contenimento delle emissioni ha portato, invece, alla riduzione di queste nel settore elettrico (Ispra, 2017).

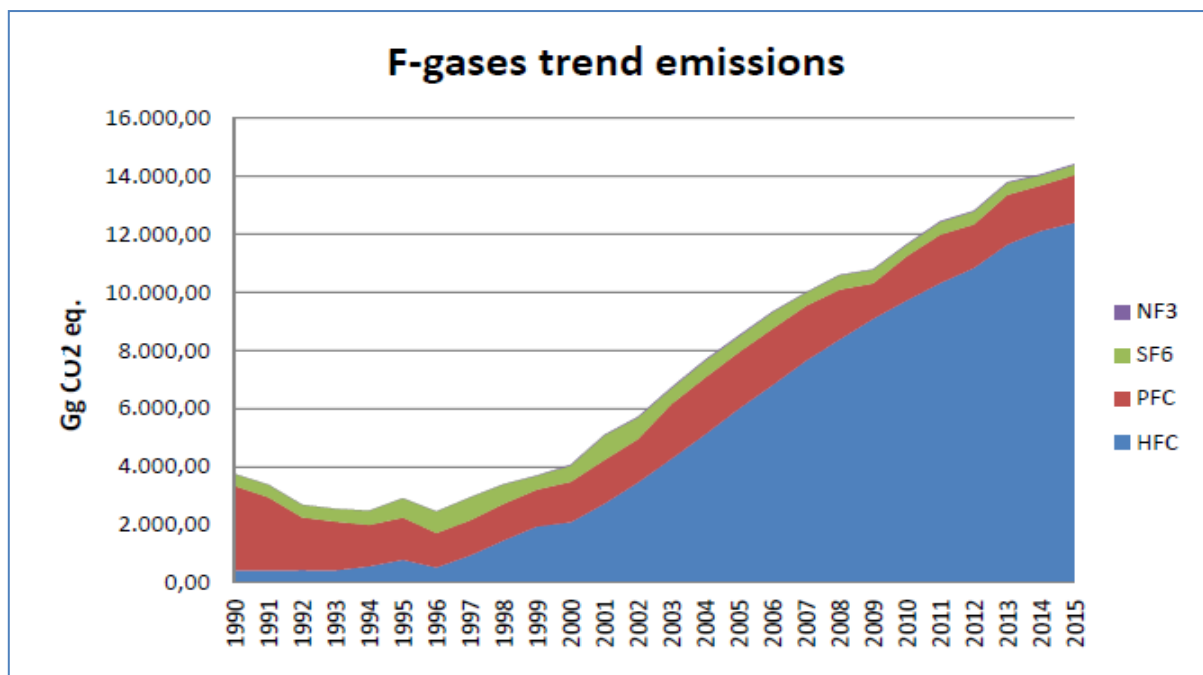


Figura 1.3 - Serie storica delle emissioni di gas fluorurati relativa al periodo- 1990-2015 (Fonte: ISPRA, 2017)

Tabella 1.1 - Emissione di F-gas in Italia dal 1990 al 2015 (Fonte: ISPRA, 2017)

Gg CO ₂ eq	1990	1995	2000	2005	2010	2015
HFC	444,00	813,44	2.105	6.002	9.727	12.398
PFC	2.906,86	1.450,33	1.388	1.940	1.520	1.638
SF₆	407,61	663,78	561	547	391	353
NF₃	-	-	26	33	20	28

Per quanto riguarda gli HFC, mentre nel 1990 le emissioni erano dovute esclusivamente all'industria chimica (emissioni fuggitive per la produzione di HCFC-22), nel 2015 il 99,9% delle emissioni nazionali risulta provenire dall'uso di queste sostanze come sostituti delle sostanze lesive dello strato di ozono, e in particolare l'89,12% è legato ai settori della refrigerazione (soprattutto commerciale) e del condizionamento. L'uso degli HFC e delle miscele contenenti HFC in questi settori ha avuto inizio nel 1995 e il loro consumo ha avuto una crescita esponenziale se si pensa che nel 1995 soltanto il 9% delle emissioni di gas fluorurati provenivano da questi settori. La stima delle emissioni dal condizionamento e dalla refrigerazione si è basata sui dati e le previsioni di consumo, comunicate da Solvay, che fino al 2012 è stato l'unico produttore di sostanze fluorurate in Italia. Sulla base delle informazioni a disposizione (Solvay e Associazioni di settore), le diverse sostanze sono state ripartite secondo il loro utilizzo nella refrigerazione o nel condizionamento ottenendo la serie storica dei consumi di ciascuna sostanza per tipo di applicazione.

Tabella 1.2 - Emissioni percentuali totali di HFC in Italia nel 2015 (%) (Fonte: ISPRA,2017)

EMISSIONI TOTALI DI HFC NEL 2015	
Industria dei metalli	0.03%
Industria elettronica	0.07%
Prodotti usati in sostituzione delle sostanze ODS	99.89%

Tabella 1.3 - Emissioni percentuali totali di HFC nel 2015 per settore (Fonte: ISPRA, 2017)

EMISSIONI TOTALI DI HFC DA PRODOTTI USATI IN SOSTITUZIONE DELLE SOSTANZE ODS NEL 2015	
HFC da refrigerazione e condizionamento	89,12%
HFC da refrigerazione commerciale	63,03%

1.4 Quantità di HFC in Italia

1.4.1 Import/export degli HFC ai sensi del Regolamento F-gas

Per delineare un quadro sulle quantità complessive di refrigeranti che circolano in Italia è necessario venire a conoscenza delle quantità di HFC da attribuire agli elementi che costituiscono il bilancio di questi beni: produzione, importazione, esportazione, stock e consumo. Il bilancio complessivo deve tener conto non solo delle singole sostanze acquistate/vendute direttamente dagli importatori ed esportatori, ma anche delle sostanze che fanno il loro ingresso nel nostro paese come pre-carica delle apparecchiature che utilizzano gli HFC. Il Regolamento (UE) n. 517/2014 (Regolamento F-gas) (UE, 2014) è uno degli strumenti normativi che consentono di recuperare parte di queste informazioni, sebbene stabilisca la comunicazione annuale¹¹ alla Commissione europea, delle sole quantità di sostanze importate dai Paesi extra UE ed esportate verso questi stessi paesi (oltre alle sostanze prodotte). L'informazione raccolta è pertanto parziale rispetto alle voci che permettono di costruire un bilancio di materia completo. Rispetto al Regolamento n 842/2006¹², inoltre, l'attuale Regolamento F-gas prevede l'obbligo di comunicazione alla Commissione anche per gli importatori di apparecchiature pre-caricate che contengono idrofluorocarburi, non immessi in commercio prima di caricare le apparecchiature, a partire dal 2017. Nelle tabelle successive sono riportati le quantità di HFC importate ed esportate da/verso paesi al di fuori dell'Unione Europea dagli importatori ed esportatori ai sensi dell'art. 19 del Regolamento F-gas (UE, 2014). Il saldo import/export mostra una netta prevalenza del settore delle importazioni; l'Italia non è infatti un produttore di HFC e deve pertanto acquistarli dai mercati esteri. L'HFC-134a costituisce il refrigerante importato in maggior quantità, seguito dall'HFC-152a e dall'HFC-227ea che, rispetto al dato di 12.000 tonnellate metriche (tm) registrato nel 2007, ha fatto registrare un drastico calo dell'import per assestarsi sul valore di 39 tm nel 2013. Altre sostanze pure importate sono l'HFC-23 (in piccolissime quantità), l'HFC-32 e l'HFC-125. Per quanto riguarda le miscele, l'Italia risulta importatrice principalmente di R-404A, R-407C, R-410A, R-507, refrigeranti molto usati nel settore della refrigerazione e del condizionamento, insieme a piccole quantità di SF₆, R-422B, e mix di 152a/DME. Negli ultimi 2 anni, tra le sostanze importate, compare l'HFO-1234yf. Si tratta di un refrigerante di ultima generazione che rientra nell'elenco delle possibili alternative agli HFC in specifici settori e la cui diffusione è strettamente connessa all'implementazione del Regolamento F-gas. Di questi aspetti si parlerà in dettaglio nei capitoli successivi.

Le esportazioni riguardano principalmente le seguenti sostanze: HFC-134a, HFC-227ea, HFC-152A, R-404A, R-407C, R-410A. In tutti gli anni analizzati il saldo complessivo annuale, ossia la quantità totale di refrigeranti esportati, rimane al di sotto delle 1.000 tonnellate.

¹¹ Art. 19 del Regolamento EU n. 517/2014 "Comunicazione sulla produzione, l'importazione, l'esportazione e l'uso come materia prima e la distruzione delle sostanze elencate negli Allegati I e II."

¹² Regolamento CE n. 842/2006 del Parlamento europeo e del Consiglio del 17 maggio 2006 su taluni gas fluorurati a effetto serra, abrogato successivamente dal Regolamento UE n. 517/2014.

Tabella 1.4 - *Quantità di HFC importate da Paesi al di fuori dell'Unione Europea nel periodo 2007-2013 (Fonte: Elaborazioni Ipsra 2017 sulla base dei dati comunicati ai sensi dell' Art. 19 del Regolamento EU n. 517/2014)*

HFC IMPORTATI DAI PAESI EXTRA UE (Tonnellate)									
HFC	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
HFC-23				1,4	7,5		3,0	7,6	4,6
HFC-32			9,7	29,1	28,2	44,3		88,1	52,3
HFC-125			110,7	236,7	17,4	74,7	37,0	186,9	187,7
HFC-134									1,0
HFC-134A	772,0	1.509,5	1.312,0	1.490,9	1.638,3	2.047,9	2.253,8	6.649,5	2.411,1
HFC-143A								68,7	53,9
HFC-152A	1.171,2	1.692,5	938,4	197,7	1.721,5	1.794,3	1.448,2	1.630,2	1.551,9
HFC-227ea	12.000,0	20,0	45,0	1330,7	1,0	118,0	39,0	116,0	145,0
HFC-245fa									
HFC-365mfc									
HFC-43-10mee									
HFC-1234yf								9,7	10,9
R-401A									
R-402									
R-404A	14,5	28,9	8,0	63,6	52,0	407,5	730,9	2.858,6	205,5
R-407A									3,4
R-407C	15,0					225,2	301,3	463,7	154,6
R-408A						0,0	0,0		
R-410A	29,5				39,3	368,4	657,2	3.460,0	896,5
R-413A									
R-417A					0,3				0,0
R-422A					0,3				
R-422B				31,0					
R-422D					1,6				
R-434A									
R-437A					1,2				
R-507	4,8		169,9	505,7	189,0	249,0	257,6		
R-507A								614,8	7,4
mix152a/DME				200,3				80,0	
HFC152a +DME mix								32,0	
SF6			26,7	32,5				22,1	46,9
C3F8									
PF5056								0,4	
PF-3-1-10									0,2
Totale HFC	14.007,0	3.250,9	2.620,4	4.119,6	3.697,7	5.329,3	5.728,0	16.288,4	5.732,9

Tabella 1.5 – Quantità di HFC esportate verso i paesi al di fuori dell'Unione Europea nel periodo 2007-2013 (Fonte: Elaborazioni Ispra 2017 sulla base dei dati comunicati ai sensi dell' Art. 19 del Regolamento EU n. 517/2014)

HFC ESPORTATI VERSO PAESI EXTRA UE (Tonnellate)									
HFC	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
HFC-23			0,3			7,5		0,1	1,0
HFC-32									24,4
HFC-125			70,0	27,2	82,8	74,0	69,0	29,7	93,2
HFC-134									0,5
HFC-134A	25,1	135,7	71,8	229,9	109,4	245,3	323,4	375,4	358,4
HFC-143A				10,0					50,1
HFC-152A				464,8	209,1	59,8		47,6	67,2
HFC-227ea	108,0	0,0	14,7	29,9		86,0	34,0	17,4	121,7
HFC-245fa								9,2	16,5
HFC-365mfc								3,3	31,3
HFC-43-10mee									
HFC-1234yf									0,0
R-401A	1,5	0,4							
R-402	0,2								
R-404A	237,4	36,5	62,6	78,0	79,8	103,2	101,1	89,5	26,5
R-407C	130,9	44,7	29,3	29,6	27,5	36,4	41,6	33,0	2,2
R-408A	1,4	0,2	0,1						
R-407F								0,2	1,5
R-410A	54,1	7,4	4,2	26,7	15,1	28,4	26,0	31,2	19,9
R-413A	1,0	0,9	1,0	0,3					
R-417A		0,1	0,2	2,5	2,0	1,9	1,9	4,8	0,2
R-422A			0,1	0,6		0,2	0,4	1,1	0,5
R-422B				0,1			0,2		
R-422D		0,4	2,3	2,0		1,1	2,1	4,3	5,1
R-434A									
R-437A				0,9			0,7	0,7	0,7
R448A									0,2
R-507	48,9	5,2	2,1	8,4	6,5	9,0	14,7		
R-507A								14,4	2,4
mix152a/DME									
SF6		2,2	2,1					1,9	1,5
C3F8									
Blend of 1,1,1,1,3,3- pentafluorobuta ne and 1,1,1,2,3,3,3 heptafluoroprop ane								20,7	
Totale HFC	608,6	233,7	260,7	910,8	532,2	652,8	615,2	684,5	824,8

1.4.2 Stima delle quantità di HFC importate in Italia

Dati in merito alle quantità di HFC importate ed esportate da/verso i Paesi esteri sono attualmente difficili da recuperare. Alcune informazioni sullo stock complessivo di refrigeranti importati in Italia per il settore della refrigerazione e del condizionamento possono essere ricavate da una indagine condotta da Rivoira¹³, azienda che opera nella produzione e distribuzione dei gas e nello sviluppo di nuove tecnologie. Da questa indagine risulta che nel 2012 sono state importate complessivamente in Italia 10.600 tonnellate di F-gas che equivalgono a 25 milioni di tonnellate di CO₂ equivalente¹⁴. Nelle tabelle seguenti si riportano i dati di import dei refrigeranti. Le importazioni maggiori con valori superiori alle 2.000 t riguardano l'HFC134a (2.700 t), l'R-407C (2.400 t), l'R-404A (2.200 t) e l'R-401A (2.000 t).

Tabella 1.6 - *Quantità di HFC importate in Italia nel 2012 nel settore della refrigerazione e del condizionamento d'aria (Fonte: Legambiente)*

Fgas	Stima delle quantità reali (tonnellate)	Composizione % della Miscela					
		R-134a	R-125	R-143a	R-32	R-23	Altri
R-134 a	2.700	100%	0%	0%	0%	0%	0%
R-404 A	2.200	4%	44%	52%	0%	0%	0%
R-507	300	0%	50%	50%	0%	0%	0%
R-407 C	2.400	52%	25%	0%	23%	0%	0%
R-401 A	2.000	0%	50%	0%	50%	0%	0%
Retrofit blends	900	30%	60%	3%	5%	0%	2%
R-23	20	0%	0%	0%	0%	100%	0%
Altri	80	0%	50%	15%	20%	10%	5%
Totale		10.600 (tonnellate)					

Fgas	Quantità (tonnellate reali)						
	R-134a	R-125	R-143a	R-32	R-23	Altri	
R-134 a	2.700	-	-	-	-	-	
R-404 A	88	968	1.144	-	-	-	
R-507	-	150	150	-	-	-	
R-407 C	1.248	600	-	552	-	-	
R-401 A	-	1.000	-	1.000	-	-	
Retrofit blends	270	540	27	45	-	18	
R-23-	-	-	-	-	20	-	
Altri	-	40	12	16	8	4	
Totale	4.306	3.298	1.333	1.613	28	22	10.600
GWP Fgas	1.430	3.500	4.470	675	14.800	2.000	<i>Tot. GWP</i>
Totale GWP (t di CO₂ equivalenti)	6.157.580	11.543.000	5.958.510	1.088.775	414.400	44.000	25.206.265

Con l'entrata in vigore del Regolamento n. 517/2014 che disciplina l'uso degli HFC, anche il trend import/export di queste sostanze è destinato a subire dei cambiamenti. Tali cambiamenti riguardano sia le quantità trattate per specifico refrigerante, con un calo nella richiesta dei refrigeranti aventi un potenziale di effetto serra maggiore, sia la tipologia delle sostanze richieste, con una migrazione verso gli HFC a minor effetto serra o verso nuove sostanze refrigeranti non climalteranti. La quantità complessiva delle sostanze importate è prevista rimanere comunque stabile, mentre cambieranno i rapporti tra le sostanze. Anche di questi aspetti si parlerà più in dettaglio nei paragrafi successivi.

¹³ <http://www.rivoiragroup.it/it-it>

¹⁴ Tonnellata di CO₂ equivalente: quantità di gas a effetto serra espressa come prodotto del peso del gas in tonnellate metriche e del suo potenziale di riscaldamento globale (Art. 2 comma 7 del Regolamento UE n. 517/2014)

1.4.3 HFC comunicati con la Dichiarazione F-gas

Altre informazioni sulle quantità e sul tipo di refrigeranti presenti all'interno di alcune tipologie di apparecchiature possono essere ricavate dalle dichiarazioni effettuate ai sensi del DPR n. 43/2012 (D.P.R., 2012). Con tale decreto è stato introdotto l'obbligo da parte degli operatori delle applicazioni fisse di refrigerazione, condizionamento d'aria, pompe di calore e sistemi fissi di protezione antincendio, di comunicare¹⁵ annualmente i dati relativi alle emissioni di F-gas dell'anno precedente, sulla base dei dati contenuti nel relativo registro d'impianto¹⁶. La comunicazione annuale costituisce la cosiddetta "Dichiarazione F-Gas".¹⁷ Le informazioni derivanti da questa raccolta dati riguardano le apparecchiature fisse contenenti almeno 3 kg di gas fluorurato ad effetto serra.

La Dichiarazione rappresenta pertanto una utile fonte di informazioni sulla diffusione dei gas refrigeranti in Italia e contribuisce a delineare una prima fotografia sulla stato di utilizzo di tali gas.

Le informazioni riportate riguardano le Dichiarazioni F-gas trasmesse negli anni 2014, 2015 e 2016¹⁸ e relative ai dati dal 2013 al 2015. E' opportuno sottolineare che, essendo il processo di raccolta delle informazioni tramite Dichiarazione appena avviato e in itinere, la base di dati tenderà negli anni ad arricchirsi quantitativamente e a subire anche miglioramenti dal punto di vista qualitativo.

1.4.3.1 Numero di Dichiarazioni F-gas e numero di apparecchiature comunicate

Nel 2014 sono state trasmesse 138.522 Dichiarazioni F-gas salite a 151.798 e 166.146 nei due anni successivi. In tutti gli anni la Lombardia si conferma la regione con il maggior numero di Dichiarazioni trasmesse, seguita dal Veneto, dall'Emilia Romagna e dalla Toscana.

Tabella 1.7 Numero di Dichiarazioni F-GAS trasmesse negli anni 2014, 2015 e 2016 ai sensi del DPR43/2012 (Fonte: Elaborazioni Ispra 2017 sulla base dei dati comunicati ai sensi del DPR n. 43/2012)

NUMERO DICHIARAZIONI		
2014	2015	2016
138.522	151.798	166.146

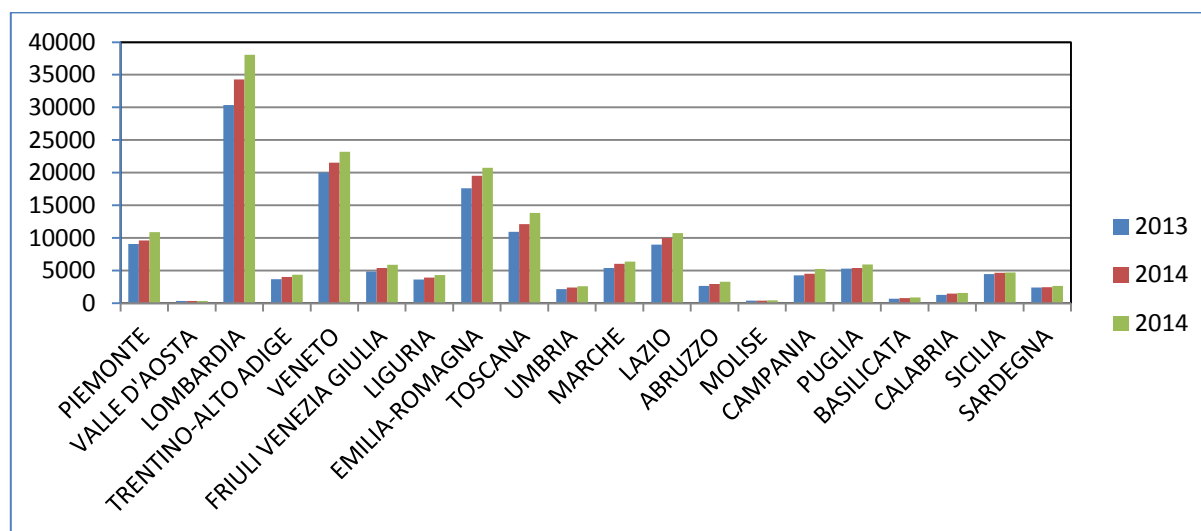


Figura 1.4 - Distribuzione regionale del numero delle Dichiarazioni F-Gas relative agli anni 2014, 2015 e 2016 (Fonte: Elaborazioni Ispra 2017 sulla base dei dati comunicati ai sensi del DPR n. 43/2012)

Il numero complessivo di apparecchiature fisse con carica superiore o uguale a 3 kg comunicate con la Dichiarazione è aumentato negli anni e ciò è imputabile al progressivo ampliamento anche della base dichiarante. La maggior parte delle apparecchiature appartengono ai settori della refrigerazione e del

¹⁵ Articolo 16 comma 1 del DPR n.43/2012 *Informazioni sui gas fluorurati a effetto serra.*

¹⁶ Articolo 15 del DPR n.43/2012, *Registro d'impianto*

¹⁷ L'ISPRA ha il compito di raccogliere per conto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare le dichiarazioni F-Gas (Art.16 comma 1 del DPR 43/2012).

¹⁸ Per quanto l'obbligo alla Dichiarazione per tutti gli operatori sia relativo al 2013, si è scelto di prendere in esame unicamente le Dichiarazioni a partire dal 2014 anno a partire dal quale la compilazione della Dichiarazione F-Gas è diventata obbligatoria in tutte le sue parti.

condizionamento d'aria, seguiti dalle pompe di calore. Le apparecchiature per la refrigerazione coprono una percentuale compresa tra 37% e il 34% del totale delle apparecchiature per gli anni in esame; situazione pressoché analoga per le apparecchiature del condizionamento (36-37%). Le pompe di calore oscillano tra il 26% e il 29%. I sistemi fissi antincendio costituiscono l'1% del numero complessivo di apparecchiature dichiarate annualmente. In termini numerici, sull'incremento totale del numero di apparecchiature nel triennio (+74.431) il maggiore contributo proviene dalle pompe di calore (+ 31.244 unità pari al 42% dell'incremento complessivo), seguite dalle apparecchiature del condizionamento (+ 25.797 unità pari al 35% dell'incremento complessivo) e da quelle della refrigerazione (+17.002, 23%). Il trend positivo registrato per le pompe di calore con la Dichiarazione è il linea con quanto comunicato da Assoclima, l'Associazione nazionale dei costruttori di Sistemi di Climatizzazione che conferma una forte crescita negli ultimi anni delle vendite dei sistemi a pompa di calore, così come riportato nei paragrafi successivi.

Tabella 1.8 - Numero di apparecchiature comunicate ai sensi della Dichiarazioni F-gas 2014, 2015, 2016 per settore
Fonte: Elaborazioni Ispra 2017 sulla base dei dati comunicati ai sensi del DPR n. 43/2012

APPARECCHIATURA	DATI 2013 (Dichiarazione F-GAS 2014)	DATI 2014 (Dichiarazione F-GAS 2015)	DATI 2014 (Dichiarazione F-GAS 2015)
Refrigerazione	122.941	129.564	139.944
Condizionamento d'aria	121.742	135.442	147.539
Pompe di calore	86.552	100.531	117.796
Sistemi fissi antincendio	3.204	3.387	3.591
Totale apparecchiature	334.439	368.924	408.870

1.4.3.2 Quantità di HFC comunicati con la Dichiarazione F-gas

Nella tabella successiva è riportata la quantità complessiva di refrigeranti HFC dichiarati negli anni dal 2013 al 2015. Rispetto alle quantità di gas "accumulate" nelle apparecchiature oggetto della dichiarazione F-gas i dati complessivi risultano vicini alle stime circa l'impresso sul mercato fornito da Rivoira (paragrafo 1.4.2).

Tabella 1.9 - Carica di HFC (kg) dichiarata ai sensi dell'art. 16 del DPR n. 43/2012 negli anni 2013, 2014 e 2015 per le applicazioni fisse di refrigerazione, condizionamento d'aria, pompe di calore e i sistemi fissi di protezione antincendio (Fonte: Elaborazioni Ispra 2017 sulla base dei dati comunicati ai sensi del DPR n. 43/2012)

QUANTITÀ DI HFC DICHIARATA(Kg)		
2013	2014	2015
12.870.336,59	13.133.852,95	14.104.392,45

Come mostrato nella Figura 1.5 è il settore della refrigerazione a fornire il contributo maggiore alla carica totale di HFC per ciascun anno considerato, con un peso percentuale pari a poco più del 50% in tutti e tre gli anni. Seguono gli impianti di condizionamento e le pompe di calore, che insieme coprono una percentuale di carica compresa tra il 42 e il 45%, mentre i sistemi fissi di protezione antincendio rappresentano circa il 5-6% del totale della carica di ciascun anno. Le quantità di refrigeranti comunicate per la refrigerazione sono pari a 6.772.919 kg nel 2013 che scendono a 6.594.881 nel 2014 per risalire a 7.185.924 nel 2015. Nel 2013 per il condizionamento, comprese le pompe di calore, viene comunicata una quantità di carica pari a poco meno di 5 milioni e mezzo di kg di sostanze refrigeranti, quantità che aumenta progressivamente nei 3 anni per salire a poco più di 6 milioni di kg nel 2015. Per gli impianti fissi di protezione antincendio le quantità comunicate sono comprese tra 419.008 kg del 2013 e 551.843 del 2015. La ripartizione della carica di HFC di ciascun settore per codice di attività economica ATECO, cioè per tipologia di attività svolta nella sede di destinazione dell'apparecchiatura (commerciale, domestico, industriale), rivela la netta prevalenza della categoria "commerciale" in tutti e tre i settori, seguita dall'industriale e infine dal domestico, quest'ultimo con contributi percentuali molto bassi e in tutti i casi inferiori al 9% (Tabella 1.10).



Figura 1.5 - Distribuzione percentuale della carica di HFC per tipologia di apparecchiatura comunicata ai sensi dell'art. 16 del DPR n. 43/2012 negli anni 2013-2014 -2015(Fonte: Elaborazioni Ispra 2017 sulla base dei dati comunicati ai sensi del DPR n. 43/2012)

Tabella 1.10 - Carica di HFC (kg) dichiarata ai sensi dell'art. 16 del DPR n. 43/2012 negli anni 2013-2014 -2015 per le applicazioni fisse di refrigerazione, condizionamento e sistemi fissi di protezione antincendio, in funzione del tipo di attività economica Ateco (Fonte: Elaborazioni Ispra 2017 sulla base dei dati comunicati ai sensi del DPR n. 43/2012)

REFRIGERAZIONE						
categoria	2013 (kg)	2014 (kg)	2015 (kg)	2013 (%)	2014 (%)	2015 (%)
commerciale	3.822.162,67	3.607.431,87	3.928.568,13	56,43	54,70	54,67
domestico	184.702,13	152.537,65	156.045,08	2,73	2,31	2,17
industriale	2.766.053,82	2.834.911,43	3.101.310,60	40,84	42,99	43,16
Totale carica	6.772.918,62	6.594.880,95	7.185.923,81			
CLIMATIZZAZIONE (condizionamento + pompe di calore)						
categoria	2013 (kg)	2014 (kg)	2015 (kg)	2013 (%)	2014 (%)	2015 (%)
commerciale	3.501.456,56	3.937.051,09	4.124.406,57	64,57	67,47	67,30
domestico	447.902,64	398.640,69	440.786,64	8,26	6,83	7,19
industriale	1.473.343,02	1.499.893,85	1.563.288,83	27,17	25,70	25,51
Totale carica	5.422.702,22	5.835.585,63	6.128.482,04			
SISTEMI FISSI ANTINCENDIO						
categoria	2013 (kg)	2014 (kg)	2015 (kg)	2013 (%)	2014 (%)	2015 (%)
commerciale	419.008,315	456.655,11	551.842,65	62,10	64,92	69,85
domestico	46.984,80	41.622,79	23.475,14	6,96	5,92	2,97
industriale	208.690,63	205.108,47	214.668,82	30,93	29,16	27,17
Totale carica	419.008,315	456.655,11	551.842,65			

1.4.3.3 Principali HFC comunicati con la Dichiarazione F-gas

Le informazioni che sono presenti obbligatoriamente all'interno di ciascuna Dichiarazione comprendono anche il tipo di sostanza utilizzata, la carica circolante per ogni apparecchiatura, la quantità aggiunta nell'anno di riferimento e la quantità di refrigerante recuperata e/o smaltita. Il campo di applicazione del Regolamento F-gas copre una lista di 78 sostanze (sia pure che in miscela) ma, come è visibile dalle informazioni recuperate dalle Dichiarazioni, il numero delle sostanze maggiormente impiegate è molto inferiore. Nelle tabelle seguenti si riporta l'elenco delle principali sostanze utilizzate per tipo di

apparecchiatura, con le quantità dichiarate e il peso percentuale di ciascuna sostanza sul totale annuo. Si è scelto di riportare nelle tabelle unicamente gli HFC che hanno una copertura della carica totale annua dal 2% in su, poiché in realtà moltissime sostanze dichiarate possiedono una percentuale quasi prossima a zero e pertanto possono ritenersi poco rappresentative del settore.

Nel condizionamento d'aria 5 sostanze coprono oltre il 90 % della carica totale di HFC utilizzati in ciascun anno a fronte di ben 70 sostanze dichiarate; si tratta dell'HFC-134a e di 4 miscele (R-407C, R-410A, R-417A R-422D). Nelle pompe di calore su 63 HFC dichiarati, 5 sostanze costituiscono oltre il 95% della carica complessiva annuale. Nella refrigerazione 8 HFC (HFC-134a, R-404A, R-407C, R-410A, R-422D, R-427A, R-507, R-507A) coprono oltre il 95% della carica a fronte di 74 sostanze comunicate, mentre nel settore antincendio 3 sostanze, HFC-125, HFC-227ea e HFC-23 raggiungono quasi la copertura totale, con percentuali superiori al 98%.

I dati risultano in sintonia con le stime fornite dagli esperti di settore che hanno parlato di un mercato concentrato su pochissime sostanze. In merito alla tipologia dei principali HFC utilizzati e comunicati con la Dichiarazione, si osserva una generale concordanza con quanto riferito dagli addetti ai lavori con qualche eccezione; l'R-407C, in particolare, risulta presente in maniera significativa nelle comunicazioni della Dichiarazione F-gas nel settore della climatizzazione ma non in linea con quanto comunicato dagli esperti che hanno evidenziato come questo refrigerante sia stato utilizzato soprattutto in passato e oggi ricopra un ruolo marginale.

Tabella 1.11 - HFC maggiormente utilizzati nel settore del condizionamento d'aria: carica di refrigerante (kg) e percentuale sul totale del settore (Fonte: Elaborazioni Ispra 2017 sulla base dei dati comunicati ai sensi del DPR n. 43/2012)

PRINCIPALI HFC USATI NEL CONDIZIONAMENTO						
Refrigeranti	2013 (kg)	2014 (kg)	2015 (kg)	2013 (%)	2014 (%)	2015 (%)
HFC-134a	1.017.742,91	1.120.075,67	1.188.848,57	27,5	28,3	29,9
R-407C (miscela)	1.392.064,517	1.409.614,25	1.442.992,663	37,6	35,6	36,3
R-410A (miscela)	693.685,5117	782.605,3437	830.043,7262	18,7	19,8	20,9
R-417A (miscela)	165.518,22	170.611,707	48.528,092	4,5	4,3	1,2
R-422D (miscela)	136.558,084	138.817,705	144.955,099	3,7	3,5	3,6

Tabella 1.12 - HFC maggiormente utilizzati nel settore delle pompe di calore: carica di refrigerante (kg) e percentuale sul totale del settore (Fonte: Elaborazioni Ispra 2017 sulla base dei dati comunicati ai sensi del DPR n. 43/2012)

PRINCIPALI HFC USATI NELLE POMPE DI CALORE						
Refrigeranti	2013 (kg)	2014 (kg)	2015 (kg)	2013 (%)	2014 (%)	2015 (%)
HFC-134a	146.616,68	165.452,08	214.927,71	8,5	8,8	10,0
R-401A (miscela)	388.23,61	38.408,185	38.742,421	2,3	2,0	1,8
R-407C (miscela)	507.947,122	503.095,7768	570.765,358	29,5	26,8	26,5
R-410A (miscela)	903.716,675	1.055.317,296	1.204.058,761	52,5	56,2	56,0
R-422D (miscela)	49.431,37	41.880,54	45.228,19	2,9	2,2	2,1

Tabella 1.13 - HFC maggiormente utilizzati nel settore della refrigerazione: carica di refrigerante (kg) e percentuale sul totale del settore (Fonte: Elaborazioni Ispra 2017 sulla base dei dati comunicati ai sensi del DPR n. 43/2012)

PRINCIPALI HFC USATI NELLA REFRIGERAZIONE						
Refrigeranti	2013 (kg)	2014 (kg)	2015 (kg)	2013 (%)	2014 (%)	2015 (%)
HFC-134a	886.306,485	934.468,685	1.071.564,015	13,1	14,2	14,9
R-404A (miscela)	2.999.567,592	2.802.338,895	2.948.098,027	44,3	42,5	41,0
R-407C (miscela)	767.673,4181	710.851,557	77.5562,008	11,3	10,8	10,8
R-410A (miscela)	144.888,864	151.441,294	177.592,328	2,1	2,3	2,5
R-422D (miscela)	229.223,4	231.913,1337	258.119,688	3,4	3,5	3,6
R-427A (miscela)	168.344,31	178.570,83	180.714,31	2,5	2,7	2,5
R-507 (miscela)	642.149,13	786.576,69	881.434,43	9,5	11,9	12,3
R-507A (miscela)	623.923,99	480.922,04	540.722,3	7,5	7,5	7,5

Tabella 1.14 - HFC maggiormente utilizzati nel settore dei sistemi fissi di protezione antincendio: carica di refrigerante (kg) e percentuale sul totale del settore (Fonte: Elaborazioni Ispra 2017 sulla base dei dati comunicati ai sensi del DPR n. 43/2012)

PRINCIPALI HFC USATI NEI SISTEMI FISSI DI PROTEZIONE ANTINCENDIO						
Refrigeranti	2013 (kg)	2014 (kg)	2015 (kg)	2013 (%)	2014 (%)	2015 (%)
HFC-125	183.502,36	219.840,77	303.901,495	27,2	31,3	38,5
HFC-227ea	250.481,19	257.230,17	255.635,84	37,1	36,6	32,4
HFC-23	230.046,96	217.574,34	214.279,51	34,1	30,9	27,1

Si è già detto che per tutte le apparecchiature, il maggiore contributo al consumo degli HFC è dato dalla categoria commerciale. Nei grafici successivi si pongono a confronto i principali HFC utilizzati per questa categoria per la refrigerazione, il condizionamento e i sistemi fissi di protezione antincendio

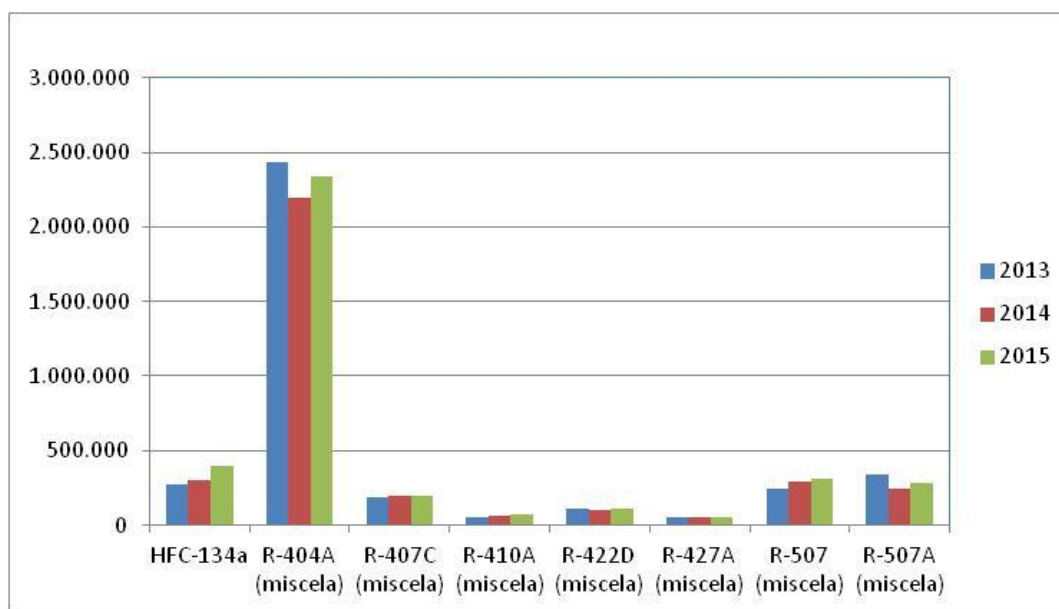


Figura 1.6 - Principali HFC utilizzati nella refrigerazione commerciale negli anni 2013, 2014 e 2015 e comunicati con la Dichiarazione F-gas (Fonte: Elaborazioni Ispra 2017 sulla base dei dati comunicati ai sensi del DPR n. 43/2012)

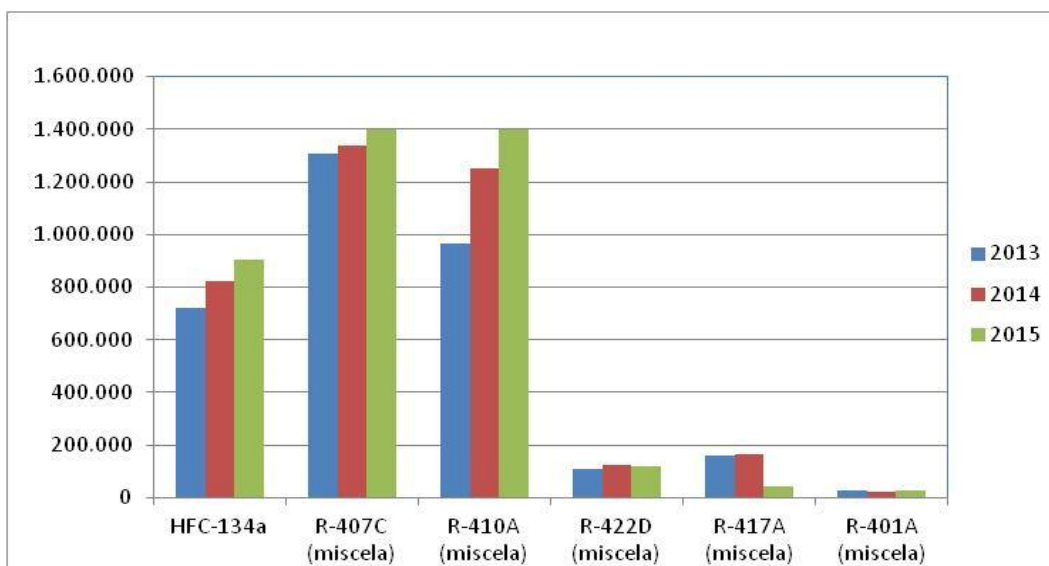


Figura 1.7 - Principali HFC utilizzati nel condizionamento (condizionatori + pompe di calore) negli anni 2013, 2014 e 2015, comunicati con la Dichiarazione F-gas (Fonte: Elaborazioni Ispra 2017 sulla base dei dati comunicati ai sensi del DPR n. 43/2012)

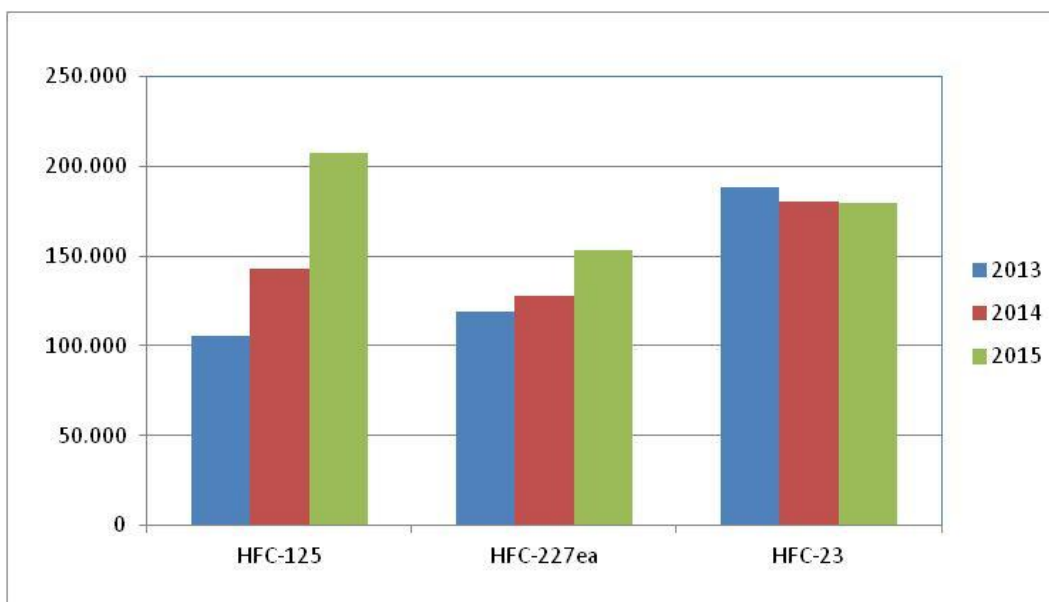


Figura 1.8 - Principali HFC utilizzati nei sistemi fissi di protezione antincendio negli anni 2013, 2014 e 2015, comunicati con la Dichiarazione F-gas (Fonte: Elaborazioni Ispra 2017 sulla base dei dati comunicati ai sensi del DPR n. 43/2012)

2 LA NORMATIVA DI RIFERIMENTO SUGLI F-GAS

Il quadro normativo internazionale impegna il nostro Paese, come parte di accordi internazionali e come paese membro dell'Unione Europea, a ridurre le emissioni di gas ad effetto serra e quindi anche di gas fluorurati compresi gli HFC, con potenziali ripercussioni sul sistema economico nazionale in termini di uso degli idrofluorocarburi e di disponibilità di sostanze e di tecnologie alternative. Nei paragrafi successivi sono descritti gli effetti delle disposizioni contenute nel Regolamento UE 517/2014 che ha abrogato e sostituito il precedente Regolamento CE 842/2006, primo provvedimento al livello comunitario adottato per contenere, prevenire e quindi ridurre le emissioni di gas fluorurati ad effetto serra.

2.1 Il Regolamento (UE) n.517/2014

Il Regolamento F-gas n. 517/2014, entrato in vigore il 9 giugno 2014, con applicazione a decorrere dal 1 gennaio 2015, ha come obiettivo la riduzione delle emissioni dei gas fluorurati a effetto serra al 2030. Al fine di assicurare il raggiungimento di tale obiettivo il nuovo regolamento introduce una serie di misure volte a ridurre nel tempo l'utilizzo di gas fluorurati ad alto GWP e in particolare prevede (UE, 2014):

- nuove restrizioni sull'immissione in commercio di determinati prodotti e apparecchiature (Art.11, Allegato III);
- il phase-down della quantità di HFC immessa in commercio (Art. 15 e 16, Allegato V)
- misure per prevenire le perdite dei gas (Art. IV).

Il divieto di commercializzazione di specifici prodotti e apparecchiature (di cui all'art. 11 del Regolamento) è previsto secondo un calendario temporale specifico ed è funzione del tipo di gas fluorurato contenuto dall'apparecchiatura o del potenziale di riscaldamento globale del refrigerante¹⁹. Oltre ai vincoli previsti per le nuove apparecchiature, il Regolamento mira ad eliminare al 2020 l'utilizzo di refrigeranti con GWP molto elevato (>2.500) anche per le apparecchiature esistenti²⁰, permettendo però di continuare a usare questi refrigeranti, se recuperati, rigenerati e riciclati fino al 2030. Dal 2030 nessuna manutenzione degli impianti esistenti sarà invece possibile. I settori coinvolti dalle disposizioni del Regolamento F-gas, oggetto del presente studio sono: refrigerazione, condizionamento, aerosol, schiume e antincendio; si tratta di settori che peraltro hanno raggiunto livelli di know how tecnologico (standard di sicurezza, efficienza, costi/efficacia) tali da consentire il passaggio alle alternative climate-friendly.

Il Regolamento prevede inoltre una riduzione progressiva (phase-down) della quantità di idrofluorocarburi introdotti nel mercato europeo rispetto alla media annua della quantità immessa nell'Unione Europea dal 2009 al 2012. Tali quantità sono espresse in tonnellate di CO₂ equivalente e non sono specifiche per tipo di refrigerante. Il phase-down degli HFC è regolato da un sistema di quote²¹ assegnate annualmente dalla Commissione Europea ai produttori e importatori di sostanze refrigeranti sfuse (gas in bulk) per assicurare la riduzione dell'approvvigionamento di HFC. L'obiettivo, è quello di raggiungere una riduzione delle emissioni, espresse in tonnellate di CO₂ equivalente pari al 79% entro il 2030; nel 2016 si è avuta la prima riduzione di HFC del 7% che è salita al 37% al primo gennaio 2018. Dal 1 gennaio 2015 in particolare tutti i produttori e gli importatori che immettono in commercio, nell'anno civile considerato, almeno 100 tonnellate di CO₂ equivalenti di HFC hanno il diritto all'assegnazione di una quota di questi gas (UE, 2014).

¹⁹ Allegato III del Regolamento UE n. 517/2014.

²⁰ Apparecchiature di refrigerazione con dimensioni del carico pari o superiore a 40 tonnellate di CO₂ equivalente.(art. 13 comma 3 del Regolamento EU n. 517/2014).

²¹ Assegnazione di quote per l'immissione in commercio degli idrofluorocarburi, articolo16 del Regolamento EU n. 517/2014 e allegati V e VI.

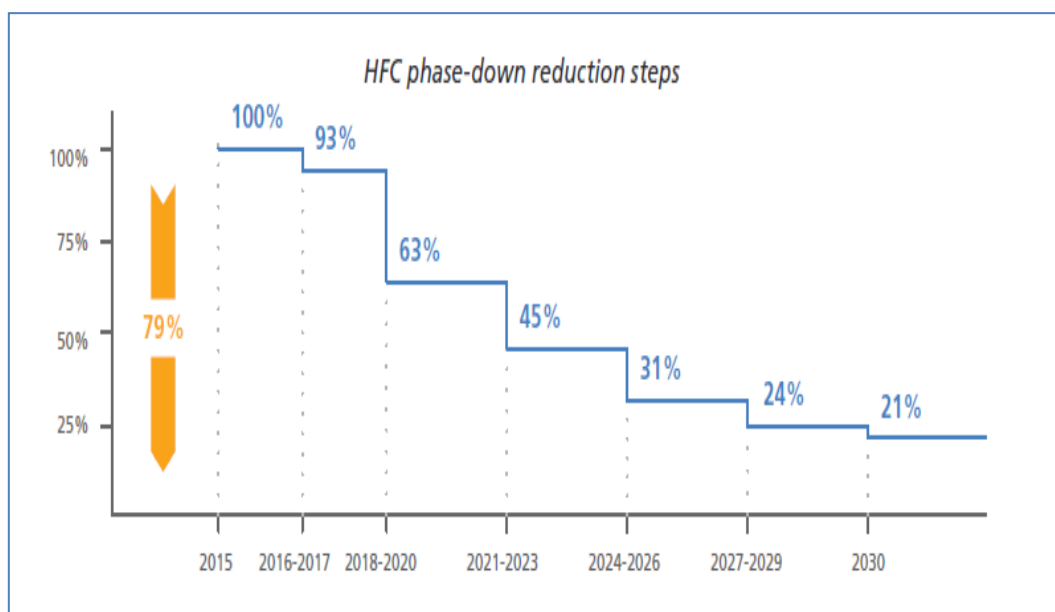


Figura 2.1 - Step di riduzione (phase down) degli HFC ai sensi dell'allegato V del Regolamento F-gas (Fonte: Shecco, 2016)

Il computo delle quote di idrofluorocarburi basato sulle tonnellate di CO₂ equivalente e non più sui kg di sostanza refrigerante, ha come effetto quello di incentivare la migrazione verso HFC a minore GWP; infatti tanto maggiore è il potenziale di riscaldamento globale (GWP) di una sostanza, tanto più elevate sono le tonnellate di CO₂ equivalente per chilogrammo di sostanza e quindi tanto più elevata sarà la quota di cui il produttore o importatore avrà bisogno. Di fatto le tonnellate metriche che possono essere immesse nel mercato europeo da parte di un produttore e/o importatore di sostanze sono inversamente proporzionali al potenziale di riscaldamento globale. Di seguito si riportano a titolo di esempio le quantità di alcuni refrigeranti che possono essere importate da un importatore al quale per ipotesi si suppone siano state assegnate 10 milioni di tonnellate (Mt) di CO₂ equivalente.

Tabella 2.1 - Esempi di quantità di refrigeranti (ton. metriche) che possono essere importate in relazione alla quota di tonnellate di CO₂ equivalente assegnata (Fonte: EIA, 2016)

HFC PURI O MISCELE	GWP	TONNELLATE METRICHE EQUIVALENTI A 10 MT CO ₂ eq
HFC-23	14.800	0,6
R-404A	3.922	2,5
C	3.220	3,1
R-410A	2.088	4,7
R-407C	1.824	5,4
HFC-134a	1.430	6,9
R-32	675	14,8
R-152a	124	80,6

Il Regolamento F-gas prevede inoltre che dal 2017²² la precarica con idrofluorocarburi delle apparecchiature di condizionamento d'aria, refrigerazione e pompe di calore sia conteggiata all'interno del sistema delle quote di cui al capo IV del Regolamento. Questo significa che a partire da quella data la percentuale di riduzione degli HFC immessi in commercio sarà superiore rispetto alle quote di cui al capo IV.

Secondo quanto riportato dalla Commissione Europea, (CE, 2016) la quantità di HFC immessa sul mercato nel 2015 è stata pari a 168 Mt di CO₂eq, a fronte di una quota allocata per l'anno di 183 Mt CO₂eq. Nel 2018 sono previsti tagli del 37% rispetto alla baseline (183 Mt di CO₂eq) il che si traduce in una quota massima di 115 Mt di CO₂eq, ma con l'inglobamento della pre-carica delle apparecchiature, il taglio sarà maggiore del 37% .

²² Art. 14 comma 1 del Regolamento EU n. 517/2014.

Altre disposizioni del Regolamento 517/2014 sono finalizzate al contenimento delle perdite dei refrigeranti e al recupero degli stessi andando a rafforzare quanto già previsto dal precedente Reg. 842/2006. In particolare sono previste specifiche:

- sulle misure di contenimento degli F-gas (ad esempio controllo delle perdite) (articoli 3, 4, 5)
- sulle modalità di etichettatura (art. 12)
- sulle modalità di smaltimento e recupero dei refrigeranti e delle apparecchiature (articoli 8 e 9)
- sui requisiti di certificazione/formazione del personale e informazione agli utenti (articoli 10 e 12)

La frequenza dei controlli delle perdite, a dispetto del precedente regolamento, non è più basata sulla quantità di sostanza contenuta nelle apparecchiature bensì sulla CO₂ equivalente del refrigerante e di conseguenza sarà tanto maggiore quanto più alto è il valore del GWP della sostanza. E' prevista inoltre l'etichettatura obbligatoria per i nuovi prodotti e sostanze immesse nel mercato, insieme alla specifica di requisiti obbligatori per la formazione di tecnici e personale coinvolto nella manipolazione dei refrigeranti fluorurati.

FOCUS: l'Emendamento di Kigali sugli HFC - MOP 28 del Protocollo di Montreal (10/15/2016)

Il 15 ottobre del 2016, in occasione del 28mo Meeting delle Parti (MOP) del Protocollo di Montreal sulle sostanze lesive per l'ozono, tenutosi a Kigali (Ruanda), i 172 Paesi partecipanti hanno approvato l'emendamento per la riduzione progressiva della produzione e consumo degli HFC.

E' la prima volta nella storia delle MOP che vengono adottati dei provvedimenti nei confronti degli idrofluorocarburi, fino a questo momento mai toccati dalle politiche del Protocollo. Gli HFC presi in considerazione sono in totale 19, principalmente utilizzati nei settori del condizionamento e della refrigerazione. L'effetto dell'adozione del Regolamento potrebbe quantificarsi nella riduzione dell'incremento della temperatura di 0,5 gradi Celsius entro la fine del secolo, andando a costituire un ulteriore passo in avanti negli sforzi volti a limitare l'aumento delle temperature al di sotto dei 2 gradi Celsius, come previsto dall'Accordo di Parigi (Convenzione UNFCCC sui cambiamenti climatici). Per il phase down degli HFC, l'emendamento prevede scadenze temporali diverse, in funzione del grado di sviluppo economico e tecnologico del Paese firmatario. Nei paesi industrializzati la riduzione graduale degli idrofluorocarburi avrà inizio nel 2019, nella gran parte dei paesi in via di sviluppo (compresi Cina, Brasile e Sud-Africa) nel 2024 mentre un terzo gruppo di paesi, sempre rientranti tra quelli in via di sviluppo, quali India, Pakistan, GCC, Iran, e Iraq inizieranno il phase down soltanto nel 2028.

GRUPPI DI PAESI	INIZIO PHASE -DOWN	BASELINE DI RIFERIMENTO
<i>I Gruppo:</i> Paesi industrializzati	2019	Livello di consumo medio triennio 2011-2013 plus 15% di HCFC
<i>II Gruppo:</i> Paesi in via di sviluppo (inclusi Cina, Brasile, Sud Africa)	2024	Livello di consumo medio triennio 2020-2022 plus 65% di HCFC
<i>III Gruppo:</i> Paesi in via di sviluppo Iran, Iraq, Pakistan, India e GCC	2028	Livello di consumo medio triennio 2024-2026 plus 65% di HCFC

Entro il 2047 tutti i Paesi firmatari dovranno consumare non più del 15-20% dei livelli di consumo della corrispondente baseline. Anche a tal riguardo il conseguimento di questi obiettivi di consumo sarà scandito da tempistiche differenti a seconda del livello di sviluppo del Paese interessato. I paesi industrializzati infatti saranno tenuti a raggiungere il limite del 15% entro il 2036, i paesi del secondo gruppo (con phase-down dal 2024) dovranno raggiungere il limite del 20% entro il 2045, mentre il terzo gruppo di paesi in via di sviluppo (con phase-down dal 2028) sarà impegnato a raggiungere il limite del 20% dei consumi entro il 2047. Tra i paesi avanzati la Russia ha strappato un accordo particolare che prevede le stesse scadenze temporali degli altri paesi sviluppati ma con percentuali di riduzioni annuali diverse. L'emendamento prevede anche un adeguato supporto economico ai Paesi in Via di Sviluppo per la riduzione degli HFC, attraverso il finanziamento delle attività di ricerca e sviluppo di alternative, sia in termini di sostanze che in termini di tecnologie. L'entità di tale supporto sarà quantificata nella successiva MOP che si terrà a Montreal a novembre 2017. Mentre l'emendamento di Kigali avrà significative ripercussioni nei paesi Art.5, dove è ancora in atto la transizione dagli HCFC agli HFC, in Europa la sua sottoscrizione non comporterà effetti particolari. Ciò dipende dal fatto che l'Unione Europea ha già da diversi anni adottato una severa politica di riduzione degli HFC e la legislazione attualmente in essere risulta in linea con gli obiettivi definiti a Kigali.

2.2 Gli effetti del nuovo Regolamento (UE) n.517/2014 sul mercato europeo dei refrigeranti

Le disposizioni contenute nel Regolamento (UE) n. 517/2014 sono destinate a mutare radicalmente il mercato europeo degli F-gas, con ricadute in quei mercati extra-europei produttori e fornitori di sostanze refrigeranti e di apparecchiature che utilizzano tali sostanze. I principali impatti sul mercato europeo riguardano sia i refrigeranti che le tecnologie che operano con essi e possono essere sintetizzati come di seguito:

Effetti sui Refrigeranti:

- nel medio/breve periodo graduale scomparsa dal mercato europeo degli HFC con GWP più elevato e loro sostituzione con HFC a minor GWP;
- nel lungo periodo penetrazione nel mercato di sostanze refrigeranti non climalteranti (ossia con GWP nullo o molto basso) come alternativa agli HFC tradizionali.

Effetti sulle Tecnologie:

- ingresso nel mercato di tecnologie che utilizzano refrigeranti alternativi agli HFC e di tecnologie che utilizzano HFC a minor GWP; possibilità di retrofit delle apparecchiature esistenti o utilizzo di nuove apparecchiature.

Effetti su ricerca e sviluppo:

- ricerca e sviluppo di nuovi refrigeranti a minor impatto ambientale.
- ricerca e sviluppo di nuove tecnologie non climalteranti, nel rispetto dei requisiti di sicurezza e fattibilità tecnico-economica.

Nei paragrafi successivi vengono analizzati i principali effetti sul mercato derivanti dall'entrata in vigore delle disposizioni previste dal Regolamento F-gas.

2.2.1 Effetti nel medio/breve periodo del Regolamento F-gas

Il phase-down degli idrofluorocarburi darà forte impulso al processo di graduale sostituzione degli HFC con alto GWP con HFC con GWP inferiore. Questo avverrà soprattutto nel medio/breve periodo, ossia nei 5-10 anni successivi all'entrata in vigore del Regolamento (Carel, 2016). Poiché il valore delle tonnellate di CO₂ equivalente su cui si basa il processo di riduzione degli idrofluorocarburi, è calcolato come prodotto del GWP della sostanza per la quantità usata, i refrigeranti attualmente in uso con alti valori del GWP tenderanno ad essere sostituiti (paragrafo 3.1). Una prima carenza rilevante di quote di HFC è stata prevista nel 2017, con l'inglobamento della pre - carica delle apparecchiature nel computo dell'assegnazione delle quote e successivamente nel 2018 con la crescita della percentuale di phase-down al 37%. A fronte di ciò, gli operatori di apparecchiature con HFC a medio e alto GWP potrebbero trovarsi in difficoltà per effetto della progressiva diminuzione della disponibilità di tali gas sul mercato dato che il tempo di vita medio delle nuove apparecchiature basate sull'uso degli HFC è pari a 20 anni e può quindi sovrapporsi e andare oltre i termini del phase down previsti dal Regolamento (Figura 2.2).

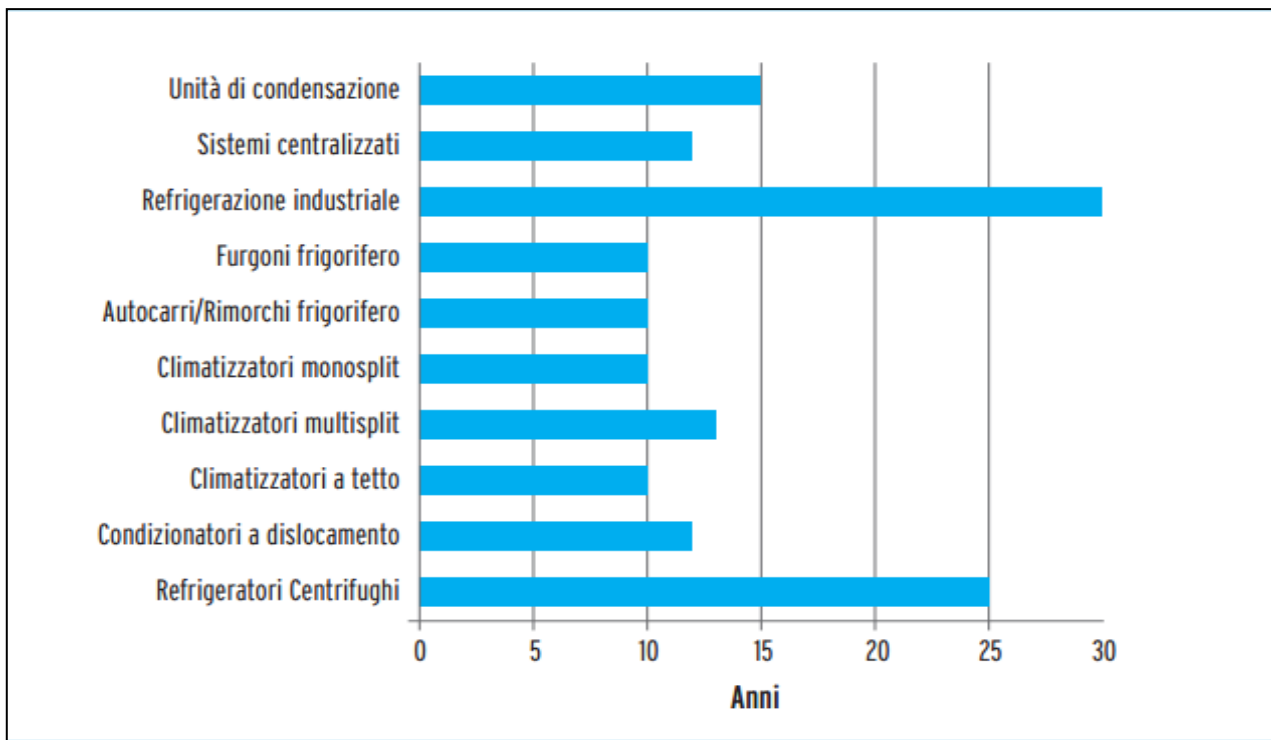


Figura 2.2 - Vita media di alcune apparecchiature funzionanti a HFC (Fonte: EIA, 2016)

La figura successiva illustra chiaramente quanto sopra descritto, riportando i principali refrigeranti utilizzati nel settore della refrigerazione e del condizionamento con il loro GWP in relazione ai limiti imposti dal Regolamento. I refrigeranti di maggiore diffusione nel mercato possiedono GWP elevatissimi, addirittura dell'ordine delle migliaia; il processo di replacement dovrà pertanto avere inevitabilmente inizio da tali sostanze. Uno dei comparti che subirà per primo gli effetti del Regolamento sarà quello della refrigerazione in quanto si basa principalmente sull'utilizzo di due refrigeranti, l'R-404A e il gemello R-507, con GWP altissimi pari rispettivamente a 3.943 e 3.980 (Figura 2.3). Nel settore del condizionamento, invece, un refrigerante altamente usato è l'R-410A che, con GWP pari a 2.087, ha un forte impatto serra; anche tale gas dovrà essere sostituito nel medio periodo.

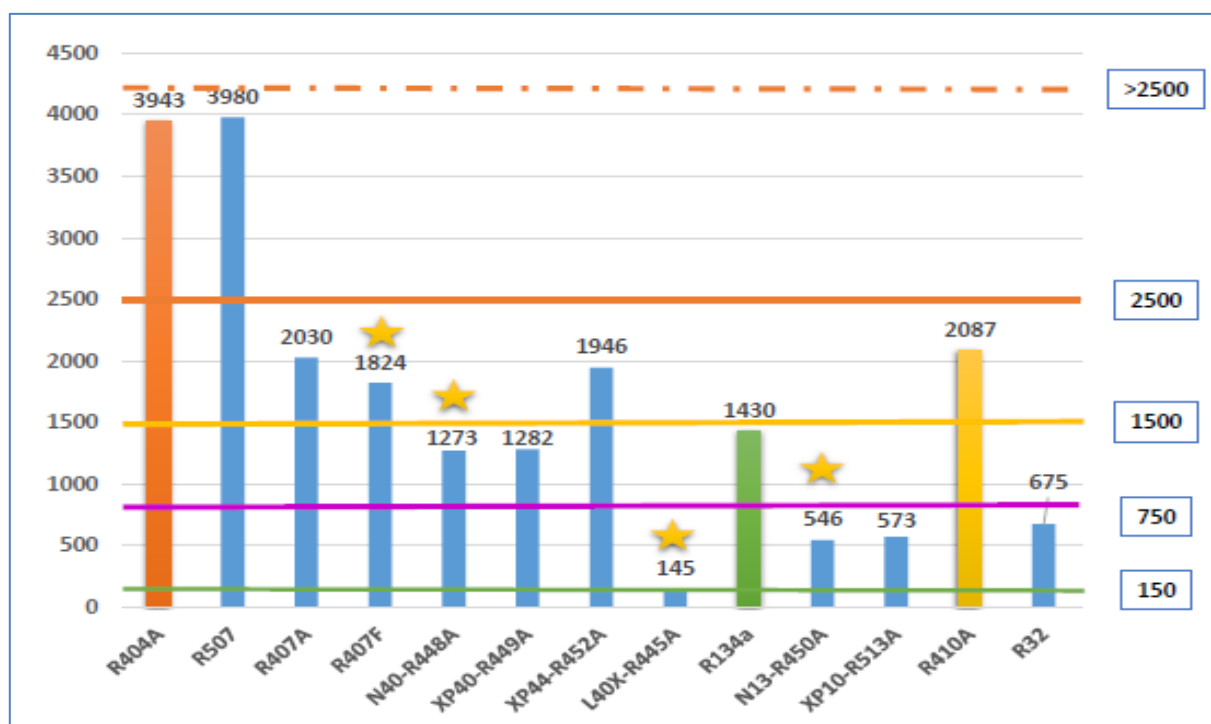


Figura 2.3 - Principali refrigeranti utilizzati nella refrigerazione e nel condizionamento con il relativo GWP e limiti imposti dal Regolamento F-gas (Fonte: General Gas, 2016)

In risposta alle disposizioni del Regolamento F-gas e per far fronte ai conseguenti mutamenti del mercato degli HFC, i produttori di sostanze fluorurate hanno iniziato da alcuni anni a investire nella produzione di nuovi idrofluorocarburi a medio e basso GWP, intesi come soluzione disponibile per il medio e breve periodo. A livello mondiale i maggiori paesi produttori di HFC sono Giappone e Stati Uniti d'America, mentre in Italia non esistono ad oggi produttori di queste sostanze. Queste nuove miscele possiedono tuttavia un potenziale di riscaldamento globale superiore a 150, limite massimo previsto, a partire dal 2020, nei settori del condizionamento e delle schiume e dal 2022 nel settore della refrigerazione e pertanto dovranno essere a loro volta sostituiti con alternative a GWP ancora più basso.

Secondo quanto riportato nell'aggiornamento del Teap Report di settembre 2016 (UNEP, September 2016) complessivamente dal 2014 sono stati proposti a livello mondiale 80 fluidi come alternativa ai refrigeranti ODS (Ozone Depleting Substances) o ai refrigeranti HFC ad alto GWP (l'elenco comprende in realtà anche refrigeranti naturali, non solo HFC). Si tratta di fluidi in attesa di analisi, in fase di sperimentazione nei programmi di settore, in attesa della pubblicazione o già pubblicati nelle norme ASHRAE²³ 34²⁴ o ISO²⁵ 817²⁶. La maggior parte sono nuove miscele ma sono presenti all'interno di questo gruppo anche vecchi refrigeranti e due nuovi refrigeranti basati su due nuove molecole. In particolare, degli 80 fluidi 11 sono sostanze pure (10 delle quali pubblicate in ISO 817 o ASHRAE 34) e 69 sono miscele (di cui solo per 55 si conosce la composizione e solo 17 sono state pubblicate in ISO 817 o ASHRAE 34). A seguito delle fasi di testing e sviluppo, soltanto un sottogruppo di queste 80 sostanze sarà effettivamente commercializzato e, se ci si limita a considerare il solo contesto europeo, probabilmente il numero delle sostanze commercializzate diminuirà ulteriormente (il TEAP fornisce infatti un'analisi a livello globale, basata sia sui paesi sviluppati che sui paesi in via di sviluppo, con regolamenti e mercati molto diversi). Le miscele avranno comunque un ruolo importante nel mercato futuro.

Secondo quanto riportato nel Teap Report di giugno 2016 (UNEP, June 2016) dalla pubblicazione nel 2014 del RTOC²⁷ Assessment Report, sono stati registrati presso la Ashrae americana o la Standard Organization ISO 187, sette nuovi refrigeranti HFC a basso GWP per la maggior parte miscele; si tratta di fluidi già commercialmente disponibili quali: R-407G, R-449B, R-453A, R-454A, R-454B e l'R-455A; l'unico ancora non presente in commercio in quantità significative e a un solo componente è l'HFO-1336mzz. Di seguito sono riportate le caratteristiche principali delle 6 miscele di HFC sopraccitate; 3 di queste hanno un GWP superiore a 1.000 e anche le altre possiedono comunque un potenziale di riscaldamento globale superiore a 150.

Tabella 2.2 - Nuove miscele a medio-basso GWP registrate presso la Ashrae o la Standard Organisation ISO 187 dal 2014 (Fonte: UNEP, September 2016)

REFRIGERANTI	COMPOSIZIONE	REFRIGERANTE SOSTITUITO	GWP (IPPC5)
R-407G	R-32/125/134a (2,5/2,5/95,0)	HFC-134a	1300
R-449B	R-32/125/1234yf/134a (25,2/24,3/23,2/27,3)	HCFC-22, R-404A, R-407C	1300
R-453A	R-32/125/134a/227ea/600/ 601a (20,0/20,0/53,8/5,0/0,6/0,6)	HCFC-22, R-407C	1600
R-454A	R-1234yf/32 (65/35)	R-404A	240
R-454B	R-32/1234yf (68,9/31,1)	R-410A	470
R-455A diverse miscele)	Diverse composizioni delle miscele	R-404A, R-410A (a seconda della miscela)	150 -710 (a seconda della miscela)

A titolo di esempio, nella tabella successiva si riportano invece i refrigeranti emergenti a livello mondiale per i chillers, impianti frigoriferi funzionanti con un fluido secondario che ha il compito di distribuire alle varie utenze la potenza frigorifera (in pratica il freddo) prodotta. Anche se tecnicamente possibile, il retrofit dei chillers con i nuovi refrigeranti non risulta essere una strada facilmente percorribile per una serie di criticità che vanno ad esempio, dal cambiamento del livello di infiammabilità di alcuni fluidi che può richiedere modifiche significative alla macchina, ai cali di efficienza che si verificano con l'introduzione di un nuovo

²³ ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

²⁴ Lo Standard ASHRAE 34 "Designation and Safety Classification of Refrigerants" del 2001 è lo standard di riferimento internazionale per la classificazione dei refrigeranti sulla base delle caratteristiche di tossicità e infiammabilità.

²⁵ ISO - International Organization for Standardization è la più grande organizzazione nel mondo per la definizione di norme tecniche, con 162 membri e con oltre 9.500 standard emessi.

²⁶ Lo standard ISO 817:2014 "Refrigeranti - Designazione e classificazione di sicurezza" fornisce un sistema per la classificazione dei refrigeranti in base al loro infiammabilità e tossicità.

²⁷ RTOC: Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee

refrigerante. Nella diffusione di questi fluidi emergenti giocano un ruolo centrale le misure di regolamentazione adottate che possono aiutare l'industria a migrare verso tali soluzioni. Ad esempio la penetrazione nel mercato americano dei refrigeranti elencati nella Tabella 2.2 è stata supportata dalla decisione presa dalla AHRI, l'Istituto di condizionamento dell'aria, riscaldamento e refrigerazione e dall'NRDC, il Consiglio per la Difesa delle Risorse Naturali, di cessare la vendita di chillers che usano refrigeranti con alto GWP (HFC-134a, R-410A e R-407C) entro il primo gennaio 2025. In questo arco di tempo da un lato progettisti e costruttori dovranno impegnarsi nella progettazione e implementazione di nuove linee di chillers e nella riduzione dei relativi costi, dall'altro i produttori delle nuove sostanze dovranno aumentare la capacità produttiva per fronteggiare l'aumento della domanda (UNEP, September 2016).

Tabella 2.3 - HFC emergenti usati nei chillers (Fonte: UNEP, September 2016)

TIPOLOGIA DI CHILLERS	REFRIGERANTI ATTUALMENTE UTILIZZATI	REFRIGERANTI EMERGENTI
Chillers di grande taglia con compressori centrifughi che usano refrigeranti a basse pressioni	Chlorofluorocarbon (CFC)-11 HCFC-123 HFC- 245fa	HCFO-1233zd R-514A
Chillers di grande taglia con compressori centrifughi che usano refrigeranti a media pressione	CFC-122 HFC-134a	R-513A HFO-1234yf HFO-1234ze
Chillers di taglia media with positive displacement (crew) compressors	CFC--12 HFC-134a	R-513A HFO-1234yf HFO-1234ze
Chillers di piccolo taglia with positive displacement (scroll or recip) compressors	HCFC-22 R-407C R-410A	HFC-32 R-452B

In generale, secondo quanto riportato dal TEAP (UNEP, September 2016), le prospettive di scoprire nuovi fluidi, realmente innovativi, sembrano minime e al momento la ricerca tende comunque a prediligere soluzioni più economiche. I nuovi refrigeranti per poter rappresentare una concreta alternativa nel mercato devono infatti soddisfare una molteplicità di requisiti (un basso GWP e un ODP trascurabile, una bassa tossicità e una bassa o nulla infiammabilità, ecc); bilanciare tutte queste voci risulta particolarmente complesso. Inoltre il successo di un fluido dipende anche dalla risposta del mercato; la commercializzazione di miscele formate da molecole già esistenti è molto più facile, rapida e sostenibile della commercializzazione di nuove molecole che richiede anche 10 anni contro i 5 delle prime²⁸. Una volta poi che il fluido è stato lanciato, la disponibilità dello stesso sarà in gran parte controllata dalle necessità del mercato e le aziende tenderanno ad investire dove ritengono che ci sia il massimo potenziale di mercato. Non da ultimo la legislazione vigente in un dato paese e mercato può favorire o meno investimenti in una direzione piuttosto che in un'altra (UNEP, September 2016).

2.2.2 Effetti nel lungo periodo del Regolamento F-gas

Il divieto sull'immissione nel mercato di specifici prodotti e apparecchiature basati sull'uso degli HFC, aventi un GWP superiore a determinati valori (Allegato III del Regolamento F-gas), ha come principale effetto quello di stimolare la transizione dai tradizionali refrigeranti HFC a sostanze alternative totalmente climate – friendly. Questo processo è previsto nel medio/lungo periodo ossia a oltre 10 anni dall'entrata in vigore del Regolamento. Si consideri in particolare il divieto di utilizzare refrigeranti con GWP superiore a 150 nei settori della refrigerazione a partire dal 2022. Tutti gli HFC usati attualmente in questi settori, come già visto, hanno valori del potenziale di riscaldamento globale dell'ordine delle migliaia e le alternative ad oggi proposte, sempre nell'ambito dei refrigeranti sintetici HFC, non sono comunque compatibili con tale limite. Nel lungo periodo è quindi necessario ricorrere all'uso di nuovi refrigeranti in sostituzione degli HFC con minore GWP. I refrigeranti naturali, come ad esempio l'anidride carbonica o gli idrocarburi, e le HFO, sostanze sintetiche con GWP bassissimo, possono costituire un'alternativa ai fluidi attualmente utilizzati. La diffusione di questi refrigeranti presenta tuttavia una serie di ostacoli legati sia alle caratteristiche intrinseche delle sostanze sia alle tecnologie ad oggi disponibili. Nei paragrafi successivi si affronteranno più in dettaglio questi aspetti. Ciò che emerge in realtà è che la migrazione verso l'uso dei refrigeranti naturali è già

²⁸ La produzione di nuove molecole richiede costi iniziali legati all'attività di ricerca, alle analisi in merito alla tossicità e ai comportamenti delle molecole e alla loro produzione. Per le nuove miscele a componenti noti i principali costi riguardano le ricerche di mercato finalizzate all'individuazione della composizione che risulti la più appetibile per il mercato e le campagne di lancio del nuovo fluido (UNEP, June 2016)

iniziata, in anticipo rispetto alle previsioni iniziali. Una delle cause di questa accelerazione è riconducibile alla drastica riduzione della disponibilità di HFC nel mercato, per effetto non solo del Regolamento F-gas ma anche di logiche di mercato indipendenti che hanno condotto a un incremento esponenziale del prezzo degli idrofluorocarburi fino ad oggi utilizzati. Da uno studio condotto da Shecco²⁹, che ha analizzato gli effetti dell'implementazione del Regolamento F-gas nel mercato europeo, le compagnie coinvolte nella refrigerazione commerciale hanno indicato una chiara crescita di tecnologie che utilizzano refrigeranti naturali già negli ultimi 5 anni (Shecco, 2016).

2.2.3 Effetti sul mercato italiano

Anche nel mercato italiano si prevede un cambiamento della gamma dei prodotti refrigeranti in commercio. Nel primo periodo si assisterà, ma in realtà si sta già assistendo, al passaggio da gas a GWP più elevato, come l'R-404A, a refrigeranti sintetici a minor effetto serra, anche in anticipo sulle scadenze dettate dallo schema di phase down del Regolamento F-gas. La sostituzione con tali refrigeranti non richiede necessariamente il cambio dei macchinari in quanto possono essere sufficienti interventi sulle apparecchiature (retrofit). Questi refrigeranti poi dovranno essere ulteriormente sostituiti con sostanze a GWP ancora più basso e in alcuni casi al di sotto di 150.

Da qui al 2030, secondo le stime di alcuni esperti del settore (Campagna E., 2016), a fronte di una quantità complessiva di refrigeranti consumata che rimarrà stabile a circa 10.000 t, si prevede una diminuzione del GWP medio per effetto della sostituzione progressiva dei refrigeranti; tale GWP scenderà da 1.930, valore medio attuale, a 365. Aumenterà il consumo di CO₂ da 150 a 1.000 t, degli HC da 140 a 400 t, delle HFO e delle miscele di HFO, mentre calerà il consumo degli HFC da 9.150 t a circa 800 t. Si prevede che anche i prodotti HFC rigenerati avranno un ruolo significativo nel futuro e il loro consumo crescerà esponenzialmente passando da 80 a 2.000 t. A seguito di tale processo di sostituzione la riduzione delle emissioni espresse in t CO₂ equivalenti stimata sarà pari a circa l'81%. Di seguito (Tabella 2.4; Figura 2.4) è riportata la stima della ripartizione dei prodotti refrigeranti consumati al 2016 e al 2030, espressa sia in quantità di prodotto sia in t di CO₂ equivalente.

Tabella 2.4 - Stima dei consumi di gas refrigeranti in Italia al 2016 e al 2030 (Fonte: Campagna E., 2016)

STIMA CONSUMI GAS REFRIGERANTI IN ITALIA NEL 2016 ED IPOTESI CONSUMI NEL 2030						
	Q.tà 2016	GWP	GWP eq.	Q.tà 2030	GWP	GWP eq.
	t	CO2=1	M t CO ₂ eq.	t	CO2=1	M t CO ₂ eq.
CO2	150	1	0	1.000	1	1
HC	140	1	0	400	1	0
NH3	350	-	-	500	-	-
HFC Rigenerati	80	-	-	2.000	-	-
YF	45	1	0	1.800	1	2
ZE	5	1	0	600	1	1
R32 e Blends HFO per condiz.	35	700	25	1.400	700	980
HFO blends A1 per refr.	45	1.400	63	800	1.400	1.120
HFO blends A2L per refr.	-	145	-	700	145	102
HFC	9.150	2.100	19.215	800	1.800	1.440
TOTALE	10.000		19.303	10.000	4.049	3.645
GWP medio			1.930			365
						-81,1%
						Riduzione emissioni CO2 eq.

²⁹ Shecco è un acceleratore di mercato, a livello mondiale, per le aziende che operano nel settore della refrigerazione e del condizionamento, specializzato in refrigeranti naturali. Per acceleratore si intende una organizzazione che aiuta un progetto a svilupparsi più velocemente, passando da un concept, al prototipo, al mercato.

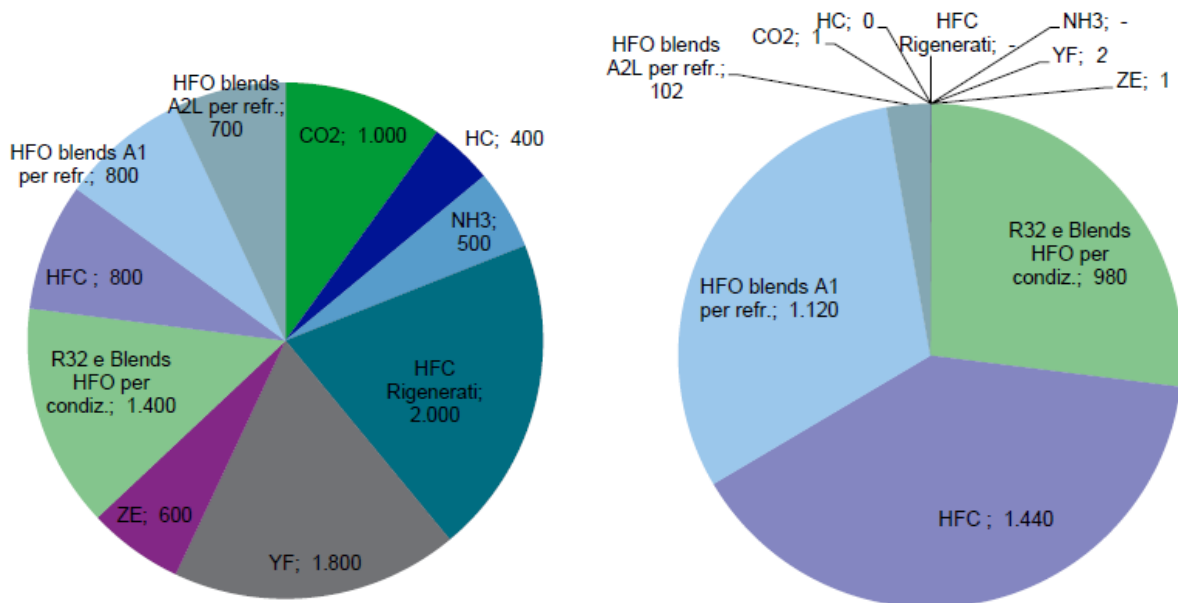


Figura 2.4 - Stima al 2030 della ripartizione dei refrigeranti consumati per quantità di prodotto (t) e per 1000 t di CO₂ equivalente (Fonte: Campagna E., 2016)

I produttori e/o importatori di refrigeranti, ritengono comunque che i fluidi naturali da soli non siano in grado di soddisfare tutte le esigenze del mercato, soprattutto nel caso di apparecchiature esistenti, per aspetti legati alla sicurezza, ai costi, all'assistenza tecnica, agli standard impiantistici ecc. Le idrofluoroolefine (HFO) e le miscele a base di HFO, di cui si parlerà in dettaglio nel capitolo successivo, sono ritenute alternative possibili per il retrofit degli impianti esistenti e laddove i gas naturali presentano limitazioni di impiego. Rispetto invece alla continua introduzione nel mercato di nuove miscele (es. R-448A, R-449A, ecc) i rappresentanti delle Associazioni di Categoria dei settori della refrigerazione e del condizionamento in Italia, evidenziano una serie di criticità: l'introduzione di nuove sostanze pone agli associati, e soprattutto alle aziende che progettano e producono apparecchiature, problemi di manutenzione ed 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 costrette a enormi sforzi per adattarsi alle mutevoli condizioni al contorno. Problemi vengono rilevati anche in relazione ai sistemi in cui le perdite del refrigerante costituiscono una quota rilevante della carica. Infatti, a causa delle diverse caratteristiche delle sostanze che compongono la miscela, la perdita del gas può determinare una variazione della sua composizione con due effetti: 1) variazione del GWP del refrigerante (e quindi del suo impatto ambientale, non più noto); 2) problemi di efficienza dell'impianto. Non potendo conoscere le caratteristiche del refrigerante dopo le perdite, le operazioni di rabbocco porteranno a miscele con composizione diversa e con GWP e caratteristiche prestazionali ai fini dell'efficienza della macchina non più note.

2.2.4 Effetti del Regolamento F-gas sul costo degli HFC

Per effetto delle disposizioni del Regolamento F-gas, il prezzo degli HFC non è più determinato dal solo costo di produzione della sostanza, ma dipende anche dal valore del suo GWP, che ne condiziona la disponibilità nel mercato. La progressiva diminuzione di refrigeranti con alto valore del GWP, a fronte di una domanda superiore all'offerta, sta producendo un aumento dei prezzi. Le quote di HFC tendono quindi ad assumere un valore di mercato e l'aumento del loro prezzo non legato all'aumento dei costi di produzione è denominato dalla Commissione Europea come "HFC price premium" (EIA, 2016). Nella figura successiva è riportato il valore dell'HFC price premium, come stimato dall'Agenzia Federale tedesca dell'Ambiente, nell'ipotesi di piena attuazione del phase - down. Poiché le quote sono assegnate a costo zero a un certo numero di importatori e produttori, tali quote acquisteranno un valore economico (sovrapprezzo) e andranno pertanto a costituire un profitto per queste imprese, quantificabile in miliardi di euro l'anno (Figura 2.5). Secondo quanto riportato da Carel³⁰, il phase-down condurrà a un incremento dei costi pari a 35€/t CO₂eq al 2030 (Carel, 2016). Come si può vedere dalle figure riportate di seguito, il valore dell'HFC price premium

³⁰ Carel è leader mondiale nelle soluzioni di controllo per condizionamento, refrigerazione e riscaldamento e nei sistemi per l'umidificazione e il raffrescamento adiabatico (<http://www.carel.it/>).

subisce un forte incremento nel 2018, come conseguenza della significativa riduzione delle quantità di HFC immesse in commercio (-37 %) prevista dal Regolamento per quest'anno.

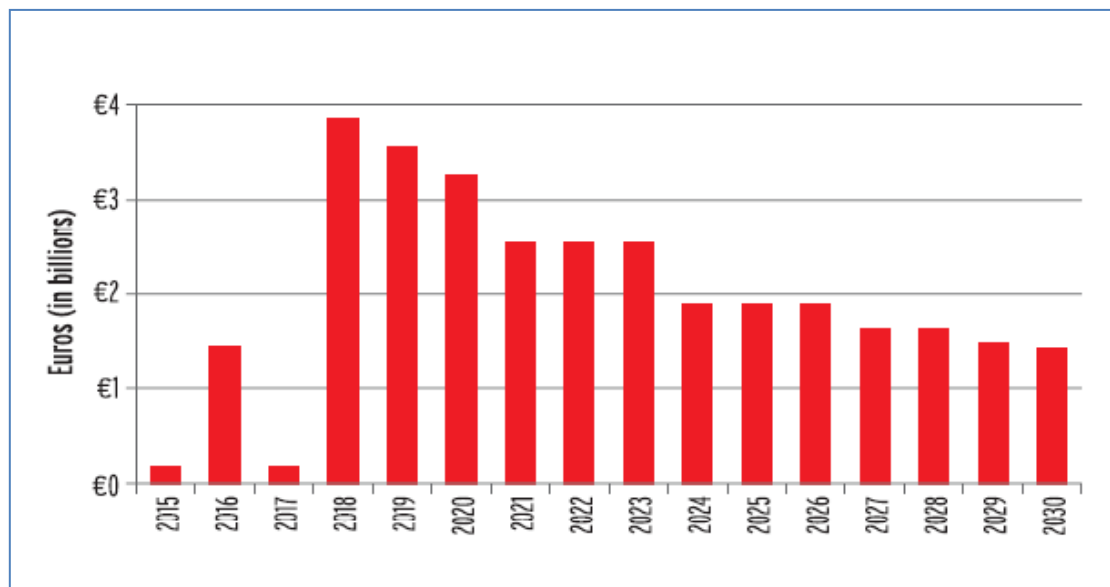


Figura 2.5 - Proiezione del valore dell' HFC PRICE PREMIUM nell'ipotesi del phase down (Fonte: EIA, 2016)

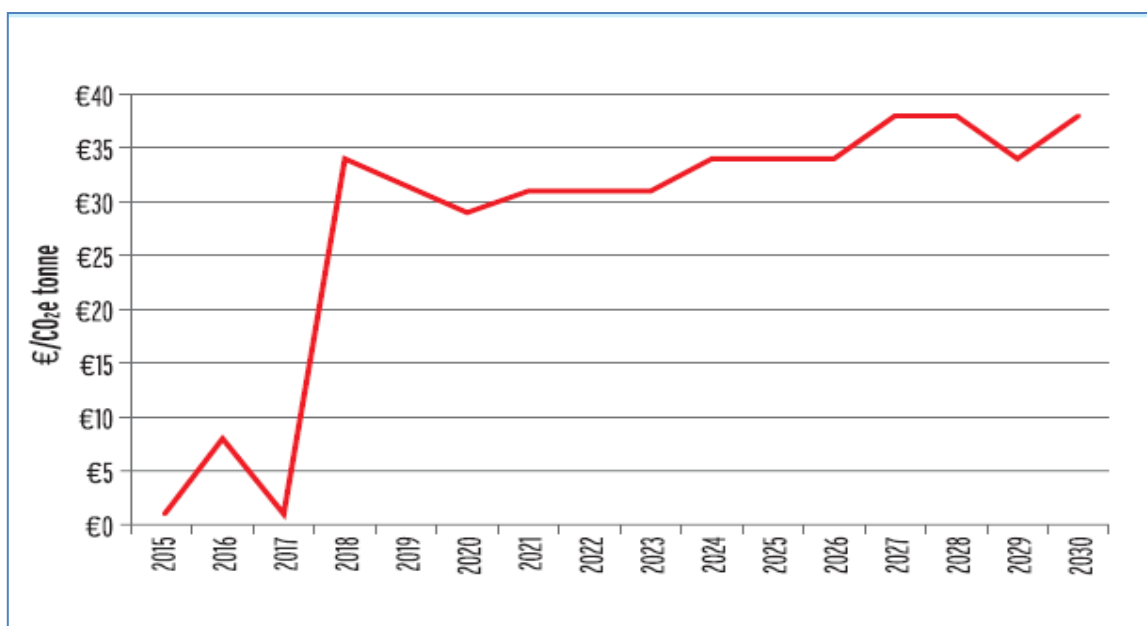


Figura 2.6 - Proiezione dei guadagni per i produttori e importatori nell'ipotesi di phase down (Fonte: EIA, 2016)

Gli operatori di apparecchiature e impianti che utilizzano HFC e i consumatori di questi refrigeranti saranno vincolati a pagare il sovrapprezzo "HFC price premium"; attraverso l'acquisto di refrigeranti dal costo più alto. Ad esempio, secondo quanto riportato dal rapporto dell'EIA (EIA, 2016), il prezzo dell'HFC-134 è pari a circa 15-30 Euro/kg (a seconda se venduto all'ingrosso o in dettaglio). Considerando un sovrapprezzo pari a 30 Euro/t di CO₂eq, ogni kg di HFC-134a aumenterà di 43 euro³¹ per cui il prezzo finale del refrigerante sarà pari a 58-73 Euro/kg (EIA, 2016) Di conseguenza il sovrapprezzo HFC tenderà a rendere le tecnologie tradizionali, basate sull'uso di tali sostanze, meno appetibili dal punto di vista economico. C'è da considerare tuttavia che il sovrapprezzo HFC potrà essere in parte condizionato da altri fattori del mercato, come ad esempio la presenza di monopoli per alcuni gas o miscele o scelte di mercato strategiche da parte di produttori o importatori nel promuovere un refrigerante invece di un altro. Nei paragrafi successivi si affronteranno questi aspetti con un'analisi specifica, aggiornata al 2017, del mercato dei refrigeranti europeo.

³¹ Il GWP dell'HFC-134a è pari a 1430, secondo l' IPCC Fourth Assessment Report, 2007.

Subito a seguito del phase down del 7% del 2016, i principali fornitori di refrigeranti hanno annunciato aumenti del prezzo degli HFC ad alto GWP. A partire da gennaio 2016 è stato infatti registrato un incremento del 15% del prezzo dell'R-404A e dell'R-507 e un aumento del 10% del prezzo di R-407A, R-410A, R-407C e R134a (Shecco, 2106), ma già prima dell'entrata in vigore del Regolamento la prospettiva di un incremento futuro del costo dei refrigeranti ha comportato cambiamenti nel mercato europeo dell'import/export di queste sostanze; nel 2014 si è registrato infatti un aumento del 95% delle importazioni di HFC sfusi, rispetto all'anno precedente, come misura preventiva da parte delle compagnie interessate che hanno scelto di stoccare la maggior quantità possibile di HFC prima dell'aumento del loro prezzo di mercato. In virtù di questo immagazzinamento preventivo gli effetti sul mercato per l'entrata in vigore del Regolamento non sono stati così marcati, si prevede tuttavia che questi inizieranno a manifestarsi in maniera più significativa a partire dal 2018 a seguito dell'inglobamento della carica delle apparecchiature (2017) e della crescita delle percentuali di phase down (2018). Carenza di quote di HFC, aumento del loro costo e del costo delle apparecchiature che utilizzano tali sostanze, spostamento verso tecnologie a refrigeranti naturali sono alcuni degli effetti previsti. In tale contesto, ad avere maggiori difficoltà nel sostenere l'incremento del prezzo degli HFC saranno proprio le piccole e medie imprese. Le aziende che utilizzano tecnologia a base idrofluorocarburi vengono invitate a firmare dei "contratti di acquisto" a lungo termine con HFC a prezzi concordati (EIA, 2016). Nella figura successiva è riportato l'andamento del prezzo (€/kg) del refrigerante R-404A, idrofluorocarburo con GWP pari a 3.922 molto utilizzato nel campo della refrigerazione, in relazione ai diversi livelli della catena di approvvigionamento di HFC (Gschrey B, 2017). Lo studio è stato condotto da Öko-Recherche³², istituto di ricerca e consulenza ambientale indipendente con sede a Francoforte, incaricato dalla Commissione Europea (Direzione Generale Clima) di effettuare un monitoraggio dell'andamento dei prezzi degli HFC in Europa a seguito dell'attuazione del Regolamento UE n. 517/2014. La catena di fornitura ha compreso: produttori e distributori di gas, 10 produttori europei di apparecchiature (OEM) e 35 società per la manutenzione e l'installazione provenienti da Italia, Francia, Germania e Spagna. Il primo sondaggio indicato con Q1 (2014-2016) è stato succeduto da 2 altri sondaggi Q2 e Q3, caratterizzati dall'ingresso nel campione esaminato di nuovi soggetti. Come si può osservare, il costo del refrigerante nel periodo 2014-2016 è aumentato con tassi di crescita diversi in funzione del livello della catena di distribuzione; il maggiore incremento dei prezzi grava sui distributori di gas, mentre i produttori di refrigeranti e di macchine che utilizzano tali gas e che costituiscono gli elementi iniziali della catena di fornitura registrano gli incrementi più bassi.

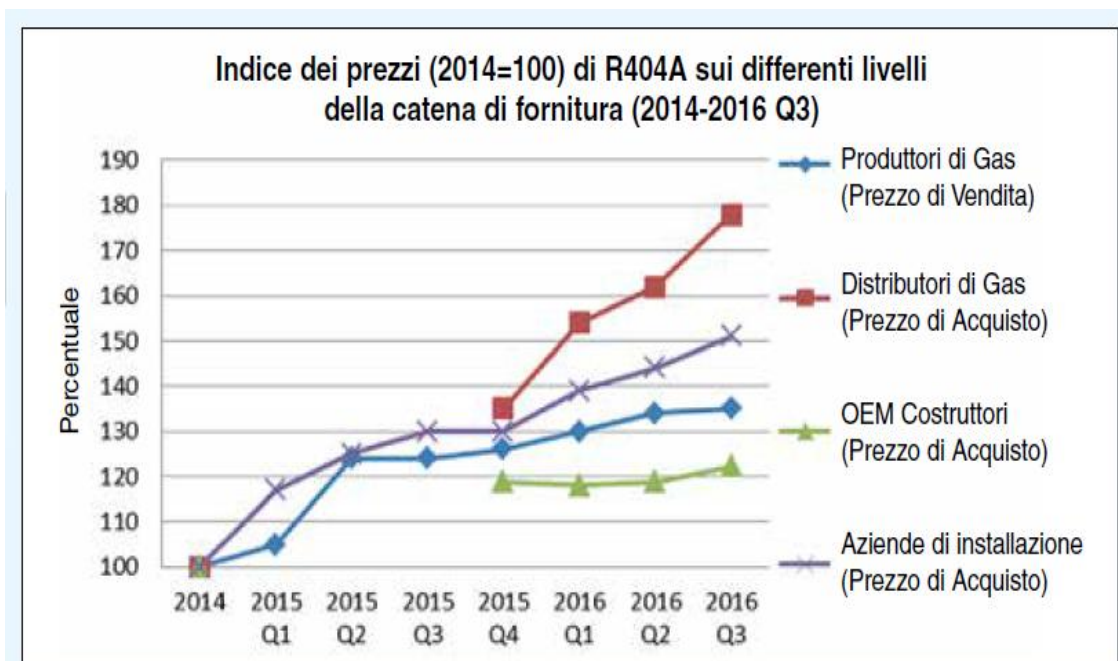


Figura 2.7 - Andamento del prezzo dell'R404A dal 2014 (Base=100%) al 2016 nei diversi livelli della catena di distribuzione (Fonte: Gschrey B, 2017)

La figura successiva mostra invece l'andamento del prezzo medio all'ingrosso (€/kg) dei refrigeranti sintetici più utilizzati (R-134a, R-404A, R-407C e R-410A) per diversi sondaggi. Si vede che il prezzo è aumentato

³²<http://www.oekorecherche.de/en>

per tutti i fluidi frigoriferi ad eccezione di quello dell'R-134a, che registra una diminuzione probabilmente imputabile alla variazione delle aziende che hanno preso parte al monitoraggio nel 2016 rispetto al 2015. Gli aumenti di prezzo sono mediamente maggiori per gli HFC con un potenziale di riscaldamento globale più elevato.

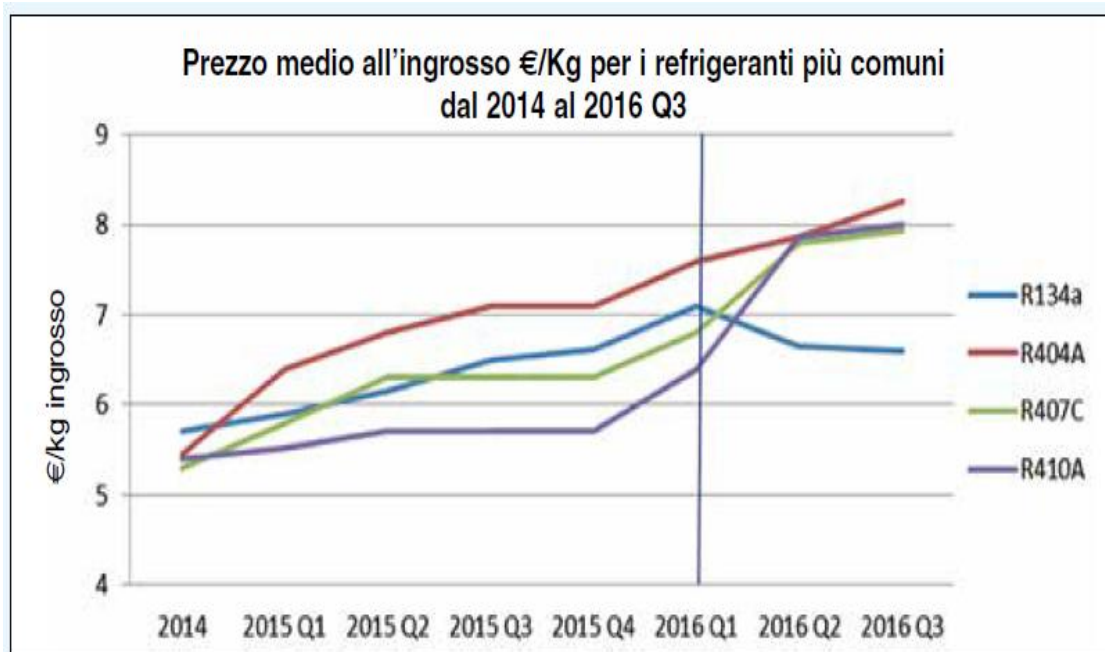


Figura 2.8 - Andamento del prezzo medio all'ingrosso dei principali refrigeranti dal 2014 (Base=100%) al 2016 – Q3 per le aziende di installazione (Fonte: Gschrey B, 2017)

2.2.5 Notizie dal mercato dei refrigeranti e delle materie prime: il 2017

Gli HFC come molti dei composti fluorurati presenti sul mercato sono prodotti di sintesi. La fabbricazione di questi prodotti poggia sulla disponibilità di acido fluoridrico che a sua volta dipende dalla disponibilità della materia prima: la fluorite. La fluorite è un minerale composto da fluoruro di calcio (CaF_2) e si calcola che da essa l'industria ricavi circa il 95% di tutti i composti fluorurati (nel 2014 circa il 67% di tutta la produzione di fluorite è stata consumata proprio per la produzione di acido fluoridrico). Sono almeno una ventina i paesi del mondo con giacimenti dai quali è possibile estrarre fluorite, ma la maggior parte della produzione mondiale di fluorite è concentrata nei seguenti (HIS, 2016):

- Cina (62% della produzione mondiale nel 2014)
- Mexico (18% della produzione mondiale)
- Mongolia (5%)
- Sud Africa (3%)

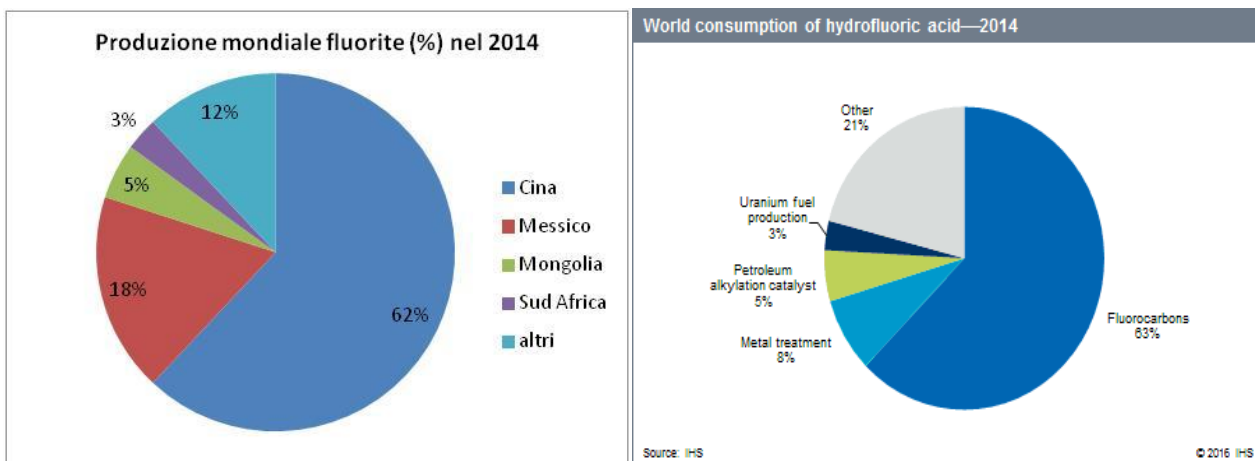


Figura 2.9 - Produzione di fluorite e consumo di acido fluoridrico nel mondo (Fonte: IHS, 2016)

La lista dei paesi menzionati è variata nel corso degli ultimi anni proprio a seguito dell'andamento del mercato e del comportamento degli attori (paesi produttori) principali sia in termini di quantità allocate sul mercato sia di definizione del prezzo della materia prima: il meccanismo di autoregolazione del mercato fa sì che la consistente riduzione della quantità di fluorite immessa sul mercato da parte di un grosso produttore possa rendere le circostanze più favorevoli per l'ingresso (o il ritorno) sul mercato di altri operatori di dimensioni/capacità produttiva inferiore; l'allocazione sul mercato di notevoli quantità di fluorite da parte dei principali produttori può costringere alcune attività estrattive a ridurre la produzione fino a interromperla ponendo le miniere in stato di conservazione e manutenzione.

Nell'ambito dell'Unione Europea la fluorite è inclusa nella lista delle cosiddette "materie prime critiche" dalla Commissione europea a causa della crescente importanza economica in termini di domanda e dell'elevato rischio legato alla scarsità dell'offerta.

I bollettini relativi al mercato della fluorite segnalano che all'inizio del 2017 la disponibilità sul mercato della fluorite cinese è calata e il prezzo è cresciuto. Queste circostanze sono state determinate dall'adozione di una nuova regolamentazione ambientale da parte del Governo Cinese che ha introdotto nuovi vincoli alle attività estrattive della fluorite e ai processi di produzione dell'acido fluoridrico. Dalla fine del 2016 gli sforzi del Governo Cinese volti a rafforzare la legislazione ambientale sono stati intensificati e ciò ha determinato l'inclusione nel campo di applicazione della normativa a tutela dell'ambiente e dei requisiti di sicurezza anche di prodotti chimici quali l'acido fluoridrico. Va però anche detto che negli ultimi anni la Cina aveva già iniziato a contrarre la quantità di fluorite disponibile per l'esportazione, introducendo tariffe sull'esportazione di questo minerale ed anche delle quote di esportazione e dirottando gran parte della quantità prodotta sulla domanda interna del Paese, soprattutto a favore dell'industria chimica (produzione di acido fluoridrico) e della fabbricazione dei prodotti fluorurati. Ciò ha determinato una sorta di record del picco del prezzo della fluorite cinese rimasto stabilmente alto per circa 4 anni.

Dal mese di febbraio 2017 il prezzo della fluorite è cresciuto di circa il 40% e ciò ha comportato aumenti fino al 60% in Cina del prezzo di R-22 e R-134a e fino al 130% di aumento del prezzo di HFC quali R-125 o fino al 160% del prezzo di R-32.

Nella UE alcuni dei principali distributori di gas fluorurati e produttori mondiali di refrigeranti hanno annunciato nei primi mesi del 2017 significativi aumenti dei prezzi, in vista del taglio del 37% in CO₂equiv del 2018; i rincari si sono succeduti nel corso dei mesi successivi sommandosi. Dal primo aprile 2017 per esempio alcuni distributori di refrigeranti hanno applicato rincari ai prezzi in UK secondo questo schema (Cooling Post, 2017):

- refrigeranti con GWP alto (>2500) rincari di circa il 30% (es. R-23, R-404A, R-507, R-422D, R-434A, R-428A, R-422A...)
- refrigeranti con GWP medio (1500-2500) rincari pari a circa il 20% (es. R-134A, R-407A, R-407C, R-410A, R-437A, R-442A....)

Ulteriori aumenti dei prezzi sono stati annunciati: Chemours, società leader nella produzione di refrigeranti, nel primo trimestre del 2017 ha aumentato il prezzo dell'R-404A del 62%. Tutti questi aumenti hanno portato a ritenere plausibili le stime che prevedono, per i prossimi anni, incrementi annuali del prezzo dell'R-404A di circa il 100%. Honeywell, uno dei principali produttori di refrigeranti al mondo, ha dichiarato di voler interrompere in Europa la fornitura di R-404A e R-507 dal 2018 dove i contratti lo consentiranno³³ e altri fornitori stanno avvertendo sulla probabilità che nel 2018 si potranno avere problemi di approvvigionamento di HFC. Honeywell ritiene che il drastico taglio delle quote da attuare al 2018 (-37%), produrrà inevitabilmente una accelerazione del processo di eliminazione degli idrofluorocarburi ad alto GWP con la necessità di convertire gli impianti a soluzioni a basso impatto ambientale per fronteggiare la scarsità di tali prodotti e rimanere in linea con le prescrizioni del Regolamento F-gas. (AssofrigoristiBlog, 2017)

Il prezzo degli HFC comunque varia molto a seconda di chi lo acquista. In linea generale i rivenditori on line offrono oggi l'R-404A a 100 €/kg ma questo prezzo è soggetto a sconti tanto più significativi quanto maggiori sono le quantità commercializzate. I grandi acquirenti pertanto possono acquistare l'R-404A per circa € 13,50 al kg a differenza dei rivenditori più piccoli che non riescono ad usufruire di tali sconti. L'aumento dei prezzi e il taglio degli approvvigionamenti si ritiene che colpirà quindi subito e soprattutto i piccoli retailers del mercato.

³³ Honeywell è il primo produttore ad aver annunciato la cessazione dell'approvvigionamento di HFC-

2.2.6 Costi e disponibilità dei refrigeranti in Italia

Riguardo alla situazione nazionale anche Assoclimate³⁴ ha denunciato la difficile reperibilità di alcuni HFC utilizzati per i climatizzatori e le pompe di calore e l'incredibile aumento dei prezzi: quattro rincari dall'inizio del 2017, che peraltro nel caso dell'R-410A e dell'HFC-134a sono maggiori rispetto ai rincari avvenuti in altri paesi europei (Francia e Spagna). A rischio, secondo gli addetti ai lavori, è lo sviluppo dell'intero mercato nazionale della climatizzazione e delle pompe di calore che a fronte della domanda crescente alla quale sono legati produzione, occupazione e investimenti, osserva invece una contrazione dell'offerta con la possibile mancanza di fornitura dei gas refrigeranti a sostegno della produzione. La transizione agli HFC con GWP più basso o ai refrigeranti naturali implica valutazioni a carico di tutta la filiera: sistema produttivo, stoccaggio, trasporto, installazione, manutenzione (Assoclimate, 2017). Anche altri settori che utilizzano HFC hanno denunciato la diminuzione della disponibilità di questi gas; nel campo delle schiume poliuretaniche ad esempio, dove gli HFC sono utilizzati come agenti espandenti, gli esperti del settore ritengono possibile la scomparsa dal mercato di espandenti a base di idrofluorocarburi già dal 2018 (paragrafo 7.4).

Le attuali condizioni di mercato, con i rincari dei prezzi della fluorite e dei refrigeranti, stanno quindi determinando uno scollamento tra approvvigionamento e sistema produttivo, oltre a indurre una accelerazione nella transizione del sistema produttivo all'uso di HFC con GWP medio bassi e alla ricerca di alternative agli HFC.

2.2.7 Costo delle tecnologie che utilizzano refrigeranti alternativi agli HFC

I refrigeranti naturali hanno generalmente un prezzo inferiore a quello degli HFC. Sono infatti sostanze ampiamente disponibili, basti pensare che la CO₂ utilizzata come refrigerante è un sottoprodotto di processi industriali. Le HFO sono invece refrigeranti sintetici di ultima generazione; il loro costo è maggiore di quello dei refrigeranti naturali e al momento ancora superiore a quello di altri refrigeranti sintetici ma tenderà a ridursi nel tempo. Per tutti questi refrigeranti alternativi sono soprattutto gli accorgimenti tecnologici da adottare per garantire adeguati livelli di sicurezza degli impianti e mantenere buoni i livelli di efficienza, a incidere in maniera significativa sulla possibilità o meno del loro utilizzo. Il successo nel mercato di una tecnologia a refrigeranti naturali è quindi fortemente condizionato dal suo costo; l'aspetto economico risulta determinante soprattutto tra gli acquirenti di piccole e medie dimensioni che, nelle loro scelte, tendono a prediligere le tecnologie meno costose. Spesso il costo iniziale delle apparecchiature a refrigeranti naturali è maggiore del costo delle tecnologie standard a HFC tuttavia, se si considera l'intero ciclo di vita di una apparecchiatura, aspetti quali la migliore efficienza energetica o i ridotti interventi di manutenzione (la manutenzione degli impianti a HFC è più impegnativa anche a seguito delle prescrizioni del regolamento F-gas), possono compensare i maggiori investimenti iniziali richiesti dai refrigeranti naturali. Inoltre, l'aumento della domanda da un lato e dei volumi di produzione dall'altro, contribuiscono al calo progressivo del costo delle tecnologie (Shecco, 2016). Nei settori dove le tecnologie alternative hanno raggiunto la maturazione e un adeguato livello di diffusione, il divario di costo si è pertanto ridotto. Questo vale per esempio per le tecnologie a idrocarburi nella refrigerazione domestica o per quelle ad ammoniaca nella refrigerazione industriale, ma anche nella refrigerazione commerciale le tecnologie a refrigeranti naturali stanno registrando una diminuzione dei prezzi, al punto che in alcuni casi si può parlare di pareggio in termini economici. Il costo dei compressori a CO₂, ad esempio, è sceso al di sotto del costo di compressori HFC equivalenti grazie ai progressi in ricerca e sviluppo. Secondo l'indagine di Shecco del 2016, nella refrigerazione commerciale il calo dei prezzi delle apparecchiature è ormai assodato; il costo di installazione è ancora mediamente superiore e, a seconda del mercato e della tecnologia, tale maggiorazione può arrivare al 5-10% (Shecco, 2016). La tecnologia a CO₂ transcritica con compressione parallela ed eiettori, sviluppata per consentire l'utilizzo della CO₂ nella refrigerazione abbattendo gli ostacoli che ne limitano la diffusione, di cui si parlerà nei paragrafi successivi, è ad oggi più costosa di quella tradizionale; si ritiene però che questo sovracosto, pari a circa il 10%, diminuirà nei prossimi anni.

Il grafico sottostante riporta l'andamento dei costi delle apparecchiature a CO₂ e dell'efficienza energetica, registrati per il settore della refrigerazione commerciale da Advansor, una società specializzata nella fornitura di tecnologie di questo tipo per il mercato europeo. Si osserva un aumento della efficienza energetica del 25% nel periodo 2008-2016 e una contemporanea diminuzione dei costi delle attrezzature del 35% (Shecco, 2016).

³⁴Associazione dei costruttori di Sistemi di Climatizzazione.

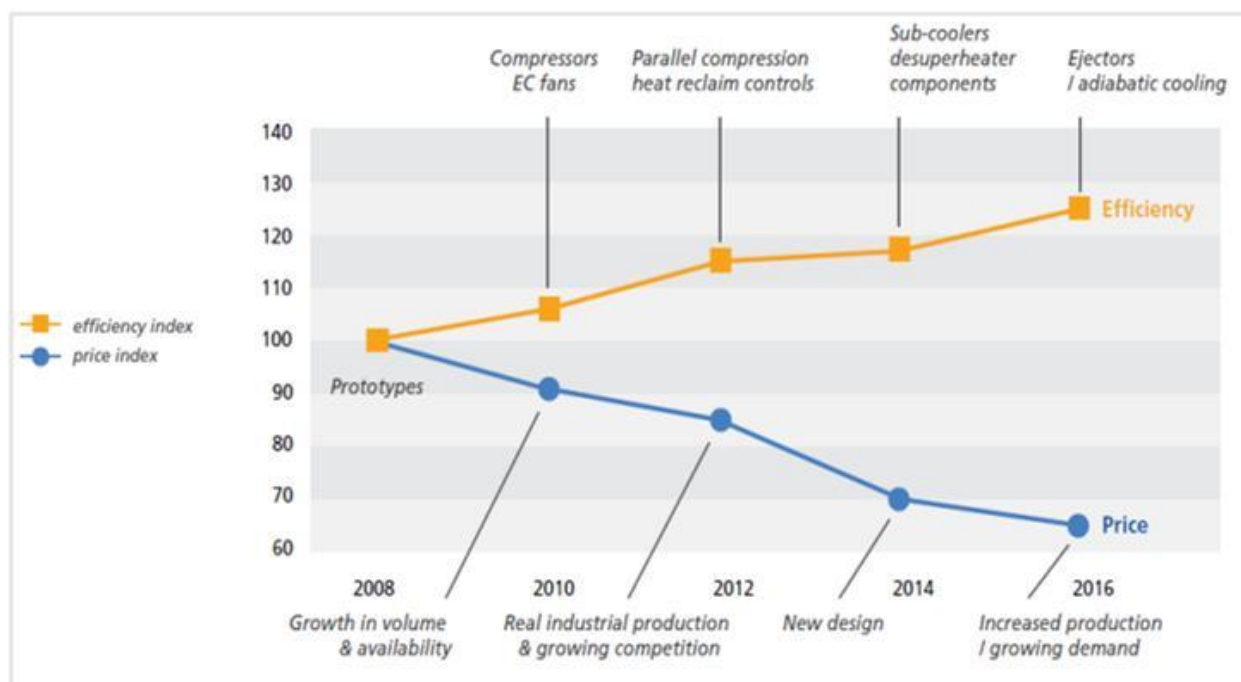


Figura 2.10 - Andamento dei prezzi delle tecnologie a CO₂ e dell'efficienza energetica per il settore della refrigerazione commerciale secondo Advansor (Fonte: Shecco, 2016)

Ulteriori informazioni sui costi delle alternative sono contenute in un recente documento prodotto da OKO Rechercke, incaricato dalla Commissione Europea di fornire un quadro sullo stato della disponibilità di alternative nella refrigerazione commerciale in Europa (OKO Rechercke, 2016). L'indagine del 2016 ha visto il coinvolgimento, attraverso un questionario, di 143 organizzazioni nel settore della refrigerazione commerciale con ampio spazio dato ai produttori, alle società di servizi e agli operatori del sud Europa. In merito agli aspetti economici, un terzo degli intervistati ha dichiarato che le nuove tecnologie e i nuovi sistemi, quali quelli centralizzati a CO₂ transcritica e le unità stand alone che non utilizzano HFC, sono soluzioni oramai competitive nei medi e grandi supermercati (<100 kw), mentre più della metà ritiene che la CO₂ transcritica abbia raggiunto livelli competitivi anche negli ipermercati (>100 kw). In generale tale tecnologia e i sistemi stand alone sono ritenuti già competitivi, così come i sistemi centralizzati indiretti, specialmente in climi caldi e in particolare, per i grandi magazzini e ipermercati, i sistemi a CO₂ a cascata e i sistemi a CO₂ pompata. Si ritiene inoltre che riduzioni progressive dei costi e miglioramenti dell'efficienza energetica progrediranno fino al 2022. Nelle figura sottostante è riportato l'andamento percentuale dei costi di investimento e dei consumi medi di energia rispetto al 2000, nei sistemi di refrigerazione relativi ai cabinet installati in Svizzera. La diminuzione dei costi va di pari passo con quella dei consumi energetici delle nuove apparecchiature. Per i grandi supermercati e ipermercati la tecnologia a CO₂ transcritica è ritenuta quella più efficiente dal 21% degli intervistati, ritenendo possibili risparmi energetici dal 7 al 30% rispetto alle tecnologie tradizionali e riscuotendo consensi trasversali non legati agli interessi del singolo intervistato come produttore o meno di tali apparecchiature. In generale, anche per le unità stand alone per i medi e grandi supermercati (21% di tutti gli intervistati) e per la CO₂ transcritica per i supermercati medio/grandi, gli esiti del sondaggio fanno parlare di risparmi energetici rispetto alle apparecchiature a HFC. Un numero di intervistati ha invece affermato che i sistemi a HFC forniscono ancora oggi la più alta efficienza energetica

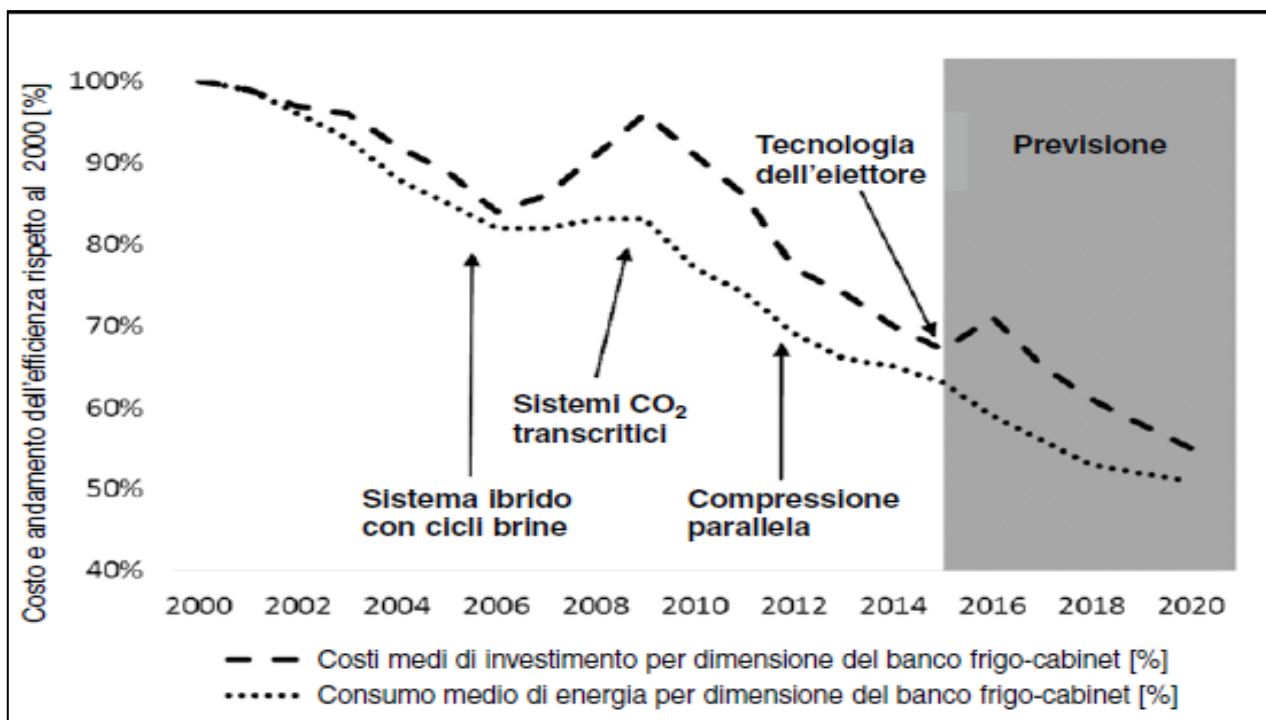


Figura 2.11 - Andamento dei prezzi e del consumo medio di energia nei sistemi di refrigerazione commerciale a CO₂ transcritico nel mercato svizzero (Fonte: OKO Recherche, 2016)

Nell'ambito dell'indagine di OKO Recherche è stato chiesto agli intervistati di individuare i principali ostacoli nella diffusione delle tecnologie alternative free HFC. I costi di investimento iniziali sono ritenuti il primo scoglio dal 22% dei soggetti consultati, seguito dalla severità degli standard di sicurezza, dai cali di efficienza nei climi caldi e dalla mancanza di formazione nella manipolazione di sostanze tossiche, infiammabili o a elevate pressioni (21% degli intervistati). Problemi di sicurezza, di disponibilità di materie prime e di complessità impiantistica dei sistemi a CO₂ transcritici centralizzati sono altri aspetti critici emersi dall'intervista anche se una parte ha dichiarato l'assenza di ostacoli tecnologici.

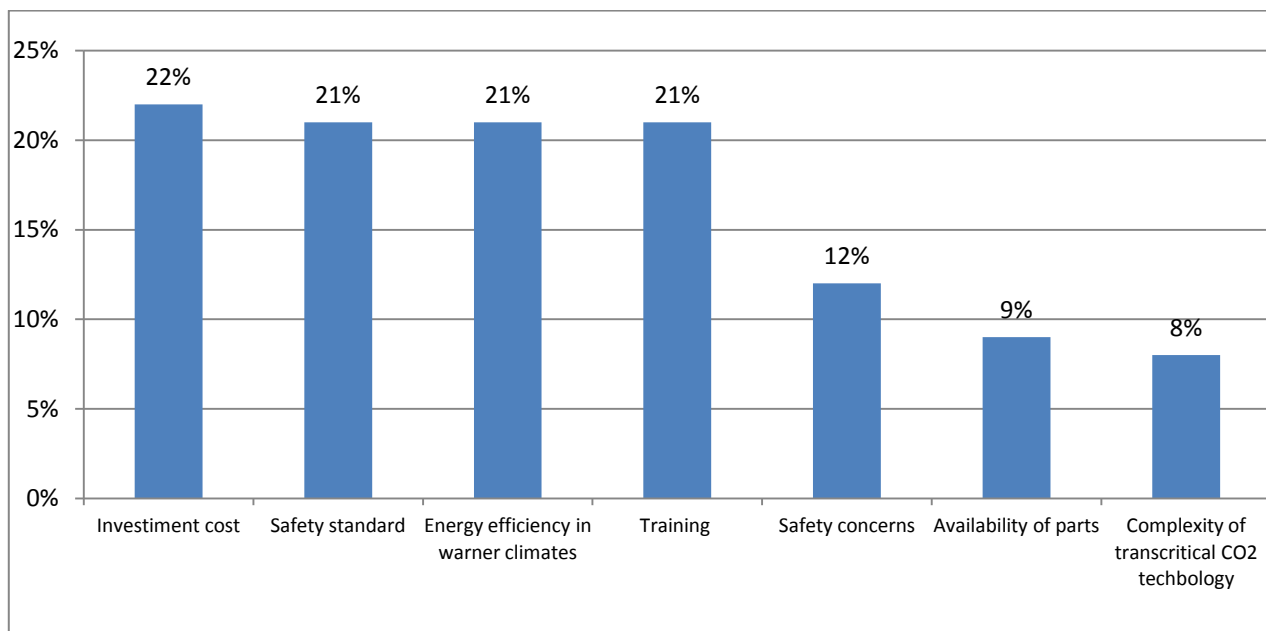


Figura 2.12 – Principali ostacoli alla diffusione delle tecnologie che usano refrigeranti alternativi agli HFC secondo i soggetti intervistati (scelte multiple possibili) (Fonte: OKO Recherche, 2016)

Nelle tabelle successive sono riportate le stime dell'EIA (EIA,2012a, EIA,2012b, EIA, 2012c, EIA, 2012d) in merito al risparmio economico, valutato sull'intero ciclo di vita delle apparecchiature che utilizzano refrigeranti alternativi, rispetto alle apparecchiature tradizionali dal punto di vista dell'utente finale. Secondo

queste stime i risparmi economici sono una realtà sia nella refrigerazione domestica che in quella industriale, mentre nella refrigerazione commerciale alcune apparecchiature risultano più costose. Anche con gli impianti di condizionamento ci si può aspettare un risparmio economico nel passaggio alle alternative free HFC se si considera l'intero ciclo di vita dell'apparecchiatura. Dalle tabelle successive, emerge come sia la CO₂ il refrigerante a risultare meno conveniente rispetto sia agli HFC che alle altre alternative naturali, in quanto anche considerando l'intero ciclo di vita delle apparecchiature i costi complessivi risultano essere maggiori. Nelle tabelle in grassetto nero sono indicati i refrigeranti sintetici HFC messi a confronto con i refrigeranti naturali (isobutano, ammoniaca, idrocarburi HC, CO₂ e propano). Pur considerando il fattore positivo dei rientri in termini economici nell'arco della intera vita di una apparecchiatura, permane tuttavia il problema della sostenibilità dei maggiori costi di investimento iniziali per passare alle alternative da parte delle aziende. Questo è un problema che riguarda soprattutto le piccole e medie imprese le quali non hanno spesso a disposizione ingenti capitali da poter investire. Politiche specifiche da parte degli Stati come sistemi per ridurre i costi iniziali e schemi di tassazione sugli HFC sono ritenute misure capaci di facilitare il passaggio alle alternative (EIA, 2012d). L'analisi dell'EIA risale al 2012 ma negli anni successivi il mercato degli HFC e delle apparecchiature che utilizzano tali gas ha subito comunque cambiamenti: lo sviluppo di nuovi sistemi e componenti specifici per l'utilizzo di refrigeranti alternativi, l'aumento esponenziale dei prezzi degli HFC insieme alla crescita della domanda di alternative stanno di fatto rendendo sempre meno convenienti i sistemi tradizionali basati sugli idrofluorocarburi rispetto a quelli a refrigeranti alternativi.

Tabella 2.5 - Refrigerazione domestica: costi per gli utenti finali di apparecchiature basate sull'uso degli HFC e di soluzioni che utilizzano refrigeranti alternativi (Fonte: EIA, 2012)

	Refrigerant	Upfront Costs	Annual Costs	Lifetime Costs	Cost Differential
Refrigerator & Freezer	HFC-134a	€ 401.20	€ 35.38	€ 931.90	---
	Isobutane	€ 408.30	€ 34.75	€ 929.55	-€ 2.35

Tabella 2.6 - Refrigerazione industriale: costi per gli utenti finali di apparecchiature basate sull'uso degli HFC e di soluzioni che utilizzano refrigeranti alternativi (Fonte: EIA, 2012c)

	Refrigerant	Upfront Costs	Annual Costs	Lifetime Costs	Cost Differential
Small Unit	HFC-404a	€ 434,750	€ 70,983	€ 2,564,249	---
	Ammonia	€ 621,418	€ 60,035	€ 2,422,468	-€ 141,781
Large Unit	HFC-404a	€ 6,060,000	€ 1,264,843	€ 44,005,299	---
	Ammonia	€ 8,972,000	€ 1,073,800	€ 41,186,000	-€ 2,819,299

Tabella 2.7 - Refrigerazione commerciale: costi per gli utenti finali di apparecchiature basate sull'uso degli HFC e di soluzioni che utilizzano refrigeranti alternativi (Fonte: EIA, 2012b)

	Refrigerant	Upfront Costs	Annual Costs	Lifetime Costs	Cost Differential
Stand-Alone Systems	HFC-134a	€ 1,004	€ 254	€ 3,549	---
	Isobutane/Propane	€ 1,101	€ 240	€ 3,507	- € 41
	CO ₂	€ 1,201	€ 240	€ 3,608	+ € 59
Condensing Units	HFC-134a	€ 8,120	€ 3,233	€ 56,618	---
	Propane	€ 9,620	€ 2,976	€ 54,260	- € 2,357
	CO ₂	€ 10,292	€ 3,027	€ 55,700	- € 917
	Propane + Liquid	€ 12,008	€ 3,066	€ 58,010	+ € 1,392
Centralized Systems	HFC-404a	€ 323,450	€ 25,440	€ 628,732	---
	HC + CO ₂ + Liquid	€ 371,315	€ 24,545	€ 665,858	+ € 37,125
	HC + CO ₂ + Cascade	€ 368,288	€ 22,731	€ 641,066	+ € 12,334
	CO ₂	€ 384,920	€ 23,326	€ 664,836	+ € 36,104

Tabella 2.8 - Condizionamento: costi per gli utenti finali di apparecchiature basate sull'uso degli HFC e di soluzioni che utilizzano refrigeranti alternativi (Fonte: EIA, 2012d)

	Refrigerant	Upfront Costs	Annual Costs	Lifetime Costs	Cost Differential
Moveable Systems	HFC-410a	€ 311	€ 142	€ 1,733	---
	Propane	€ 301	€ 140	€ 1,698	- € 35
	CO ₂	€ 365	€ 140	€ 1,762	+ € 29
Split Systems	HFC-410a	€ 773	€ 216	€ 2,934	---
	Propane	€ 743	€ 210	€ 2,845	- € 89
	CO ₂	€ 947	€ 210	€ 3,050	+ € 116
Multi-Split & VRF Systems	HFC-410a	€ 9,703	€ 3,557	€ 55,939	---
	Propane	€ 11,980	€ 3,361	€ 55,670	- € 269
	CO ₂	€ 10,884	€ 3,431	€ 55,486	- € 452
Rooftop Systems	HFC-410a	€ 10,158	€ 6,471	€ 74,872	---
	Propane	€ 11,608	€ 6,300	€ 74,612	- € 260
	CO ₂	€ 11,342	€ 6,339	€ 74,733	- € 138
Displacement Chillers	HFC-407c	€ 22,750	€ 10,024	€ 143,032	---
	Propane	€ 23,225	€ 9,805	€ 140,885	- € 2,147
	Ammonia	€ 30,482	€ 9,119	€ 139,912	- € 3,120
	CO ₂	€ 28,580	€ 9,858	€ 146,876	+ € 3,844
Centrifugal Chillers	HFC-134a	€ 146,300	€ 141,735	€ 3,689,678	---
	Propane	€ 148,575	€ 140,763	€ 3,667,650	- € 22,028
	Water Vapor	€ 166,602	€ 140,840	€ 3,687,612	- € 2,066
Heat Pumps	HFC-410a	€ 7,036	€ 1,844	€ 34,699	---
	Propane	€ 7,356	€ 1,840	€ 34,953	+ € 254
	CO ₂	€ 7,850	€ 1,840	€ 35,449	+ € 750
	Isobutane	€ 7,496	€ 1,840	€ 35,093	+ € 394

3 LE SOSTANZE ALTERNATIVE AGLI HFC

3.1 Fattori da considerare nella selezione dei refrigeranti

La scelta di un refrigerante è il 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 (si parla 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. Ovviamente l'entità e la tipologia di intervento peseranno sul costo complessivo della sostituzione del refrigerante e quindi sulla reale praticabilità di tale sostituzione. Inoltre l'emanazione di norme e standard sempre più severi in materia di sicurezza e di efficienza energetica dei sistemi e l'attenzione crescente all'impatto climatico globale di una apparecchiatura, considerando il suo intero ciclo di vita, rendono ancora più complessa la fase di scelta del refrigerante. Le norme sull'efficienza energetica sono infatti in continuo aggiornamento e analogamente i requisiti in materia di tossicità e infiammabilità dei refrigeranti, previsti dagli standard di sicurezza ASHRAE e ISO, per cui è necessario, di volta in volta, adeguare la selezione delle alternative alle nuove condizioni che si vengono a delineare. Di fatto se un refrigerante ha un ridotto potere climalterante, ossia un GWP molto basso, ma è meno efficiente del fluido da sostituire, il maggiore consumo energetico del sistema potrebbe annullare i benefici derivanti da un riduzione dell'effetto serra diretto (GWP). Infine anche le dinamiche di mercato esterne, come abbiamo già visto nei paragrafi precedenti, possono avere un ruolo nella scelta del refrigerante. Rimane il fatto che non esiste un refrigerante universale idoneo per tutte le applicazioni.

3.1.1 Impatto climatico

Gli HFC sono potenti gas serra, ossia contribuiscono con la loro presenza in atmosfera all'innalzamento della temperatura media del pianeta. Il riscaldamento globale è determinato da diversi fattori dei quali il GWP costituisce soltanto una parte. L'impatto climatico è infatti il risultato della combinazione di un contributo diretto e di un contributo indiretto (Carel, 2016; UNEP, March 2016). Il *contributo diretto* è causato dalle perdite del refrigerante durante l'intero ciclo di lavoro dell'apparecchiatura e quindi può dipendere da una perdita, dall'uso, dallo smaltimento ma anche da una fuoriuscita del refrigerante a causa di un incidente. Il *contributo indiretto* è invece causato dalle emissioni in atmosfera di CO₂ equivalente generate dal consumo di combustibili fossili per la produzione di energia elettrica, necessaria all'apparecchiatura per il suo funzionamento. Pertanto il *contributo indiretto* è funzione del fattore di emissione della produzione di elettricità, delle caratteristiche operative della macchina oltre che del tipo di combustibile utilizzato. La somma del contributo diretto e di quello indiretto rappresenta l'impatto climatico globale di un refrigerante durante l'intero ciclo di vita di una macchina ed è noto come TEWI (*Total Equivalent Warning Impact*). Il TEWI è misurato in kg di CO₂eq ed è calcolato secondo la seguente formula (Carel, 2016):

$$\text{TEWI} = \underbrace{\text{GWP} * L * n}_{\text{Contributo diretto}} + \underbrace{\text{GWP} * m * (1-\alpha) + n * E * \beta}_{\text{Contributo indiretto}}$$

dove:

GWP = GWP del refrigerante (CO₂ eq) [kg CO₂/kg refrigerante]

L = tasso di perdita annuo [kg/a]

n = tempo di vita del sistema [anni]

m = carica del refrigerante [kg]

α = percentuale di riciclo del refrigerante [%]

E = consumo di energia annua [kWh/a]

β = emissione di CO₂ per quantità di energia prodotta [kg CO₂/kWh] (funzione del Paese e del tipo di fonte energetica).

Il GWP quindi concorre come contributo diretto al riscaldamento globale e la selezione di un refrigerante con basso GWP, così come la riduzione del tasso di perdita L di un sistema, rappresentano *misure dirette* nella lotta al cambiamento climatico. Interventi volti a migliorare le prestazioni energetiche di un sistema rappresentano invece *misure indirette*. Il peso dell'efficienza termodinamica dell'apparecchiatura sul computo del TEWI, diventa preponderante in un sistema che si caratterizza per basso GWP del fluido frigorifero, basse perdite e ridotta carica del fluido. Il rapporto tra contributo diretto e indiretto del TEWI dipenderà dal tipo di sistema/apparecchiatura utilizzato; in quei sistemi in cui il tasso di perdita del refrigerante ha un ruolo rilevante (ad esempio nel condizionamento dei veicoli) il contributo diretto assume un peso maggiore rispetto ai sistemi ermeticamente sigillati, dove le perdite del refrigerante sono ridotte al minimo e principalmente legate alla fase di fine vita delle apparecchiature.

Quale indicatore prendere in considerazione per la valutazione dell'impatto climatico di un apparecchiatura è un argomento ancora aperto. La normativa attualmente vigente e i documenti tecnici di riferimento a livello internazionale infatti si basano ad oggi su valutazioni riferite principalmente ai valori del GWP dei refrigeranti, piuttosto che al TEWI. Al momento il TEAP³⁵ non sembra infatti fornire indicazioni specifiche sul parametro da utilizzare nella fase di progettazione delle apparecchiature. Sulle alternative dei refrigeranti valutate in funzione non solo del GWP, ma anche del TEWI o dell'LCCP (Life cycle climate performance), altro indicatore che indica l'efficienza climatica del ciclo di vita di una apparecchiatura, è presente un'ampia letteratura (Riva M., Flohr C F. Meurer; Maykot R. Weber G. C., Maciel R.A., 2004; Riva M., Felix F., Meurer C., 2006; Makhnatcha P., Khodabandeha R., 2014).

Di seguito si riportano i valori del GWP degli HFC allo stato puro (non in miscela). Tali valori sono regolarmente aggiornati dal Gruppo Intergovernativo di esperti sui cambiamenti climatici (IPCC), principale organismo internazionale per la valutazione del fenomeno del climate change e che periodicamente studia e analizza le più recenti informazioni scientifiche, tecniche e socio-economiche prodotte a livello mondiale sull'argomento. L'ultimo aggiornamento dei valori del GWP dei refrigeranti è contenuto nel Quinto Rapporto di Valutazione dell'IPCC (AR5) ed è riportato nella tabella sottostante.

³⁵Il Teap è l'organo consultivo del Protocollo di Montreal avente tra le finalità, quello di fornire, su richiesta delle Parti, informazioni tecniche relative alle tecnologie alternative studiate e impiegate per rendere possibile eliminare l'uso delle sostanze dannose per l'ozono. Il Teap report, rappresenta quindi il documento tecnico di riferimento alla base del processo decisionale internazionale.

Tabella 3.1 - GWP di alcuni dei principali HFC secondo il Quinto Rapporto di Valutazione dell'IPCC (AR5) (Fonte: Bréon F.M. et al., 2013)

Acronym, Common Name or Chemical Name	Chemical Formula	Lifetime (Years)	Radiative Efficiency (W m ⁻² ppb ⁻¹)	AGWP 20-year (W m ⁻² yr kg ⁻¹)	GWP 20-year	AGWP 100-year (W m ⁻² yr kg ⁻¹)	GWP 100-year
Hydrofluorocarbons							
HFC-23	CHF ₃	222.0	0.18	2.70e-10	10,800	1.14e-09	12,400
HFC-32	CH ₂ F ₂	5.2	0.11	6.07e-11	2430	6.21e-11	677
HFC-41	CH ₃ F	2.8	0.02	1.07e-11	427	1.07e-11	116
HFC-125	CHF ₂ CF ₃	28.2	0.23	1.52e-10	6090	2.91e-10	3170
HFC-134	CHF ₂ CHF ₂	9.7	0.19	8.93e-11	3580	1.02e-10	1120
HFC-134a	CH ₂ FCF ₂	13.4	0.16	9.26e-11	3710	1.19e-10	1300
HFC-143	CH ₃ FCHF ₂	3.5	0.13	3.00e-11	1200	3.01e-11	328
HFC-143a	CH ₃ CF ₃	47.1	0.16	1.73e-10	6940	4.41e-10	4800
HFC-152	CH ₂ FCH ₂ F	0.4	0.04	1.51e-12	60	1.51e-12	16
HFC-152a	CH ₃ CHF ₂	1.5	0.10	1.26e-11	506	1.26e-11	138
HFC-161	CH ₃ CH ₂ F	66.0 days	0.02	3.33e-13	13	3.33e-13	4
HFC-227ca	CF ₃ CF ₂ CHF ₂	28.2	0.27	1.27e-10	5080	2.42e-10	2640
HFC-227ea	CF ₃ CHF ₂ CF ₂	38.9	0.26	1.34e-10	5360	3.07e-10	3350
HFC-236cb	CH ₂ FCF ₂ CF ₂	13.1	0.23	8.67e-11	3480	1.11e-10	1210
HFC-236ea	CHF ₂ CHF ₂ CF ₂	11.0	0.30 ^a	1.03e-10	4110	1.22e-10	1330
HFC-236fa	CF ₃ CH ₂ CF ₃	242.0	0.24	1.73e-10	6940	7.39e-10	8060
HFC-245ca	CH ₂ FCF ₂ CHF ₂	6.5	0.24 ^a	6.26e-11	2510	6.56e-11	716
HFC-245cb	CF ₃ CF ₂ CH ₃	47.1	0.24	1.67e-10	6680	4.24e-10	4620
HFC-245ea	CHF ₂ CHF ₂ CHF ₂	3.2	0.16 ^a	2.15e-11	863	2.16e-11	235
HFC-245eb	CH ₂ FCH ₂ CF ₂	3.1	0.20 ^a	2.66e-11	1070	2.66e-11	290
HFC-245fa	CHF ₂ CH ₂ CF ₃	7.7	0.24	7.29e-11	2920	7.87e-11	858
HFC-263fb	CH ₃ CH ₂ CF ₃	1.2	0.10 ^a	6.93e-12	278	6.93e-12	76
HFC-272ca	CH ₃ CF ₂ CH ₃	2.6	0.07	1.32e-11	530	1.32e-11	144
HFC-329p	CHF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₃	28.4	0.31	1.13e-10	4510	2.16e-10	2360
HFC-365mfc	CH ₃ CF ₂ CH ₂ CF ₃	8.7	0.22	6.64e-11	2660	7.38e-11	804
HFC-43-10mae	CF ₃ CHF ₂ CF ₂ CF ₃	16.1	0.42 ^a	1.08e-10	4310	1.51e-10	1650
HFC-1132a	CH ₂ =CF ₂	4.0 days	0.004 ^a	3.87e-15	<1	3.87e-15	<1
HFC-1141	CH ₂ =CHF	2.1 days	0.002 ^a	1.54e-15	<1	1.54e-15	<1
(Z)-HFC-1225ye	CF ₂ CF=CHF(Z)	8.5 days	0.02	2.14e-14	<1	2.14e-14	<1
(E)-HFC-1225ye	CF ₂ CF=CHF(E)	4.9 days	0.01	7.25e-15	<1	7.25e-15	<1
(Z)-HFC-1234ze	CF ₃ CH=CHF(Z)	10.0 days	0.02	2.61e-14	1	2.61e-14	<1
HFC-1234yf	CF ₃ CF=CH ₂	10.5 days	0.02	3.22e-14	1	3.22e-14	<1
(E)-HFC-1234ze	trans-CF ₃ CH=CHF	16.4 days	0.04	8.74e-14	4	8.74e-14	<1
(Z)-HFC-1336	CF ₃ CH=CHCF ₃ (Z)	22.0 days	0.07 ^a	1.54e-13	6	1.54e-13	2

Dalla combinazione delle sostanze pure riportate in tabella si ottengono diversi altri refrigeranti sintetici le cui caratteristiche, compreso il valore del GWP, dipendono da quelle delle sostanze che li compongono e dal peso percentuale di ciascuna sostanza rispetto alle altre presenti nella miscela. Nella tabella successiva si riporta il valore del GWP di alcune delle miscele a base di HFC maggiormente utilizzate.

Tabella 3.2 - GWP di alcune miscele a base di HFC secondo il Quinto Rapporto di Valutazione dell'IPCC (AR5) (Fonte: UNEP, September 2016)

MISCELE DI REFRIGERANTI HFC	GWP (100-anni) IPCC AR5
R-404A	3.900
R-507A	4.000
R-407C	1.600
R-410A	1.900
R-407A	1.900
R-407F	1.700

3.1.1.1 Criticità e punti di vista delle aziende italiane

I produttori di refrigeranti propongono ogni anno sul mercato nuove sostanze a basso GWP (R448A, R449A, R449B...), ma la loro applicabilità ai sistemi convenzionali non è sempre possibile, soprattutto volendo mantenere le stesse performance e gli stessi livelli di costo dei sistemi tradizionali. Dall'altro lato i progettisti degli impianti si trovano nella situazione di dover ogni volta confrontare le loro apparecchiature con le nuove sostanze immesse nel mercato e prevedere interventi sulle macchine, poiché molte delle nuove sostanze non consentono una semplice sostituzione del refrigerante (drop in). E' quello che sostengono le associazioni di categoria e gli stakeholder dei settori del condizionamento e della refrigerazione, contattati nell'ambito delle attività di predisposizione del presente lavoro; tutte le sostanze che hanno un GWP inferiore a 150 necessitano di interventi sulle apparecchiature, trattandosi spesso di fluidi infiammabili, tossici o con alte pressioni di lavoro, interventi in alcuni casi gravosi e non sempre sostenibili in un mercato dei refrigeranti che si mostra incerto e in continua evoluzione. Inoltre, la tendenza delle aziende italiane, impegnate nella progettazione e nella costruzione di impianti e componenti, è di utilizzare nella fase di progetto sia il GWP del refrigerante che il TEWI, poiché si ritiene che il Global Warming Potential da solo, non possa costituire un indice sufficientemente rappresentativo dell'impatto climatico di un'apparecchiatura, strettamente dipendente anche dalla tecnologia. Nell'ottica della riduzione dell'impatto ambientale delle apparecchiature, la scelta di tecnologie efficienti, capaci di ridurre le emissioni dei gas refrigeranti ma anche della CO₂ generata dal consumo di combustibili fossili, diventa pertanto importante quanto la scelta di refrigeranti a basso GWP. Da quanto esposto è evidente quanto sia importante capire il ruolo e il peso che il TEWI ha, o potrà avere in futuro, nell'ambito delle politiche finalizzate alla riduzione dell'impatto climatico e dell'attuazione del Protocollo di Montreal, poiché tale indicatore, basato anche sugli aspetti prestazionali delle tecnologie, pesa direttamente sui settori della progettazione degli impianti e componenti che utilizzano i refrigeranti o le alternative proposte.

3.1.2 Efficienza energetica

L'efficienza energetica di un sistema dipende da diversi fattori: dalla scelta del refrigerante, dalla configurazione del sistema, dall'efficienza dei componenti, dalle condizioni operative ecc. La presenza di così tante variabili rende molto complesso definire l'efficienza energetica associata a un refrigerante (UNEP, September 2016); un refrigerante ottimo dal punto di vista del suo impatto climatico in termini di GWP, può non essere idoneo dal punto di vista delle prestazioni richieste a una determinata apparecchiatura a causa, ad esempio, dei cali di efficienza legati al suo impiego.

Come vedremo nei capitoli successivi, standard e norme impongono vincoli e prescrizioni nella fase di progettazione o produzione di apparecchiature e componenti, nella fase di installazione ma anche durante il funzionamento, la manutenzione e lo smantellamento. Queste prescrizioni possono non essere compatibili con l'uso di una particolare tecnologia alternativa, andando pertanto a limitare in maniera significativa la possibilità del suo utilizzo. La maggior parte delle disposizioni non riguarda direttamente un refrigerante o agente espandente, ma concerne aspetti generali di sicurezza (CE, 2016). Standard, codici e legislazione dovrebbero essere adeguati ai progressi tecnologici che via via vengono proposti, nel rispetto comunque delle condizioni di sicurezza.

3.1.3 Tossicità, infiammabilità, corrosività

La tossicità e l'infiammabilità sono i due fattori più importanti da cui dipendono le caratteristiche di sicurezza di un refrigerante (UNEP, September 2016). Lo standard ASHRAE 34 (e l'equivalente standard internazionale ISO 817) definisce 8 classi in base alle tossicità e infiammabilità del refrigerante. Le lettere A e B indicano la tossicità della sostanza (A bassa tossicità cronica e B alta tossicità cronica³⁶) mentre i suffissi 1, 2, 2L e 3 indicano il livello di infiammabilità³⁷: 1 per un fluido non infiammabile, 2L e 2 per un fluido poco infiammabile e infiammabile e 3 per un fluido altamente infiammabile.

³⁶ Classe A = per refrigeranti che non risultano tossici a concentrazioni inferiori o uguali a 400 ppm; Classe B = per refrigeranti con effetti tossici a concentrazioni inferiori a 400 ppm (UNEP, September 2016)

³⁷ 1=no propagazione di fiamma in aria alla temperatura di 60 °C e a pressione atmosferica; 2L: moderatamente infiammabile con velocità di combustione non superiore a 10 cm/s e un calore di combustione inferiore a 19000 kJ/kg, non infiammabile al di sotto del 3,5% della concentrazione volumetrica; 2: infiammabile, energia di combustione inferiore a 19 MJ/kg e non infiammabile al di sotto del 3,5% di concentrazione volumetrica; 3: maggiore infiammabilità. (UNEP, September 2016)

Tabella 3.3 - Safety Group Classification (Fonte: ASHRAE, 2015)

		SAFETY GROUP	
F L A M M A B I L I T Y ↑	Higher Flammability	A3	B3
	Lower Flammability	A2 A2L*	B2 B2L*
	No Flame Propagation	A1	B1
		Lower Toxicity	Higher Toxicity
		→ INCREASING TOXICITY	

L'aspetto della sicurezza dei refrigeranti ha acquisito una rilevanza crescente negli ultimi anni, a seguito dell'introduzione nel mercato delle nuove sostanze a minore o nullo GWP che, rispetto alle convenzionali, presentano maggiore infiammabilità, tossicità oltre a pressioni di lavoro a volte molto elevate. Conseguentemente, viene prestata maggiore attenzione anche ai requisiti previsti dagli standard e dalle norme di sicurezza che riguardano direttamente tali refrigeranti e che affrontano diversi aspetti connessi al loro uso: dalla progettazione delle apparecchiature che li utilizzano, alle indicazioni sulla massima carica di refrigerante infiammabile ammessa, alle modalità di trasporto fino anche alla definizione delle competenze richieste per gli addetti ai lavori. La scelta di un refrigerante non può prescindere dal rispetto di queste norme. Gli standard sulla infiammabilità dei refrigeranti possono poi essere molto diversi da Paese a Paese e limitarne l'uso in maniera differente.

Nella tabella seguente si riportano le classi di sicurezza per alcuni dei nuovi refrigeranti a minore GWP, compresi i refrigeranti naturali; in grassetto sono invece riportate le classi di sicurezza di alcuni degli idrofluorocarburi più utilizzati. Come si può vedere, gli idrocarburi (HC) sono altamente infiammabili (classe A3), l'ammoniaca (R-717) presenta caratteristiche di tossicità oltre all'infiammabilità (classe B2L), mentre le HFO risultano non infiammabili o moderatamente infiammabili (A1 e A2L). Anche le nuove miscele sintetiche (come ad esempio l'R-446A, l' R-447A ecc) composte dagli HFC, pongono problemi di manutenzione in quanto infiammabili. La maggior parte degli idrofluorocarburi, così come i precedenti CFC e HCFC, non sono invece né infiammabili né tossici e rientrano pertanto nella classe A1.

Tabella 3.4 - Esempi di refrigeranti nuovi e tradizionali con la rispettiva classe di sicurezza

REFRIGERANTE	CLASSE DI SICUREZZA
HC-290	A3
HC-600a	A3
HC-1270	A3
R-717	B2L
R-744	A1
HCFO-1233zd	A1
HFO-1336mzz	A1
HFO-1234yf	A2L
HFO-1234ze	A2L
HFC-32	A2L
R-446A	A2L
R-447A	A2L
R-454B	A2L
HFC-134a	A1
R-455A	A2L
R-454A	A2L
R-404A	A1
R-407A	A1
R-407C	A1
R-407F	A1
R-410A	A1
R-507A	A1

Gli standard di sicurezza europei e internazionali relativi ai dispositivi di refrigerazione e condizionamento e le pompe di calore (ad esempio l'IEC 60335-2-24, IEC 60335-2-40, IEC 60335-2-89, EN378, ISO (DIS) 5149) utilizzano queste classi di sicurezza. L'International Electrotechnical Commission (IEC) e l'International Organization for Standardization (ISO) sono i principali emanatori di norme di sicurezza in campo internazionale per la costruzione di macchine. A livello europeo vengono applicate le Norme EN emanate da CEN e CENELEC, gli organismi europei di normalizzazione, mentre dalla collaborazione tra Norme IEC o ISO e l'UE tramite CEN e CENELEC derivano le Norme EN IEC o EN ISO. Gli standard di sicurezza emanati da tali organizzazioni, non sono obbligatori, ad eccezione di quelli ripresi dalla legislazione o da contratti commerciali, tuttavia sono ampiamente utilizzati poiché rappresentano una garanzia nell'uso in sicurezza di un'apparecchiatura e quindi ne favoriscono la penetrazione nel mercato, specie lì dove i requisiti di sicurezza sono particolarmente apprezzati (CE, 2016). Tali standard fissano ad esempio i limiti consentiti per la carica di refrigerante in un circuito di refrigerazione, limiti che dipendono dalla classe di sicurezza del refrigerante, dal luogo in cui l'apparecchiatura è collocata, ad esempio al chiuso o all'aperto, nonché dalle persone che frequentano il locale dove è ubicata (personale specializzato o gente comune). Per esempio la norma internazionale IEC 60335-2-89 per le attrezzature refrigeranti a tenuta ermetica in campo commerciale limita l'utilizzo di refrigeranti infiammabili a 150 g e superare questo valore richiede oneri aggiuntivi, non sempre sostenibili, come ad esempio una valutazione del rischio. Utilizzando per la climatizzazione una unità split a muro in una stanza di 30 m², lo standard di sicurezza IEC 60335-2-40 permette una carica fino a 0,413 kg di HC-290 per circuito di refrigerazione mentre per l'HFC-32, meno infiammabile, la carica ammessa è di 5,6 kg (UNEP; September 2106). Con l'HFC32, si raggiungono pertanto maggiori capacità di raffreddamento essendo possibile usare una carica maggiore rispetto all'HC-290. Con gli small-split air conditioning sostanzialmente gli idrocarburi possono essere usati variando la quantità di carica permessa in funzione dei fattori già sopra riportati: per esempio la carica permessa per condizionatori posti all'altezza del pavimento in ambienti indoor è molto più bassa di quella delle stesse unità montate a muro o sul soffitto (UNEP; September 2106). Nella tabella successiva sono riportati i

principali standard di sicurezza relativi all'uso degli idrocarburi come refrigeranti nel settore del condizionamento e della refrigerazione.³⁸.

Tabella 3.5 - Principali standard di sicurezza internazionali ed europei per i settori del condizionamento e della refrigerazione rispetto all'uso degli HC come refrigeranti (Fonte: Colbourne D. - Proklima G.)

STANDARD	TITOLO	APPLICAZIONE	LIMITI DI CARICA HC
IEC e EN 60335-2-24	Requisiti particolari per i dispositivi di refrigerazione, macchine per i gelati e il ghiaccio	Refrigerazione domestica	Fino a 150 g
IEe EN 60335-2-40	Requisiti particolari per le pompe di calore elettriche, condizionatori d'aria e deumidificatori	Qualsiasi apparecchio di condizionamento dell'aria e pompe di calore	Fino a 1 kg e-5 kg dipende dalla applicazione
IEC e EN 60335-2-89	Requisiti particolari per le macchine di refrigerazione commerciale con un'unità refrigerante incorporata o remota di condensazione del refrigerante o un compressore	Qualsiasi dispositivo di refrigerazione usato per le situazioni commerciali	Fino a 150 g
EN 378	Sistemi di refrigerazione e pompe di calore - sicurezza e requisiti ambientali	Tutti i sistemi di refrigerazione, aria condizionata e pompe di calore: domestico, commerciale, industriale	Varia a seconda dell'applicazione
ISO (DIS) 5149 (norma internazionale equivalente alla norma europea EN 378)	Sistemi meccanici di refrigerazione usati per il raffreddamento e il riscaldamento-requisiti di sicurezza	Tutti i sistemi di refrigerazione, d'aria condizionata e pompe di calore, di uso domestico, commerciale, industriale	Varia a seconda dell'applicazione

Alcuni refrigeranti alternativi inoltre non sono compatibili con i materiali comunemente usati per le tubazioni degli impianti, per cui il loro impiego obbliga al cambio delle tubazioni con un aggravio dei costi. E' questo il caso dell'ammoniaca, compatibile con tutti i materiali più comuni, eccetto il rame e l'ottone. L'uso di questo refrigerante richiede pertanto tubazioni in acciaio o alluminio saldate, che però risultano molto più difficili da usare rispetto al rame saldato. Infiammabilità, corrosività, tossicità, alte pressioni di lavoro e cali di efficienza associati alle alternative determinano:

- interventi sulle apparecchiature: misure di sicurezza supplementari per le sostanze infiammabili e per le condizioni di lavoro a pressioni molto elevate, scelta di materiali capaci di resistere alla corrosione e alle alte pressioni, tecnologie in alcuni casi più complesse e interventi specifici per compensare i cali di efficienza delle macchine dovuti all'uso di alcuni fluidi alternativi;
- personale tecnico qualificato e preparato nella gestione e manipolazione di queste sostanze

Pertanto la scelta dell'alternativa sarà guidata dai seguenti criteri: sicurezza, efficienza e fattibilità tecnico-economica.

3.2 Refrigeranti naturali

Con il termine "refrigeranti naturali" si intendono tutte quelle sostanze o composti che possono trovarsi direttamente in natura o la cui produzione non avviene per sintesi chimica. Rientrano tra i refrigeranti naturali anche quelli recuperati come prodotti di scarto dei processi industriali, vedi ad esempio la CO₂. Tali sostanze non contengono cloro o fluoro. La loro caratteristica principale è data dal basso impatto ambientale (ODP nullo e GWP bassissimo o pari a zero), dalla loro disponibilità in grandi quantità e dal costo relativamente basso. Contro vi sono aspetti legati alla sicurezza e problematiche impiantistiche (alte pressioni di lavoro). Sono refrigeranti naturali gli idrocarburi (propano, butano, isobutano, pentano tanto per citarne alcuni), l'ammoniaca, l'anidride carbonica, l'acqua e l'aria. Alcune di queste sostanze in realtà, come

³⁸ Lo standard EN 378 è stato recentemente oggetto di revisione; le norme internazionali IEC 60335-2-40 e IEC 60335-2-89 sono attualmente in fase di discussione; a valle delle nuove versioni di tali norme verranno aggiornate anche le corrispondenti norme europee EN IEC 60335-2-40 e IEC 60335-2-89 (CE, 2016)

l'anidride carbonica, l'ammoniaca o l'aria, erano già utilizzate un secolo fa, ma certi limiti legati al loro impiego, insieme ai vantaggi presentati dai CFC, da cui furono sostituiti, ne determinarono la scomparsa come refrigeranti. Nella tabella seguente sono riportate le principali caratteristiche dei refrigeranti naturali.

Tabella 3.6 - Principali caratteristiche dei refrigeranti naturali (Fonte: Shecco, 2014)

REFRIGERANT	REFRIGERANT NUMBER	CHEMICAL FORMULA	GWP (100 YEARS)	ODP	NORMAL BOILING POINT (°C)	CRITICAL TEMPERATURE (°C)	CRITICAL PRESSURE (BAR)	SAFETY GROUP	MOLECULAR WEIGHT (G/MOL)
Ammonia	R717	NH ₃	0	0	-33.3	132.4	114.2	B2	17.03
Carbon dioxide	R744	CO ₂	1	0	-78	31.4	73.8	A1	44.0
Propane	R290	C ₃ H ₈	3.3	0	-42.1	96.7	42.5	A3	44.10
Isobutane	R600a	C ₄ H ₁₀	4	0	-11.8	134.7	36.48	A3	58.12
Propylene	R1270	C ₃ H ₆	1.8	0	-48	91	46.1	A3	42.08
Water	R718	H ₂ O	0	0	100	373.9	217.7	A1	18.0
Air	R729	-	0	0	-192.97	-	-	-	28.97

3.2.1 Idrocarburi (HC)

Fluidi con ODS nullo e con bassissimi valori del GWP (inferiori a 5), gli idrocarburi si sono imposti negli ultimi anni come possibili sostituti degli HFC per il loro potere non climalterante. Sono caratterizzati da alta infiammabilità (classe 3), zero tossicità (classe A con effetto narcotico ad alte concentrazioni) e mancanza di odore; analogamente ai singoli gas, anche le miscele di idrocarburi non sono tossiche ma infiammabili. Per il loro carattere infiammabile, presentano limitazioni di utilizzo, per esempio in termini di quantità ammesse nelle apparecchiature a seconda se usate in spazi chiusi e occupati; i tetti massimi di carica consentiti limitano le dimensioni delle apparecchiature. Queste dovranno essere progettate o modificate per garantire l'implementazione di specifici requisiti di sicurezza (che incideranno sul costo degli impianti e sulla formazione dei tecnici). Tra gli aspetti positivi degli idrocarburi vi sono la compatibilità con quasi tutti i lubrificanti usati comunemente nei sistemi di refrigerazione e condizionamento, ad eccezione di quelli contenenti silicone e silicati³⁹ e le buone proprietà termodinamiche, per cui in termini di efficienza sono in grado di competere con i tradizionali HFC e HCFC nella maggior parte delle applicazioni. Gli idrocarburi possono essere impiegati sia in nuove apparecchiature appositamente progettate, che rappresentano il principale campo di applicazione di tali refrigeranti, sia in apparecchiature esistenti in sostituzione dei refrigeranti tradizionali (es. drop in con R-290 nelle apparecchiature che usano l'R22). In quest'ultimo caso deve essere considerata la necessità di interventi specifici per garantire la compatibilità della macchina con il fluido. Idrocarburi quali l'isobutano (R-600a) e il propano (R-290) trovano applicazione nel settore della refrigerazione, mentre il pentano (R-601) è disponibile come agente schiumogeno alternativo nella produzione di schiume; idrocarburi possono essere usati anche come alternativa negli aerosol, lì dove l'infiammabilità non costituisce una criticità (Shecco, 2014, Becken K. et al 2011).

3.2.2 Ammoniaca (NH₃)

L'ammoniaca è una gas incolore, dall'odore pungente, con ODS e GWP pari a zero. Possiede buone proprietà termodinamiche tanto che rientra tra i refrigeranti con maggiore efficienza energetica, sia nelle applicazioni ad alta che a bassa temperatura. E' inoltre poco costosa e ampiamente disponibile. Come refrigerante è nota con il codice R-714. Le caratteristiche di tossicità e infiammabilità ne hanno per molti anni limitato l'uso al solo comparto industriale e in spazi chiusi non occupati o in spazi all'aperto. Da molti

³⁹Silicone e silicati sono additivi utilizzati come agenti antischiama.

decenni infatti questo gas è impiegato come fluido frigorifero in impianti per raffreddamento, congelazione e surgelazione (ad esempio le celle frigorifere per la distribuzione, i pescherecci e i macelli), mentre nel settore commerciale sono sempre stati preferiti i tradizionali HFC perché non tossici e non infiammabili. Le pressioni di esercizio dell'ammoniaca sono paragonabili a quelle degli altri refrigeranti comuni. I progressi tecnici hanno contribuito a diffondere l'impiego di questo refrigerante in altri campi oltre a quello industriale, limitandone gli svantaggi. Tali progressi includono: lo sviluppo di componenti ermetici (compressori ermetici o semi ermetici), l'impiego di nuovi lubrificanti solubili nel fluido,⁴⁰ l'utilizzo del refrigerante in sistemi di refrigerazione secondari, che prevedono l'ammoniaca in combinazione con altri refrigeranti, in modo da ridurre e isolare la sua carica, l'uso di dispositivi di sicurezza specifici (ad esempio i rilevatori di gas) e di leghe compatibili con il fluido. L'insieme di questi accorgimenti e interventi determina un aumento del costo degli impianti, con un aggravio che può diventare difficilmente sostenibile soprattutto per i sistemi di capacità più piccola. In sintesi i vantaggi e gli svantaggi dell'ammoniaca possono essere riassunti nella tabella sottostante. (Shecco, 2014, Becken K. et al. 2011)

Tabella 3.7 - Vantaggi e svantaggi dell'ammoniaca come refrigerante

VANTAGGI DELL'AMMONIACA	SVANTAGGI DELL'AMMONIACA
Buone proprietà termodinamiche (buone efficienza)	Infiammabilità (esplosiva in miscelazione con l'aria a determinati limiti)
Necessità di soluzioni impiantistiche non particolarmente complesse	Tossicità (ustionante se presente in atmosfera in alte concentrazioni)
Ampio campo di applicazione	Corrosività rispetto a certe lame e leghe
Biodegradabilità e assorbibilità in acqua	
Alta disponibilità	
Basso costo	

3.2.3 Anidride carbonica (CO₂)

L'anidride carbonica viene utilizzata in diversi di settori: nelle bombolette spray come gas compresso, nella produzione di schiume, nell'antincendio come agente estinguente, nel condizionamento e nella refrigerazione dove è identificata con il codice R-744. Incolore e inodore, la CO₂ è un gas serra con un GWP pari a 1, utilizzato come riferimento per valutare l'impatto climaterante degli altri refrigeranti. L'uso della CO₂ tuttavia non contribuisce al cambiamento climatico, poiché per i diversi impieghi si utilizza l'anidride carbonica ottenuta dagli scarti dei processi industriali che sarebbero comunque destinati all'immissione in atmosfera. La CO₂ è non tossica e non infiammabile (classe A1), chimicamente stabile e non pericolosa in acqua. Pur non essendo tossica, se presente in una certa quantità in uno spazio chiuso può portare all'asfissia mediante dei processi che conducono allo spostamento e conseguente riduzione dell'ossigeno (Shecco, 2014). Altri vantaggi legati all'impiego della CO₂ come alternativa ai fluidi frigoriferi tradizionali sono l'immediata e grande disponibilità nel mercato, il basso costo, la non necessità di recupero e smaltimento, la buona compatibilità con molti lubrificanti utilizzati nei sistemi di refrigerazione (speciali lubrificanti sintetici sono stati sviluppati e sono disponibili) e le buone proprietà termofisiche (ha un ottimo coefficiente di trasferimento termico e viscosità estremamente bassa). Contro, la CO₂ possiede elevate pressioni di lavoro che richiedono accorgimenti impiantistici specifici. La pressione operativa della CO₂ è infatti tipicamente compresa tra 30 e 50 bar (tra 90 e 140 bar per sistemi speciali transcritici). Per la CO₂ inoltre, l'efficienza del sistema risulta, rispetto agli altri refrigeranti, maggiormente dipendente dal tipo di applicazione e dal clima. Con l'aumento della temperatura l'efficienza di questi sistemi diminuisce. Tale calo di efficienza è legato al valore della temperatura critica,⁴¹ che per la CO₂ è pari a 31 °C. La temperatura critica di fatto segna il limite superiore per i processi di trasferimento di calore basato su evaporazione o condensazione. Quando il processo di cessione del calore all'aria esterna avviene a temperatura prossima o superiore alla temperatura critica della CO₂, le perdite di laminazione diventano significative e maggiori di quelle di altri refrigeranti sintetici, aventi un valore della temperatura critica maggiore, determinando così un calo di efficienza della macchina. Nella tabella seguente è riportato il valore della temperatura e della pressione critiche di alcuni idrofluorocarburi, dell'ammoniaca, dell'isobutano e della CO₂. Tipicamente i refrigeranti hanno temperature

⁴⁰TEAP September 2015 TEAP Update XXVI/9 Task Force Report

⁴¹ La temperatura del punto critico è la temperatura a cui lo stato del fluido non può più essere distinto tra liquido e vapore. Generalmente è preferibile utilizzare un sistema in modo che la sua temperatura di condensazione sia di almeno di 5-10 K C al di sotto della temperatura critica. Pertanto, per climi più caldi, si preferisce una temperatura critica più alta. Tutte le sostanze hanno uno specifico valore del punto critico e la maggior parte impiegate come refrigeranti operano normalmente al di sotto del punto critico.

critiche superiore a 90 °C ma alcuni dei refrigeranti spesso usati attualmente (ad esempio R-404A, R-410A) mostrano temperature critiche al di sotto di questo valore (Danfoss, 2008)

Tabella 3.8 - Temperatura e pressione critiche per alcuni refrigeranti (Fonte: Danfoss, 2008)

Refrigerant	Critical pressure [bar]	Critical temperature [°C]
R22	49.9	96.1
R134a	40.6	101.1
R404A	37.3	72.0
R410A	49.0	71.4
R600a (Isobutane)	36.4	134.7
R717 (Ammonia)	113.3	132.3
R744 (Carbon dioxide)	73.8	31.0

Se si confronta un sistema a R-134a, avente temperatura critica pari 101,1 °C, con un sistema frigorifero a CO₂ entrambi funzionanti a temperatura ambiente pari a 30°C, si osserva che nel primo caso solo il 35% della portata del refrigerante non dà luogo ad effetto frigorifero mentre con la CO₂ si raggiunge un valore del 45% di perdita (Giroto S., 2013). Questo aspetto è molto importante perché costituisce una forte limitazione tecnica all'impiego della CO₂ nei paesi con clima caldo ed è stato e continua a essere oggetto di studi e ricerche, finalizzate a realizzare sistemi impiantistici capaci di utilizzare tale refrigerante anche in presenza di alte temperature ambiente.

Nella figura successiva sono messi a confronto, in funzione della temperatura dell'aria esterna, i coefficienti di prestazione (COP) di sistemi frigoriferi semplici per 3 refrigeranti (R-404A, R-134a e CO₂) e di un impianto a CO₂ modificato. Il COP indica in sostanza l'efficienza frigorifera di una macchina e in un impianto frigorifero è dato dal rapporto tra la quantità di calore Q asportata (raffreddamento) dalla sorgente fredda (l'interno del frigorifero) e il lavoro impiegato L per asportare tale calore (Giroto S., 2013).

Tanto maggiore è il valore del COP tanto migliore è l'efficienza della macchina. Come si può osservare dalla figura, nel confronto tra cicli frigoriferi semplici la CO₂ risulta il fluido meno efficiente, ma con opportuni interventi tecnologici, di cui si parlerà più in dettaglio nei capitoli successivi, si riescono a raggiungere valori del COP paragonabili o superiori a quelli dei refrigeranti sintetici anche a temperature pari o superiori ai 30° C, rendendo così possibile impiegare questo fluido anche in Paesi dal clima caldo, come l'Italia.

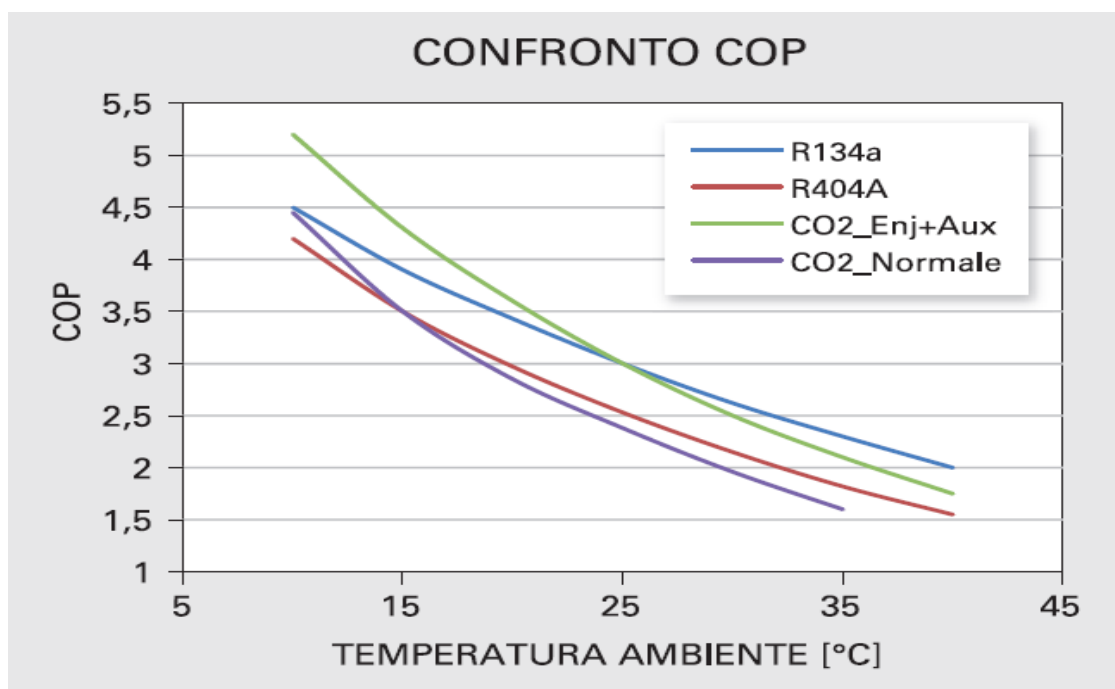


Figura 3.1 - COP in funzione della temperatura dell'aria esterna di sistemi frigoriferi semplici per 3 refrigeranti: R404A, R134a CO₂ e COP di un impianto a CO₂ modificato con eiettore e compressione del vapore di flash dal ricevitore intermedio (Fonte: Giroto S., 2013)

3.2.4 Acqua (H₂O)

L'acqua è una refrigerante naturale indicato nel campo della refrigerazione con codice R-718. È inodore, incolore, ampiamente disponibile in natura, ha ODS e GWP nulli e rappresenta il refrigerante in assoluto più economico. Dal punto di vista ambientale e termodinamico è il refrigerante ideale per temperature superiori a 0 °C; possiede un alto valore del calore latente di evaporazione (2,270 kJ/kg)⁴² il che significa che assorbe grandi quantità di energia (calore) durante il cambio di fase liquido-gas a temperatura costante. La temperatura critica dell'acqua è 380°C - 386°C per cui non presenta problemi nell'impiego in climi caldi (la temperatura critica dell'ammoniaca è 132°C). Rispetto ad altri refrigeranti naturali, che hanno problematiche legate alla tossicità o all'infiammabilità, l'acqua si presenta ottima anche dal punto di vista della sicurezza non essendo tossica, né infiammabile od esplosiva. Gli investimenti delle tecnologie ad acqua sono ritenuti pertanto a basso rischio. Questo refrigerante tuttavia possiede altre caratteristiche che costituiscono un limite al suo utilizzo. Si caratterizza ad esempio per un alto tasso di congelamento a pressione atmosferica, è inoltre molto reattiva e nel tempo provoca corrosione e ossidazione di diversi metalli, per cui è necessario porre attenzione nella scelta dei materiali. Inoltre il vapore acqueo possiede un alto valore del volume specifico (due ordini di grandezza oltre quello di un refrigerante HFC) che rende impegnativo il processo di compressione a bassa pressione nei cicli di refrigerazione a compressione di vapore acqueo. Pertanto dal punto di vista impiantistico sono necessari interventi più gravosi come l'uso di leghe in titanio o compressori di grandi dimensioni. Numerosi studi e ricerche sono attualmente concentrate sulle possibilità di impiego dell'acqua come refrigerante (Shecco 2014; Shecco, 2015,) si tratta quindi di una sostanza in fase di studio il cui utilizzo nei settori della refrigerazione e del condizionamento è previsto soprattutto in impianti a fluido secondario.⁴³

3.2.5 Aria

Indicata come refrigerante con codice R-729, l'aria rappresenta un'alternativa totalmente climate-friendly (ODS e GWP nulli) rispetto ai tradizionali fluidi sintetici, non tossica, disponibile ed economica. Come refrigerante non subisce cambio di fase (condensazione/evaporazione) ai livelli di temperatura dei convenzionali circuiti di refrigerazione. Già usata in passato nella refrigerazione delle navi mercantili, per il raffreddamento degli aerei, nel campo residenziale e nel condizionamento delle automobili, l'aria ha un COP piuttosto basso ma questo aspetto è compensato dalla possibilità di recupero di calore ad alta temperatura, per esempio nei circuiti di raffreddamento ad aria. Ma ci sono altri vantaggi: in un ciclo a compressione ad aria si possono raggiungere differenze di temperature tra il lato caldo e quello freddo molto più alte di quelle ottenibili con un ciclo a compressione di vapore per cui l'aria fredda può essere usata nei processi di tipo criogenico (Shecco, 2014).

3.3 Refrigeranti sintetici di ultima generazione

3.3.1 Idrofluoroolefine (HFO)

Le idrofluoroolefine (HFO) sono refrigeranti sintetici di recente introduzione nel mercato, definiti anche refrigeranti di 4^o generazione. Idrocarburi fluorurati con almeno un doppio legame tra gli atomi di carbonio (C=C), sono molecole molto reattive nell'atmosfera dove, una volta immesse, si caratterizzano per una vita piuttosto breve che ne determina il basso valore del GWP (GWP<1). Come tutti i composti fluorurati, queste sostanze in atmosfera subiscono un processo di decomposizione che porta alla formazione di acido fluoridrico e acido trifluoroacetico (TFA), una sostanza tossica per gli ambienti acquatici. Il TFA viene rimosso dall'atmosfera mediante deposizioni umide, contribuendo così all'acidificazione delle piogge e andandosi successivamente ad accumulare negli ecosistemi. Ad oggi non vi è ancora totale chiarezza sulle fonti di TFA e si ritiene che oltre che dai processi industriali (con basso contributo) e dalla degradazione di composti fluorurati, alla sua presenza nell'ambiente possano concorrere anche fonti di tipo naturale. Secondo quanto riportato in un articolo prodotto da Honeywell, diversi studi hanno rivelato che il TFA è presente nell'ambiente naturale (oceanico) in quantità maggiori a quelle che ne potrebbero derivare dalla rottura dei fluorocarburi. (M. Spatz, T. G. A. Vink, 2010). Si stima che il 7-20% delle emissioni di HFC-134a si degradi in TFA; al contrario l'HFO-1234yf, sostituto principale del 134a in vari settori, reagisce molto più velocemente e si decompone completamente in TFA; altre HFO si comportano diversamente andando a

⁴² Valore circa 5 volte superiore a quello del propano R290 e 4 volte superiore a quello dell'anidride carbonica (Shecco, 2015)

⁴³ Industria e formazione per il tecnico della refrigerazione e della climatizzazione N.385 Centro Studi Galileo

decomporsi solo parzialmente. L'aumento previsto nell'uso delle HFO, per effetto delle limitazioni nell'utilizzo degli HFC, porterà a un incremento di TFA in atmosfera proveniente da nuove fonti (KTH, 2015). Al riguardo alcuni studi hanno previsto i livelli di TFA nelle piogge associati alla sostituzione del refrigerante HFC-134a con HFO-1234yf nel condizionamento dei veicoli; i risultati di questi studi hanno mostrato livelli di picco di TFA ($\mu\text{g/L}$) molto bassi, anche 60-80 volte inferiori al livello di sicurezza accettato. Questi studi preliminari quindi indicano che la sostituzione globale di HFC-134a nei sistemi del mobile air conditioning con HFO-1234yf non dovrebbe condurre a livelli nocivi di TFA nell'ambiente, tuttavia visto l'uso crescente di questa sostanza in altri settori, come quello della refrigerazione, si ritiene che l'impatto del TFA sugli ecosistemi debba essere ancora attentamente investigato (KTH, 2015). Le prime idrofluoroolefine a essere state immesse nel mercato sono state l'HFO-1234yf e l'HFO-1234ze. Queste due sostanze possiedono una media infiammabilità (classe di infiammabilità 2L secondo lo standard ISO187); nel caso dell'idrofluoroolefina HFO-1234ze in realtà l'infiammabilità varia a seconda della temperatura e risulta infiammabile (classe A2L) a temperature elevate (dai 60 °C in su) e non infiammabile a T ambiente. (Bitzer, 2016); molecole ancora più recenti come l'HFO-1234zd sono invece non infiammabili (classe A1) per cui in alcuni casi possono costituire una valida alternativa ad altri refrigeranti che presentano caratteristiche di infiammabilità. Per quanto riguarda la tossicità, le due principali molecole HFO-1234yf e HFO-1234ze sono entrambe di classe A, cioè non tossiche, così come le miscele contenenti queste molecole. L'HFO-1234ze appare un buon sostituto dell'R-134a per refrigerazione a $T > 0$ e per chiller industriali (Campagna E., 2016). In termini di efficienza energetica questi refrigeranti sembrano offrire buone garanzie ma sono tuttora in fase di studio; i dati in merito al loro comportamento nelle diverse tipologie di apparecchiature infatti non sono sempre disponibili. Questo è il caso, ad esempio, della refrigerazione domestica, dove le HFO non sono attualmente utilizzate, ma si sta investigando sulla loro applicabilità (in particolare HFO-1234yf o HFO-1234ze) nelle apparecchiature che richiedono una carica maggiore ($> 0,15$ Kg) e nei paesi con maggiori restrizioni nell'uso degli idrocarburi come alternativa climate-friendly (UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 3, 2015). In tal caso i costi per utilizzare le HFO non sono stati stabiliti anche se si ritiene probabile che i costi di investimento della linea di produzione iniziale siano inferiori a quelli degli HC per la maggiore infiammabilità di questi ultimi. Le HFO sono fluidi progettati per essere usati sia negli impianti esistenti, con nessuna o qualche piccola modifica, sia in impianti nuovi. Vengono attualmente impiegate da tutti i produttori di automobili; negli impianti di condizionamento dei veicoli si usa l'HFO-1234yf come sostituto dell'HFC-134a. Dal 1° gennaio 2017, ai sensi della Direttiva Europea 2006/40/EC, tutti i veicoli devono utilizzare le idrofluoroolefine come refrigeranti dell'impianto di condizionamento.

Oltre alle HFO pure, sono stati formulati anche refrigeranti a base di miscele di HFO e HFC. A seconda della composizione, questi blend possono presentare o meno le caratteristiche di infiammabilità (classe A1 o A2L) e valori del GWP dell'ordine di qualche centinaio. Molte di queste miscele si presentano come alternative a R-404A, R-507, R22, R-407C e R-410A; tra queste ad esempio l'R-450A e l'R-448A sono non infiammabili, mentre l'R-454A e l'R-452B sono moderatamente infiammabili.

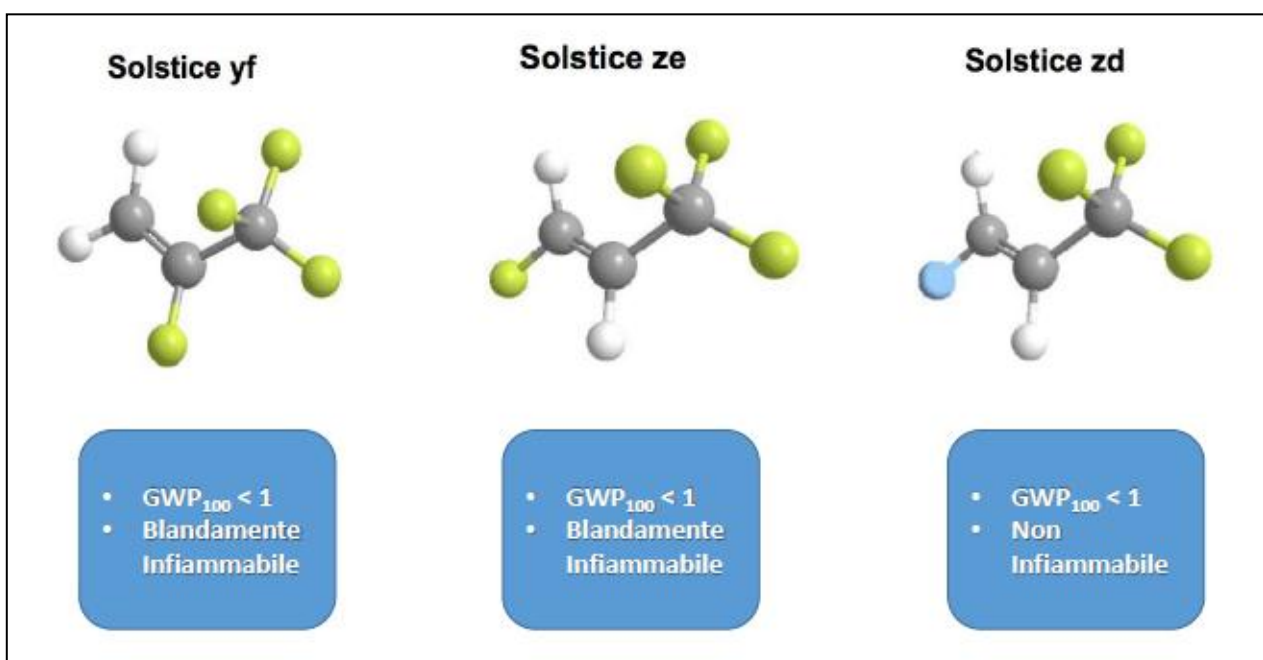


Figura 3.2 - Struttura molecolare delle HFO yf, ze e zd con livello di infiammabilità e GWP (Fonte: General Gas 2016)

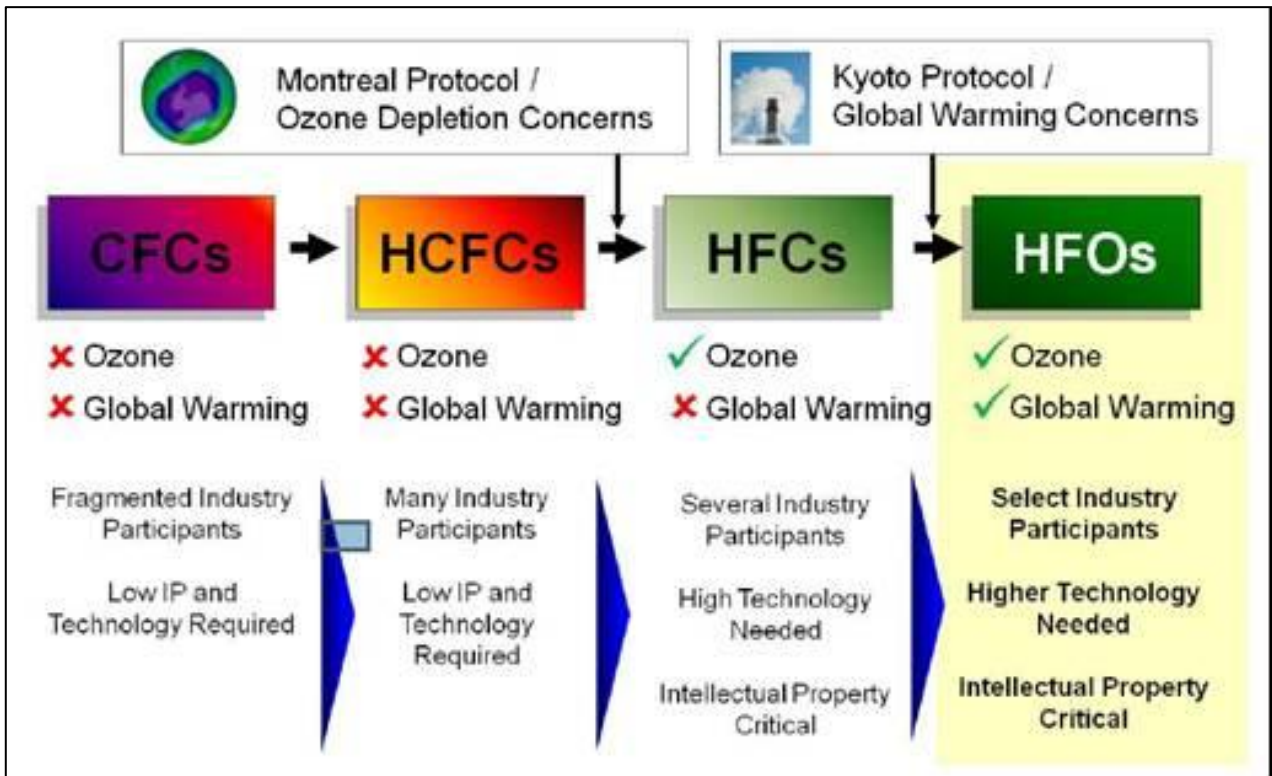


Figura 3.3 - Diffusione: dei refrigeranti fluorurati nel tempo (Fonte: Campagna E., 2016)

4 LE ALTERNATIVE AGLI HFC NEL SETTORE DELLA REFRIGERAZIONE

Il primo settore ad essere coinvolto dai vincoli imposti dal Regolamento F-gas è quello della refrigerazione, dove già da diversi anni è in atto il processo di sostituzione degli idrofluorocarburi a maggior GWP con altri aventi minore potere climalterante. Nei paragrafi successivi verrà effettuata una analisi delle possibili alternative agli HFC nel settore, suddivisa per codice di attività economica ATECO, cioè per tipo di attività svolta nella sede di destinazione dell'apparecchiatura: commerciale, domestica, industriale. Questi diversi tipi di attività si differenziano infatti per tipologia e taglia degli impianti, per caratteristiche dei luoghi in cui le apparecchiature sono collocate e per tipologia di persone che vi sono ospitate; a tali aspetti sono associate differenti criticità e possibilità in termini di alternative. L'analisi interesserà prima le alternative indicate in letteratura con riferimento al panorama internazionale ed europeo, quindi verrà effettuato un focus sul contesto italiano, sulla base delle informazioni raccolte attraverso gli incontri con gli addetti e gli esperti del settore. Questo stesso schema (panoramica internazionale e focus sul contesto italiano) verrà riproposto nei capitoli successivi dedicati agli altri settori oggetto di indagine. Per quanto riguarda la refrigerazione si sono voluti riportare anche brevi cenni alle caratteristiche dei cicli frigoriferi, standard e ottimizzati, poiché anche la tipologia di ciclo frigorifero incide sulla scelta del refrigerante.

4.1 Focus sui cicli frigoriferi

4.1.1 Il ciclo frigorifero standard

La refrigerazione viene utilizzata per consentire il mantenimento di cibi, bevande o altri materiali. A seconda del tipo di cibo/bevanda/sostanza da conservare, le temperature possono variare dagli 0° C o qualche grado fino a -60 °C. In genere a temperature di poco superiori agli 0°C vi sono alimenti come bevande e prodotti gastronomici (formaggi, salumi), a temperature prossime allo zero carni, pesce, latticini frutta e verdura a temperature sotto lo zero i gelati e alimenti congelati e surgelati. Di fatto un ciclo frigorifero consente di mantenere un dato ambiente (dove per esempio vengono conservati gli alimenti) a una temperatura inferiore a quella esterna semplicemente sottraendo calore da tale ambiente.

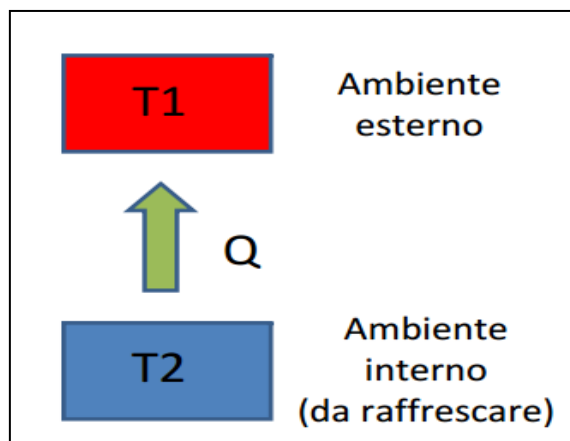


Figura 4.1 - Meccanismo con cui avviene il raffreddamento di un ambiente (Fonte: Danieli D., 2013)

Per sottrarre calore da una sorgente a temperatura più bassa (ad esempio l'interno di un frigorifero) e pomparlo in una sorgente a temperatura più alta (l'ambiente esterno) occorre compiere un lavoro (spendere energia). Il coefficiente di prestazione di una macchina frigorifera (COP) è dato proprio dal rapporto tra la potenza termica sottratta e il lavoro necessario per sottrarla (paragrafo 3.2.3). Questo processo è realizzato attraverso il ciclo frigorifero il cui fluido di lavoro è detto refrigerante (fluido frigorifero). Il ciclo frigorifero più utilizzato è il ciclo frigorifero standard a compressione di vapore costituito da un compressore, un evaporatore, un condensatore e un organo di laminazione descritti di seguito.

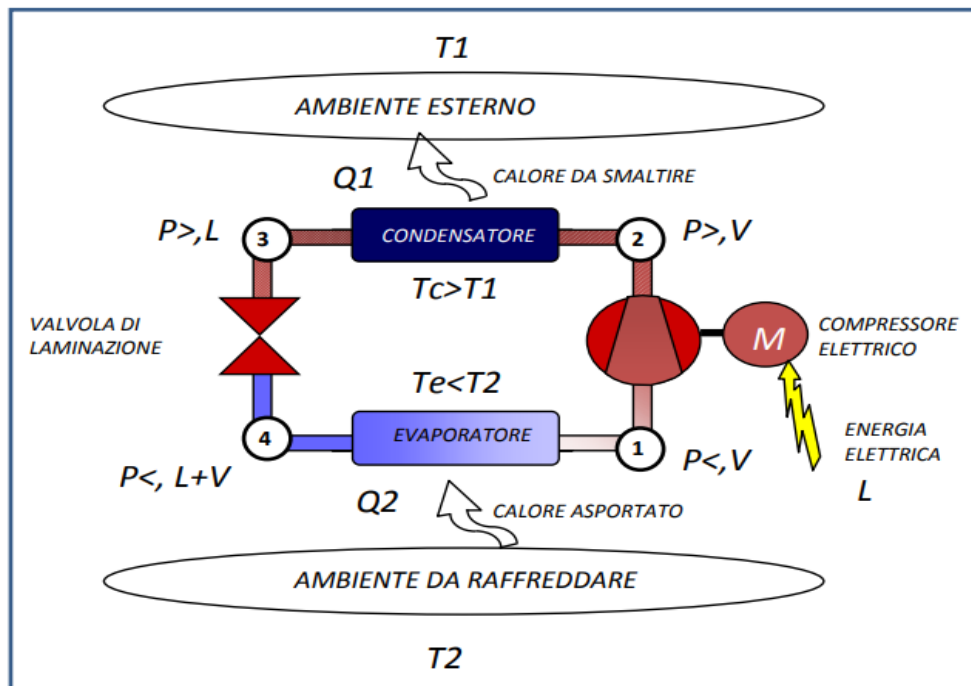


Figura 4.2 - Componenti del ciclo frigorifero standard a compressione di vapore (Fonte: Danieli D., 2013)

- **Compressore:** comprime il fluido refrigerante che si porta ad alta pressione e alta temperatura; la pressione di arrivo del fluido dipende dalla temperatura esterna: più è alta la temperatura esterna, più dovrà essere alta la temperatura al condensatore e quindi la pressione, comportando un maggiore lavoro del compressore e quindi un maggiore consumo elettrico. Il refrigerante in ingresso al compressore deve presentarsi allo stato gassoso in quanto i liquidi sono incompressibili.
- **Condensatore:** sottrae calore al refrigerante caldo. A forma di batteria alettata, piastre o fascio tubiero può essere raffreddato ad aria o ad acqua: quello ad aria è il più comune per potenze frigorifere tra i 100 e i 500 Kw⁴⁴. La condensazione avviene a temperature elevate all'interno dello scambiatore di calore che mette in contatto l'aria esterna (o acqua) con il refrigerante. Quest'ultimo condenserà tornando allo stato liquido mentre l'aria esterna subirà un aumento di temperatura.
- **valvola di laminazione:** provoca la riduzione rapida della pressione del refrigerante facendolo diventare molto freddo. La pressione (e quindi la temperatura) da raggiungere nella valvola di laminazione è tanto più bassa quanto più bassa è la temperatura del locale da raffreddare (ovviamente ciò porterà a un aumento del lavoro del compressore quindi del consumo elettrico).
- **evaporatore:** è uno scambiatore di calore a forma di batteria alettata, piastre o fascio tubiero a seconda che si utilizzi con aria (serpentina alettata) o acqua; nell'evaporatore il fluido refrigerante arriva con una temperatura più bassa di quella del locale da raffreddare da cui quindi assorbe il calore, permettendo così il raffreddamento (effetto frigorifero). Il refrigerante in uscita dell'evaporatore sarà un gas surriscaldato con una temperatura leggermente superiore a quella di evaporazione.

In un ciclo a compressione di vapore è molto importante la scelta del refrigerante. Nel capitolo 3 si è parlato ampiamente dei refrigeranti e delle loro caratteristiche. Di seguito si elencano alcuni dei principali requisiti che deve possedere un fluido frigorigeno al fine di garantire un funzionamento ottimale del ciclo a compressione di vapore.

- Nulla o bassa tossicità e infiammabilità
- Nulla o bassa pericolosità per l'ambiente (GWP e ODS)
- compatibilità con i materiali delle tubazioni e gli oli lubrificanti impiegati nei compressori
- Ridotto volume specifico del vapore per diminuire la cilindrata del compressore nel caso del compressore volumetrico (il contrario per compressori centrifughi)
- Bassa viscosità e alto coefficiente di conduttività termica (proprietà termodinamiche)
- Elevati valori del calore latente di vaporizzazione alla pressione atmosferica, per ridurre la quantità di fluido presente a parità di effetto frigorifero ottenuto
- temperatura critica superiore alla temperatura della sorgente calda (di condensazione)
- elevato valore del COP nelle condizioni di impiego.

⁴⁴ <http://ft.unich.it/laboratorio-fisica-tecnica/images/pdf/lezioni/macchinefrigorifero.pdf>

4.1.2 Il ciclo frigorifero ottimizzato

Il ciclo frigorifero standard a semplice compressione di vapore può essere modificato per migliorarne le prestazioni; infatti tale ciclo richiede una potenza meccanica molto alta ed elevate temperature del fluido in uscita dal compressore, in alcuni casi non compatibili con il lubrificante presente al suo interno. Per ovviare a questi inconvenienti sono stati così sviluppati dei cicli frigoriferi avanzati. Questi cicli frigoriferi modificati, a differenza del ciclo frigorifero semplice, possono risultare idonei all'uso di refrigeranti alternativi. Infatti le caratteristiche dei nuovi fluidi frigoriferi non sono sempre compatibili con le condizioni di sicurezza imposte dalla normativa vigente per l'utilizzo di determinate apparecchiature. La tabella successiva riporta le principali tipologie di impianto frigorifero.

TIPO		Temperatura minima [°C]	Pressione alla temperatura minima [bar]	Potenza frigorifera [kW]
A compressione di gas (aria)		-25	1	10
A compressione di vapore	Ciclo semplice	-25	> 1	Con compressore volumetrico <ul style="list-style-type: none"> • 0.1+30 ermetico • 30+250 semiermetico • 250+500 aperto • 400+3000 a viti • 3+350 rotativo Con compressore centrifugo <ul style="list-style-type: none"> • 300+6000 chiuso • 300+30000 aperto
	Ciclo a doppia compressione e doppia laminazione	-60		
	Cicli in cascata	-150		
A compressione di vapore d'acqua	Ciclo semplice	0	0.006	30+3000
	In salamoia	-20	0.0013	
Ad assorbimento (fluido frigorifero + solvente)	H ₂ O/LiBr	0	0.01	350+5000
	NH ₃ /H ₂ O	-60	0.2	5000+10000
Ad effetto termoelettrico (Peltier)		-103	-	< 7

Figura 4.3 - Principali tipologie degli impianti frigoriferi (Fonte: <http://www.dimnp.unipi.it/forgione-t/frigoriferi.pdf>)

Nel ciclo frigorifero a doppia compressione e doppia laminazione la doppia compressione e laminazione permettono di ridurre il lavoro esterno netto del compressore. Infatti il lavoro specifico richiesto dai due compressori risulta minore di quello che occorrerebbe per la compressione in un unico stadio. La temperatura del vapore all'uscita del secondo compressore inoltre risulta inferiore a quella che si raggiunge con un solo stadio di compressione.

Molto interessanti per le possibili applicazioni con refrigeranti naturali alternativi sono i cicli frigoriferi in cascata. Un ciclo frigorifero in cascata (Fonte: Pannoa D., Messineo A., Dispenza A., 2008) è costituito da due o più cicli frigoriferi realizzati mediante due circuiti fisicamente separati posti in serie: in un circuito, detto a bassa temperatura (BT) circola un fluido adoperato per ottenere l'effetto frigorifero nell'altro, detto ad alta temperatura (AT), circola un altro fluido che trasmette il calore di condensazione alla temperatura ambiente. I due circuiti sono connessi tramite uno scambiatore di calore intermedio (condensatore di cascata) che funge da un lato da condensatore (per esempio della CO₂) e dall'altro da evaporatore (per il circuito di media temperatura). I vantaggi dei cicli a cascata sono molteplici. Rispetto all'utilizzo dei refrigeranti tale configurazione consente di utilizzare due differenti fluidi, ciascuno dei quali può operare nel range di temperature e pressioni ad esso più appropriato. Inoltre, la separazione dei due circuiti permette di confinare un refrigerante che può essere dannoso per gli utenti (ad esempio l'ammoniaca o la CO₂) in un locale separato o comunque distante dal pubblico. La CO₂ per le sue caratteristiche termodinamiche viene impiegata unicamente nel ciclo a bassa temperatura, mentre nel ciclo ad alta temperatura possono essere impiegati tanto i tradizionali refrigeranti HFC quanto i refrigeranti naturali. I cicli a cascata si pongono come alternativa ai cicli pluristadio e permettono di raggiungere alti salti di temperatura e, quindi, alti valori del rapporto tra pressione iniziale e finale; il lavoro e le temperature finali raggiunte nel processo di compressione sarebbero troppo elevati per poter utilizzare un ciclo monostadio. In generale è possibile

affermare che il settore della conservazione e della distribuzione a bassa temperatura degli alimenti utilizza già da anni cicli frigoriferi in cascata, che hanno rappresentato il primo passo nell'uso della CO₂ nella refrigerazione commerciale nei Paesi con climi caldi. Di seguito si riporta lo schema di un ciclo frigorifero in cascata.

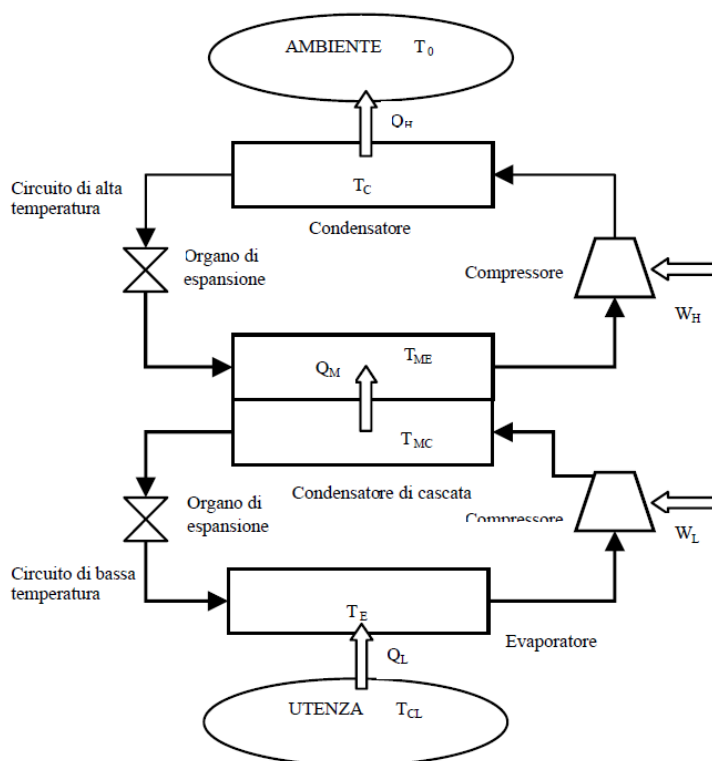


Figura 4.4 - Ciclo frigorifero a cascata (Fonte: Pannoa D., Messineo A., Dispenza A., 2008)

Studi comparativi tra cicli frigoriferi bi-stadio funzionanti con fluidi sintetici, come l'R-404A, e cicli in cascata con impiego di ammoniaca per lo stadio di alta pressione ed anidride carbonica per lo stadio di bassa pressione, hanno mostrato rendimenti paragonabili; di conseguenza la tipologia di impianti in cascata risulta particolarmente utile dove non è possibile utilizzare nel circuito di bassa temperatura un fluido tossico e/o infiammabile come proprio nella refrigerazione commerciale e industriale (produzione e conservazione di prodotti surgelati) (Fonte: Pannoa D., Messineo A., Dispenza A., 2008).

4.2 Refrigerazione domestica

4.2.1 Caratteristiche del settore

Il settore della refrigerazione domestica comprende apparecchiature per la conservazione di cibo e bevande quali frigoriferi, congelatori e frigo-congelatori. La tecnologia più utilizzata nella refrigerazione domestica è il ciclo a compressione di vapore e soltanto una piccola parte di queste apparecchiature si basa sul ciclo ad assorbimento. Al di là dei vantaggi offerti (livelli di rumore inferiori rispetto ai sistemi tradizionali), la tecnologia ad assorbimento non sembra destinata a prendere piede nel prossimo decennio a causa degli alti costi e della non elevata efficienza. Le apparecchiature di refrigerazione domestica sono costituite da sistemi ermeticamente sigillati, aspetto importante nell'ottica di utilizzo di refrigeranti infiammabili, e prodotti interamente in fabbrica (UNEP Ozone Secretariat Fact Sheets 3, 2015). Per queste caratteristiche le perdite di refrigerante dell'apparecchiatura si verificano sostanzialmente a fine vita. Di seguito si riportano le caratteristiche tipiche dei sistemi di refrigerazione domestica basati sull'uso degli HFC.

Tabella 4.1 – Caratteristiche principali dei sistemi di refrigerazione domestica che utilizzano HFC (Fonte: UNEP Ozone Secretariat Fact Sheets 3, 2015)

REFRIGERAZIONE DOMESTICA	
Carica di refrigerante tipica	0,1 a 0,2 kg
Tipica capacità di raffreddamento	0.1 - 0.5 kW
HFC refrigeranti utilizzati	HFC-134a (GWP 1430)
Design del circuito di refrigerazione	Compressione di vapore ermeticamente sigillato
Produzione /Installazione	Costruito in fabbrica
Tipica localizzazione delle apparecchiature	Classe A (accesso consentito alle persone senza precauzioni in termini di sicurezza)
Tasso di perdita annuale tipico	< 0.5%
Principali fonti di emissione di HFC	Perdite a fine vita
Domanda annuale di refrigerante	Nuove apparecchiature: 95% Mantenimento: 5%

4.2.2 Le alternative agli HFC nella refrigerazione domestica a livello europeo e internazionale

Il Regolamento F-gas n. 517/2014 ha vietato l'uso di frigoriferi e congelatori domestici contenenti HFC con potenziale di riscaldamento globale pari o superiore a 150 a partire dal primo gennaio 2015 (allegato III). Il mercato europeo ha quindi già sostituito i tradizionali HFC con fluidi a minor impatto ambientale e in particolar modo con gli idrocarburi. A livello mondiale l'idrocarburo maggiormente utilizzato è l'isobutano HC-600, un refrigerante altamente infiammabile e per questo motivo gli attuali standard di sicurezza europei (EN378) ne permettono l'uso nelle applicazioni domestiche soltanto con carica fino a 0,15 Kg.⁴⁵ Tale valore è ampiamente rispettato dalla maggior parte dei refrigeratori domestici a cui corrisponde una capacità di poche centinaia di watt e una carica di refrigerante di poche decine di grammi. In America, invece, l'impiego di idrocarburi nel settore non è stato massiccio come in Europa, poiché il mercato statunitense, come anche quello canadese, si caratterizza per la vendita di refrigeratori e freezer con cariche spesso maggiori di quelle permesse.⁴⁶ L'isobutano si pone comunque in generale come principale alternativa al tradizionale R-134a grazie alle buone proprietà termofisiche e chimiche, all'ottima efficienza delle apparecchiature (migliore di quella delle nuove a HFC-134a) e alla grande disponibilità nel mercato, sia della sostanza che dei componenti che operano con essa, inoltre non presenta problemi alle alte temperature.

Si ritiene che nel mondo vi siano già in uso oltre 500 milioni di frigoriferi e congelatori ad HC-600a mentre in Europa la percentuale di nuovi refrigeratori domestici che utilizzano l'isobutano supera ormai il 90% (UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 3, 2015). Secondo le stime riportate nel TEAP Report (UNEP, September 2016), entro il 2020 circa il 75% della nuova produzione mondiale di frigoriferi utilizzerà l'isobutano, il restante andrà a HFC-134a e una piccola parte vedrà l'impiego di refrigeranti HFC insaturi, come l'HFO-1234yf. Le idrofluoro-olefine (HFO) (in particolare HFO-1234yf e HFO-1234ze) non sono infatti ancora utilizzate nel settore della refrigerazione domestica, ma in fase di studio. Queste sostanze possono costituire una valida alternativa per quelle apparecchiature domestiche che richiedono cariche di refrigerante superiori a 150 g (e che quindi non possono usare gli idrocarburi) o in quei paesi dove restrizioni locali limitano l'uso degli HC. Le HFO sono attualmente più costose dell'R134a; si ritiene tuttavia che i costi di investimento della linea di produzione iniziale di HFO siano inferiori a quelli degli HC, per la loro minore infiammabilità. Rimangono da investigare comunque gli aspetti legati alla sicurezza del loro impiego e all'efficienza energetica (UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 3, 2015).

⁴⁵ Ai sensi della norma UNI EN 378-2:2017 (Sistemi di refrigerazione e pompe di calore - Requisiti di sicurezza e ambientali - Parte 2: Progettazione, costruzione, prova, marcatura e documentazione) per impianti che prevedono una quantità di carica refrigerante HC superiore a 0,15 kg, le misure della stanza devono essere tali che una perdita improvvisa di refrigerante non vada ad aumentare la concentrazione media oltre il limite di 0,008 kg/m³ (Fonte: Buoni M.)

⁴⁶ La massima carica permessa per i refrigeranti infiammabili nel mercato americano e canadese è pari a 0,57 kg, valore molto spesso superato nelle apparecchiature del mercato domestico (UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 3, 2015).

Tabella 4.2 - Alternative agli HFC a basso GWP (Fonte: UNEP Ozone Secretariat Fact Sheets 3, 2015)

REFRIGERAZIONE DOMESTICA			
Refrigerante	GWP	Classi di sicurezza	Commenti
HC-600a	3	3	Ampiamente usato
HFO-1234yf	4	2L	Non usati attualmente, in fase di studio
HFO-1234ze	7	2L	

4.2.3 Le alternative agli HFC nella refrigerazione domestica in Italia

Nel settore della *refrigerazione domestica* anche in Italia i vecchi refrigeranti già da tempo sono stati sostituiti dagli idrocarburi, in particolare dall'HC-600a. Si può quindi affermare che l'adeguamento del settore della refrigerazione domestica alle alternative climate-friendly sia già avvenuto, non solo in Europa ma anche nel nostro Paese. Tuttavia, altre soluzioni potranno prendere piede nel prossimo futuro e una tra queste è costituita dalla refrigerazione magnetica. Secondo quanto riferito dagli esperti del settore, quello della refrigerazione magnetica rappresenta un'alternativa possibile, per quanto non ancora commercializzata, sia nel settore della refrigerazione commerciale sia soprattutto nel settore domestico. Questo perché gli impianti di refrigerazione magnetica, allo stato attuale di sviluppo tecnologico, possono essenzialmente servire piccole potenze e presentano limiti relativi alla massime differenze di temperatura raggiungibili tra l'applicazione e l'ambiente esterno.⁴⁷ I limiti di questa tecnologia, che non necessita di gas refrigeranti, sono ancora di tipo tecnico ed economico. Un approfondimento dedicato alla refrigerazione magnetica e al suo principio di funzionamento è riportato nel paragrafo 10.4.

4.3 Refrigerazione commerciale

4.3.1 Caratteristiche del settore

Il settore della refrigerazione commerciale comprende le apparecchiature adibite allo stoccaggio, alla conservazione e all'esposizione di cibi e bevande del settore della vendita al dettaglio (supermercati, negozi ecc) e dei servizi (ristoranti, alberghi, mense scolastiche. ecc). Tali apparecchiature possono essere distinte in tre tipologie a ciascuna delle quali, come vedremo di seguito, competono diverse possibilità in termini di alternative agli HFC (UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 4, 2015):

1. Unità stand –alone (anche plug-in o self –contained);
2. Unità a condensazione (split system);
3. Sistemi Centralizzati (multipack)

Dal punto di vista impiantistico in generale si tratta di cicli a compressione di vapore a espansione diretta con compressione a singolo stadio. La temperatura di lavoro nei supermercati può essere di due tipi: bassa temperatura (BT) per la conservazione di prodotti surgelati e media temperatura (MT) per la conservazione degli alimenti refrigerati. La bassa temperatura è mantenuta tra -18°C e -25°C mentre la media temperatura ha un range da 0°C a 8°C, a seconda anche degli standard di sicurezza internazionali sul cibo.⁴⁸ Per garantire tali temperature agli alimenti, l'intervallo di temperatura di evaporazione del refrigerante è generalmente compreso tra -15 ° C e 5 ° C per il livello a MT e tra -30 ° C a -40 ° C per il livello a BT. Le variazioni di temperatura dipendono dal tipo di prodotto, dalle vetrine e dal sistema di refrigerazione scelto. Le unità stand alone hanno un solo carico di raffreddamento (per esempio una sola vetrina in un supermercato), le altre possono servire più vetrine alimentari o più celle frigorifere. Il refrigerante maggiormente usato nei paesi industrializzati è l'R-404A, sia per sistemi a bassa che media temperatura, insieme all'HFC-134a principalmente per sistemi a MT (UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 4, 2015).

⁴⁷ Per raggiungere differenze di temperatura di 25°C, salto necessario per la refrigerazione, sono infatti necessari campi magnetici molto intensi

⁴⁸ Altri documenti riportano valori leggermente differenti per il range di media e bassa temperatura. Ad esempio in Karampour M., Sawalha S., Arias J, 2016 la media temperatura ha un range da 1°C a 14°C, mentre la bassa temperatura per gli alimenti surgelati è stabilita tra -12°C e -18°C.

4.3.1.1 Unità stand-alone

Per unità stand alone si intendono quelle apparecchiature di piccola taglia che utilizzano tecnologie simili a quelle dei refrigeratori domestici. Si tratta di apparecchiature costruite interamente in fabbrica e poi portate nel luogo di interesse. Un banco frigo di tipo stand-alone è composto da tutti i componenti di un circuito frigorifero (compressore, condensatore, ricevitore del liquido e tubazioni). È possibile utilizzare anche configurazioni fino a tre evaporatori serviti dal medesimo compressore. Le unità stand alone sono ermeticamente sigillate e con piccole cariche di refrigerante, generalmente comprese tra 0,1 e 0,5 kg.⁴⁹ Questi ultimi due aspetti sono importanti nell'ottica di utilizzo di sostanze infiammabili alternative agli HFC. Le apparecchiature stand alone si caratterizzano anche per avere basse perdite (<1%) tipicamente concentrate a fine vita. Rientrano in questa tipologia di apparecchiature ad es. frigoriferi, congelatori e refrigeratori per bevande e gelati, macchine per la fabbricazione di gelati, vetrine con porte trasparenti o meno ecc. (UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 4, 2015; EPA, 2016)



Figura 4.5 - Esempi di sistemi di refrigerazione stand-alone (Fonte: UNEP Ozone Secretariat Fact Sheets 4, 2015)

4.3.1.2 Unità a condensazione

Si tratta di apparecchiature per la refrigerazione caratterizzate da valori di carica del refrigerante superiori a quelli delle unità stand alone e generalmente compresi tra 1 e 10 kg. Questi sistemi sono costituiti da un compressore (o due) e un condensatore assemblati insieme in un unico modulo e un evaporatore localizzato nella zona da raffreddare. Le unità a condensazione sono in genere collocate sul tetto o all'aperto o comunque in remoto e sono collegate alle unità da raffreddare, vetrine, freezer, refrigeratori di grandi dimensioni, con un sistema di tubazioni. A differenza delle unità stand alone realizzate in fabbrica, queste apparecchiature devono essere assemblate e caricate sul posto prima di entrare in esercizio. I tassi di perdita di refrigerante sono compresi tra il 5 e il 20% della carica iniziale e si verificano durante il ciclo di vita della macchina (UNEP Ozone Secretariat Fact Sheets 4, 2015, EPA, 2016).



Figura 4.6 - Esempi di sistemi di refrigerazione a unità di condensazione (Fonte: UNEP Ozone Secretariat Fact Sheets 4, 2015)

⁴⁹ Da 0,1 a 2 kg secondo il documento EPA-(EPA; 2016); da 50 g a 250 g secondo il documento SKM Enviros (SKM Enviros, 2013)

4.3.1.3 Sistemi Centralizzati

Utilizzati per raffreddare in remoto walk-in refrigerators, freezers e vetrine nei supermercati e negli ipermercati di media e grande taglia, sono macchine composte da evaporatori connessi a pacchetti di compressori (anche 7) e altri componenti situati in una sala macchine o all'esterno. Questi componenti sono tutti collegati a un condensatore in remoto, generalmente situato esternamente (per esempio sul tetto della sala macchine). Una serie di tubazioni collega poi il sistema alle vetrine del supermercato. Vengono assemblati direttamente sul posto e si caratterizzano per cariche del refrigerante molto elevate, generalmente comprese tra 20 e 200 kg e altrettanto elevati tassi di perdita operativi (dal 10 al 30%) tanto che la quantità di refrigerante richiesta per il rabbocco supera quella della carica iniziale dell'impianto. I sistemi centralizzati sono in Europa i maggiori consumatori/emettitori di refrigeranti HFC. I grandi supermercati hanno almeno 4 pacchetti di multipack central system, 2 per bassa temperatura e 2 per media temperatura (UNEP Ozone Secretariat Fact Sheets 4, 2015).



Figura 4.7 - Esempi di sistemi di refrigerazione centralizzati (Fonte: UNEP Ozone Secretariat Fact Sheets 4, 2015)

Nella tabella seguente sono riportate le principali caratteristiche dei sistemi di refrigerazione commerciale⁵⁰.

⁵⁰ Altri documenti riportano range di valori per la carica e la capacità leggermente diversi. Vedi ad esempio il documento EPA, 2016.

Tabella 4.3 - Caratteristiche principali dei sistemi della refrigerazione commerciale che utilizzano HFC (Fonte: UNEP Ozone Secretariat Fact Sheets 4, 2015)

REFRIGERAZIONE COMMERCIALE					
SUB-SETTORI		UNITA' STAND ALONE	UNITA' A CONDENZASIONE	SISTEMA CENTRALIZZATO	
Carica di refrigerante tipica		0.1 a 0.5 kg	1 a 10 kg	20 a 200 kg	
Capacità di raffreddamento tipica		0.1 a 1 kW	2 a 20 kW	40 a 200 kW	
HFC utilizzati		R-404A; HFC-134a			
Design del circuito di refrigerazione		espansione diretta sigillato in fabbrica	Sistema ad espansione diretta distribuito		
Produzione /Installazione		Costruito in fabbrica	Tubazioni del refrigerante installate sul sito		
Tipica localizzazione delle apparecchiature		Classe A (accesso consentito alle persone senza precauzioni in termini di sicurezza)			
Tasso di perdita annuale tipico		< 1%	5% a 20%	10% a 30%	
Principali fonti di emissione di HFC		Perdite a fine vita	Perdite durante l'esercizio	Perdite durante l'esercizio	
Domanda annuale di refrigerante	Nuove apparecchiature	90%	50%	30%	
	Mantenimento	10%	50%	70%	

Esistono diverse tipologie di sistemi centralizzati che hanno registrato negli ultimi anni un interesse crescente a fronte della necessità di trovare alternative ai tradizionali fluidi frigorigeni. Questi sistemi infatti offrono la possibilità di utilizzare refrigeranti naturali al posto dei tradizionali HFC, lì dove non sarebbe possibile con un semplice sistema centralizzato ad espansione diretta o per questioni di sicurezza o per problemi di efficienza a determinate temperature di lavoro. Il sistema centralizzato ad espansione diretta rappresenta la configurazione maggiormente in uso in Europa, ma richiede grandi quantità di carica poiché il refrigerante viene fatto circolare direttamente dalla sala macchine alle vetrine dell'area vendita del supermercato. Una prima alternativa a questa configurazione semplice è rappresentata dal sistema *centralizzato distribuito*, ossia un sistema in cui, al posto di un'unica centrale frigorifera, vi sono diversi compressori più piccoli (piccole centrali frigorifere), collocati nel negozio in prossimità delle vetrine (dietro a un muro, sopra la vetrina ecc.). I condotti di aspirazione dei compressori sono molto più brevi rispetto al convenzionale sistema diretto, mentre la linea di scarico dei compressori è tipicamente collegata ad un condensatore separato collocato sovente sul tetto e raffreddato ad aria. La carica totale di refrigerante necessaria sarà inferiore a quella dei sistemi diretti. Vi sono poi sistemi centralizzati *secondari/indiretti* costituiti da due circuiti di refrigerazione uno a media temperatura (MT) e l'altro a bassa temperatura (BT) completamente separati. Un refrigerante primario è usato nella sala macchine centrale per raffreddare, mentre un fluido secondario termovettore (ad esempio l'acqua) viene distribuito alle vetrine nell'area commerciale. Con questa configurazione si realizza un circuito frigorifero molto compatto: l'evaporatore è collocato vicino condensatore con il compito di raffreddare un refrigerante secondario il quale di fatto trasporta il freddo nelle aree da refrigerare. Si tratta di una configurazione che consente di diminuire la carica di refrigerante e ridurre al minimo le perdite, assai maggiori negli impianti centralizzati. Il fatto che le tubazioni per la distribuzione del freddo non contengano refrigerante, ma un semplice fluido termovettore, come l'acqua, permette minori oneri in fase di realizzazione e manutenzione e minori costi, oltre al minore impatto ambientale. La configurazione a ciclo secondario con refrigeranti naturali non è ancora così diffusa nella refrigerazione commerciale, mentre si è dimostrata fattibile nelle applicazioni industriali e in quelle commerciali fin dagli anni 90 in paesi come la Norvegia, la Svezia il Lussemburgo e la Svizzera grazie a una legislazione mirata che ne ha permesso la diffusione. Attualmente alcuni rivenditori in Europa stanno installando refrigeratori - chiller a propano con circuito di glicole nei propri negozi (per esempio in Germania, Regno Unito, Belgio e Svizzera). (EPA, 2016; Gschrey B., 2017).

I sistemi centralizzati a cascata, di cui si è parlato in dettaglio nel paragrafo 4.1.2, consentono di utilizzare 2 diversi refrigeranti, compresi quelli naturali, per le linee a media e bassa temperatura sfruttandone al meglio le caratteristiche in funzione della temperatura di lavoro.

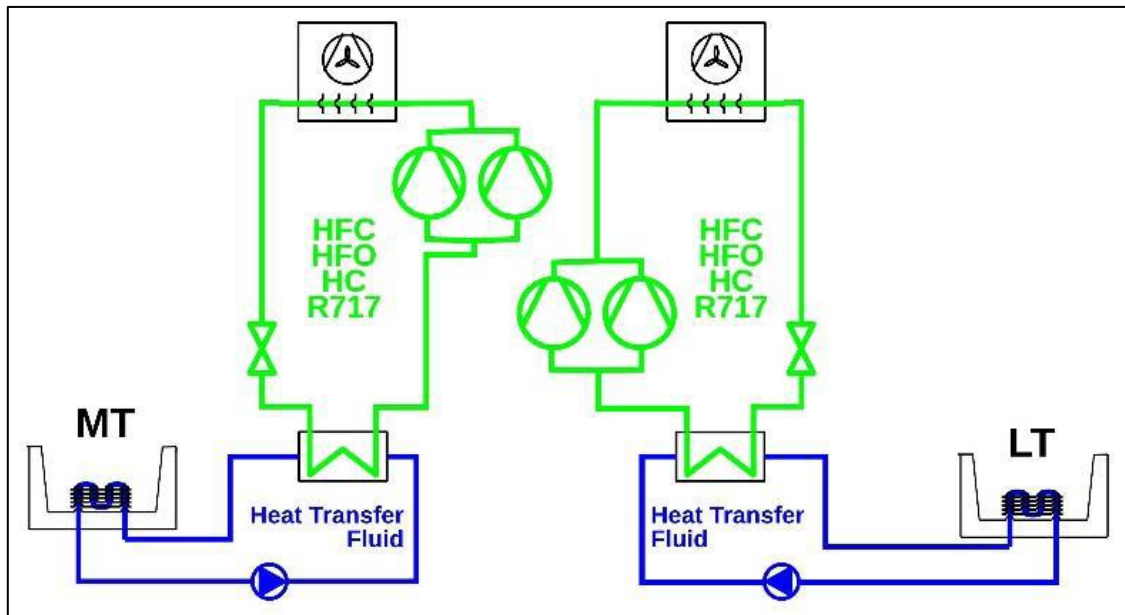


Figura 4.8 - Sistema centralizzato indiretto con circuiti separati (Fonte: Gschrey B., 2017)

Un'altra soluzione tecnologica che apre alla possibilità di utilizzo della CO₂ è il sistema a CO₂ transcritico. Si tratta di un sistema progettato per compensare le problematiche connesse alla bassa temperatura critica della CO₂ (31 °C). Un ciclo transcritico opera in condizioni di temperatura e pressione maggiori di quelle critiche, più in dettaglio l'anidride carbonica viene fatta evaporare in condizioni subcritiche mentre il rigetto del calore, avviene nella regione transcritica, al di sopra del suo punto critico. Questa soluzione prevede l'utilizzo di un gas cooler al posto del condensatore; si tratta di uno scambiatore di calore resistente alle elevate pressioni che permette di avere un ΔT (differenza tra la temperatura di uscita al gas cooler e la temperatura ambiente) inferiore rispetto a quello di un comune condensatore, date le migliori proprietà di scambio termico della CO₂ in regime transcritico. In regime transcritico, per una determinata temperatura d'uscita dal gas cooler esiste una pressione che ottimizza la resa dell'impianto frigo. Questo sistema si caratterizza per pressioni operative molto elevate, che possono superare i 140 bar, e per far fronte alle quali sono indispensabili componenti appositamente progettati (ad esempio specifici compressori capaci di resistere alle sollecitazioni meccaniche e termiche) oltre a uno specifico sistema di controllo della pressione nella regione transcritica rispetto ai tradizionali cicli frigoriferi che funzionano con altri refrigeranti. La necessità di operare nella regione transcritica sorge nel momento in cui la temperatura esterna è superiore a 20°C (o quando il fluido di raffreddamento dello scambiatore di alta pressione ha temperatura superiore a 20 °C). Al di sotto di questa temperatura in ciclo potrebbe tranquillamente operare in regime subcritico (Pisano G.). La tecnologia a CO₂ transcritica in impianti centralizzati è usata già da molti anni nel nord Europa mentre inizialmente non ha trovato spazio nei paesi con clima più caldo, tanto che si è parlato a lungo di "equatore CO₂" per indicare la linea di separazione tra le regioni dove il sistema garantisce buone efficienze e quelle dove invece non ne è consigliato l'uso. Diversi studi sono stati portati avanti per trovare soluzioni in grado di ridurre i cali di efficienza energetica di questa tecnologia a temperature elevate (paragrafo 3.2.3 Anidride carbonica (CO₂)).

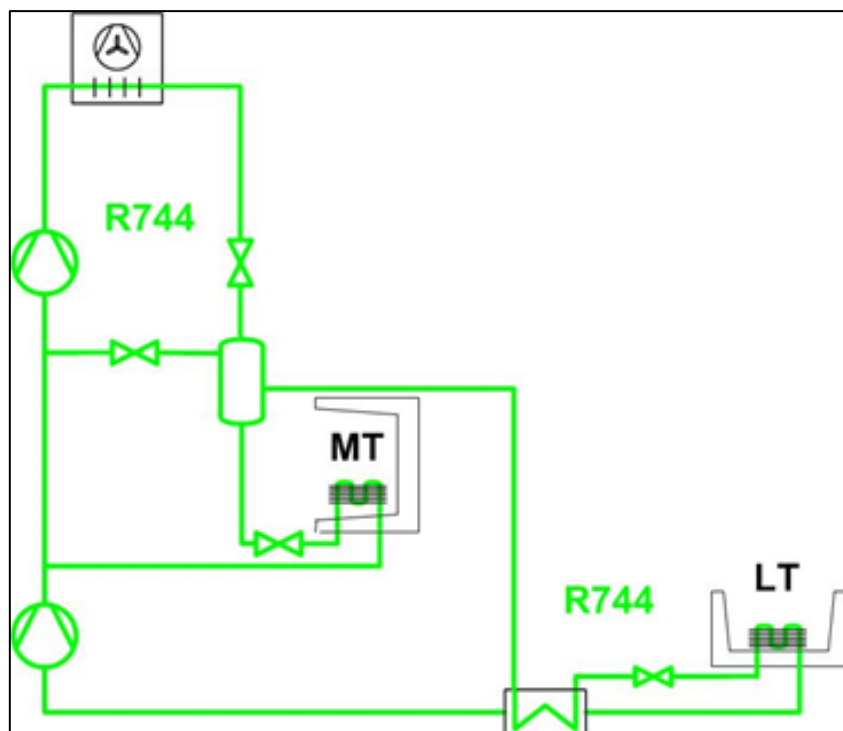


Figura 4.9 - Sistema a CO₂ transcritico (Fonte: Gschrey B., 2017)

Rispetto alle tecnologie sopra descritte, per i supermercati sono presenti altre soluzioni innovative che consentono di ottimizzare ulteriormente i processi migliorando l'efficienza complessiva del sistema; tra queste vi sono i sistemi waterloop e i sistemi integrati R+HVAC che permettono di soddisfare tutte le necessità energetiche di un negozio. Il sistema *waterloop* trasforma ogni utenza frigorifera, banco o cella da unità remota a unità plug-in, per mezzo di un circuito chiuso ad acqua. Ogni banco ha un suo sistema di refrigerazione con un compressore montato sopra o sotto il frigo a giri variabili per adattare la capacità frigorifera al carico del banco frigo e alle condizioni esterne. Il calore di condensazione prodotto dal compressore (il calore dei banchi frigo in pratica), anziché essere rigettato nell'ambiente, viene recuperato e trasferito all'anello ad acqua raffreddato con un dry-cooler. Tale calore può anche essere recuperato da una pompa di calore e impiegato per il riscaldamento del punto vendita andando ad alimentare un serbatoio d'acqua durante la stagione invernale. La pompa di calore, quando la temperatura dell'aria esterna è alta, come in estate, può compensare il mancato funzionamento del dry cooler e fungere da chiller, consentendo lo smaltimento del calore dei banchi frigo all'esterno. Il sistema water loop consente fino a un 25% di risparmio energetico rispetto ad analoghi sistemi on/off per il lavoro del compressore. Con questa configurazione infatti il compressore fornisce a ciascun banco la capacità frigorifera richiesta, regolando la temperatura di evaporazione in maniera autonoma dagli altri banchi e quindi consentendo a ciascun banco frigo di funzionare alla temperatura di evaporazione pari a quella strettamente necessaria⁵¹. Inoltre il compressore a giri variabile consente di regolare di volta in volta la potenza frigorifera del banco, massimizzando l'efficienza energetica rispetto a un compressore on/off che è invece tarato sulla potenza nominale e quindi su un delta di temperatura aria-refrigerante costante. Un altro vantaggio di questo sistema è dato dalla riduzione fino all'80% della carica del refrigerante e da un risparmio fino al 96% delle perdite, in quanto le piccole unità sono realizzate e testate in fabbrica; il sistema water loop consente infatti l'eliminazione delle lunghe tubazioni che connettono le centrali frigorifere alle utenze dei sistemi centralizzati, con conseguente riduzione sia della carica di refrigerante (ogni banco possiede una propria carica), sia delle perdite annuali in atmosfera durante l'esercizio ed eventualmente in caso di guasto (Carel, 2015; Ferrarese T., Bagarella G., 2015). Infine la riduzione dei costi di installazione e manutenzione, la semplificazione del sistema e la sua flessibilità rappresentano altri punti di forza di questa tecnologia che ben si presta a tutti i tipi di clima compresi quelli più caldi. Ogni unità plug in (banco o cella) potrà utilizzare un refrigerante naturale come ad esempio il propano o la CO₂. La tecnologia Water Loop è nata in Germania, dove è presente soprattutto con tante piccole unità a propano nei supermercati della Lidl.

⁵¹ Nei sistemi centralizzati, dove ciascuna linea di MT e BT è servita da una centrale frigorifera, la temperatura di evaporazione fluttuante con il carico frigorifero verrà sempre impostata per il banco che richiede la temperatura di evaporazione più bassa, costringendo gli altri banchi frigo a lavorare a temperature più basse del necessario.

4.3.2 Le alternative agli HFC nella refrigerazione commerciale a livello europeo e internazionale

Il Regolamento F-gas (art.11) prevede per i prossimi anni una serie di divieti alla vendita di apparecchiature della refrigerazione commerciale in funzione del tipo di apparecchiatura e del gas refrigerante utilizzato; in particolare è vietata l'immissione in commercio di frigoriferi e congelatori commerciali (ermetici) contenenti F-Gas con GWP >.2500 a partire dal primo gennaio 2020 e con GWP>150 a partire dal primo gennaio 2022. La vendita di impianti fissi di refrigerazione con F-Gas avente GWP>2500 non sarà più possibile invece dal 1.1.2020, mentre per gli impianti centralizzati per uso commerciale con capacità >40kW, che contengano F-gas con GWP>150, il divieto di immissione in commercio scatterà dal primo gennaio 2022, ad eccezione dei gas utilizzati nel circuito primario di un sistema in cascata, in cui è ammesso un GWP>150. Nella tabella sottostante è sintetizzato l'insieme delle misure di phase out previste dal Regolamento F-gas per il settore della refrigerazione commerciale (Tabella 4.4).

Tabella 4.4 - Divieti di immissioni in commercio di prodotti e apparecchiature contenenti HFC per la refrigerazione commerciale (Fonte: UE, 2014)

DIVIETI DI IMMISSIONI IN COMMERCIO DI PRODOTTI E APPARECCHIATURE CONTENENTI HFC PER LA REFRIGERAZIONE COMMERCIALE		
Frigoriferi e congelatori per uso commerciale (apparecchiature ermeticamente sigillate)	Contenenti HFC con potenziale di riscaldamento globale pari o superiore a 2.500	1° gennaio 2020
	Contenenti HFC con potenziale di riscaldamento globale pari o superiore a 150	1° gennaio 2022
Apparecchiature fisse di refrigerazione contenenti HFC con potenziale di riscaldamento globale pari o superiore a 2.500 o il cui funzionamento dipende dai suddetti HFC a eccezione delle apparecchiature concepite per raffreddare prodotti e temperature inferiori a -50 °C		1° gennaio 2020
Sistemi di refrigerazione centralizzati multipack per uso commerciale di capacità nominale pari o superiore a 40 kW contenenti o il cui funzionamento dipende da gas fluorurati a effetto serra con potenziale di riscaldamento globale pari o superiore a 150 tranne nel circuito refrigerante primario di sistemi a cascata in cui possono essere usati gas fluorurati a effetto serra con potenziale di riscaldamento globale inferiore a 1500.		1° gennaio 2022

4.3.2.1 Le alternative agli HFC nel mondo: unità stand-alone

Nelle unità stand-alone il refrigerante sintetico maggiormente utilizzato è l'R-404A. Tale refrigerante avendo un GWP pari a 3.922 sarà vietato a partire dal 2020. Fino al 2022 quando entrerà in vigore il limite ancora più basso di 150, potranno essere utilizzati altri refrigeranti sintetici con un GWP relativamente alto purché nei limiti di 2.500. Possibili alternative nel medio breve periodo sono pertanto costituite dai seguenti fluidi frigoriferi: R-407A, R407F, R-448A, R-449A, R-442A, R449B. Tali refrigeranti risultano compatibili con le applicazioni esistenti funzionanti a R-404A e hanno un GWP compreso tra 1.387 e 2.107. L'R-407F è usato come un sostituto per R-404A (GWP = 3922) nella ristrutturazione di impianti esistenti. Gli altri refrigeranti si caratterizzano per essere nuove miscele dalla disponibilità commerciale ancora limitata.

Nel lungo periodo invece il sub-settore delle unità stand alone dovrà migrare verso i refrigeranti naturali o le idrofluoroolefine che, al momento sono le uniche sostanze frigorifere in grado di rispettare il vincolo di 150 di GWP. L'alternativa principale all'uso dei tradizionali HFC nel sub-settore dei sistemi stand-alone è costituita dagli *idrocarburi*. Le piccole cariche in gioco e le caratteristiche di questi sistemi, che si presentano ermeticamente sigillati, consentono l'utilizzo di questi refrigeranti naturali così altamente infiammabili. Si stima che nel mondo vi siano oltre tre milioni di congelatori per gelati che utilizzano il propano HC-290 e molte altre apparecchiature, come le vetrine per la vendita al dettaglio, sembrano idonee all'uso di idrocarburi. Naturalmente i diversi standard di sicurezza nazionali andranno a incidere sulla reale applicabilità e diffusione di tale soluzione. Si ricorda che diverse norme limitano la quantità di carica di refrigeranti infiammabili a 150 grammi nei sistemi stand-alone del tipo distributori automatici, frigoriferi e congelatori commerciali, fabbricatori di ghiaccio e apparecchi di refrigerazione commerciale in generale. Un vantaggio nell'uso degli HC è legato alla loro grande disponibilità commerciale in molte regioni del mondo per cui si prevede che un'ampia gamma di apparecchiature stand-alone a idrocarburi diventerà disponibile nei prossimi 5 anni. A fronte della diffusione dell'utilizzo di HC sarà necessario investire molto nella formazione dei tecnici per la gestione e manipolazione in sicurezza di refrigeranti infiammabili. In termini di

efficienza i nuovi sistemi stand alone a HC presentano migliori prestazioni rispetto agli attuali funzionanti con refrigeranti sintetici (R-404A e HFC-134A). I costi capitali delle unità a idrocarburi sono simili a quelli delle unità a HFC anche se gli investimenti nella produzione in fabbrica sono maggiori per garantire standard di sicurezza elevati. In generale il retrofit non appare una soluzione appropriata per le unità-stand alone (UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 4, 2015; EPA, 2016). La CO₂ viene usata anche nel settore delle unità stand-alone, soprattutto nelle vetrine destinate al mantenimento delle bevande fresche; una delle più grandi aziende produttrici di bevande del mondo ha installato più di 1,7 milioni di refrigeratori e distributori automatici di bevande che utilizzano l' R-744 (EPA, 2016). I test sul campo indicano che le unità utilizzano meno energia rispetto alle unità a HFC a temperatura ambiente moderata. Si stima che nei prossimi 5 anni il numero di tali apparecchiature funzionanti a anidride carbonica crescerà. In termini di costi, le apparecchiature a CO₂ risultano ad oggi più care delle tradizionali a HFC a causa dell'alto costo dei componenti progettati per funzionare con tale refrigerante naturale. L'applicabilità della CO₂ nella unità stand-alone ad alte temperature non è consigliata poiché per le piccole apparecchiature il calo di efficienza legato a condizioni di caldo risulta considerevole (UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 4, 2015; EPA, 2016).

Le idrofluoro-olefine, in particolare l'HFO-1234yf e l'HFO-1234ze sono altri refrigeranti alternativi per i sistemi stand-alone, che possono essere utilizzati in particolare quando gli standard di sicurezza regionali vigenti non consentono l'uso degli idrocarburi. Rispetto a tali idrocarburi infatti le idrofluorolefine sono meno infiammabili (classi 2L). Il loro utilizzo nel settore è comunque ancora in fase di sviluppo. Esistono anche in commercio miscele di HFC/HFO non infiammabili, con GWP intorno a 600 e con proprietà simili all'HFC-134a. R-450A, R-451A, R-451B, R-513A sono alcune di queste miscele idonee soprattutto per le applicazioni a media temperatura. Si prevede che molte nuove unità stand alone funzionanti a HFO o miscele di HFC/HFO saranno commercialmente disponibili nei prossimi anni. Training per la manipolazione di refrigeranti mediamente infiammabili saranno necessari anche perché allo stato attuale non c'è ancora un sistema di formazione ben sviluppato per queste sostanze. In merito all'efficienza di sistemi a HFO o miscele, i dati sono ancora poco disponibili ma si ritiene possibile che si possano raggiungere valori prossimi a quelli delle unità a R-404A. I costi delle apparecchiature a HFO-1234yf sono leggermente superiori a causa dei maggiori costi del refrigerante (UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 4, 2015; EPA, 2016; UNEP, September 2016).

I Sistemi stand alone a refrigeranti naturali sono sempre più frequentemente installati non solo in piccoli impianti commerciali ma anche in discount e supermercati al posto dei sistemi di refrigerazione multipack centralizzati. Per esempio in Spagna Cash Directo ha installato al posto di un sistema centralizzato 16 isole freezer a propano e 10 cabinet a CO₂, con un risparmio energetico dichiarato del 23% rispetto al sistema centralizzato a R404A. Un sistema stand-alone raffreddato ad acqua è stato installato in un negozio ad Amburgo con una pompa di calore a CO₂ per recuperare il 100% del calore dagli armadi e dalle celle frigorifere e riscaldare il negozio, offrendo un notevole risparmio energetico. Altre unità stand alone a CO₂ con recupero del calore di condensazione per il riscaldamento del negozio (unità semi plug-in) sono state installate dall'azienda Sanden in Giappone e in parte anche in Europa, dove ad oggi sono presenti 800 unità distribuite in Svizzera, Regno Unito, Francia e Lituania e secondo quanto comunicato dall'azienda, tali sistemi mostrano un risparmio energetico pari a quello dei sistemi con R134a e delle unità stand-alone a idrocarburi, mentre sono meno costosi da implementare rispetto ai sistemi di CO₂ transcritici. (Gschrey B., 2017)

4.3.2.2 Le alternative agli HFC nel mondo: unità a condensazione

I refrigeranti sintetici maggiormente usati a livello mondiale nelle unità a condensazione sono l'R-404A e l'HFC-134a. Le principali alternative all'R404A attualmente disponibili hanno un GWP compreso mediamente tra 1400 e 2100 e non sono infiammabili, il che le rende compatibili anche con apparecchiature che richiedono cariche di refrigerante maggiori. Si tratta dell'R-407A e dell'R407F, utilizzabili sia in nuovi sistemi che in retrofit negli impianti esistenti, a cui si aggiungono le nuove miscele con esperienza commerciale ancora limitata: R-448A, R-449A, R-442A, R449B. (UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 4, 2015).

Il mercato delle alternative con GWP molto basso (qualche unità sopra lo 0) non è ancora molto sviluppato. L'utilizzo di refrigeranti naturali per questa tipologia di apparecchiature ad oggi non è infatti sempre possibile. Gli idrocarburi per la loro alta infiammabilità possono considerarsi una alternativa solo per le unità a condensazione molto piccole, che richiedono basse cariche, mentre costi ed efficienza rendono la CO₂ non così praticabile anche se non mancano a livello mondiale casi di impiego di questo refrigerante in tali apparecchiature. Sono infatti disponibili commercialmente unità a condensazione a CO₂ sia in nord Europa che in Giappone con una piccola fetta di mercato che sembra destinata a crescere (EPA, 2016). Secondo

quanto riportato dal documento EPA (EPA, 2016), le unità a condensazione a HC possono costare fino al 15% in più delle unità a condensazione a HFC; in Europa sistemi a condensazione in remoto a espansione diretta contenenti fino a 1,4 kg di HFC-290 e R-600a sono commercialmente già disponibili. Una ulteriore possibilità è costituita dallo sviluppo di nuove miscele con bassa infiammabilità (2L), alcune con proprietà simili all'R404A, quali l'R-454A e l'R-455A (sotto sviluppo) altre con proprietà simili a quelle dell'R-410A quali l'R-446A, R-447A, R-454B; tali sostanze possiedono un GWP inferiore a 600 e possono essere usate solo in nuove apparecchiature con opportune misure di sicurezza. Come alternativa all'HFC-134a esistono diverse miscele non infiammabili con GWP intorno a 600 come l'R-450A e l'R-513A e altre con bassa infiammabilità (2L) come R-451A e l'R451B, utilizzate soprattutto nelle applicazioni a media temperatura. Anche le idrofluoro-olefine, le miscele a base di HFC/HFO e l'R-32 rappresentano possibili alternative per le unità a condensazione. (UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 4, 2015; EPA, 2016).

In generale il retrofit è una opzione praticabile per queste apparecchiature ma si tratta di un intervento meno conveniente in termini di costi efficacia rispetto ai grandi sistemi centralizzati.

Il settore delle unità a condensazione richiede ancora passi avanti nello studio dell'efficienza delle sostanze come le HFO, o le miscele a base di HFO e l'R-32, e nello studio degli effetti delle alte temperature ambiente sull'efficienza delle apparecchiature. Come per le unità stand alone la manipolazione di sostanze infiammabili/tossiche o che lavorano ad alte pressioni richiede competenze specifiche da parte degli addetti ai lavori e la necessità di corsi di formazione per la preparazione del personale. (UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 4, 2015)

4.3.2.3 Le alternative agli HFC nel mondo: sistemi centralizzati

Nei sistemi centralizzati della refrigerazione commerciale l'R-404A è ad oggi il refrigerante più utilizzato. In molti paesi esso rappresenta il 90% del consumo degli HFC, pesato sul GWP (comprese le unità stand alone e le unità a condensazione); in alcuni casi si usa anche l'HFC-134a, soprattutto per le applicazioni a media temperatura. Come per gli altri sub-settori della refrigerazione commerciale (unità stand-alone e unità a condensazione) anche per i sistemi centralizzati sta aumentando l'utilizzo di alternative all'R-404A costituite da HFC aventi un GWP compreso nel range 1.400-2.100. Queste alternative non essendo infiammabili sono compatibili con le grandi cariche di questi impianti e sono disponibili in retrofit. In particolare l'R-407A e l'R-407F costituiscono l'alternativa attualmente più usata, valida tanto per i nuovi sistemi quanto per il retrofit di impianti esistenti. A questi due fluidi si aggiungono altre miscele come l'R-442A, l'R-448A, l'R-449A o l'R-449B che tuttavia presentano ancora limitata esperienza commerciale (UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 4, 2015; EPA, 2016, TEAP, September 2016). L'R32 secondo lo studio EPA (EPA, 2016) comincia a essere usato nei sistemi centralizzati a media temperatura ed è studiata anche la sua applicazione al caso dei sistemi centralizzati per bassa temperatura.

Per le nuove apparecchiature centralizzate la CO₂ rappresenta l'alternativa più utilizzata a livello mondiale e soprattutto in Europa, sia nella configurazione transcritica che in sistemi a cascata. Nei climi freddi fin da subito la configurazione con booster transcritico è apparsa più efficiente mentre, inizialmente, nei paesi dal clima caldo è prevalso l'uso dei sistemi in cascata capaci di garantire maggiori efficienze (con la CO₂ come refrigerante a bassa temperatura e HFC, soprattutto HFC134a o refrigeranti naturali per il ciclo a media temperatura). I progressi tecnologici degli ultimi anni rendono tali sistemi altamente efficienti. Attualmente le soluzioni impiantistiche innovative (compressione parallela, sottoraffreddatore meccanico, eiettore e scambiatore di raffreddamento adiabatico per gas cooler) stanno permettendo l'uso del booster transcritico anche a temperature ambiente più elevate tanto che il problema dell'“*equatore della CO₂*” da un punto di vista impiantistico risulta ormai superato. La progettazione del sistema deve inoltre considerare anche la prevenzione delle perdite che, a causa delle elevate pressioni di lavoro della CO₂, sono significative e prodotte durante il ciclo di vita operativo della macchina. Dal punto di vista dei costi i sistemi a CO₂ sono mediamente più costosi dei tradizionali sistemi a R-404A (dal 10% al 20% in più) ma i progressi tecnologici stanno rapidamente riducendo questo divario che in alcuni casi è sceso al di sotto del 5%. Anche dal punto di vista dell'efficienza energetica i nuovi sistemi a CO₂ possono avere efficienze migliori degli attuali sistemi a HFC, soprattutto nei paesi con bassa o moderata temperatura ambiente. Sempre per quanto riguarda la CO₂, oltre ai sistemi transcritici e in cascata, tale refrigerante può essere usato nei sistemi a circuito secondario: questa configurazione sta conquistando parti di mercato. Se poi i sistemi prevedono il recupero di calore con cui per esempio effettuare il riscaldamento del negozio, si può raggiungere la parità con la tecnologia HFC in termini di costi per l'intero negozio anche nelle regioni con clima più caldo come il sud Europa (UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 4, 2015; EPA, 2016, Gschrey B., 2017).

Per quanto riguarda gli altri refrigeranti naturali, in alcuni grandi supermercati, come già descritto precedentemente, si sta diffondendo l'uso di unità stand-alone a idrocarburi raffreddate da un circuito ad acqua; gli HC possono essere impiegati anche nei sistemi indiretti come refrigerante primario nei chillers;

per quanto riguarda l'impiego dell'HC-290, esistono in Danimarca alcuni progetti dimostrativi con questo idrocarburo utilizzato in sistemi in cascata. L'ammoniaca viene impiegata nei sistemi in cascata come refrigerante nel circuito ad alta temperatura o nei sistemi indiretti. Più di 50 impianti a cascata a CO₂ operano in Brasile, mentre la CO₂ transcritica domina il mercato della refrigerazione commerciale in Danimarca, Germania, Canada, Giappone e Regno Unito, con oltre 3.000 installazioni e con una crescita prevista delle vendite a livello mondiale di 5 volte al 2020. Anche i sistemi in cascata a NH₃ come refrigerante per la MT sono ampiamente disponibili in diverse parti del mondo compreso la Svizzera e il Lussemburgo (EPA, 2016). In Spagna le soluzioni stand-alone basate sull'uso di HC e CO₂ hanno dimostrato un risparmio energetico di oltre il 20% rispetto ai sistemi stand alone con HFC. (Gschrey B., 2017) Secondo quanto riportato al Consultation forum a Bruxelles nel dicembre 2017, la configurazione a CO₂ transcritica risulta già utilizzata nell'Europa meridionale e in particolar modo in Spagna, Italia e Portogallo mentre esperienze presenti in Sud Africa e Stati Uniti mostrano gli impianti a cascata a NH₃/CO₂ con buone efficienze nei climi caldi.

4.3.3 Le alternative agli HFC in Italia nel settore della refrigerazione commerciale

4.3.3.1 Le alternative agli HFC in Italia: unità stand-alone

In Italia il propano (R-290) costituisce l'alternativa consolidata per le unità stand alone nel medio-lungo periodo. Per quanto riguarda la CO₂, che la letteratura internazionale propone come alternativa possibile, gli esperti del settore, sottolineano come non ci siano limiti tecnologici alla realizzazione di unità plug-in a CO₂ con alta efficienza; la soluzione a propano risulta, però, tecnicamente ed economicamente così vantaggiosa che non si ritiene la CO₂ in grado di competere con l'R-290 nel ruolo di principale alternativa climate friendly del mercato delle unità stand alone. Le ultime informazioni sui trend di mercato indicano tra l'altro un passo indietro da parte delle grandi compagnie internazionali come la Coca – Cola, nell'utilizzo della CO₂ per i bottle coolers.

4.3.3.2 Le alternative agli HFC in Italia: unità a condensazione

Lo scenario sulle alternative agli HFC nelle unità a condensazione delineato a livello europeo viene sostanzialmente confermato anche per l'Italia. Pertanto, mentre i refrigeranti naturali costituiscono alternative praticabili in particolare con il propano per le applicazioni più piccole (sotto i 3-4 kW) e con la CO₂ transcritica per quelle più grandi (sopra i 40/50kW), diverso appare il discorso per la fascia di apparecchiature con potenza intermedia, in cui si possono far ricadere le unità a condensazione. Le maggiori cariche di refrigerante richieste da queste apparecchiature non consentono infatti l'uso di sostanze infiammabili, mentre la CO₂ non risulta ancora una soluzione conveniente dal punto di vista economico. Le soluzioni in alternativa all'R-404A, il refrigerante ad oggi maggiormente usato anche in Italia, insieme all'HFC-134a, risulteranno essere costituite da altri refrigeranti sintetici, ma con GWP molto più basso di quello dell'R-404A. Tra questi nuovi refrigeranti si segnalano l'R407A (GWP di 2107), l'R452A, l'HFC134a (GWP di 1430), l'R-448A (GWP di 1273) e altre miscele. L'R404A nel tempo uscirà dal mercato, sotto la spinta dell'incremento del costo della sostanza legato al suo elevato GWP e agli effetti del phase-down del Regolamento F-gas. Altri refrigeranti sintetici entreranno nel mercato come l'R-407H, oggi ancora in fase di sviluppo. In merito alle possibilità di drop-in o meno delle alternative, per questa tipologia di apparecchiature (sotto i 45 Kw) si può parlare unicamente di retrofit (retrofit per l'R407A, R407F). Esselunga, catena di supermercati italiani, punta all'R-448A (miscela a base di idrofluoro-olefine) in retrofit ma l'uso di questo refrigerante sarà destinato a diventare marginale poiché possiede ancora un GWP troppo elevato. L'R-32, con GWP pari a 675 e ottima efficienza energetica, si usa per sistemi di potenza medio bassa, (piccoli impianti monosplit, unità di condensazione). Richiede il 15% in meno di carica rispetto all'R-404A. Possibile alternativa futura all'HFC134a è l'HFO-1234ze; non infiammabile questa idrofluoro-olefina risulta idonea per i water chiller di grandi dimensioni e già usata nei chillers industriali..

4.3.3.3 Le alternative agli HFC in Italia: sistemi centralizzati

Per quanto riguarda i sistemi centralizzati, nel medio periodo, prima dell'entrata in vigore del divieto per gli HFC con GWP maggiore di 150 nei nuovi impianti, sarà possibile utilizzare tutta una gamma di refrigeranti sintetici con GWP inferiore rispetto a quello dei refrigeranti ad oggi maggiormente utilizzati (R-404A, R-507 e HFC-134a), secondo quanto già descritto nel paragrafo 4.3.2.3. Molte di queste miscele (anche quelle a

base di HFO) potranno essere utilizzate in retrofit. Principali sostituti dell'R-404A sono l'R-448A (classe A1 GWP=1273) e l'R-407F; quest'ultimo ha già sostituito buona parte del 404.

Si prevede la presenza di un consumo residuo di HFC legato esclusivamente agli impianti più vecchi, per quanto si tratterà di refrigeranti con GWP intermedio dell'ordine di alcune centinaia o più, tuttavia la crisi improvvisa nell'approvvigionamento nel mercato di questi refrigeranti, insieme all'aumento esponenziale del loro costo, (già al 2020 sarà difficile reperire nel mercato HFC con GWP > 1300) potrà mettere in crisi il funzionamento degli impianti più vecchi e d'altro lato accelerare la transizione verso nuove sostanze e tecnologie. Nel lungo periodo anche in Italia la CO₂ si presenta come la principale alternativa climate-friendly ai tradizionali refrigeranti HFC. La tecnologia basata sull'impiego della CO₂ che sta prendendo maggiormente piede tra i sistemi centralizzati è la tecnologia transcritica. I cali di efficienza registrati dagli impianti a CO₂ alle alte temperature ambiente per diverso tempo hanno rappresentato una criticità per un Paese come l'Italia, dove le temperature estive spesso superano i 30° C. Nel nord Italia in realtà le temperature non pongono problemi di efficienza alle macchine per cui già da tempo si è raggiunto un sostanziale pareggio tra i costi del tradizionale impianto a R-404A e quelli degli impianti a CO₂ mentre anche nelle regioni meridionali d'Italia, il problema della maggiore temperatura ambiente non sembra più costituire un'ostacolo grazie allo sviluppo e diffusione negli ultimi anni di particolari soluzioni tecnologiche, come gli eiettori, la compressione parallela e il sottoraffreddamento. Il sottoraffreddamento meccanico, in particolare, sembra essere una tecnologia ottima per la CO₂ e una realtà concreta per il Paese, garantendo buone efficienze di funzionamento anche con temperature ambiente superiori a 35 °C e addirittura superiori ai 50 °C.. (Epta, 2016) Per gli eiettori si è ancora in fase di studio e si sta ipotizzando di utilizzare tale tecnologia anche con altri refrigeranti diversi dalla CO₂. Allo stato attuale il costo dell'eiettore risulta ancora significativo perché paga la mancanza di esperienza, ma sarà pertanto destinato a ridursi nel tempo per effetto dei progressi tecnologici e dell'aumento delle conoscenze in modo da diventare competitivo nel mercato. Diversi studi sono stati portati avanti da società della grande distribuzione commerciale e da aziende che forniscono componentistica in Italia, al fine di dimostrare la possibilità di utilizzo della CO₂ nella grande distribuzione commerciale anche alle alte temperature. Si consideri inoltre che il consumo energetico è un aspetto molto importante nel bilancio per le aziende che operano nel settore della grande distribuzione organizzata (GDO). Epta, importante gruppo multinazionale specializzato nella refrigerazione commerciale per la GDO, ha condotto al riguardo studi per valutare il risparmio energetico con il sottoraffreddatore a CO₂ simulando l'effetto del sottoraffreddamento del sistema transcritico (TSC) per 3 impianti con capacità frigorifera 100 kW TN (media/alta temperatura) e 14 kW BT (bassa temperatura). La simulazione si è basata sulle correlazioni ottenute da prove sul campo. Nella tabella sottostante sono riportati i risultati dello studio dove si evidenzia come il sotto raffreddamento consente un risparmio maggiore, pari al 15%, proprio alle alte temperature.

Tabella 4.5 - Risparmio anno (simulato) con sottoraffreddatore a CO₂ (Fonte: Epta, 2016)

Location	Cold climate	Mid climate	Warm climate
T < %30 time/year	+4.5°C	+13.0°C	+20.0°C
T average year	+9.0°C	+18.0°C	+26.0°C
T < %70 time/year	+13.0°C	+23.0°C	+32.0°C
TSC	137MWh/year	214 MWh/year	399 MWh/year
TSC w SC	136MWh/year	203 MWh/year	339 MWh/year
Saving	-0.5%	-5%	-15%

La figura successiva invece riporta il numero e la distribuzione di 36 impianti a CO₂ transcritici realizzati da EPTA in Italia da cui si evince come tale tecnologia sia presente anche nel centro/sud seppure ancora in numero inferiore rispetto al nord del Paese⁵². Secondo quanto comunicato dagli esperti del settore della refrigerazione, si può affermare che ad oggi per le nuove installazioni gli HFC costituiscono ancora circa l'80% in peso di refrigerante delle nuove cariche installate, mentre il 20% è ormai definitivamente convertito in CO₂.

⁵²A ottobre 2012 nel supermercato Kanguro di Belluno è stato inaugurato il primo impianto di refrigerazione interamente a CO₂ transcritica in Italia, sia per i banchi a temperatura positiva TN (salumi, formaggi, carni) sia per il reparto BT dedicato ai surgelati. (surgelati, gelati).

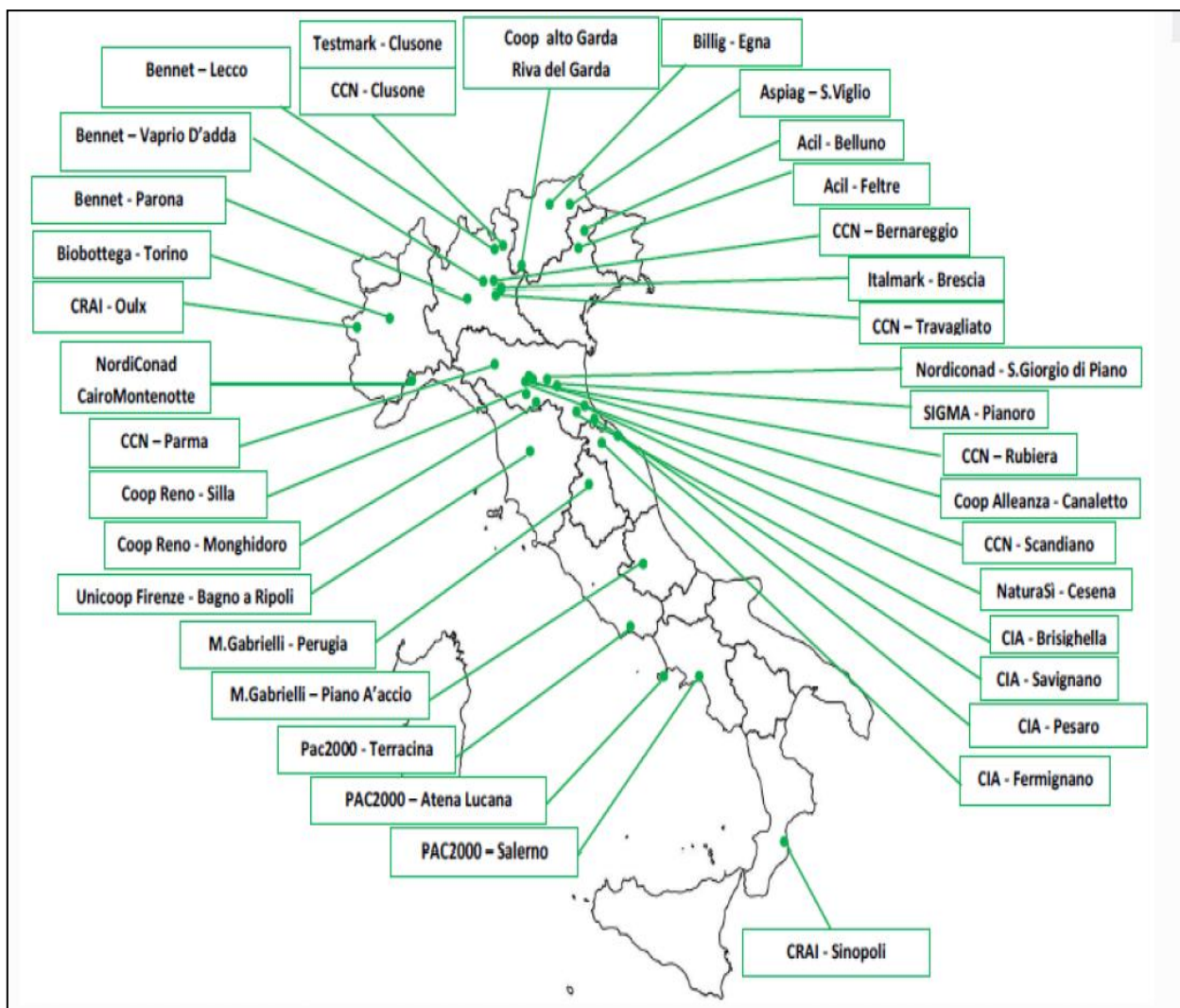


Figura 4.10 Impianti a CO₂ transcritica realizzati in Italia da EPTA (Fonte: Epta, 2016)

Analogamente Inres-Coop⁵³ ha effettuato studi sull'efficienza energetica dei propri impianti a CO₂ rilevando come questa tipologia di apparecchiature presenti ancora importanti risultati in termini di consumi energetici, per quanto non così penalizzanti rispetto agli impianti tradizionali. Considerando che gli impianti analizzati in questa circostanza non erano dotati di tecnologie avanzate come l'eiettore, le performance con l'utilizzo di soluzioni di questo tipo non potranno che migliorare dal punto di vista energetico (Della Guerra F., 2016). Un impianto a CO₂ transcritico che utilizza più soluzioni insieme, come ad esempio la compressione parallela e l'eiettore, avrà un'efficienza ancora maggiore alle alte temperature. Questo significa che la massima temperatura esterna oltre la quale un impianto a CO₂ non è più conveniente dal punto di vista energetico rispetto a un tradizionale impianto a R-404A, aumenta quanto più il sistema è dotato delle diverse soluzioni tecnologiche presenti nel mercato. I risultati presentati da ENEX, società specializzata nella progettazione e sviluppo di sistemi frigoriferi ad alta efficienza con fluidi naturali, che ha confrontato l'efficienza di sistemi booster tradizionali a CO₂ con sistemi avanzati a diverse temperature, sono in linea con quanto esposto: per un ciclo booster tradizionale il limite massimo di temperatura oltre la quale il sistema a CO₂ non è più conveniente, si aggira intorno ai 27 °C, temperatura spesso superata in estate in Italia; con un booster con compressione parallela il sistema a CO₂ risulta conveniente dal punto di vista energetico rispetto all'impianto a R-404A fino a 38°C, per arrivare a 40°C se l'impianto risulta essere dotato sia di compressione parallela che di eiettore del vapore; in tal caso si ha addirittura un vantaggio del 7% in termini di efficienza energetica rispetto all'impianto a R404A. Infine in presenza di un impianto booster con compressione parallela, eiettore del liquido ed eiettore del vapore, sistema altamente avanzato, il limite di 40°C consente un risparmio energetico del 16% rispetto al tradizionale sistema a refrigerante sintetico (Enex, 2016).

⁵³ INRES è l'Istituto Nazionale Consulenza, Progettazione, Ingegneria che progetta le strutture di vendita di Coop

Nell'aprile del 2016, il rivenditore italiano Iper ha aperto ad Arese il più grande ipermercato italiano che utilizza un sistema di refrigerazione a CO₂ transcritico con la tecnologia dell'eiettore implementata in due centrali a compressione parallela. Il sistema chiavi in mano è stato fornito dall'azienda italiana Arneg⁵⁴ in collaborazione con altre società italiane (tra cui Dorin ed Enex). Queste centrali alimentano più di 150 banchi e celle refrigerate, per un totale di 290 kW di capacità, in media temperatura e 30 banchi frigo in bassa temperatura per un ammontare di 38 kW. Entrambe le centrali sono state dotate anche di un sistema di recupero del calore. Grazie all'utilizzo dell'eiettore, secondo i progettisti, il sistema è in grado di garantire buone efficienze fino a oltre i 38°C, dimostrando che un impianto a CO₂ può competere con un impianto tradizionale a R-404A anche in climi miti. In particolare è stato stimato che con un impianto a CO₂ transcritica ed eiettore è possibile raggiungere fino al 10% di risparmio di energia rispetto a un ciclo a R-404A. (Arneg, 2016). Secondo gli addetti ai lavori, gli esperimenti sul campo della tecnologia a eiettore, seppure ancora in fase di prototipo, condotti in 15 supermercati attraverso l'Europa confermano i vantaggi di questa tecnologia sull'efficienza energetica dei sistemi. (Zerosottozero, 2016).

Oltre agli impianti transcritici vengono installati in Italia anche sistemi a CO₂ in cascata, in particolare sistemi a R-134a/CO₂ con l'anidride carbonica utilizzata nel ciclo a bassa temperatura. Negli ultimi anni si sta tuttavia registrando un calo nella diffusione dei sistemi in cascata a favore dei sistemi transcritici più avanzati. Le soluzioni a CO₂, transcritica o in cascata riguardano esclusivamente i nuovi impianti.

Un'ulteriore evoluzione tecnologica totalmente climate friendly, presentata dagli addetti ai lavori per il settore della grande distribuzione organizzata (GDO), sono i cosiddetti sistemi integrati R&HVAC a CO₂ che consentono, utilizzando esclusivamente il refrigerante naturale, di soddisfare tutte le esigenze energetiche del negozio: refrigerazione, riscaldamento e aria condizionata, tradizionalmente forniti invece da sistemi separati (chiller, caldaie, UTA). Questo sistema recupera l'energia prodotta dal sistema di refrigerazione (ossia il calore di calore scaricato dalla CO₂ ad alta temperatura) per produrre acqua calda sanitaria ma anche acqua refrigerata per rinfrescare il supermercato nella stagione estive. In tal modo si ottiene una massimizzazione dell'efficienza energetica.

Anche la tecnologia water loop a refrigeranti naturali (in particolare con impiego di propano per le unità plug in) si ritiene che possa considerarsi una realtà nel settore della refrigerazione commerciale da qui ai prossimi anni. Soluzione per i sistemi centralizzati e le nuove installazioni, risulta conveniente soprattutto per negozi tra gli 800 e i 1200 m² non per negozi più piccoli.

I progressi tecnologici nell'uso dei refrigeranti naturali sono continui, grazie all'intensa attività di ricerca che vede impegnate numerosi aziende. Si mira soprattutto, come abbiamo visto, alla realizzazione di tecnologie a CO₂ versatili, cioè capaci di adattarsi a qualunque formato del negozio e a qualunque condizione climatica. Un esempio al riguardo è costituito da una nuova tecnologia presentata alla fiera Euroshop di marzo 2017⁵⁵, denominata "full transcritical efficiency" (FTE a CO₂) con brevetto depositato in Italia e Austria. Tale tecnologia garantisce, a detta degli operatori, un risparmio energetico del 10% e costi di installazione e manutenzione inferiori fino al 20% rispetto a un sistema tradizionale a CO₂ transcritico. Permette buone efficienze a tutte le temperature, anche a climi caldi. La tecnologia FTE non necessita dell'eiettore, usato per migliorare l'efficienza alle alte temperature dei sistemi a CO₂; al suo posto utilizza evaporatori allagati e un ricevitore di liquido multilivello. Di fatto è simile a una centrale CO₂ booster standard, senza eiettori e compressione parallela. Diversi impianti a FTE a CO₂ sono stati installati in Italia, ma anche in Germania e Australia offrendo riscontri sperimentali e dati relativi a oltre 2 anni di funzionamento continuo (ZerosottoZero, 2017).

Per quanto riguarda le HFO, queste sostanze non sembrano costituire una alternativa appetibile per il mercato italiano, a differenza di altri mercati come quello americano; gli aspetti ambientali ancora poco chiari e le questioni sulla sicurezza dovute all'inflammabilità costituiscono un freno alla loro diffusione nella refrigerazione commerciale.

4.4 Apparecchiature professionali

4.4.1 Caratteristiche del settore

Per attrezzature professionali si intendono apparecchiature come frigoriferi, congelatori, abbattitori di temperatura, produttori di ghiaccio, vetrine refrigerate, apparecchi self-service di distribuzione e alzatine

⁵⁴ Arneg, è una società leader internazionale nella progettazione, produzione e installazione di attrezzature complete per il settore del retail. (<https://www.arneg.it/it>)

⁵⁵ Euroshop, Dusseldorf -5-9 Marzo 2017, <https://www.euroshop-tradefair.it>

refrigerate, utilizzate nelle cucine di bar, ristoranti, mense pubbliche e private con lo scopo di preparare, conservare e servire i pasti.

Il funzionamento di queste apparecchiature si basa sull'uso dei refrigeranti HFC. La non infiammabilità di questi gas costituisce un requisito fondamentale per il loro utilizzo; le apparecchiature professionali infatti vengono spesso impiegate in luoghi pubblici, come scuole, aeroporti, stazioni o navi, dove non è permesso l'uso di gas infiammabili, inoltre necessitano di cariche di refrigerante sovente superiori al limite tollerato (150 g) per le sostanze infiammabili, previsto dalle norme IEC EN CEI.

4.4.2 Gli effetti del Regolamento F-gas sulle apparecchiature professionali

Le disposizioni del Regolamento F-gas sono destinate a impattare anche il comparto delle apparecchiature professionali, ma la sostituzione dei tradizionali HFC ad alto GWP con altre sostanze a minor effetto serra non viene ritenuta immediata e priva di conseguenze, come ci è stato riferito da CECED⁵⁶, l'Associazione rappresentativa del comparto. In particolare, le principali criticità che sono state rilevate riguardano le seguenti tipologie di prodotti:

- Abbattitori professionali e produttori di ghiaccio,
- Frigoriferi professionali /refrigeratori professionali.

Il passaggio alle alternative a basso GWP per rispettare il limite di 150 al 2022 pone diverse problematiche non essendo possibile, a detta degli operatori del settore, passare ai refrigeranti naturali o alle HFO che ad oggi sono le uniche sostanze in grado di rispettare tale limite.

Oltre ai limiti massimi di carica consentita per le sostanze infiammabili (150 g) come gli idrocarburi, altre limitazioni all'utilizzo di refrigeranti infiammabili in questo comparto sono costituite dalla scarsa disponibilità di componenti e da soluzioni tecniche non ancora ottimamente sviluppate. Il passaggio, ove possibile tecnicamente, a gas infiammabili, determinerebbe d'altro lato pesanti interventi sul comparto professionale, da modifiche alle apparecchiature a quelle dei luoghi di produzione, fino alla rottamazione delle apparecchiature esistenti, con ricadute economiche considerevoli, difficilmente sostenibili. Le modifiche coinvolgerebbero inevitabilmente anche la rete esterna di manutentori e installatori, sia in termini di acquisizione di nuove strumentazioni, che in termini di necessità di nuovi corsi di aggiornamento professionali (Confindustria, 2017). Altri refrigeranti naturali come la CO₂ e l'ammoniaca presentano problemi di elevate pressioni di lavoro, efficienza, tossicità o corrosività che ne limitano fortemente le possibilità di impiego. In merito al problema della infiammabilità si evidenzia che è in corso la revisione della norma IEC⁵⁷ 60335-2-89 sul limite di carica ammesso per le sostanze infiammabili per le apparecchiature di refrigerazione (frigoriferi e congelatori professionali, abbattitori e distributori di ghiaccio). La proposta in discussione al tavolo è di innalzare il limite di carica oltre i 150 g e portarlo a 500 g.

Nel settore della refrigerazione professionale, secondo quanto comunicato da CECED, alcune aziende hanno iniziato a produrre apparecchiature specifiche per l'uso di refrigeranti naturali, soprattutto idrocarburi HC-290 e HC-600a, andando a coprire tuttavia una percentuale bassissima della produzione annuale di apparecchiature (inferiore all'1%). Altri tentativi si stanno facendo con le idrofluorolefine, ma i componenti progettati per l'utilizzo delle HFO e delle loro miscele risultano essere molto costosi e difficilmente reperibili nel mercato. Alcuni compressori di recente produzione vengono garantiti per l'uso di HFO per un numero limitato di modelli, ma allo stesso tempo il mercato non è in grado di offrire altri componenti specifici per questi refrigeranti alternativi, confermando la carenza di tecnologie alternative agli HFC.

4.4.2.1 Abbattitori professionali e produttori di ghiaccio

Gli abbattitori di temperatura hanno cariche superiori ai 150 g (possono superare anche i 500 g) per cui l'utilizzo di idrocarburi è considerato non fattibile.

Per i produttori di ghiaccio oltre alla non infiammabilità, sono necessarie sostanze con un punto di ebollizione inferiore almeno ai -25 °C. Le sostanze che hanno questa caratteristica e rispettano il valore di 150 di GWP sono alcune HFO, l'R-744, l'R-717, l'HC-290, l'R-1270 e miscele a base di HFO e HFC allo stato sperimentale. Tuttavia queste sostanze presentano oltre all'infiammabilità altre problematiche, di cui si è già varie volte parlato: l'ammoniaca risulta tossica e corrosiva, la CO₂ richiede elevate pressioni di lavoro

⁵⁶Confindustria CECED Italia riunisce oltre 100 aziende, dirette e indirette, che operano in Italia nel settore degli apparecchi domestici e professionali. <http://www.ceceditalia.it/>

⁵⁷ IEC -International Electrotechnical Commission

(fino a 120 bar), con conseguenti incrementi della pericolosità in caso di perdite, alti costi dei componenti⁵⁸ e problemi di efficienza alle alte temperature (con cali di efficienza del 30/40% nei climi caldi o durante la stagione estiva). Altre miscele possono dare problemi di esplosività. Per la CO₂ sono possibili impieghi non nelle unità plug-in ma in unità split che permettono costi più sostenibili.

Per i produttori di ghiaccio e gli abbattitori professionali alcune soluzioni per consentire di rispettare i vincoli del Regolamento F-gas sembrano possibili. Come dichiarato da CECED, gli abbattitori professionali e i produttori di ghiaccio sono apparecchiature di processo destinate ad addetti ai lavori e non al pubblico, mentre i banchi refrigeranti, al contrario, espongono prodotti per la vendita destinati al commercio e, quindi, ai clienti dei supermercati. Per tale motivo, secondo CECED, gli abbattitori non possono ritenersi, apparecchiature destinate a un uso commerciale e ricadere nella corrispondente definizione di “*uso commerciale*” dell’art. 2 del Regolamento F-gas⁵⁹. In tale Regolamento non è presente una definizione specifica per le apparecchiature di tipo professionale. Alla luce di ciò CECED ritiene che tali apparecchiature, anziché ricadere nella definizione di “*uso commerciale*” possano essere fatte rientrare nella definizione n. 23 del medesimo art. 2 relativa alle apparecchiature di “*tipo fisso*”, cioè apparecchiature che durante il funzionamento sono fisse in un posto⁶⁰.

Il riconoscimento di tali apparecchiature come apparecchiature fisse per la refrigerazione permetterebbe di risolvere il problema dell’adeguamento al Regolamento F-gas poiché, ai sensi dell’allegato III, per le apparecchiature fisse di refrigerazione il vincolo per l’immissione in commercio di apparecchiature e sostanze, è il non superamento del GWP di 2.500 per gli HFC a partire dal 2020, vincolo che può essere ampiamente rispettato dal settore con i refrigeranti e le tecnologie ad oggi a disposizione.

Lo scorso anno la Federazione Europea di categoria ha pertanto presentato alla Commissione Europea la proposta di far ricadere gli abbattitori e i produttori di ghiaccio nella categoria della apparecchiature fisse della refrigerazione (art. 2 punto 23 del Regolamento F-gas).(Confindustria, 2017).

In alternativa comunque, si ritiene che si possa fare appello alla deroga di cui all’articolo 11 (*Restrizioni all’immissione in commercio*) comma 3 del Regolamento secondo cui “.... in via eccezionale la Commissione può, mediante atti di esecuzione, autorizzare una deroga per massimo quattro anni al fine di consentire l’immissione in commercio di prodotti e apparecchiature elencati nell’allegato III che contengono gas fluorurati a effetto serra, o il cui funzionamento dipende da tali gas, qualora sia dimostrato che: a) per un particolare prodotto o parte di apparecchiatura o per una particolare categoria di prodotti o apparecchiature non sono disponibili alternative o non possono essere impiegate per ragioni tecniche o di sicurezza; o b) il ricorso ad alternative tecnicamente valide e sicure comporterebbe costi sproporzionati”.(UE, 2014)

4.4.2.2 Frigoriferi professionali/refrigeratori professionali

Anche l’adeguamento del settore dei frigoriferi e dei congelatori professionali al Regolamento F-gas presenta criticità, per le motivazioni già espresse nei paragrafi precedenti. Il limite di carica ammesso per le sostanze infiammabili nelle apparecchiature di refrigerazione rende praticamente impossibile l’utilizzo di HC poiché la carica necessaria per questi frigoriferi/refrigeratori è spesso maggiore. Qualche azienda ha iniziato a produrre frigoriferi professionali a HC-290 ma si tratta ancora di casi limitati. In linea generale, secondo quanto comunicato da Ceced, si può affermare che il settore dei frigoriferi e dei congelatori professionali si stia muovendo, più che verso la CO₂ e gli HCs, verso le HFOs.

4.4.2.3 Altre apparecchiature del settore domestico

Tra le altre apparecchiature che CECED rappresenta vi sono gli scaldi acqua, le macchine per gelati, le lavasciugatrici e le asciugatrici. I gas usati principalmente da queste apparecchiature sono gli HFC (ad esempio l’HFC-134a). Queste macchine, ad eccezione delle lavasciugatrici, utilizzano la tecnologia della pompa di calore. Tale tecnologia non rientra nel Regolamento F-gas per cui ad essa non si applicano i vincoli dell’Allegato III tuttavia la carenza della disponibilità e l’aumento del prezzo degli idrofluorocarburi può andare ad incidere negativamente anche su questa porzione del mercato.

Secondo quanto riportato dal TEAP report, in Europa il numero di asciugatrici a pompa di calore a HFC134a sta rapidamente crescendo; mentre sono state introdotte di recente le asciugatrici a R-407C e HC-290; la ricerca verte verso l’isobutano (HC600a) e le idrofluoroolefine.

⁵⁸ I componenti dei produttori di ghiaccio, a parità di resa frigorifera, costano 2-3 volte di più degli stessi componenti per HFC (Confindustria, 2017)

⁵⁹ Art. 2 “Definizioni” del Regolamento F-gas, punto 32) «uso commerciale»: impiego finalizzato a stoccaggio, esposizione o distribuzione di prodotti, per la vendita agli utilizzatori finali nei negozi al dettaglio e nella ristorazione

⁶⁰ Art. 2 “Definizioni” del Regolamento F-gas, punto 23) “fisso”: *solitamente non in transito durante il funzionamento*”

4.4.2.4 Certificazione energetica ed efficienza energetica delle apparecchiature

La ricerca delle alternative agli HFC, oltre a dover tener conto delle caratteristiche delle sostanze in termini di sicurezza e rispetto ambientale e della fattibilità tecnico economica dell'alternativa (drop-in/retrofit e costo della sostituzione), non può prescindere dai vincoli sull'efficienza energetica e relativa etichettatura imposti dalle normative europee. Tali norme sono in continuo aggiornamento e prevedono obiettivi molto severi in termini di efficienza energetica, al punto che non sempre una sostanza alternativa a basso GWP può risultare compatibile con i requisiti di efficienza della macchina previsti a livello normativo. L'adeguamento a tali vincoli prevede un ulteriore sforzo da parte della Categoria, già impegnata nel rispetto delle prescrizioni del Regolamento F-gas. Tre soprattutto sono le direttive del settore da prendere in esame:

- la direttiva Ecodesign 2009/125/CE (*Direttiva Europea Energy related Product (ErP)*) (CE, 2009)
- la Direttiva sull'etichettatura energetica (*Direttiva Europea 2010/30/CE o Energy Labelling*) (UE, 2010)
- la Direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica. (UE, 2012)

La Direttiva sull'efficienza energetica stabilisce una serie di misure per aiutare l'Unione Europea a raggiungere il suo obiettivo di efficienza energetica del 20% entro il 2020.⁶¹ Come ci ha comunicato CECED Italia, studi sull'efficienza energetica sono attualmente in corso in relazione alle lavatrici e lavasciugatrici. Per quanto riguarda la lavasciugatrice gli studi si concentrano soprattutto sul miglioramento dell'efficienza energetica della fase di lavaggio. Ceded in collaborazione con ENEA ha sviluppato un'etichetta energetica per frigoriferi, frigocongelatori, congelatori e cantinette per il vino il cui sviluppo ha previsto una mappatura di 800 prodotti e relativi test. Esistono a livello europeo numerosi studi tecnici preparatori sull'efficienza energetica per le diverse tipologie di prodotti rappresentati da CECED e a cui l'associazione ha partecipato.

4.5 Refrigerazione industriale

4.5.1 Caratteristiche del settore

Nel settore industriale la refrigerazione è utilizzata per diversi scopi. Le principali applicazioni si hanno nello stoccaggio e preparazione di cibi e bevande e nella produzione di sostanze chimiche, petrolchimiche e parafarmaceutiche, ma altri impieghi possono essere possibili (ad esempio produzione di prodotti plastici e di semi conduttori) (UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 5, 2015).

Il settore comprende molte tipologie di apparecchiature che si differenziano in termini di capacità, carica di refrigerante, livelli di temperatura e tecniche di processo. Tutte queste caratteristiche condizionano la scelta delle alternative agli HFC. All'interno del settore è possibile individuare tre tipi di sistemi:

- ✓ *Sistemi di taglia medio piccola:* adibiti a soddisfare una sola domanda di raffreddamento, situati vicino al punto da raffreddare.
- ✓ *Grandi sistemi a refrigerante primario distribuiti:* utilizzati per raffreddare grandi carichi e in processi come impianti di stoccaggio a freddo. Un refrigerante primario viene pompato da una sala macchine principale contenente grandi compressori a una serie di evaporatori posti in prossimità dei punti da raffreddare. Le tubazioni dove circola il refrigerante primario possono essere molto lunghe (anche centinaia di metri).
- ✓ *Chillers industriali:* in tale sistema vi sono due fluidi refrigeranti. Il fluido refrigerante primario lavora in un chiller per raffreddare un fluido secondario. La maggior parte dei refrigeranti secondari sono liquidi come l'acqua refrigerata (per temperature superiori a 0° C) o sono una soluzione antigelo come glicole o salamoia (per temperature inferiori a 0° C). Altri tipi di refrigerante secondario includono miscele acqua / ghiaccio e fluidi volatili come la CO₂.

In generale le temperature di lavoro delle applicazioni industriali sono simili a quelle della refrigerazione commerciale ma in alcuni casi si possono raggiungere livelli di temperatura ancora più bassi (da -25 °C a oltre -150 °C). La maggior parte dei sistemi sono a ciclo a compressione di vapore ma esistono diversi altri

⁶¹ A Novembre 2016 la Commissione ha proposto un aggiornamento della direttiva sull'efficienza energetica, tra cui un nuovo obiettivo di efficienza energetica del 30% per il 2030, e le misure per aggiornare la direttiva per assicurarsi che il nuovo obiettivo venga soddisfatto.

schemi di processo. Nella tabella seguente sono riportate le principali caratteristiche tecniche dei sistemi di refrigerazione industriale come riportato dai documenti UNEP (UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 5, 2015).

Tabella 4.6 - Caratteristiche principali dei sistemi della refrigerazione industriale che utilizzano HFC (Fonte: UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 5)

REFRIGERAZIONE INDUSTRIALE				
SUB SETTORI		SISTEMI DI TAGLIA MEDIO/PICCOLA	GRANDI SISTEMI DISTRIBUITI	CHILLERS INDUSTRIALI
Carica di refrigerante tipica		10 a 100 kg	250 a 5000 kg	100 a 2000 kg
Capacità di raffreddamento tipica		20 a 100 kW	100 a 5000 kW	200 a 5000 kW
HFC refrigeranti utilizzati		R-404A HFC-134a	nessun uso di R-404A and R-507A; uso significativo HCFC-22	HFC-134a HFC-407C HFC-410A
Design del circuito di refrigerazione		Espansione diretta	Pompato distribuito	Chiller allagato
Produzione /Installazione		Tubazioni del refrigerante installate sul sito		Costruito in fabbrica
Tipica localizzazione delle apparecchiature		Classe C (Occupazione autorizzata da persone con conoscenza delle procedure di sicurezza)		
Tasso di perdita annuale tipico		5% - 10%	4% a 8%	2% a 5%
Principali fonti di emissione di HFC		Perdite durante l'esercizio	Perdite durante l'esercizio	Perdite durante l'esercizio
Domanda annuale di refrigerante	Nuove apparecchiature	30%	30%	40%
	Mantenimento	70%	70%	60%

Nel campo della refrigerazione, il settore industriale è stato il primo ad utilizzare sostanze refrigeranti naturali, in particolare l'ammoniaca ma anche gli idrocarburi.

4.5.2 *Panoramica sulle alternative utilizzate attualmente a livello europeo e internazionale e nazionale:*

A) *Sistemi di taglia medio/piccola*

Per questa tipologia di sistemi le alte cariche in gioco rendono complicato l'uso di alternative naturali infiammabili, d'altro lato non si tratta di sistemi così grandi da rendere invece conveniente l'uso della CO₂. L'R-744 è una alternativa possibile per i sistemi industriali a piccola e media taglia se si utilizzano i componenti e le tecnologie sviluppate per la refrigerazione commerciale. Attualmente sono disponibili diverse alternative all'R-404A non infiammabili ma con GWP abbastanza elevato, compreso tra 1.400 e 2.100. Si tratta ad esempio dell'R-407A e dell'R-407F, disponibili sia in retrofit che in sistemi nuovi. L'R-448A e l'R449A hanno ancora una esperienza commerciale limitata. Per applicazioni a media temperatura esistono una serie di nuovi refrigeranti alternativi con GWP intorno a 600, non infiammabili e proprietà simili all'HFC 134a (come ad esempio R-450A R-513A). Altre alternative sono costituite da miscele di HFO/HFC come l'R446A, R447A con GWP ancora più basso ma c'è ancora poca esperienza nel loro uso ed è necessario investire per sviluppare componenti industriali e tecnologie ottimizzate per il loro impiego. Anche l'R-32 è una possibile alternativa per sistemi di questo tipo. (UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 5, 2015)

B) *Grandi sistemi distribuiti*

L'alternativa consolidata da tempo è l'ammoniaca che rappresenta l'opzione a più basso costo in numerose applicazioni, garantendo alti livelli di efficienza sia a condizioni di media che bassa temperatura. Impianti a R-717 sono ampiamente disponibili in commercio, anche in Italia, mentre i componenti per l'impiego di anidride carbonica per quanto già presenti nel mercato necessitano di ulteriori sviluppi per coprire un maggior numero di applicazioni industriali. L'uso dell'anidride carbonica ad alte temperatura necessita di specifiche configurazioni per impedire cali di efficienza: la configurazione più usata è quella a cascata (spesso con ammoniaca per il lato ad alta temperatura e

anidride carbonica per il lato a bassa temperatura). Anche gli idrocarburi HC-290 e HC-1270, soprattutto, trovano impiego in questa tipologia di impianti. Il ciclo transcritico a CO₂ non viene ancora utilizzato nel campo della refrigerazione industriale a causa della mancanza di apparecchiature di grandi dimensioni e dei relativi costi (Billiard, F.).

C) Chillers industriali

Per i chillers industriali vi sono diverse opzioni a basso costo: oltre all'ammoniaca, ampiamente disponibile, anche gli idrocarburi costituiscono una possibile alternativa, poiché i chillers spesso sono localizzati all'aperto o in speciali sale macchine che consentono di affrontare meglio le questioni di sicurezza. Chiller a HC sono già disponibili in Europa e in altri paesi extra UE. L'idrofluorolefina HFO-1234ze è un'alternativa all'HFC-134a. Altre HFO sono sotto sviluppo, come ad esempio l' HFO-1233zd e l'HFO-1336mzz idonee per chillers a bassa pressione. Durante il 2014 sono stati introdotti nuovi modelli di chiller a base di HFO e si ritiene che altri chiller industriali a HFO saranno messi in commercio entro il 2020. In termini di costi, si ritiene che un chiller a HC o HFO abbia un costo paragonabile a quello di un chiller a HFC-134a. Le alte temperatura non incidono sul funzionamento dei refrigeratori a ammoniaca, idrocarburi o idrofluoroolefine che mantengono efficienze paragonabili a quelle dei tradizionali chiller a HFC-134. Analogamente per quanto riguarda i grandi sistemi distribuiti anche per i chiller il retrofit non costituisce l'opzione migliore (UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 5, 2015)

5 LE ALTERNATIVE AGLI HFC NEL SETTORE DELLA CLIMATIZZAZIONE

Il settore della climatizzazione comprende apparecchiature adibite al raffrescamento, riscaldamento, ventilazione, umidificazione o deumidificazione di un determinato ambiente, in funzione delle caratteristiche del clima esterno e delle condizioni dell'ambiente interno. Nel settore si possono distinguere differenti tipologie di apparecchiature, con taglia e cariche di refrigerante molto diverse tra loro e diverse possibilità in termini di alternative agli HFC. Le principali tipologie di impianto del settore sono (UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 7, 2015; UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 8, 2015; UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 9, 2015; UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 10, 2015:

- piccoli condizionatori autonomi e indipendenti ;
- condizionatori a split;
- grandi impianti di condizionamento d'aria (air to air);
- refrigeratori ad acqua per il condizionamento d'aria (water chiller)

Di seguito viene riportata una breve descrizione di queste apparecchiature con le principali caratteristiche, come la capacità di raffreddamento, il contenuto e la tipologia di refrigerante HFC utilizzato, i tassi di perdita e il design del circuito di refrigerazione.

5.1 Apparecchiature di climatizzazione

5.1.1 Piccoli condizionatori autonomi e indipendenti

Questo sotto-settore comprende diverse tipologie di condizionatori, dai piccoli condizionatori d'aria portatili, ai condizionatori a finestra o condizionatori a parete.

Tutte queste apparecchiature, il cui funzionamento si basa sul ciclo a compressione di vapore a espansione diretta, sono ermeticamente sigillate e costruite interamente in fabbrica, con un compressore, un evaporatore e un condensatore alloggiati in un'unica unità; tutti questi aspetti sono determinanti nella possibilità di utilizzo delle alternative infiammabili. Vengono usati per il condizionamento di piccole stanze in edifici residenziali e commerciali. Le unità portatili utilizzano condotti flessibili per fornire aria proveniente dall'esterno al condensatore e per restituire aria calda all'esterno, le unità a finestra e le unità a parete hanno il loro condensatore situato fuori dalla stanza e un evaporatore situato nella stanza da raffreddare. Nella tabella seguente sono riportate le principali caratteristiche tecniche di questi sistemi di condizionamento. I tassi di perdita risultano molto contenuti (inferiori all'1%) e legati alla fase di fine vita; l'R-410A e l'R-407C risultano essere i refrigeranti maggiormente utilizzati. (UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 7, 2015)

Tabella 5.1 - *Small self contained air – conditioning: caratteristiche delle tecnologie a HFC (Fonte: UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 7, 2015)*

CLIMATIZZAZIONE: SMALL SELF CONTAINED AIR –CONDITIONING		
Carica di refrigerante tipica	0.2 a 2 kg	
Capacità di raffreddamento tipica	2 a 7 kW	
HFC utilizzati	R-410A; R-407C	
Design del circuito di refrigerazione	A compressione di vapore sigillato	
Produzione /Installazione	Costruito in fabbrica	
Tipica localizzazione delle apparecchiature	Classe A (Accesso autorizzato a persone senza conoscenza delle procedure di sicurezza)	
Tasso di perdita annuale tipico	< 1%	
Principali fonti di emissione di HFC	Perdite a fine vita	
Domanda annuale di refrigerante	Nuove apparecchiature	90%
	Mantenimento	10%



Figura 5.1 - Condizionatore portatile con condotto flessibile (Fonte: UNEP Ozone Secretariat Fact Sheets, 2015)



Figura 5.2 - Unità a finestra (Fonte: UNEP Ozone Secretariat Fact Sheets, 2015)



Figura 5.3 - Unità a muro (Fonte: UNEP Ozone Secretariat Fact Sheets, 2015)

5.1.2 Condizionamento a split (Small split Air –conditioning)

I condizionatori split sono piccoli condizionatori d'aria usati per il condizionamento di stanze dalle dimensioni limitate, collocate in edifici residenziali e commerciali. Tutte le apparecchiature utilizzano un ciclo a compressione di vapore a espansione diretta e sono costituite da un'unità interna (indoor unit), ossia un evaporatore collocato spesso sul soffitto o in alto, su un muro, nella stanza da raffreddare, e un'unità esterna (outdoor unit) composta da un compressore e un condensatore collegati all'unità indoor da un sistema di tubazioni. Queste apparecchiature sono vendute già pre-caricate e in genere sono reversibili nel funzionamento, quindi in grado di raffreddare nel periodo caldo e di riscaldare nel periodo freddo, invertendo il funzionamento delle due unità indoor e outdoor. Il consumo di refrigeranti legato a questo sub-settore è elevato e risulta essere in continua crescita. Nella tabella seguente sono riportate le principali caratteristiche tecniche dei sistemi di condizionamento *small-split air conditioning* L'R-410A e L'R-407C sono gli idrofluorocarburi maggiormente utilizzati a livello globale mentre il tasso di perdita annuale tipico, leggermente superiore a quello dei sistemi *small self contained*, è compreso tra l'1 e il 4%. (UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 8, 2015).

Tabella 5.2 - *Small split air –conditioning: caratteristiche delle tecnologie a HFC* (Fonte: UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 8, 2015)

CLIMATIZZAZIONE: SMALL SPLIT AIR –CONDITIONING		
Carica di refrigerante tipica		0,5 a 3 kg
Capacità di raffreddamento tipica		2 a 12 kW
HFC utilizzati		R-410A; R-407C; HFC-32
Design del circuito di refrigerazione		A compressione di vapore sigillato
Produzione /Installazione		Costruito in fabbrica e assemblate in loco con le tubazioni
Tipica localizzazione delle apparecchiature		Classe A (Accesso autorizzato a persone senza conoscenza della sicurezza procedure)
Tasso di perdita annuale tipico		1%-4%
Principali fonti di emissione di HFC		Perdite a fine vita
Domanda annuale di refrigerante	Nuove apparecchiature	80%
	Mantenimento	20%



Figura 5.4 - *Aria condizionata split: unità interna a parete e unità esterna* (Fonte: UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 8, 2015)



Figura 5.5 - Climatizzazione split: Unità esterna e unità interna a soffitto (Fonte: UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 8, 2015)



Figura 5.6 - Climatizzazione split: Unità interna a livello del pavimento (Fonte: UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 8, 2015)

5.1.3 Grandi impianti di condizionamento d'aria (air to air)

In questo gruppo rientrano diverse tipologie di apparecchiature destinate al condizionamento di una sola stanza o di un intero edificio. Al fine di rendere più agevole lo studio delle possibili alternative il settore viene distinto in tre sub-settori così come riportati nel documento UNEP (Fonte: UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 9, 2015)

- Grandi-split singoli e multi-split
- Sistemi di refrigerante a flusso variabile (VRF)
- Sistemi di condizionamento canalizzati e sistemi di condizionamento rooftop

Tutte le tipologie elencate basano il loro funzionamento sul ciclo a compressione di vapore a espansione diretta. Per *grandi-splits singoli* si intendono unità del tutto simili agli split più piccoli, costituiti da una unità indoor e una unità outdoor e da cui si differenziano per avere una capacità maggiore che può arrivare fino a 40 kW. Le unità *multi split* sono invece costituite da una unità outdoor connessa a più unità indoor (anche 8) mentre i *sistemi VRF* sono costituiti da più unità indoor (fino a 64) e diverse unità outdoor e possono fornire contemporaneamente calore e freddo in parti differenti di un edificio, consentendo una gestione efficiente della climatizzazione e disattivando il sistema lì dove non è richiesto. Si tratta infatti di sistemi di climatizzazione a portata di refrigerante variabile che garantisce elevata flessibilità all'apparecchiatura. La terza tipologia di sistemi di condizionamento, *i sistemi canalizzati e i sistemi di condizionamento roof top*, consente di raffreddare interi edifici attraverso un sistema di ventilazione d'aria canalizzata. Un evaporatore a espansione diretta è alloggiato nell'unità di trattamento dell'aria, per raffreddare l'aria che viene poi condotta all'interno all'edificio da climatizzare.

Nella tabella seguente sono riportate le principali caratteristiche dei grandi impianti di condizionamento air-to air. L'R-410A e l'R-407C risultano essere i refrigeranti maggiormente utilizzati. Le perdite di gas frigorifero si verificano tipicamente a fine vita per i grandi sistemi split, multisplit e per i VRF mentre nei

sistemi roof top sono legate principalmente alla fase di funzionamento (UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 8, 2015).

Tabella 5.3 - Grandi impianti di condizionamento (air to air): caratteristiche delle tecnologie a HFC (Fonte: UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 9, 2015)

CLIMATIZZAZIONE: GRANDI IMPIANTI DI CONDIZIONAMENTO				
SUB-SETTORI	LARGE SINGLE SPLIT E MULTI SPLIT	SISTEMI VRF	ROOFTOP CANALIZZATI E ROOFTOP PACKAGED	
Carica di refrigerante tipica	3 a 10 kg	5 a 100 kg	5 a 100 kg	
Capacità di raffreddamento tipica	10 a 40 kW	12 a 150 kW	12 a 150 kW	
HFC utilizzati	R-410A; R-407C			
Design del circuito di refrigerazione	A espansione diretta			
Produzione /Installazione	Unità indoor e outdoor costruite in fabbrica; tubazioni installate in sito		Costruito in fabbrica o assemblato sul sito	
Tipica localizzazione delle apparecchiature	Classe A (Accesso autorizzato a persone senza conoscenza delle procedure di sicurezza)			
Tasso di perdita annuale tipico	1% - 4%	1%-5%	2%-6%	
Principali fonti di emissione di HFC	Perdite a fine vita	Perdite a fine vita	Perdite operative	
Domanda annuale di refrigerante	Nuove apparecchiature	75%	65%	50%
	Mantenimento	25%	35%	50%

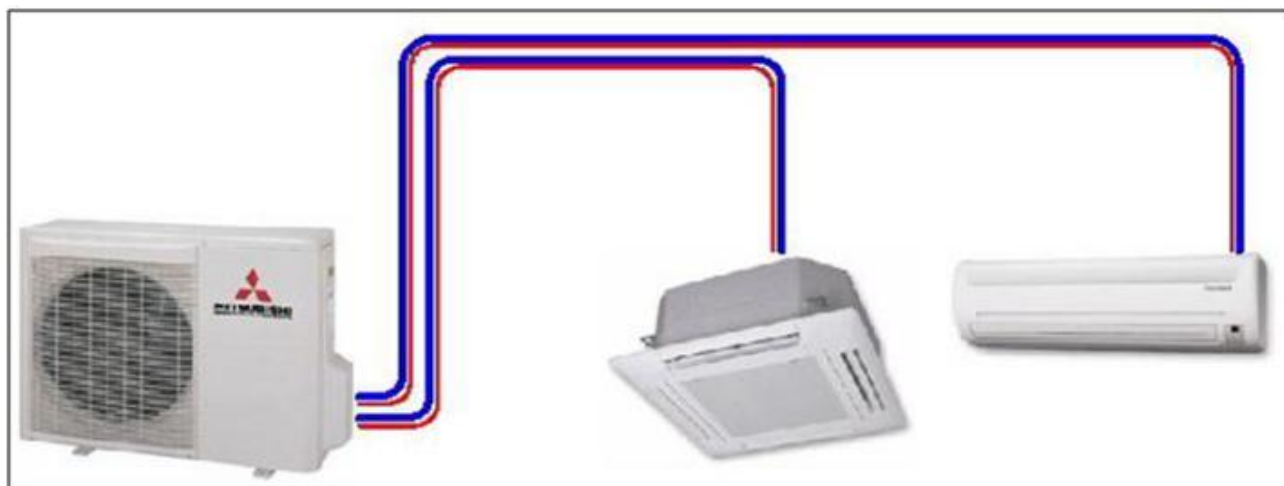


Figura 5.7 - Unità multi split a soffitto e unità a parete collegata all'unità singola esterna (Fonte: UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 9, 2015)

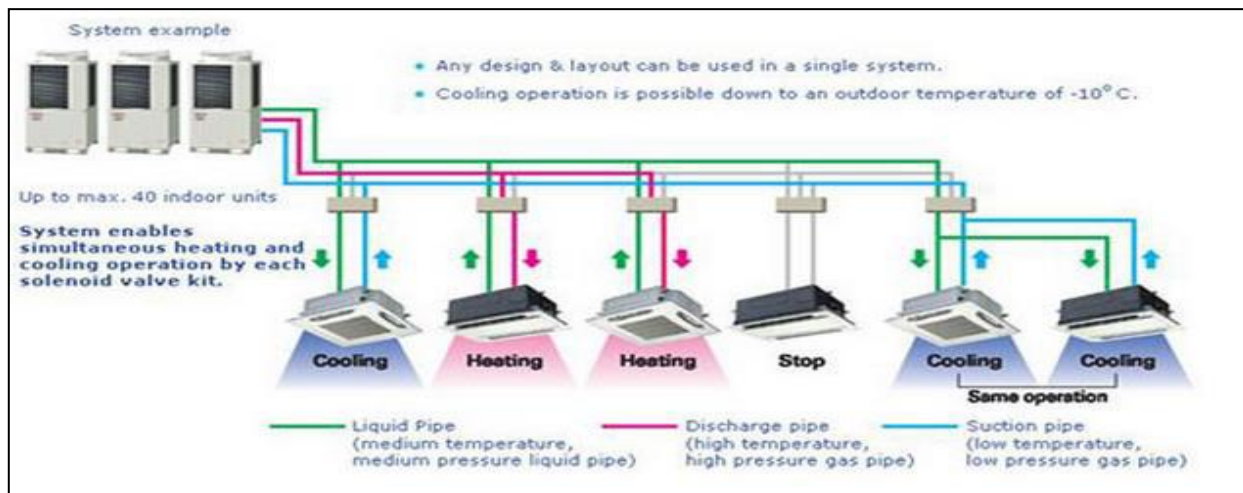


Figura 5.8 – Sistema VRF con raffreddamento e riscaldamento simultanei tramite 6 unità interne collegate a 3 unità esterne (Fonte: UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 9, 2015)



Figura 5.9 - Climatizzatore sul tetto, con unità di trattamento dell'aria e circuito di raffreddamento a espansione diretta (Fonte: UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 9, 2015)

5.1.4 Refrigeratori ad acqua per il condizionamento d'aria (water chiller)

Questo settore di mercato comprende refrigeratori ad acqua utilizzati per il raffreddamento di edifici di grandi dimensioni o impiegati in alcune applicazioni di raffreddamento industriale. Molti grandi edifici che richiedono l'aria condizionata sono raffreddati con questi sistemi di acqua refrigerata pompata con un impianto di raffreddamento centrale, ma in alcuni paesi, anche gli edifici relativamente piccoli possono utilizzare refrigeratori d'acqua al posto dei grandi sistemi di climatizzazione aria-aria. (Fonte: UNEP Ozone Secretariat Fact Sheets 10, 2015). Il settore dei water chiller comprende:

- ✓ Chiller di piccole e medie dimensioni;
- ✓ Chiller di grandi dimensioni.

La maggior parte dei sistemi chiller utilizza un ciclo a compressione a vapore. Negli edifici di grandi dimensioni, i chillers (con potenza variabile tra 750 e 10.000 kW) sono situati in una sala macchine dedicata agli impianti. Il processo frigorifero avviene nel chiller contenente il fluido refrigerante, mentre il trasporto del freddo è affidato all'acqua refrigerata; questa viene pompata nelle unità di trattamento aria e nelle UTA che forniscono aria condizionata; il condensatore è raffreddato ad acqua per mezzo di una torre di raffreddamento. Negli edifici più piccoli, i refrigeratori (con potenza compresa tra 50 e 750 kW) possono

essere posizionati all'aperto. Queste macchine più piccole utilizzano spesso un evaporatore a espansione diretta (DX) a fronte di un evaporatore allagato dei sistemi di taglia maggiore; il condensatore viene raffreddato principalmente ad aria. Per quanto riguarda i compressori, i chiller di grande taglia utilizzano compressori centrifughi o grandi compressori a vite, mentre per quelli di taglia minore si preferiscono compressori reciproci a spirale o piccoli compressori a vite.

Nella tabella seguente sono riportate le principali caratteristiche tecniche dei *water chiller*. La tipologia di refrigerante utilizzata è funzione della capacità di raffreddamento: i chiller di taglia maggiore usano principalmente HFC-134a e gli altri il 407 C e il 410A.

Tabella 5.4 - Chiller ad acqua per il condizionamento: caratteristiche delle tecnologie a HFC (Fonte: UNEP Ozone Secretariat Fact Sheets 10, 2015)

CLIMATIZZAZIONE: CHILLER AD ACQUA			
SUB-SETTORI	CHILLER DI MEDIA E PICCOLA TAGLIA	CHILLER DI GRANDE TAGLIA	
Carica di refrigerante tipica	40 a 500 kg	500 a 13.000 kg	
Capacità di raffreddamento tipica	50 a 750 kW	750 a 10.000 kW	
HFC utilizzati	R-407 C; R-410A	HFC-134a	
Design del circuito di refrigerazione	Evaporatore a espansione diretta, condensatore raffreddato ad aria Compressore reciproco, a spirale orbitante, o piccolo compressore a vite	Evaporatore allagato, condensatore raffreddato ad acqua Grande compressore a vite o compressore centrifugo	
Produzione /Installazione	Costruiti in fabbrica, spesso pre-caricati con refrigerante. In alcuni grandi sistemi la carica del refrigerante può avvenire durante l'installazione		
Tipica localizzazione delle apparecchiature	Sala macchine (raffreddata ad acqua) o fuori (raffreddamento ad aria)		
Tasso di perdita annuale tipico	2%-4%	2% -4%	
Principali fonti di emissione di HFC	Perdite durante l'esercizio	Perdite durante l'esercizio	
Domanda annuale di refrigerante	Nuove apparecchiature	65%	50%
	Mantenimento	35%	50%

5.1.5 Pompe di Calore

Le pompe di calore sono macchine che trasferiscono il calore da un ambiente a temperatura più bassa a un ambiente a temperatura più alta, prelevando calore da una sorgente esterna che può essere aria, acqua o terra (ma anche calore di scarto di processi industriali) e riversandolo nell'ambiente interno da riscaldare. Il loro funzionamento si basa sul ciclo frigorifero inverso. Possono anche essere usate per il raffrescamento e in tal caso lavorano esattamente come un frigorifero. Il mercato delle pompe di calore ha un range molto ampio di applicazioni. Sono usate per la produzione di acqua calda sanitaria e il riscaldamento in ambito residenziale, commerciale e industriale e hanno una capacità variabile di produzione del calore da pochi kW a molti MW. Possono essere classificate in differenti modi, ad esempio attraverso la tipologia della sorgente di calore (es. aria, acqua, terra...). In particolare le pompe aria-aria e aria-acqua prelevano il calore dall'aria esterna, mentre quelle acqua-acqua o terreno-acqua lo prelevano dall'acqua (falda, lago, fiume o mare) o dal terreno, per mezzo di una sonda geotermica.

Utilizzando l'energia rinnovabile di suolo, acqua e aria, le pompe di calore costituiscono una soluzione a basso impatto ambientale. Sono alimentate principalmente a elettricità, una piccola parte va a gas, per cui non producono emissioni a livello locale, inoltre hanno una elevata efficienza, ossia un elevato valore del coefficiente di prestazione (COP), parametro molto importante nell'ambito delle normative sull'efficienza degli edifici e delle agevolazioni previste per la riqualificazione energetica degli stessi; riescono ad assorbire dall'ambiente esterno fino al 75% di energia mentre il restante 25% viene aggiunto sotto forma di elettricità. Nella modalità di riscaldamento hanno una resa doppia di quella delle caldaie a condensazione e possono recuperare il calore di climatizzazione e utilizzarlo per produrre acqua calda sanitaria, realizzando così un

sistema altamente performante in termini energetici con aumento del COP. (CoAer - Anima. - Gruppo Italiano Pompe di Calore, 2010)

Le pompe di calore non sono coinvolte dai divieti di immissione in commercio di prodotti e apparecchiature a HFC previsti dall'Allegato III del Regolamento F-gas, tuttavia poiché il loro funzionamento si basa principalmente sull'uso degli HFC, sono interessate dal processo di phase-down. La rapida riduzione delle quantità di HFC disponibili nel mercato e l'aumento imprevisto del loro prezzo stanno mettendo in crisi il comparto delle pompe di calore, comparto che invece aveva registrato negli ultimi anni una forte crescita dopo un periodo di crisi (si rimanda al riguardo al capitolo 2). I refrigeranti più utilizzati per le pompe di calore sono infatti l'HFC-134a, l'R-410A e l'HFC-245fa.

Negli ultimi anni, hanno fatto la loro comparsa nel mercato le pompe di calore a CO₂, destinate però esclusivamente alla produzione di acqua calda sanitaria (ACS) con buoni livelli di efficienza. Mitsubishi Heavy Industries⁶² da pochi mesi ha iniziato a produrre pompe di calore a CO₂ per ACS distribuita in Italia dalla società Termal Group di Bologna. Un'altra importante azienda italiana del settore ha avviato nel 2015 la produzione di pompe di calore a CO₂ (fino anche a 120 kW) per ACS che consentono di riscaldare l'acqua fino a oltre 85 °C, ma questi sono alcuni esempi di iniziative di questo tipo nel Paese. (Zerosottozero, 2016)

In merito alle macchine adibite alla produzione di acqua calda sanitaria, l'industria italiana deve fare riferimento a due regolamenti: il Regolamento n. 814/2013⁶³ e il Regolamento n. 812/2013⁶⁴ che porteranno un notevole risparmio energetico annuo nel 2020.

5.2 Le alternative agli HFC nel settore del condizionamento

5.2.1 *Le alternative agli HFC nel settore del condizionamento a livello europeo e internazionale*

5.2.1.1 Le alternative agli HFC nel mondo: piccoli condizionatori autonomi e indipendenti.

L'idrofluorocarburo ad oggi maggiormente utilizzato nei piccoli condizionatori è l'R-410A che nel tempo ha preso il posto del 407C, introdotto alla fine degli anni '90 in sostituzione degli HCFC. Le piccole cariche in gioco di queste apparecchiature e il fatto di essere ermeticamente sigillate consentono l'uso di idrocarburi al posto dei tradizionali refrigeranti; il propano (HC-290) in particolare rappresenta la principale alternativa già presente in diversi paesi, tra cui come vedremo nei paragrafi successivi, anche in Italia. Questo idrocarburo è in grado infatti di fornire buone efficienze paragonabili a quella dei tradizionali refrigeranti sintetici.

Altre sostanze alternative, con minore infiammabilità, indicate dalla letteratura sono l'HFC-32 e le nuove miscele R-446A e R-447A tutte con caratteristiche simili al 410A. Modelli a base di R-446A e R-447B non sono tuttavia ancora molto diffusi. In termini di costi si ritiene che le unità a HFC-32 abbiano un costo simile o inferiore a quello delle unità a 410A, mentre non sono ancora noti i costi delle unità a R-446A e R-447A così come le efficienze di queste apparecchiature. Le alte temperature non costituiscono un problema per il propano o l'HFC-32, entrambi con temperatura critica superiore a quella dell'R-410A. Un aspetto segnalato dalla letteratura in merito alle alte temperature è legato all'equilibrio tra efficienza energetica e massima carica del refrigerante concessa per motivi di sicurezza. Poiché nei climi caldi il carico termico per m² è più alto che nei climi più freddi, è necessario una carica di refrigerante più alta per m² di spazio occupato per garantire lo stesso livello di raffrescamento. Se il requisito di efficienza energetica di un Paese viene aumentato, anche la carica di gas refrigerante richiesta a sua volta subisce un aumento il che può costituire un problema con climatizzatori che utilizzano sostanze infiammabili come l'HC-290. Attualmente è in fase di valutazione l'utilizzo di miscele al fine di mitigare il livello di infiammabilità. L'utilizzo degli HFO richiederebbe un maggior numero di compressori per l'installazione, soluzione che non risulta economicamente e tecnicamente praticabile. L'utilizzo della CO₂ non è invece consigliabile a causa delle rilevanti perdite in termini di efficienza energetica. Vista la taglia di queste apparecchiature e i relativi costi non è conveniente effettuare il retrofit. (SKM Enviros, 2013; UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 7, 2015)

⁶²Termal Group è il distributore ufficiale dei climatizzatori Mitsubishi Heavy Industries; sempre nel mondo dei climatizzatori è proprietario dei marchi Hokkaido e Termal

⁶³Regolamento per la progettazione ecocompatibile degli scaldacqua e dei serbatoi per l'acqua calda

⁶⁴Regolamento relativo all'etichettatura energetica degli scaldacqua, dei serbatoi per l'acqua calda e degli insiemi di scaldacqua e dispositivi solari

5.2.1.2 Le alternative agli HFC nel mondo: small split air –conditioning

Il refrigerante più usato nei nuovi small split air-conditioning è l'R-410A che ha preso il posto del 407C introdotto nella seconda metà degli anni '90. Allo stato attuale non sono presenti alternative non infiammabili per questo settore, ottime anche dal punto di vista costi-efficacia. Per piccoli split si possono usare il propano o l'HC-1270, ma in generale l'utilizzo di idrocarburi non è sempre consentito e dipende dalla carica richiesta, dal posizionamento dell'unità indoor e dalle dimensioni della stanza oltre che dai vincoli sulla sicurezza applicati a livello locale. Ad esempio, se l'unità indoor è collocata sul soffitto o sul muro, anziché all'altezza del pavimento, la carica permessa è maggiore. In alcuni paesi può essere permessa una carica compresa tra 0,5 e 1,5 kg per i modelli a muro o a soffitto mentre per le unità all'altezza del pavimento la carica permessa è più bassa. Dal 2013 anche in Europa per piccole unità di condizionamento si utilizza come alternativa l'HFC-32, refrigerante che ha un infiammabilità più bassa degli idrocarburi. Di recente sviluppo e utilizzo specie per i piccoli split (con capacità di raffreddamento sotto i 12 kW) sono le miscele a base di HFO/HFC (R-446A, R-447A, R-454B) ma ancora non risultano commercialmente così disponibili. L'HFC-134a non è considerato una alternativa praticabile a causa dei cali di efficienza e dell'incremento necessario della taglia degli scambiatori di calore e dei tubi e idem l'ammoniaca e la CO₂ per problemi di costi ed efficienza. Nuove miscele mediamente infiammabili sono sotto sviluppo. Anche per questa tipologia di impianti le alte temperature rappresentano un vincolo nella scelta del fluido frigorigeno; se per l'HC-290 e l'HFC-32 non ci sono problemi di efficienza in relazione alla variazioni di temperatura, come già visto nel paragrafo precedente, rimane il problema del bilancio tra l'efficienza energetica e la carica di refrigerante ammessa. In termini economici le unità a HFC-32 e le unità a HC-290 presentano costi competitivi con quelli dell'R-410A; rimangono da investigare i costi delle nuove miscele a base di HFO. (SKM Enviros, 2013; UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 8, 2015)

5.2.1.3 Le alternative agli HFC nel mondo: grandi impianti di condizionamento d'aria (air-to-air)

A oggi, i refrigeranti dominanti del settore sono l'R-407C (GWP 1774) e l'R-410A (GWP 2088) anche se nei paesi in via di sviluppo vi è ancora un ampio uso di HCFC-22. L'R-410A rappresenta l'unica opzione attualmente non infiammabile per i *sistemi split e i VRF*. Tra le alternative, con caratteristiche simili all'R-410A si segnalano l'R-446A (GWP 460) e l'R-447A (GWP 582) adatti per i sistemi multi-split, VRF e i sistemi canalizzati. Dal 2013 anche in Europa per i *multi split, VRF e sistemi canalizzati* è presente come alternativa l'HFC-32 mentre l'elevata infiammabilità degli idrocarburi costituisce un limite al loro impiego per le alte cariche di refrigerante richieste.

Per i *sistemi canalizzati e i sistemi rooftop* che possono in parte funzionare anche a R-134a sono disponibili refrigeranti alternativi all'HFC-134a, non infiammabili, come le miscele R-450A (GWP 601) e R-513A (GWP 631) o sostanze a media infiammabilità come l'R-451A, l' R-451B e le HFO, tutte sostanze non idonee per i sistemi VRF e i multisplit a causa degli alti costi capitale e i cali di efficienza. L'anidride carbonica non rappresenta una valida alternativa se non per i sistemi di taglia più grande e a temperature più basse.

Per tutti i refrigeranti alternativi a bassa infiammabilità (HFC32, R-446A e R447A) si pongono comunque problemi di sicurezza; la carica ammessa dipenderà dalle differenti caratteristiche dei sistemi considerati come taglia della stanza e posizionamento dell'unità indoor. Generalmente si ritiene ammissibile una quantità di refrigerante compresa tra 15 e 60 kg, tipica dei sistemi split, multi split, VRF e dei sistemi canalizzati.

Dal punto di vista economico secondo quanto riportato nei documenti di UNEP i sistemi a HFC-32 risultano competitivi con i sistemi più piccoli a R-410A mentre le alte cariche dei sistemi multisplit e VRF fanno sì che il costo più elevato del refrigerante (HFO e miscele a base di queste ultime) abbia un impatto rilevante sull'economia complessiva di tali sistemi. I sistemi di maggiori dimensioni hanno inoltre costi legati alle necessarie misure di sicurezza aggiuntive (intercettatori di fughe di gas sistemi di ventilazione ecc). Il retrofit per questa tipologia di sistemi di condizionamento non è percorribile. Le alte temperature non sembrano costituire un problema per le alternative all'R410A poiché tali refrigeranti hanno tutti una temperatura critica superiore a quelle del refrigerante sintetico. Come già riportato nei paragrafi precedenti il problema alle alte temperature riguarda l'equilibrio tra l'efficienza energetica e la massima carica di refrigerante ammessa dai vincoli sulla sicurezza, con maggiori problemi nell'uso dei refrigeranti infiammabili nei climi caldi.(SKM Enviros, 2013; UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 9, 2015)

5.2.1.4 Le alternative agli HFC nel mondo:refrigeratori ad acqua per il condizionamento d'aria (water chiller)

Il refrigerante sintetico attualmente utilizzato per i chiller di piccole e medie dimensioni è l'R-410A (GWP 2088) che ha sostituito l'R-407C, mentre per i chiller di grande taglia viene utilizzato principalmente, come refrigerante, l'HFC-134a (GWP 1430). Vi è una vasta gamma di opzioni a basso GWP che ben si adattano a queste tipologie di refrigeratori che, essendo spesso collocati in una sala macchine o all'esterno, permettono l'impiego di refrigeranti infiammabili e tossici altrimenti non utilizzabili. La scelta del refrigerante rimane fortemente condizionata, anche in tal caso, dal luogo di installazione delle apparecchiature infatti, per le apparecchiature collocate in sale macchine o in luoghi aperti è possibile controllare i problemi legati all'infiammabilità e alla tossicità dei refrigeranti alternativi mentre, per le apparecchiature installate in luoghi di "difficile accesso", come ad esempio nei seminterrati, l'uso di refrigeranti con elevata tossicità ed infiammabilità può essere più problematico. Gli idrocarburi sono utilizzabili soprattutto per i sistemi di taglia medio-piccola.

Sul mercato sono già disponibili chillers a l'HFO-1234ze (GWP 7), HFO-1233zd (GWP 4,5), idrocarburi e l'ammoniaca, tuttavia, l'uso di quest'ultima sostanza è ancora limitato, soprattutto per i refrigeratori di piccole dimensioni, a causa degli elevati costi di tali apparecchiature. Per i prossimi anni si prevede l'immissione nel mercato di nuovi chiller con refrigeranti con basso GWP.

Gli sviluppi tecnologici per i chiller sono stati considerevoli negli ultimi 10 anni permettendo di migliorare molto le prestazioni energetiche dei sistemi e ci si aspetta che si potranno raggiungere buone efficienze con tutte le sostanze alternative disponibili. (SKM Enviros, 2013; UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 10, 2015)

5.3 Il settore del condizionamento in Italia

5.3.1 Il mercato delle apparecchiature di condizionamento

Una fotografia a livello nazionale del mercato delle apparecchiature di condizionamento, suddivise per tipologia e classe di potenza, è fornita da Assoclimate (Fonte: Pennati W., 2017). La tabella seguente riporta i dati relativi al numero di queste apparecchiature immesse nel mercato italiano nel periodo 2000-2012. I dati sono il risultato di una indagine statistica e pertanto non coprono l'intero mercato. Come mostrato nella tabella, i sistemi monosplit con potenza <7 kW, quelli con potenza > 7 kW e i sistemi multisplit costituiscono oltre il 95 % del campione nell'intero periodo in esame. Tra queste 3 tipologie di apparecchiature i monosplit con P < 7 kW prevalgono nettamente con percentuali comprese tra il 69 e il 78%, seguite dai multisplit che coprono una fetta di mercato tra il 16% e il 24% (Figura 5.10).

Il mercato italiano del condizionamento ha risentito della congiuntura economica sfavorevole registrando un forte calo nella produzione di macchine a partire dal 2011. Secondo i dati forniti da Assoclimate soltanto nel 2015/2016 si è tornati a livelli di produzione di macchine pre-crisi. Nella figura 6.10 è riportata la distribuzione percentuale dei sistemi monosplit <7Kw, monosplit >7kw e multisplit sul totale delle apparecchiature di condizionamento immesse nel mercato italiano nel periodo 2000-2012.

Tabella 5.5 - Totale pezzi venduti sul mercato italiano dal 2000 al 2012 (Indagine Statistica tra gli Associati) (Fonte: Pennati W., 2017)

TOTALE DI PEZZI VENDUTI SUL MERCATO ITALIANO DAL 2000 AL 2012 (indagine statistica)									
Condensazione ad aria	2000-2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
MonoSplit < 7 kWt	4.956.547	907.186	934.883	1.132.791	945.958	651.773	774.692	714.635	694.449
MonoSplit > 7 kWt	226.313	50.842	55.829	48.154	36.903	29.204	31.052	32.272	26.473
Multisplit	988.329	297.252	258.519	363.033	268.298	212.587	266.893	236.834	208.354
Chiller fino a kW 17	70.401	15.387	15.755	16.283	14.732	13.067	12.610	13.559	12.058
Armadi & Roof-Top	16.791	3.451	3.108	3.338	2.469	1.659	1.268	2.158	1.008
VRF	6.000	4.000	5.000	10.000	15.160	16.973	18.116	16.434	13.674
chiller kW 18 - kW 50	45.892	8.562	8.244	7.901	7.460	6.064	6.134	5.076	4.532
da kW 51 a kW 100	15.464	2.523	3.064	2.888	2.826	2.291	2.292	2.172	1.861
kW 101 - kW 200	9.479	2.087	1.758	1.773	1.851	1.420	1.497	1.445	1.107
kW 201 - kW 350	4.819	1.400	1.022	1.001	1.015	722	982	723	595
kW 351 - kW 500	2.441	582	416	457	428	324	300	359	289
kW 501 - kW 700	1.250	223	271	304	289	232	248	203	207
kW 701 a kW 900	668	150	135	130	114	104	139	98	90
> kW 900	515	150	115	151	134	96	78	81	54
Condensazione ad acqua	2000-2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
chiller < 17kW	5.497	1.068	1.143	949	1.218	975	783	905	580
kW 18 - kW 50	2939	527	491	455	440	474	402	477	389
da kW 51 a kW 100	1000	200	239	222	237	205	161	187	181
kW 101 - kW 200	678	150	161	200	183	159	202	143	133
kW 201 - kW 350	598	108	139	128	167	105	112	108	98
kW 351 - kW 500	440	70	71	70	88	59	62	81	60
kW 501 - kW 700	451	80	78	99	84	74	72	47	68
kW 701 a kW 900	319	55	41	54	48	86	26	23	52
> kW 900	385	95	127	161	160	88	102	91	92
Totale pezzi immessi nel mercato	6.357.216	1.296.148	1.290.609	1.590.542	1.300.262	938.741	1.118.223	1.028.111	966.404

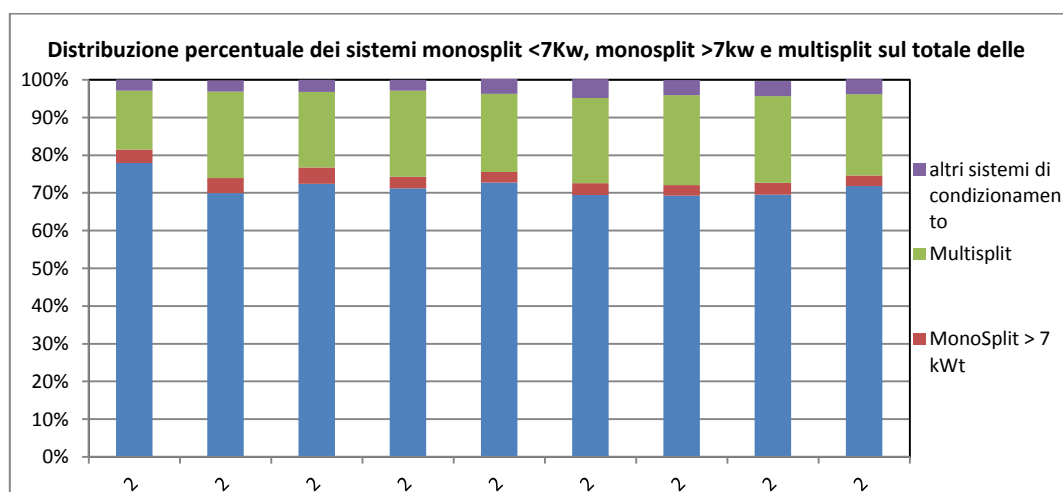


Figura 5.10 - Distribuzione percentuale dei sistemi monosplit <7Kw, monosplit >7kw e multisplit sul totale del campione delle apparecchiature di condizionamento immesse nel mercato italiano nel periodo 2000-2012 (Fonte: Elaborazioni Ispra su dati di Assoclima (Pennati W., 2017))

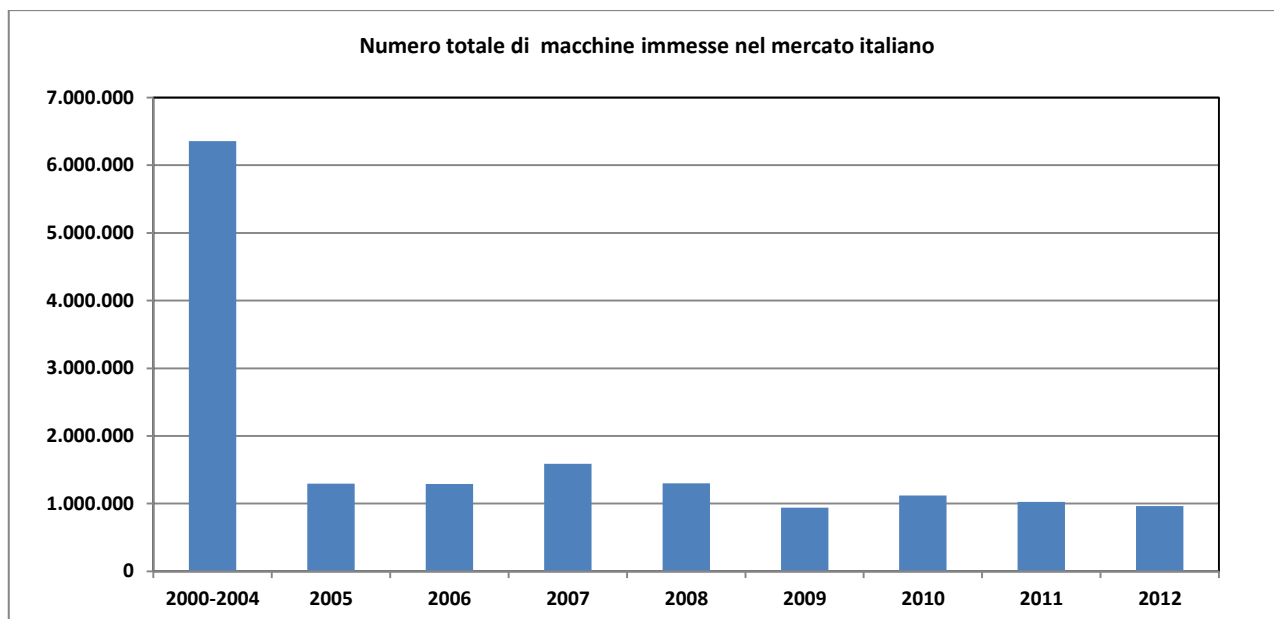


Figura 5.11 - Numero totale di apparecchiature per il condizionamento immesse nel mercato italiano nel periodo 2000-2012 (Fonte: Elaborazioni Ispra su dati di Assoclimate (Pennati W., 2017))

A marzo 2017 sono stati presentati i risultati, aggiornati al 2016, dell'indagine statistica di Assoclimate⁶⁵ sul mercato dei componenti per i sistemi di climatizzazione. Secondo tale rilevazione nel 2016 si è registrato un incremento della produzione nazionale del 3,5% rispetto al 2015 determinato presumibilmente dall'onda di calore del 2015. A contribuire a tale incremento è stato soprattutto il mercato delle *pompe di calore*, delle UTA e dei fan-coil. Il mercato nello stesso periodo è aumentato del 28% raggiungendo un fatturato pari a 1.384.028.000 euro. Sia in termini di fatturato che di produzione, tra i prodotti ad espansione diretta, i *sistemi multisplit* hanno fatto registrare gli incrementi maggiori con un +41% a valore e un +49% a quantità. Anche i monosplit hanno presentato aumenti significativi, +23% a valore e +42% a quantità. La crescita maggiore nella produzione rispetto al fatturato indica una diminuzione del prezzo delle apparecchiature. In termini di fatturato i roof top e i sistemi VRF registrano buoni incrementi con +34% e +17% mentre in termini di produzione i primi registrano un +39% e i VRF +21%.

Per quanto riguarda le apparecchiature idroniche (chiller), quelle con condensazione ad aria registrano un tasso di crescita elevato e al 2016 rappresentano il 55% della produzione nazionale, con incrementi significativi sia a fatturato che a quantità per le diverse categorie di taglia dovuti a fattori quale la nuova ricrescita del mercato residenziale, gli incentivi, le tariffazioni agevolate e i fabbisogni di edifici per nuove costruzioni: +22% a valore e +21% a quantità per potenze inferiori a 17kW, +17% e +12% nella fascia di potenza da 101 a 200 kW, +10% e +6% per potenze da 201 a 350 kW, +35% e +31% da 351 a 500 kW. Il trend positivo dei chiller raffreddati ad aria trova nelle pompe di calore, specie di taglie piccola, il fattore trainante. La crescita del mercato delle pompe di calore (+80% del fatturato nella tipologia aria-acqua) è stata dovuta non solo agli incentivi fiscali e alle nuove tariffazioni elettriche, ma anche alla necessità di utilizzo di tecnologie rinnovabili (Assoclimate, Comunicato stampa 2017). Grazie proprio alle pompe di calore il mercato è tornato ai livelli del 2008 (cioè a livello di pre-crisi), tuttavia questa trend positivo è oggi minacciato dagli incrementi esponenziali del prezzo dei refrigeranti e dalla drastica riduzione della loro disponibilità nel mercato (di cui si è parlato nei paragrafi precedenti). Le macchine a condensazione ad acqua (chiller raffreddati ad acqua) registrano invece un trend negativo che ha coinvolto sia quelle adibite al solo raffrescamento (-6% a valore e -12% a quantità) sia le pompe di calore (-12% a quantità e valore). Il mercato delle macchine ad acqua è contenuto e legato ovviamente anche alla disponibilità di questa sorgente; laddove questa è disponibile la macchina ad acqua risulta essere più conveniente per i tempi di payback. Per i fan coil il mercato è stato sostanzialmente stabile. Tutti i comparti in sintesi, hanno registrato un trend positivo nel primo semestre del 2016 e un leggero rallentamento nel secondo semestre. Dall'indagine effettuata, l'efficienza energetica è risultata essere il motore per lo sviluppo sia tecnologico che economico del settore del condizionamento (Assoclimate, Comunicato stampa 2017). Nel condizionamento tutte le macchine vengono vendute già precaricate. La tendenza del mercato macchine è quella di ridurre progressivamente le

⁶⁵ Assoclimate ha svolto una indagine statistica, a cui hanno partecipato 45 aziende, sul mercato dei componenti per i sistemi di climatizzazione nell'anno 2016. Sono stati presi in considerazione i dati di produzione, importazione, esportazione e mercato italiano dei seguenti sistemi di climatizzazione: monoblocco, monosplit e multisplit, sistemi VRF, roof top, unità di trattamento aria, gruppi frigoriferi con condensazione ad aria e acqua, pompe di calore, unità terminali e aerotermini (Fonte: Assoclimate -Comunicato stampa 2017).

cariche necessarie a ogni modello di macchina. Il numero di apparecchiature che necessita di meno di 3 kg di carica è molto elevato. Approssimativamente si può dire che fino a una potenza di 9-10 kw la carica richiesta dalla macchina rientra nei 3 kg. Come hanno comunicato gli esperti del settore, gli impianti di condizionamento, soprattutto le apparecchiature maggiori, non necessitano tanto di rabbocchi quanto di operazioni di manutenzione, di conseguenza le perdite di gas refrigerante sono rare e legate essenzialmente a fenomeni di guasto.

5.3.1.1 Refrigeranti HFC attualmente utilizzati nel settore del condizionamento in Italia

L'ingresso degli HFC nel settore del condizionamento, in sostituzione degli HCFC, si registra tra la fine degli anni 90 e i primi anni 2000: a partire dal 2005 il processo di sostituzione risulta completato, con l'eliminazione definitiva dei vecchi refrigeranti contenenti il cloro che continuano però ad essere utilizzati nelle apparecchiature più vecchie. Gli HFC più utilizzati attualmente nel settore del condizionamento sono 2: l'R-410A, in quantità preponderante, e l'HFC-134a. Secondo quanto comunicato dagli esperti del settore contattati, negli anni passati veniva utilizzato anche l'R-407C come principale sostituto dell'R-22 soprattutto per unità di piccola e media potenza; l'R407C consentiva di utilizzare gli stessi circuiti dell'R-22 ma avendo problemi di natura termodinamica è stato progressivamente sostituito dall'R-32 per cui il suo uso a partire dal 2010 è iniziato a diminuire. Nella tabella successiva sono riportate le stime delle quantità di refrigeranti immessi sul mercato nel triennio 2010--2012 per tipologia di climatizzatori e taglia. I dati comprendono anche i gas contenuti nelle macchine importate e le quantità acquistate sul mercato europeo dai produttori e caricate nelle macchine costruite in Europa. In linea generale come emerge dalla tabella, per il contesto italiano è possibile affermare che quasi tutte le macchine di potenza medio bassa (sistemi monosplit e multisplit, VRF) utilizzano principalmente l'R-410A, macchine di potenza medio - alta (rooftop e chiller di grandi dimensioni) l'HFC-134a mentre macchine di potenza intermedia impiegano sia l'R-410A che l'HFC-134a. Complessivamente si è passati da 1.940.460 kg di R-410A nel 2010 a 1.633.915 kg nel 2012, da 66.556 kg di HFC-134a nel 2010 a 53.873 kg nel 2012, mentre la quantità di R407C è passata da 34.275 a 31.229 kg nel triennio considerato. I dati riportati coprono tutto il mercato del condizionamento (Pennati W., 2017).

Tabella 5.6 - Quantità di refrigeranti immessi sul mercato negli anni 2010-2011-2012 per tipologia di climatizzatori e taglia. (N.U: non utilizzato) (Fonte: Pennati W., 2017)

Quantità totali di gas (Kg)	2010			2011			2012		
	R410A	R407C	R134a	R410A	R407C	R134a	R410A	R407C	R134a
Monosplit e multisplit <= di 3Kg carica	1.433.884	N.U.	N.U.	1.305.863	N.U.	N.U.	1.229.758	N.U.	N.U.
Monosplit >3Kg carica	136.270	1.376	N.U.	141.624	1.431	N.U.	116.176	1.173	N.U.
VRF	131.189	N.U.	N.U.	121.901	N.U.	N.U.	101.232	N.U.	N.U.
Packaged + roof top	629	30.838	N.U.	599	30.462	N.U.	500	24.971	N.U.
Chiller condensazione aria	231.474	N.U.	43.806	212.011	N.U.	37.007	180.355	N.U.	30.402
Chiller condensazione acqua	7.013	N.U.	22.750	6.891	N.U.	19.882	5.895	N.U.	23.472
Pompe di calore non reversibili	N.U.	2.061	N.U.	N.U.	6.049	N.U.	N.U.	5.085	N.U.
TOTALE	1.940.460	34.275	66.556	1.788.889	37.942	56.889	1.633.915	31.229	53.873

Nella tabella seguente è riportata la distribuzione percentuale degli HFC utilizzati nel mercato italiano del condizionamento nel triennio 2010-2012: emerge la netta prevalenza dell'R-410A che costituisce circa il 95% del mercato dei refrigeranti impiegati nel settore,

Tabella 5.7 - Distribuzione percentuale di HFC nel mercato italiano (Fonte: Elaborazione ISPRA su dati di Assoclimate (Pennati W., 2017))

DISTRIBUZIONE PERCENTUALE DI HFC NEL MERCATO ITALIANO	2010	2011	2012
R-410A	95,06%	94,97%	95,05%
R407C	1,68%	2,01%	1,82%
R134	3,26%	3,02%	3,13%

5.3.2 Alternative agli HFC nel settore del condizionamento in Italia

A differenza del settore della refrigerazione, quello del condizionamento presenta maggiori difficoltà nell'adeguarsi ai vincoli previsti dal Regolamento F-gas. In particolare, dalle indagini condotte, è emerso come i refrigeranti naturali non costituiscano ad oggi una alternativa percorribile, se non in alcuni casi particolari. L'unico sub-settore a non presentare particolari problemi è quello dei condizionatori portatili, dove le piccole cariche richieste permettono di utilizzare gli idrocarburi come refrigeranti alternativi agli HFC. Il propano rappresenta il sostituto migliore, mentre il butano e l'isobutano non sembrano costituire alternative proponibili poiché non garantiscono le stesse efficienze del primo. La produzione di condizionatori portatili a propano (ad esempio il "pinguino" di una nota marca italiana) è presente in Italia già da diversi anni; rimane comunque ancora l'uso di refrigeranti sintetici per le apparecchiature più vecchie. Per le macchine di potenza maggiore l'unica alternativa agli attuali refrigeranti è quindi costituita da altri idrofluorocarburi con un GWP più basso e in parte dalle HFO o miscele a base di queste ultime. Infatti i principali costruttori di apparecchiature di climatizzazione, su indicazione dello stesso mercato dei costruttori di compressori e dei produttori di sostanze refrigeranti, si stanno orientando verso tali sostanze. L'Italia in quanto Paese la cui produzione di macchine per la climatizzazione si basa sull'acquisto nei mercati esteri di compressori e refrigeranti si trova quindi a dover orientare il proprio mercato verso queste nuove sostanze. L'HFC-32 è il sostituto riconosciuto per l'R-410A di cui costituisce un componente al 50%. Non tossico e a bassa infiammabilità (classe di infiammabilità A2L), questo gas fluorurato possiede un GWP pari a 675⁶⁶, il che lo rende una alternativa utilizzabile anche dopo il 2025, anno in cui entrerà in vigore il limite massimo di 750 GWP per i monosplit con meno di 3 kg di carica. Altri elementi di forza dell'HFC-32 sono la maggiore efficienza rispetto all'R-410A (+3/4%) e la maggiore capacità volumetrica (20% superiore alla capacità volumetrica del R-410) che consente di ridurre la carica di refrigerante necessaria (Punto Clima; Danfoss). L'R-32 rappresenta una soluzione per sistemi di potenza medio – bassa (ad esempio macchine split, multisplit ma anche VRF) e il suo utilizzo, richiedendo una riprogettazione dell'intera macchina, non consente di fare retrofit. Attualmente il rapporto tra l'R-410A e l'R-32 in termini di prezzo vede il primo refrigerante ancora favorito, ma il progressivo aumento del costo del 410A nel mercato renderà questo divario sempre più sottile. L'uso dell'R-32 è tuttavia ancora minimo in Italia dove solo da poco è iniziata la produzione di macchine con questo refrigerante. Altre sostanze alternative all'R-410A proposte dal mercato americano sono l'R-452B e l'R-454B, ma si ritiene che non faranno presa nel mercato italiano, legato principalmente ai produttori orientali i quali spingono verso altri refrigeranti (l'R32 appunto di produzione giapponese) e altri compressori.

L'alternativa all'HFC-134a è costituita dall'HFO-1234ze, sostanza a bassa infiammabilità (classe di infiammabilità A2L) idonea soprattutto per i sistemi di taglia maggiore, come chiller e roof top, macchine da centinaia di kW posizionate generalmente all'esterno e in particolare sul tetto degli ambienti da climatizzare tipo grandi centri commerciali, supermercati o fiere. In Italia non ci sono ancora macchine a catalogo a HFO poiché per le apparecchiature di maggiori dimensioni si è ancora a livello di prototipo, altri mercati, come quello americano ad esempio, sono invece già pronti per la produzione con questo refrigerante il cui utilizzo comunque non è previsto al momento per le macchine più piccole. Il retrofit delle apparecchiature non è consentito con questa sostanza refrigerante. Un'altra alternativa all'R-134a è l'R-513 gas altamente infiammabile (classe A1) con un GWP pari a 573; gli esperti del settore ritengono che tale refrigerante avrà poca presa sul mercato italiano.

Per quanto riguarda la CO₂, i problemi di efficienza energetica e la temperatura critica della sostanza oltre alle elevate pressioni di lavoro, rendono ad oggi ancora difficile l'uso di questa alternativa nel mercato del condizionamento specie in un Paese dal clima mite come l'Italia, mentre gli idrocarburi non sono utilizzabili nelle apparecchiature più grandi come ad esempio gli split di taglia maggiore, i multisplit o i VRF a causa

⁶⁶L'R-32 è l'unico HFC con GWP inferiore a 750. E' composto per il 50% da R-410A e per il restante 50% dall'R-407C.

della elevata infiammabilità; se utilizzati in ambienti pubblici, come scuole o centri commerciali di maggiori dimensioni sono addirittura proibiti, mentre se usati in ambienti comunque frequentati richiedono speciali misure di sicurezza.

Il settore del condizionamento non risulta quindi ancora pronto a passare a refrigeranti alternativi diversi dagli HFC, tuttavia, come denunciato da Assoclimate, anche mantenere in vita le attuali produzioni sta diventando sempre più difficile nonostante non siano ancora entrati in vigore i limiti più restrittivi del regolamento F-gas; questo a causa della drastica diminuzione della disponibilità dei refrigeranti HFC e dell'aumento del loro costo, di cui si è già parlato nei capitoli precedenti. Per impianti che potrebbero ancora funzionare a idrofluorocarburi per diversi anni, i refrigeranti cominciano già adesso a scarseggiare ponendo il problema del mantenimento in funzione delle macchine esistenti.

5.3.3 Criticità segnalate dal settore

In merito alle sostanze alternative che sono state appena descritte gli esperti del settore evidenziano come le maggiori criticità al loro utilizzo non derivino tanto dalla mancanza di tecnologia quanto dalla compatibilità di queste sostanze con le norme esistenti in materia di sicurezza e prevenzione incendi. Inoltre l'industria dei sistemi di climatizzazione è costantemente impegnata nell'adeguamento dei propri prodotti ai requisiti di prestazione energetica richiesti dai Regolamenti ErP⁶⁷ con uno sforzo continuo. La tendenza attuale da parte della Commissione Europea è quella di rendere sempre più severi i requisiti minimi di efficienza energetica per l'immissione nel mercato di nuovi prodotti e i refrigeranti naturali non risultano sempre compatibili con gli obiettivi previsti da tali regolamenti (Confindustria, 2017).

Al fine di venire incontro alle problematiche segnalate dal comparto, Assoclimate è impegnata in prima linea in particolare con

- ✓ *Una proposta di recepimento in Italia degli standard internazionali sulla infiammabilità.*
- ✓ *Una richiesta di unificazione nazionale delle norme sull'antincendio e superamento dei vecchi decreti sulla sicurezza.*

In merito al tema dell'infiammabilità, viene segnalato come in Italia non sia presente una distinzione delle sostanze in 3 classi, infiammabili, mediamente infiammabili e non infiammabili, analogamente a quanto previsto dagli standard europei ed internazionali;⁶⁸ poiché a livello legislativo si distingue unicamente tra sostanze infiammabili e non infiammabili. La mancanza di tale distinzione rappresenta una criticità per il settore quando si vogliono individuare sostanze refrigeranti alternative agli HFC che presentano caratteristiche di infiammabilità. Ad esempio, l'R32 che secondo la classificazione internazionale viene definito mediamente infiammabile e che come abbiamo visto rappresenta la principale alternativa all'R410A, a livello nazionale è considerato come infiammabile (lo stesso per le HFO) e quindi per questa sostanza si richiedono le stesse misure previste per le sostanze più pericolose, il che significa specifici interventi sulle apparecchiature o limitazioni di utilizzo della sostanza in determinate situazioni. Il settore auspica il recepimento degli standard europei e internazionali sull'infiammabilità che rappresenterebbe un primo passo verso una gestione e utilizzo meno problematico delle alternative transitorie, caratterizzate spesso da classe di infiammabilità 2L. Si evidenzia inoltre che l'industria della climatizzazione si sta muovendo verso la riduzione delle cariche negli impianti mentre a livello europeo si sta lavorando per innalzare il limite di carica per il propano nei condizionatori.

Per quanto riguarda la normativa nazionale sull'antincendio, in edilizia esistono due tipi di decreti che regolano l'uso di refrigeranti infiammabili o tossici: i vecchi decreti prescrittivi che vietano l'uso di queste sostanze, in edifici come gli alberghi, le scuole, gli ospedali e gli esercizi commerciali > 400 m², e i nuovi decreti che non vietano di fatto l'uso di una sostanza purché venga fatta una analisi dei rischi che dimostri il rispetto dei criteri di sicurezza. Questo tipo di valutazione si applica ai nuovi edifici come gli asili, i musei e le strutture ospedaliere. Assoclimate auspica il passaggio al nuovo decreto non prescrittivo basato sul Risk Assessment. I criteri di sicurezza tuttavia in Italia sono di competenza del Comando locale dei Vigili del fuoco, è quindi il comando locale che per edifici come scuole, teatri, autorimesse ecc, si pronuncia sulla conformità dei progetti; questo conduce a numerosi problemi poiché uno stesso progetto può essere approvato o non approvato a seconda della discrezionalità del Comando locale dei Vigili del Fuoco interessato dalla valutazione. Assoclimate è impegnata su questo fronte nel tentativo di far uniformare a livello nazionale i criteri di sicurezza antincendio e a tal proposito sta collaborando con il Ministero dell'Interno e i

⁶⁷ Direttiva 2009/125/CE Energy-related-Products - ErP – anche nota come Eco-design

⁶⁸ Norme europee ed internazionali EN ISO

Vigili del Fuoco per definire delle linee guida che portino a una valutazione del rischio uniforme sul territorio nazionale (due anni fa è iniziata la collaborazione con tale Ministero). (Confindustria, 2017)

L'intero comparto del condizionamento e delle pompe di calore è inoltre impegnato nello sviluppo di prodotti e tecnologie che siano in grado di garantire, oltre a condizioni di sicurezza opportune, anche il rispetto dei requisiti di basso impatto ambientale e alta efficienza energetica, così come richiesto dai diversi regolamenti e direttive europee⁶⁹ concernenti i prodotti che hanno a che fare con il consumo di energia.

In un mercato, come quello del condizionamento in cui a detta degli operatori del settore, il quadro su quelle che saranno le sostanze alternative future è ancora indefinito e in evoluzione, il rispetto dei vincoli di efficienza energetica insieme alle continue revisioni dei relativi regolamenti e direttive, crea grandi difficoltà al comparto. L'incertezza sulla scelta del refrigerante incide sulla progettazione dei componenti e delle macchine e conseguentemente sulla compatibilità di queste con gli standard sull'efficienza energetica.

A gennaio 2018 diventeranno obbligatori nuovi parametri di efficienza energetica nel settore della climatizzazione e ad oggi, come ci ha comunicato l'associazione di categoria, è in revisione il Regolamento 206/2012⁷⁰ con relativa etichettatura (Regolamento 626/2011) per le apparecchiature split, in particolare per la progettazione ecocompatibile dei condizionatori d'aria e dei ventilatori; si stanno raccogliendo dati sui gas refrigeranti per definire i nuovi requisiti di efficienza energetica.

⁶⁹I regolamenti e le direttive rivolti al miglioramento dell'efficienza energetica dei prodotti con consumo di energia immessi nel mercato europeo riguardano: l'Ecodesign (progettazione ecocompatibile); l'Etichettatura energetica e l'Ecolabel.

⁷⁰Regolamento (UE) N. 206/2012 della Commissione del 6 marzo 2012 recante modalità di applicazione della direttiva 2009/125/CE del Parlamento europeo e del Consiglio in merito alle specifiche per la progettazione ecocompatibile dei condizionatori d'aria e dei ventilatori.

6 LE ALTERNATIVE AGLI HFC NEL SETTORE DEGLI AEROSOL

6.1 Caratteristiche del settore

I prodotti tipici a base di aerosols utilizzano un propellente (gas) che viene pressurizzato liquido nella bomboletta in modo che il suo contenuto venga espulso attraverso un ugello. Il propellente può essere un gas compresso (CO₂, Ossido di azoto o Azoto) o un gas liquefatto, ossia un gas allo stato liquido contenuto all'interno del contenitore pressurizzato. Gas liquefatti comprendono i CFC (non più utilizzati), gli HCFC (non usati in Europa), gli HFC (-134a, -152a), le idrofluoroolefine (ad esempio HFO-1234ze), gli idrocarburi e il dimetil etere (DME). Alcuni aerosol possono contenere anche un solvente (inclusi CFC, HCFC, HFC, idrofluoroeteri, solventi alifatici e aromatici, solventi clorurati, ecc). In alcune applicazioni di pulizia, il propellente disperde il solvente; in altre applicazioni, la soluzione del solvente e la soluzione di propellente sono uniformemente mescolate al fine di migliorare la durata di vita e le prestazioni del prodotto.

Il mercato aerosol può essere suddiviso in tre sotto-settori principali (UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 14, 2015; UNEP, September 2016; EPA, 2016):

- ✓ **aerosol di consumo**, in cui rientrano prodotti per la pulizia, prodotti per l'igiene personale, vernici decorative spray, gonfiatori di pneumatici, prodotti per erogazione di alimenti, aerosol di novità (ad esempio neve artificiale, stringhe di plastica) ecc.
- ✓ **aerosol tecnici**, utilizzati ad esempio in applicazioni quali spruzzi per la lubrificazione, per negativi fotografici e semiconduttori, polveri d'aria e clacson di sicurezza.
- ✓ **Inalatori a dose misurati (MDI)**, aerosol medicinali utilizzati per la somministrazione diretta di farmaci nei polmoni al fine di trattare malattie respiratorie come l'asma.

Oltre all'MDI un altro tipo di inalatore per le malattie respiratorie è l'DPI (dryer powered inahaletor), inalatore a polvere secca che non richiede propellente per il suo funzionamento.



Figura 6.1 - Esempi tipologie di aerosols (Fonte: UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 14, 2015)

La maggior parte degli aerosol richiede un propellente non infiammabile; l'HFC-134a presentando questa caratteristica, è il più usato sia nelle applicazioni mediche che in quelle non mediche dove prevale soprattutto tra gli aerosol tecnici. Una piccola percentuale a livello mondiale di MDI (circa il 5%) utilizza l'HFC-227ea che pur essendo non infiammabile ha un GWP molto più elevato del 134a e di conseguenza non viene utilizzato nelle altre applicazioni non mediche. L'HFC-152a, gas con infiammabilità da bassa a moderata, è un propellente usato principalmente negli aerosol di consumo e in percentuale minore negli aerosol tecnici, inoltre è spesso anche usato nei paesi in cui sono presenti restrizioni nell'utilizzo dei composti organici volatili (VOC) (UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 14, 2015).

Secondo il TEAP report (UNEP, September 2016), a livello internazionale la maggioranza degli aerosol di consumo utilizza il propellente HFC-152a (74%) e il resto HFC-134a; l'opposto avviene negli aerosol tecnici che utilizzano per l'80% il 134a e per il resto il 152a. La maggior parte degli aerosols medici non MDI utilizza come propellente l'HFC-134a (90%).

Sulla base di dati preliminari, la domanda globale di HFC per aerosol (di consumo, tecnici e medicali non MDI) è stimata in 44.000 tonnellate per il 2015, con 15.000 tonnellate di HFC-134a e 29.000 tonnellate di HFC-152a. Gli aerosol dei consumatori rappresentano la categoria più ampia (84%) seguiti dagli aerosol tecnici (14 per cento) e dagli aerosol medici non MDI (2 per cento). Si stima inoltre che nel 2015 in tutto il mondo siano stati prodotti 790 milioni di aerosol MDI a HFC, che utilizzano 10.300 tonnellate di questo propellente, con una quantità di HFC per MDI di circa 13 g (gli HFC per MDI rappresentano una piccola percentuale del totale mondiale di HFC); nello stesso anno sono stati prodotti anche 300 milioni di unità DPI. Le emissioni di HFC dagli aerosol dosatori sono stimate pari a circa lo 0,03 per cento delle emissioni globali annue di gas a effetto serra (UNEP, September 2016).

Gli HFC possono anche essere usati in miscele, l'HFC-152a viene spesso miscelato con l'HFC-134a per creare un propellente non infiammabile con valore ridotto del GWP. L'HFC-152a può anche essere miscelato con HC o DME⁷¹ per ridurre leggermente l'infiammabilità di tali propellenti. A livello globale per consumo di HFC il settore aerosol si colloca al terzo posto dopo quello del RAC (refrigerazione e aria condizionata) e delle schiume (UNEP, September 2016). Nella tabella seguente sono riportati i principali HFC usati come propellenti per gli aerosols.

Tabella 6.1 – HFC usati nel settore aerosols come propellenti (Fonte: UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 14, 2015)

AEROSOLS			
Propellente	GWP	Infiammabilità	Tipi di prodotti di aerosols
HFC-134a	1.430	Non infiammabile	Aerosols di consumo e aerosols tecnici MDIs e altri aerosols medicali
HFC-152a	124	Infiammabile	Aerosols di consumo e aerosols tecnici
HFC-227ea	3.220	Non infiammabile	MDIs

Il Regolamento F - gas prevede al primo gennaio 2018 il divieto di utilizzo di aerosol tecnici contenenti HFC con GWP => a 150, ad eccezione di quelli necessari a soddisfare gli standard di sicurezza nazionali o utilizzati per applicazioni mediche (UE, 2014), pertanto il settore dovrà prevedere la sostituzione degli idrofluorocarburi a maggior potere clima alterante con altri sostanze propellenti.

6.2 Alternative agli HFC nel settore degli aerosol a livello europeo e internazionale

A differenza di quanto avviene nel settore della refrigerazione e del condizionamento, per gli aerosols tutte le alternative agli HFC come propellenti hanno un valore del GWP molto basso e mediamente inferiore a 10. Tali alternative possono tuttavia avere una elevata infiammabilità per cui le loro possibilità di utilizzo dipendono dalle tipologie di impiego richieste. L'infiammabilità e la pressione del propellente rappresentano i principali criteri discriminanti nella scelta di una alternativa a basso GWP. Se è possibile utilizzare un propellente infiammabile, allora il mercato mette a disposizione una vasta gamma di alternative a basso costo tra HC e DME. Queste sostanze sono state ampiamente utilizzate fin dagli anni '80 per gli aerosol dei consumatori (ad esempio prodotti personali come spray per capelli). Per quanto riguarda la pressione del propellente, in presenza di basse temperature possono esserci limiti di impiego. L'HFO-1234ze, ad esempio, funziona a una pressione più bassa dell'HFC-134a, quindi il suo uso non risulta essere appropriato in condizioni climatiche di bassa temperatura. Miscele di idrocarburi, appositamente bilanciati, possono portare a una gamma di prodotti con caratteristiche di pressione assai diverse e quindi idonei all'uso in differenti condizioni climatiche⁷², così come con diverso grado di infiammabilità.

Una percentuale significativa di propellenti per aerosol è migrata verso le sostanze infiammabili: miscele a base di idrocarburi (propano, butano, isobutano) e DME (dimetiletere). Queste alternative hanno costi più bassi degli HFC e vengono soprattutto impiegate negli aerosol del consumatore, come aerosols domestici per l'igiene personale o per prodotti per la casa, e negli aerosol tecnici, lì dove si ritiene però che il propellente infiammabile sia sicuro da usare. Gli idrocarburi e il DME sono composti organici volatili (COV) che contribuiscono alla generazione di smog fotochimici. In diversi Paesi sono posti dei rigidi controlli sull'uso

⁷¹DME: hydrocarbons and dimethyl ether (DME)

⁷² Il propellente (gas o un liquido) deve avere con una pressione di vapore leggermente superiore a quella atmosferica.

dei VOC (ad esempio in California); le restrizioni locali in materia di emissioni di VOC possono pertanto condizionare l'uso di queste due alternative. Rimane comunque presente l'impiego degli HFC lì dove l'infiammabilità e la tossicità sono aspetti importanti da considerare o nei paesi con restrizioni sui VOC .

Altre alternative sono l'HFO-1234ze⁷³, oggi usata dalla maggior parte dei novelty aerosol, e i gas compressi non infiammabili (CO₂, aria, azoto, l'ossido di azoto). Questi ultimi possono essere impiegati per aerosol tecnici e per quelli destinati ai consumatori (l'N₂O è usato nel campo alimentare, nell'erogazione di creme).

Vi sono poi le alternative tecnologiche, cosiddette "not in kind" (NIK) quali gli spray o i liquidi a pompaggio a mano, gli sticks o i liquidi roll on e le polveri, utilizzabili per esempio per i deodoranti, gli inalatori a polvere secca o per gli oli lubrificanti. Le alternative NIK non sono sempre facili da usare e per alcune applicazioni forniscono prestazioni inferiori rispetto alle altre tipologie di aerosol che ne limitano l'utilizzo.

Nel settore medico, i farmaci per le malattie respiratorie possono essere somministrati sia con aerosol (MDI) che con polveri inalatorie. La maggior parte dei farmaci, disponibili come aerosol MDI, sono disponibili anche come iniettori a polvere secca (DPI). Gli aerosol sono spesso favoriti a causa della facilità d'uso, anche se possono essere più costosi di alcune tecnologie in concorrenza. Per gli aerosol medici MDI, allo stato attuale, non esistono propellenti sicuri in commercio in alternativa ai tradizionali HFC-134a e HFC-227ea, il cui uso per questa tipologia di aerosol continua ad essere consentito a differenza di quanto stabilito dal Regolamento F-gas per gli aerosol tecnici. I propellenti per MDI sono respirati direttamente nei polmoni, per questo motivo devono essere sottoposti a test di tossicità che possono richiedere fino a dieci anni per essere completati. Una società in Argentina sta facendo ricerca e sviluppo per giungere a utilizzare iso-butano come propellente. In merito alla disponibilità commerciale, tutte le opzioni a basso GWP sono commercializzate. L'HFO-1234ze non è ancora disponibile a livello globale ma ci si aspetta che la sua diffusione aumenti significativamente nei prossimi anni. Alcune delle tecnologie NIK (ad es., polveri a pompaggio a mano) sono ampiamente disponibili così come le alternative a polvere secca (DPI) utilizzabili al posto dell'inalatore MDI. La scelta tra DPI e MDI appare influenzata più dalla "preferenza del "medico/paziente" che dall'efficacia. In alcune regioni gli inalatori MDI rappresentano circa l'80% delle vendite di farmaci respiratori, in altri gli stessi rappresentano solo circa il 10%. Per quanto riguarda l'aspetto economico delle alternative, HC e DME sono meno costosi dei tradizionali HFC. L'HFO-1234ze è attualmente più costosa dell'HFC-134a ma nella maggior parte dei casi viene usata in prodotti ad alto valore (ad esempio per applicazioni industriali) in cui il costo del propellente ha un peso ridotto sul costo totale del prodotto. I costi dei farmaci MDI e DPI dipendono da diversi fattori. Per i farmaci ancora sotto brevetto, il costo delle sostanze domina il costo totale per cui gli inalatori MDI e i DPI per lo stesso farmaco sono spesso venduti al medesimo prezzo. Nel caso in cui il brevetto è scaduto, il mercato è più competitivo e gli MDI sembrano essere più economici. (UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 14, 2015; UNEP, September 2016).

Esiste il rischio di esplosione di aerosol se esposto a fonti di alta temperatura (ad esempio all'interno di un'auto parcheggiata al sole). Questo rischio è più elevato per l'HFC-134a che per propellenti HC o HFO-1234ze.

Per quanto riguarda gli aspetti della formazione, è necessario garantire un idoneo livello di preparazione del personale di fabbrica che gestisce i propellenti infiammabili in impianti di riempimento aerosol ed educare gli utenti finali all'uso di tali sostanze; l'addestramento del paziente è utile anche per gli utilizzatori di MDI a base di HFC.

La maggior parte degli HFC in un aerosol viene emessa durante l'uso. Una piccola quantità di HFC viene lasciata a aerosol finito. È tecnicamente fattibile, ma non sempre economicamente conveniente, catturare e distruggere eventuali propellenti rimasti nella bomboletta; è più conveniente invece recuperare propellenti da aerosol pieni o parzialmente pieni (UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 14).

6.3 Il settore degli aerosol in Italia

In Italia sono disponibili statistiche sul numero di bombolette riempite e non sulle quantità di sostanze utilizzate per gli aerosols. Dati reperibili in rete riportano unicamente le statistiche di vendita al 2008, informazioni più recenti e dettagliate non sono risultate disponibili. Secondo le rilevazioni dell'Associazione Italiana Aerosol (Associazione Italiana Aerosols, 2008), la produzione italiana di aerosol⁷⁴ al 2008 ha segnato un +9,5 % rispetto al 2007 attestandosi intorno ai 534.340 milioni di pezzi. Questo andamento positivo dipende dal fatto che grosse produzioni in conto terzi per grandi marchi multinazionali sono tornate ad essere realizzate in Italia. Incrementi più significativi si sono registrati nel settore produzione di prodotti

⁷³HFO-1234ze è non infiammabile in entrambe le condizioni di prova ASTM E681 e ISO 10156: 2010 ed è un propellente adatto per vari aerosol tecnici.

⁷⁴Si tratta sia di prodotti riempiti per il mercato nazionale che per l'esportazione

per automobili, pitture e vernici e prodotti farmaceutici e veterinari. Il settore delle vernici ha risentito positivamente della contrazione delle vendite del settore auto del 2008 in genere seguito da un incremento dell'attività di manutenzione del parco circolante. Il settore che al 2008 ha registrato un calo considerevole è quello dei Novelty conseguente alla messa al bando del propellente HFC-134a (Associazione Italiana Aerosols, 2008). Come riportato nel Regolamento F-Gas infatti, nel settore del novelty dal 2009 è fatto divieto di utilizzare HFC con GWP >150, valore di gran lunga inferiore al GWP dell'HFC-134a⁷⁵. Secondo quanto comunicatoci dagli esperti del settore, per effetto delle disposizioni previste, l'uso di HFC-134a è diminuito significativamente dopo il 2009, passando da circa 600 a circa a 140 t.

Tabella 6.2 - Produzione italiana di bombole aerosols - Consuntivo 2008 (Fonte: Associazione Italiana Aerosols, 2008)

	2006	2007	Anno 2008	Var. %	
<i>migliaia di unità</i>					
PRODOTTI D'USO PERSONALE	170.940	192.300	225.250	12,5	17,1
deodoranti personali	75.620	79.000	107.200	4,5	35,7
schiume per capelli	6.570	6.600	12.700	0,5	92,4
lacche per capelli	45.220	50.000	44.600	10,6	-10,8
schiume da barba	33.340	41.000	38.300	23,0	-6,6
prodotti in gel	3.220	8.500	9.300	164,0	9,4
altri	6.970	7.200	13.150	3,3	82,6
PRODOTTI PER LA CASA	135.710	129.100	116.210	-4,9	-10,0
insetticidi e protezione piante	40.650	42.500	26.150	4,6	-38,5
deodoranti per ambiente	18.180	18.500	30.600	1,8	65,4
prodotti per cura prod. tessili	28.800	20.000	16.900	-30,6	-15,5
prodotti per mobili	9.620	9.600	7.300	-0,2	-24,0
pulitore per forni	4.830	4.600	900	-4,8	-80,4
schiume per bagni e cucine	19.010	18.900	21.150	-0,6	11,9
lucidi per scarpe	5.200	5.300	2.310	1,9	-56,4
altri	9.420	9.700	10.900	3,0	12,4
NOVELTY PRODUCTS	19.500	18.500	9.000	-5,1	-51,4
PRODOTTI PER AUTOMOBILI	14.730	15.200	23.000	3,2	51,3
PITTURE E VERNICI	16.850	17.200	25.500	2,1	48,3
PRODOTTI INDUSTRIALI	16.450	16.700	20.000	1,5	19,8
PRODOTTI FARMACEUTICI E VETERINARI	20.580	23.000	31.250	11,8	35,9
PRODOTTI ALIMENTARI	66.370	67.500	71.000	1,7	5,2
ALTRI	7.860	8.300	13.100	5,6	57,8
TOTALE	468.990	487.800	534.310	4,0	9,5

Gli HFC maggiormente usati in Italia come propellenti nel settore aerosol sono l'HFC-134a e l'HFC-152a tutti liquefabili. Il primo è impiegato molto negli aerosols tecnici e negli MDI. Esempi di utilizzo sono: i segnalatori acustici di emergenza, i segnalatori acustici negli stadi e nelle navi e gli spray al peperoncino che richiedono sostanze non infiammabili. Secondo quanto emerso dagli incontri con gli esperti del settore, il

⁷⁵ Generatori di aerosol immessi in commercio e destinati alla vendita al grande pubblico a scopi di scherzo o di decorazione di cui all'allegato XVII, punto 40, del regolamento (CE) n. 1907/2006, e trombe a gas, contenenti HFC con potenziale di riscaldamento globale pari o superiore a 150 (allegato III del Regolamento F-gas)

mercato italiano degli aerosol tecnici conta circa 200 t di venduto annuo di cui la parte preponderante è costituita dall'HFC-134a seguita da un piccolo contributo del 152a. Quest'ultimo infatti è infiammabile proprio come gli idrocarburi ma, avendo un GWP molto più alto, risulta essere meno competitivo di questi ultimi. Di seguito è riportato l'elenco degli idrofluorocarburi presenti negli aerosols con relative caratteristiche.

Tabella 6.3 - HFC utilizzati nel settore aerosol (Fonte: Malerba A., 2017)

COMPOSTO	GWP	INFIAMMABILE	P.Eb.	STATO	FUNZIONE	Dopo 1.1.2018 (se unico F-GAS)
HFC-134a	1430	NO	-26 °C	Gas liquefabile	Propellente	Max. 10%
HFC-152a	124	SI	-25 °C	Gas liquefabile	Propellente	Nessun limite
HFC-125	3500	NO	-48 °C	Gas liquefabile	Propellente/Estinguente	Max. 4,3%
HFC-43-10mee	1640	NO	55 °C	Liquido	Antifiamma in miscela solvente	Max. 9,1%
HFC-245fa	1030	NO	15 °C	Liquido	Antifiamma in miscela solvente	Max. 14,6%
HFC-365mfc	794	SI	40 °C	Liquido	Solvente	Max. 18.9%
HFC-227ea	3220	NO	-18 °C	Gas liquefabile	Antifiamma	Max. 4.6%

Altri composti fluorurati impiegati nel settore sono riportati nella tabella successiva. Si tratta di sostanze non disciplinate dal Regolamento F-gas ed esenti dall'obbligo di etichettatura.

Tabella 6.4 - Composti fluorurati impiegati negli aerosol (Fonte: Malerba A., 2017)

COMPOSTO	GWP	INFIAMMABILE	P.Eb.	STATO	FUNZIONE	Dopo 1.1.2018 (se unico F-GAS)
Eteri						
HFE-7100	297	NO	40 °C	Gas liquefabile	Antifiamma in miscela solvente	Max. 50,5%
HFE-7200	59	NO	40 °C	Liquido	Antifiamma in miscela solvente	Nessun limite
HG-11	1870	NO	°C	Liquido	Antifiamma/Carrier	Max. 8,0%
Idro-(cloro)-fluorocarburi insaturi						
HFO-1234ze	7	NO	-26 °C	Gas liquefabile	Propellente	Nessun limite
HFO-1233zd	4,5	NO	19 °C	Liquido	Solvente	Nessun limite

Generalmente all'interno di un aerosol non è contenuta una singola sostanza singola bensì una miscela costituita da diversi propellenti, opportunamente combinati per realizzare un aerosol con valori di GWP, pressione e grado di infiammabilità compatibili con la destinazione d'uso del prodotto finale. Secondo quanto comunicatoci dagli esperti del settore ad oggi in Italia, sono presenti circa 50 produttori di aerosols.

6.3.1 Le alternative agli HFC nel settore degli aerosol in Italia

Il Regolamento F-gas prevede limitazioni nell'immissione in commercio degli aerosol tecnici e di quelli destinati a attività di scherzo o decorazione (allegato III del Regolamento), in particolare stabilisce:

- ✓ il divieto al 2009 per "Generatori di aerosol immessi in commercio e destinati alla vendita al grande pubblico a scopi di scherzo o di decorazione di cui all'allegato XVII, punto 40, del regolamento (CE) n. 1907/2006, e trombe a gas, contenenti HFC con potenziale di riscaldamento globale pari o superiore a 150"
- ✓ il divieto al 2018 per "Aerosol tecnici contenenti HFC con potenziale di riscaldamento globale pari o superiore a 150 tranne quelli soggetti a norme di sicurezza nazionali o utilizzati per applicazioni mediche"

Gli effetti di tale Regolamento si sono manifestati già da alcuni anni. Dal 2008 è infatti iniziata una progressiva diminuzione della disponibilità di HFC-134a nel mercato. Principale alternativa al 134a è ad oggi l'HFO1234ze. Si tratta di una sostanza non infiammabile (è risultato non infiammabile in tutte le condizioni di test di infiammabilità previsti dagli standard aerosols) a bassissimo GWP e liquefabile. Per

queste caratteristiche tale sostanza è idonea dove sono richieste specifiche condizioni di sicurezza. Le altre alternative, come la CO₂ e l’N₂O, non sono liquefabili, per cui hanno limitate possibilità di impiego. La minore disponibilità nel mercato di HFC-134a sta conducendo a un progressivo incremento del costo del refrigerante; come ci hanno comunicato gli esperti del settore, ad oggi questo idrofluorocarburo è venduto a 3 euro/kg, prezzo ancora conveniente se confrontato con quello dell’alternativa HFO che si aggira intorno ai 15 euro/kg, tuttavia per le dinamiche di mercato più volte descritte nel presente rapporto, tale divario è destinato a ridursi rapidamente. I propellenti fluorurati garantiscono sicurezza, non infiammabilità e liquefabilità (Figura 6.2).

Proprietà	HFO-1234ze	HFC-134a	HFC-152a	DME	Propano (GPL)	Iso-Butano
NON Infiammabilità	●	●	●	●	●	●
Rispettano lo strato di Ozono	●	●	●	●	●	●
GWP <150	●	●	●	●	●	●
Formazione di SMOG	●	●	●	●	●	●
VOC (Europa)	●	●	●	●	●	●
VOC (USA)	●	●	●	●	●	●
Tossicità (OEL/TWA)	●	●	●	●	●	●

Figura 6.2 - Impatti ambientali e sanitari dei propellenti liquefabili (Fonte: Malerba A., 2017)

Altre opzioni alternative all’HFC-134a sono costituite da miscele a base di HFC e HFO opportunamente bilanciati per raggiungere specifiche caratteristiche di infiammabilità e pressione; in particolare l’obiettivo è quello di conseguire una maggiore pressione di erogazione rispetto alla sostanza HFO pura e realizzare un prodotto non infiammabile con il giusto potere estinguente (attraverso la miscela di componenti infiammabili con quelli non infiammabili). Alcune alternative possono richiedere più lavoro di formulazione rispetto ad altre. Una miscela per il 90% a base di HFO e per il restante a HFC134a è già in vendita nel mercato italiano. Nella tabella successiva sono riportate alcuni esempi di miscele con le relative caratteristiche fornite dai distributori locali o miscelabili direttamente sul posto.

Tabella 6.5 – Esempi di miscele suggerite dai distributori locali al mercato aerosol oppure miscelabili direttamente sul posto (Fonte: Malerba A., 2017)

Componenti	Dosaggio	GWP	HFC Label	Infiammabile (aerosol test)	Pressione	Potere estinguente
HFO-1234ze + CO ₂	Max. circa 2-3% di CO ₂	<1	NO	NO	Elevata inizialmente, ma calante con l'utilizzo.	Praticamente come ZE.
HFO-1234ze + HFC-134a	Max. 10% HFC-134a	150	SI	NO	Più elevata - leggermente calante	Leggermente superiore a ZE
HFO-1234ze + HFC-152a	Qualsiasi dosaggio	Da <1 a 124	SI	SI	Più elevata al crescere di HFC-152a	Nessuno - infiammabile
HFO-1234ze + HFO-1233zd	Qualsiasi dosaggio	<1	NO	NO	Invariata	Maggiore rispetto a ZE – secondo necessità
HFO-1234ze + HFC-227ea	Max. 4,5% HFC-227ea	150	SI	NO	Invariata	Maggiore rispetto a ZE

Secondo i rappresentanti del settore aerosol ad oggi circa il 90% delle bombolette spray è passato ad HC, con gli aspetti legati ai costi e alla pressione a costituire elementi di criticità nel loro impiego.

Il settore farmaceutico invece al momento non ha alternative all’HFC-134a; gli aerosol medici richiedono infatti sostanze non tossiche e non infiammabili. Tuttavia al riguardo ci viene comunicato che in realtà, a differenza di quello che è accaduto per altri settori, non sono ancora stati effettuati test specifici sulle HFO per il settore farmaceutico; ciò significa che in futuro potrebbero essere considerate anche tali sostanze. Le HFO sono già molto diffuse in altri Paesi, come in Giappone che, anche a seguito della catastrofe di Fukushima, si è autoregolamentato per eliminare del tutto l’utilizzo degli HFC senza la presenza di una legge specifica al riguardo. Negli USA invece a differenza dell’Italia è proibito l’uso di HFC-134a e HFC-152a (così come non sono possibili miscele di alcun tipo con queste due sostanze), mentre vi è un forte sviluppo di sostanze non infiammabili.

7 LE ALTERNATIVE AGLI HFC NEL SETTORE DELLE SCHIUME

7.1 Caratteristiche del settore

Per schiuma si intende una dispersione di un mezzo gassoso in un mezzo liquido o solido o in un gel. Le schiume vengono utilizzate ampiamente nella nostra vita quotidiana per diverse finalità. Le principali applicazioni includono (UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 13, 2015):

- Pannelli e pannelli laminati con rivestimento flessibile, utilizzati per l'isolamento di pareti, pavimenti e tetti
- Pannelli rigidi con rivestimento in acciaio, utilizzati per esempio per costruire e isolare gli edifici;
- Schiuma a blocchi, utilizzata per l'isolamento di tubi e vasche;
- Schiume per l'isolamento di apparecchiature, ad es. frigoriferi domestici e scaldacqua;
- Schiume per la costruzione di imbarcazioni;
- Schiume a spruzzo, utilizzate per l'isolamento di pareti, tetti o cavità;
- Schiume integrali per la produzioni di prodotti in pelle, ad es. i volantini delle auto, i sellini delle biciclette ecc.

In tutte queste applicazioni, ad eccezione di quelle a spray, la produzione delle schiume avviene in fabbrica. La schiuma a spray viene invece prodotta in situ con apparecchiature portatili. Il luogo di produzione della schiuma (in fabbrica o in situ) è molto importante in quanto influisce sui problemi di sicurezza relativi agli agenti espandenti infiammabili.

Come agente espandente possono essere utilizzati gli HFC. I principali tipi di schiuma che utilizzano gli idrofluorocarburi sono:

- polistirene estruso (XPS)
- Poliuretano (PU)
- poliisocianurato (PIR)
- fenolico (PF)

Queste schiume, in presenza di determinate pressioni e temperature, subiscono delle deformazioni e in base al tipo di reazione possono essere fatte rientrare in 2 gruppi principali:

- *Gruppo dei materiali termoplastici*: materiali che in presenza di una fonte di calore rammolliscono fino a liquefarsi, consentendo prima la loro modellazione quindi il loro indurimento in un successivo raffreddamento per formare prodotti finiti. Si tratta di un processo reversibile. Rientrano in questo gruppo il polistirene estruso (XPS), il polietilene, polistirene, polietilentereftalato e il cloruro di polivinile.
- *Gruppo dei materiali termoindurenti*: materiali che posti in presenza di una fonte di calore prima rammolliscono poi nel processo di formatura diventano duri in modo permanente e se nuovamente riscaldati non rammolliscono e pertanto possono essere modellati una sola volta. Rientrano in questo gruppo PU, PIR e PF (gomma piuma).

Il poliuretano PU è un polimero molto versatile utilizzato per creare un gran numero di prodotti. La maggior parte del poliuretano europeo trova applicazione come isolante nel settore dell'edilizia e delle vernici, nell'arredamento, nella produzione di materassi e nelle automobili, ma anche in percentuali minori negli elettrodomestici, nelle calzature, negli adesivi e altro ancora. Il poliuretano espanso rigido in particolare è destinato ad impieghi di isolamento termico sotto forma di pannelli con rivestimenti flessibili (per i materassi e le imbottiture delle auto ad esempio), con rivestimenti rigidi (boiler, frigoriferi, boiler, frigoriferi, pannelli isolanti in edilizia), con lastre e blocchi e con applicazioni in situ. Garantisce infatti buone proprietà isolanti con un basso valore di conduttività termica, ma possiede anche altre qualità come buone prestazioni meccaniche, capacità di autoadesione ai supporti ed è durevole. Nel poliuretano l'agente espandente è una sostanza che durante la formazione del polimero genera gas. Tale agente espandente può essere provvisorio se fuoriesce dalle celle o permanente se invece permane nelle celle. (Monzeglio M. 2017).

Il polistirene espanso estruso XPS, della famiglia dei materiali termoplastici, è una resina polistirenica a celle chiuse, dotata di ottime proprietà di isolamento termico e di elevate caratteristiche meccaniche che rendono questa resina idonea in caso di strutture fortemente sollecitate (soprattutto sollecitazione a compressione). E'

inoltre durevole e impermeabile all'acqua, per cui viene spesso impiegata in ambienti umidi e può essere ottenuta da polistirene riciclato.

Per quanto riguarda l'uso delle schiume per l'isolamento degli edifici, a livello europeo i materiali utilizzati in edilizia devono garantire il rispetto di determinati requisiti, affinché l'edificio in cui vengono impiegati sia realizzato in linea con gli indirizzi dettati dall'Unione Europea. Il risparmio energetico e l'isolamento termico, la protezione acustica, la sicurezza antincendio e la stabilità meccanica sono solo alcuni dei requisiti che deve possedere un edificio così come definito dal Regolamento UE 305/2011.⁷⁶ Pertanto i prodotti utilizzati per la costruzione di tali opere, comprese i pannelli termoisolanti, devono possedere precise caratteristiche che permettano il rispetto di uno o più requisiti richiesti all'opera. Il rispetto di tali caratteristiche passa attraverso un sistema di controlli dei materiali previsto dal Regolamento sopraccitato e dalle Norme Tecniche Armonizzate (D'Egidio M., 2005). Il Regolamento in particolare *“fissa le condizioni per l'immissione o la messa a disposizione sul mercato di prodotti da costruzione stabilendo disposizioni armonizzate per la descrizione della prestazione di tali prodotti in relazione alle loro caratteristiche essenziali e per l'uso della marcatura CE sui prodotti in questione”* (Articolo 1 del Regolamento) mentre le Norme Tecniche armonizzate *stabiliscono i metodi ed i criteri per valutare la prestazione dei prodotti da costruzione in relazione alle loro caratteristiche essenziali* (Capo IV Articolo 17 punto 3 del Regolamento). Per ogni prodotto termoisolante realizzato in fabbrica esiste una Norma Tecnica Armonizzata definita dal CEN (Comitato Europeo di Normazione). Per l'XPS la Norma di riferimento è l'UNI EN 13164 *“Isolanti termici per edilizia – Prodotti di polistirene espanso estruso ottenuti in fabbrica– Specificazione*. La sostituzione degli agenti espandenti ad HFC a favore di altre sostanze alternative non climalteranti, di cui si parlerà nei paragrafi successivi, deve tener conto degli indirizzi comunitari in materia di edilizia e di qualità richiesta ai prodotti da costruzione.

7.2 Gli agenti espandenti HFC

Il mercato delle schiume fino agli anni 90 ha utilizzato come agenti espandenti i CFC, in particolare CFC-11 per schiume di tipo PU e CFC-12 per XPS. A partire dal 1995 i CFC hanno cominciato ad essere sostituiti dagli HCFC, con l'HCFC-141b utilizzato per schiume di tipo PU e gli HCFC-142b e HCFC-22 utilizzati per il polistirene estruso. Con gli anni 2000, nei paesi industrializzati hanno fatto il loro ingresso come agenti espandenti gli HFC ad alto GWP (ad esempio HFC-134a) mentre gli HCFC continuano ad essere usati ampiamente nei paesi in via di sviluppo (UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 13, UNEP, September 2016). In realtà già in passato venivano impiegati in alcuni settori agenti espandenti diversi dagli HFC e con GWP molto basso, grazie al costo ridotto (ad esempio il mercato della gomma piuma), tuttavia questioni relative alla sicurezza o alle prestazioni del prodotto hanno creato una domanda continua di idrofluorocarburi che hanno preso sempre più piede nel mercato. A livello globale comunque si può affermare che una porzione significativa del mercato è costituita ancora oggi da schiume che utilizzano come agenti espandenti i CFC o gli HCFC e solo una piccola percentuale da HFC. L'industria del settore a livello mondiale continua a crescere con un tasso annuo del 3% nei Paesi Art. 5 e dell'1,5% nelle regioni non soggette all'Articolo 5 (UNEP, September 2016).

Nella tabella successiva sono riportati i principali HFC utilizzati in questo settore. Si noti come le sostanze attualmente impiegate sono tutte non infiammabili, requisito determinante nella scelta di un agente espandente HFC, in relazione alla sicurezza del processo di produzione delle schiume e alla resistenza al fuoco del prodotto finito. Nelle schiume poliuretaniche gli HFC essendo molecole molto grandi, non riescono ad uscire dal polimero per cui vi rimangono all'interno fino a fine vita del prodotto; un comportamento completamente diverso è quello della CO₂, agente espandente alternativo di cui si parlerà nei paragrafi successivi, che invece tende ad uscire completamente dalle celle nel corso della vita del materiale isolante.

⁷⁶ Regolamento del Parlamento Europeo e del Consiglio che fissa condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e che abroga la direttiva 89/106/CEE del Consiglio

Tabella 7.1 - HFC usati nel settore delle schiume (Fonte: UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheet 13, 2015)

AGENTE SOFFIANTE	GWP	INFIAMMABILITA'	TIPI DI SCHIUME
HFC-134a	1.430	Non infiammabile	XPS e alcuni tipi di PU
Miscele a base di HFC-134a -HFC-152a	vario		XPS
HFC-245fa	3.220		PU
Miscele a base di HFC-365mfc/HFC-227ea	Da 60 a 1.100		PU



Figura 7.1 - Esempi di applicazione delle schiume (Fonte: UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 13, 2015)

7.3 Alternative agli HFC nel settore delle schiume a livello europeo e internazionale

Ai sensi del Regolamento F-gas (UE, 2014) a partire dal 2020 saranno vietati gli HFC con un GWP superiore a 150 come agenti espandenti nel polistirene espanso. Successivamente al 2023, tale divieto si estenderà a tutte le altre schiume. L'adeguamento al Regolamento sta stimolando la ricerca di altre sostanze espandenti non climalteranti. Prima di approfondire questo aspetto, si segnala come nel mercato esistano anche delle *alternative tecnologiche "not in kind"*, capaci di competere con le schiume nelle diverse applicazioni. Una di queste alternative nelle applicazioni finalizzate all'isolamento è la fibra minerale, usata per tubi e recipienti. In alcuni settori del mercato, le alternative tecnologiche non sono però in grado di prendere piede poiché le schiume garantiscono prestazioni superiori (in termini di isolamento e resistenza strutturale ad esempio), non riproducibili dalle altre tecnologie.

Allo stato attuale nel settore delle schiume vengono già utilizzate alternative agli HFC come agenti espandenti. Tutte queste alternative si caratterizzano per avere un impatto climatico molto basso (GWP inferiore a 10) e possedere in alcuni casi una elevata infiammabilità. Bassa infiammabilità, bassa conduttività termica⁷⁷, ma anche resistenza a compressione (vedi le schiume per i pavimenti) sono alcune delle proprietà richieste nelle schiume e la cui rilevanza dipenderà proprio dal tipo di utilizzo, così ad esempio in presenza di spazi limitati per cui non è possibile utilizzare pannelli ad elevato spessore, la bassa conduttività termica diventerà il requisito fondamentale richiesto dall'agente espandente (SKM Enviros, 2013).

Ovviamente il successo di un'alternativa varia in funzione delle caratteristiche del mercato; negli Stati Uniti ad esempio si utilizzano meno agenti espandenti infiammabili mentre da alcuni anni stanno prendendo piede le HFO, la maggior parte dei paesi dell'articolo 5 utilizza invece ancora gli HCFC.

Altamente infiammabili sono gli idrocarburi (iso-pentano, n-pentano, ecc) che rappresentano la principale alternativa, già utilizzata, per le schiume PU (tranne le schiume a spruzzo) per la produzione per esempio di

⁷⁷ La conduttività termica dei materiali cellulari λ è la somma di tre conduttività termiche che sono la conduttività termica attraverso la fase solida (λ_S), la conduttività termica attraverso la fase gassosa (λ_G) e la conduttività termica per irraggiamento (λ_R). Il λ_S dipende dal materiale (PU) e dalla sua densità, il λ_G è uguale alla somma del λ_G dei gas contenuti nelle celle e il λ_R è direttamente proporzionale al diametro medio delle celle. Più basso è il valore di λ e migliore è l'isolamento termico. (Fonte: Monzeglio M., 2017)

pannelli, cartongesso ecc. Nella produzione di pannelli discontinui a base di poliuretano, come vedremo di seguito, gli HC non risultano però economicamente convenienti, per cui l'uso degli idrofluorocarburi, in particolare HFC-245fa e HFC-365mfc è ancora preponderante (UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 13, 2015).

Per le *schiume a spruzzo a base di poliuretano (spray foam)* ad oggi prevale ancora l'uso degli HFC, in particolar modo HFC-245fa e HFC-365mfc. Poiché le schiume a spruzzo sono prodotte in situ (cioè nello stesso luogo in cui vengono applicate), l'infiammabilità dell'agente espandente rappresenta una criticità importante; pertanto la principale alternativa è costituita dalla CO₂ (e dalla CO₂ supercritica utilizzata soprattutto in Giappone). Le HFO, in particolare l'HFO1236mzz e l'HFO1233zd, rappresentano un'ulteriore alternativa di recente introduzione nel mercato (UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 13, 2015).

Per il *polistirene espanso (XPS)* a livello mondiale c'è ancora un significativo utilizzo di HFC-134a, anche se in alcune regioni esiste un'ampia diffusione di CO₂ e HFO-1234ze. In Giappone, anche l'iso-butano è ampiamente utilizzato, tuttavia, nei mercati in cui le caratteristiche isolanti termiche del polistirene sono prioritarie e le esigenze di infiammabilità aumentano, come negli Stati Uniti e in Canada, la CO₂ o agli agenti espandenti infiammabili non sono alternative adatte a tutte le applicazioni. Utilizzando solo la CO₂ come agente espandente non si riescono infatti a realizzare sempre schiume dalle buone proprietà isolanti⁷⁸; pertanto, talvolta, gli alcoli e gli eteri vengono usati a bassi livelli, mescolati alla CO₂, come agenti soffianti. Il formiato di metile e il metilene sono anche usati per alcuni tipi di PU e per schiume a pelle integrale (UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 13, 2015).

Altre alternative come gli idrocarburi ossigenati (dimetil etere, metilformato, ecc) sono disponibili nel mercato specie per Schiume di tipo PU (esclusa la schiuma spray) e le schiume per pelle integrale. Il loro uso è cresciuto lentamente.

Il prezzo è un altro elemento fondamentale nel determinare il successo di una alternativa. Il costo degli HC è inferiore a quello delle HFO ma gli investimenti in capitale iniziale necessari per assicurare la produzione in sicurezza delle schiume che utilizzano sostanze altamente infiammabili sono maggiori. A fronte di alti costi di investimento iniziali, saranno i livelli di produzione dei prodotti che utilizzano gli agenti espandenti a contribuire al successo di un espandente piuttosto che un altro. Nei casi in cui i livelli di produzione sono elevati, come per esempio per la produzione di pannelli continui a poliuretano, è possibile l'utilizzo degli HC poiché i costi di capitale iniziale sono compensati dai bassi costi di produzione; nel caso di pannelli discontinui ad esempio, caratterizzati da livelli di produzione inferiori, l'uso degli idrocarburi o comunque delle alternative infiammabili non risulta conveniente. L'utilizzo delle HFO a media infiammabilità può costituire un buon compromesso per fabbriche a bassi volumi di produzione. D'altro canto la possibilità di diffusione delle HFO è legata alla loro maggiore performance di isolamento termico e anche alla possibilità di realizzare miscele a base di HFO più economiche ma poiché questi prodotti sono nuovi, devono ancora essere sviluppati e testati al fine di ottimizzare la produzione delle schiume. Molti produttori di HFO e di HCFO hanno previsto un aumento della capacità produttiva dei propri impianti per soddisfare la futura crescente richiesta di agenti espandenti a basso GWP. Lo sviluppo di nuove schiume con proprietà ottimizzate, basate sull'uso di HFO e HCFO e miscele di queste sostanze con altre, come gli HC, richiede dei tempi, che vanno dai 18 mesi ad alcuni anni, necessari per l'approvazione del prodotto, per i test e la certificazione di qualità sia dell'agente espandente sia delle schiume che utilizzano tale espandente. Spesso tale periodo è parallelo con la costruzione dello stabilimento di produzione HFO / HCFO (UNEP, September 2016). La CO₂ stante le sue basse performance di isolamento termico, è utilizzata soprattutto per motivi economici.

Le politiche sui cambiamenti climatici e in particolare le misure previste nel settore energetico andranno a condizionare sempre di più anche il mercato delle schiume (UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 13, 2015). Nell'ambito di tali politiche, per esempio l'efficienza energetica degli edifici è diventata un obiettivo strategico per l'Europa, conducendo a una attenzione crescente per le schiume dalle buone proprietà isolanti. In generale gli HC hanno ad oggi ancora minore performance termiche dei tradizionali HFC mentre le HFO presentano migliori prestazioni e considerando che si tratta di prodotti ancora in fase di sviluppo si prevede un miglioramento delle performance di isolamento termico, con prestazioni superiori agli HC ma anche ai tradizionali HFC. Le performance richieste in termini di isolamento sono comunque specifiche del sito: lì dove sono disponibili spazi ristretti e lo spessore è un vincolo (ad esempio frigoriferi domestici, autocarri frigoriferi) allora l'elevata resistenza termica di una schiuma a HFO può diventare un vantaggio. In generale le HFO hanno mostrato buone performance sia in termini di infiammabilità, che di conduttività termica e resistenza a compressione. (UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 13, 2015).

⁷⁸La CO₂ possiede una capacità isolante inferiore rispetto agli HCFC e pertanto per ottenere parità di prestazione richiede un aumento del 30-50% dello spessore (EPA, 2016)

Il passaggio alle alternative potrà subire accelerazioni anche in funzione di logiche di mercato esterne. La Cina, grande produttore di sostanze refrigeranti, per esempio ha da poco ridotto la produzione di HFC-141b, facendone aumentare il prezzo: di conseguenza nel mercato sta aumentando la richiesta di alternative meno costose (paragrafo 2.2.5). Nella tabella seguente sono stati messi a confronto i principali agenti espandenti alternativi agli HFC con rispettivi vantaggi e svantaggi.

Figura 7.2 - Vantaggi e criticità degli agenti espandenti utilizzati nella produzione di schiume (Fonte: Monzeglio M., 2017)

ESPANDENTE	CRITICITA'	VANTAGGI
Idrocarburi	Alto investimento in impianti per sicurezza	Basso costo del prodotto Bassa conduttività termica
HFO	Alto costo dei prodotti Pochi produttori (3) Revisione norme armonizzate (EN)	Basso investimento in impianti Bassa conduttività termica
CO/CO ₂	Bassa qualità del prodotto finito Alta conduttività termica	Basso costo in impianti Basso costo del prodotto

Per quanto riguarda le emissioni da agente espandente, nulla non può essere fatto per evitarle, in quanto l'intervento accelererebbe il rilascio; a fine vita, una parte significativa dell'agente espandente si trova ancora nella schiuma. C'è la possibilità di recuperare una parte di tale sostanza, anche se i costi di questa operazione dipendono dal tipo di prodotto e non sono sempre sostenibili. Le schiume degli elettrodomestici e dei pannelli in acciaio vengono usualmente accantonati a fine vita e inviati a strutture di recupero specializzate. Le tavole di schiuma e i pannelli laminati, (ad esempio utilizzati per isolamento di tetti, pareti o pavimento), sono invece molto più difficili da separare durante un processo di demolizione delle costruzioni e spesso finiscono nei rifiuti di demolizione. (UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 13, 2015).

7.4 Il settore delle schiume in Italia e le alternative agli HFC

Il calo della produzione mondiale degli HFC, legato a scelte strategiche di mercato da parte delle aziende produttrici, e il conseguente aumento dei prezzi di tali sostanze, sta accelerando anche in Italia il processo di sostituzione degli idrofluorocarburi, per cui si prevede che ancor prima del 2023, data di phase-out prevista dal Regolamento F-gas per le schiume, tutti gli HFC saranno sostituiti da sostanze non climalteranti. Gli esperti del settore ritengono che già dal 2018 non ci saranno quasi più in circolazione espandenti per schiume poliuretaniche a base di HFC.

L'industria del poliuretano in Italia è già ora in sofferenza soprattutto per l'aumento del prezzo degli agenti espandenti. In generale infatti nell'industria delle schiume il prezzo degli espandenti incide sul costo finale del prodotto molto di più che in altri settori; questo avviene poiché la percentuale di espandente nel prodotto è molto alta e può arrivare a costituire il 97% di un pannello. Di conseguenza l'alto prezzo dell'agente espandente o di una sua alternativa avrà un effetto significativo sul prezzo finale del bene. Le alternative possibili agli HFC a loro volta possono presentare problemi legati alle limitazioni di utilizzo oltre che al costo. Le HFO insieme agli idrocarburi e alla CO₂ rappresentano alternative ai tradizionali agenti espandenti. Le idrofluoroolefine derivano da un processo di produzione più complesso rispetto a quello agli HC per cui anche nel mercato italiano sono più costose rispetto a questi ultimi. Al momento, secondo quanto comunicatoci dagli esperti del settore, possiedono un prezzo circa 10 volte maggiore di quello degli idrocarburi e anche se nel tempo questo divario tenderà a ridursi, si ritiene che non si arriverà a una reale equiparazione tra i prezzi delle due sostanze. Inoltre poiché il mercato della produzione sia di HFO che di HC è monopolizzato da pochissimi produttori, non si possono ipotizzare a breve variazioni di prezzo significative.

L'uso di sostanze infiammabili come gli HC se da un lato rappresenta una possibilità ben vista dalle aziende del settore per il basso prezzo della sostanza, non è sempre praticabile a causa degli elevati costi di investimento iniziali che rendono questa alternativa particolarmente onerosa, soprattutto per le piccole e medie aziende. Di fatto una azienda che consuma poco espandente e che ha livelli di produzione bassi non ha interesse economicamente a passare agli idrocarburi i quali, richiedendo la sostituzione completa delle apparecchiature, determinano un aggravio dei costi non compensati dai bassi livelli di produzione del prodotto. Le HFO al contrario possono essere utilizzate con interventi meno invasivi apportando anche solo modifiche alle macchine esistenti. Tutti questi aspetti incideranno nella scelta delle alternative in maniera diversa a seconda del settore in cui le schiume vengono impiegate: per esempio, come comunicatoci dagli

esperti del settore, le aziende produttrici di frigoriferi in Italia si caratterizzano per avere tanti piccoli punti di produzione per cui retrofittare tutti questi impianti può risultare una scelta non conveniente; in edilizia invece la presenza di impianti di produzione di dimensioni maggiori, con volumi in gioco più grandi, rende praticabile e a costi sostenibili, l'utilizzo degli idrocarburi come agenti espandenti. Comunque il successo di una schiuma che utilizza agenti espandenti alternativi è principalmente legato al fattore economico per cui a un'industria che di fatto si presenta matura per passare alla alternative, non corrisponde sempre una reale richiesta di mercato di tali alternative. Al riguardo viene riportato l'esempio di una importante azienda italiana, già pronta con la produzione di pannelli a base di HFO, prodotto di cui ad oggi però non c'è richiesta di mercato poiché economicamente non competitivo con altri pannelli che utilizzano diversi agenti espandenti. I pannelli a CO₂ pur non garantendo un isolamento termico molto buono e non essendo performanti, sono al contrario molto economici; l'aspetto economico continua a fare da driver nella scelta delle tipologie di schiuma. Attualmente nelle schiume in poliuretano sono molto usate miscele a base di HFC-365mfc e HFC-227ea insieme all'HFC-245fa, mentre l'HFC-134a non viene più utilizzato. Per quanto riguarda l'orientamento del mercato nella scelta degli agenti espandenti alternativi del poliuretano, in edilizia⁷⁹ gli HFC tenderanno ad essere sostituiti dalle HFO⁸⁰, che avendo una bassa conduttività termica, paragonabile e forse migliore a quella degli HC, sono in grado di rispondere alle richieste di migliore performance di isolamento termico previste per il comparto edile (l'efficienza energetica degli edifici è un obiettivo strategico per l'Europa). Per il riempimento di cavità si sta invece andando prevalentemente verso l'uso di CO e CO₂ poiché in tal caso il fattore trainante la scelta della sostanza è rappresentato dal basso costo e non sono richieste particolari performance del prodotto. Anche le macchine frigorifere (compreso il comparto professionale), per le quali il driver è dato dall'efficienza energetica, migreranno verso le HFO e in parte verso gli idrocarburi. Le HFO saranno la principale alternativa ai tradizionali HFC anche per le macchine adibite alla produzione di acqua calda (boiler, bollitori) in particolar modo per le aziende medio/piccole che rappresentano la maggioranza di questo settore. Nella tabella seguente sono sintetizzati gli orientamenti del mercato nel settore delle schiume poliuretaniche in Italia.

Tabella 7.2 - Orientamento del mercato delle schiume in poliuretano in Italia in relazione alla tipologia di agenti espandenti utilizzati (Fonte: Monzeglio M., 2017)

ALTERNATIVE AGLI HFC NELLE SCHIUME IN POLIURETANO			
Mercati	Fattori	Richieste	Tendenze
Edilizia	Resistenza termica Prezzo		HFO
Macchine frigorifere	Efficienza energetica	Bassa conduttività termica	HFO HC
Acqua calda	Efficienza energetica		HFO
Riempimento cavità	Costi	Nessuna	CO/CO ₂

Il settore dei materiali termoplastici, polimeri che possono essere sottoposti più volte a fusione e quindi a rimodellazione, comprende diverse materie plastiche quali ad esempio il polietilene, il polistirene (o polistirolo) o il Polietilene Tereftalato (PET). Come comunicato dagli esperti, il settore è già migrato alle alternative agli HFC poiché il 90% utilizza come agente espandente la CO₂ mentre il restante 10% si caratterizza per l'uso di HFC-152a con una piccola percentuale ancora ad HFC-134a (un'analoga situazione è riproposta a livello europeo). L'HFC-152a è un idrofluorocarburo caratterizzato da un GWP pari a 124 e quindi non coinvolto dal phase out previsto dal Regolamento. Questo HFC ha prestazioni elevate per cui è difficilmente sostituibile. L'HFO-1234ze non è particolarmente diffusa in Italia nel campo dei materiali termoplastici; il suo impiego è richiesto lì ove è necessario alzare le prestazioni del prodotto per rispondere soprattutto alle richieste dei Regolamenti europei in materia di efficienza energetica.

⁷⁹ In edilizia Il poliuretano espanso rigido è un isolante leggero e particolarmente efficiente che permette di limitare i volumi e le masse impiegate. (Monzeglio M., 2017)

⁸⁰ HFO-1233zd prodotto Honeywel già in uso con ottime proprietà di isolamento termico e HFO-1236mzz sviluppato in laboratorio ma ancora non in uso.

8 LE ALTERNATIVE AGLI HFC NEL SETTORE DELLE APPARECCHIATURE FISSE DI PROTEZIONE ANTINCENDIO

Per apparecchiature di protezione antincendio si intendono apparecchiature e sistemi utilizzati nelle applicazioni di prevenzione o estinzione di un incendio, compresi gli estintori (UE, 2014). Gli impianti fissi di protezione antincendio sono impianti in funzione o temporaneamente fuori servizio, costituiti da contenitori interconnessi situati in uno spazio specifico; in generale si tratta di apparecchiature che nella fase di funzionamento rimangono fisse. Gli estintori sono invece apparecchi portatili che possono essere spostati manualmente o con mezzi mobili (CE, 2009). Queste apparecchiature possono contenere come agenti estinguenti i gas fluorurati. Il Regolamento F-gas prevede divieti di immissione in commercio anche per tali apparecchiature: in particolare dal 2007 il divieto si applica alle apparecchiature contenenti PFC, mentre da gennaio 2016 viene esteso anche a quelle contenenti HFC-23.

8.1 Caratteristiche del settore

Le sostanze estinguenti sono prodotti naturali o artificiali, allo stato liquido, gassoso o solido, capaci di estinguere un incendio. L'azione estinguente può essere di diverso tipo; in generale possono distinguersi 4 modalità di azione (Ciannelli N., 2014 -2015):

- ✓ *Raffreddamento*: sottrazione di calore alla combustione fino ad ottenere una temperatura inferiore a quella necessaria al mantenimento della combustione.
- ✓ *Separazione*: separazione fisica del materiale combustibile dal comburente o rimozione del combustibile dalla zona di combustione
- ✓ *Soffocamento*: riduzione della percentuale di ossigeno al di sotto di quella minima capace di sostenere una combustione;
- ✓ *Inibizione chimica*: arresto delle reazioni chimiche che avvengono durante la combustione.

Le sostanze estinguenti possono agire combinando più azioni insieme, aumentando pertanto l'efficacia estinguente. Le principali sostanze utilizzate per lo spegnimento degli incendi sono: l'acqua, le schiume, le polveri, l'anidride carbonica e gli idrocarburi alogenati.

Gli idrocarburi alogenati, o halon, sono composti derivati da idrocarburi saturi nella cui molecola gli atomi di idrogeno sono stati sostituiti parzialmente o totalmente da atomi di cloro, bromo, fluoro o iodio. Possiedono ottime proprietà estinguenti: conservati allo stato liquido, sono ad esempio facilmente vaporizzabili, non lasciano residui, sono non corrosivi e inalterabili. Tali composti esercitano l'azione estinguente principalmente per inibizione chimica. Negli anni '80 sono diventati molto importanti nelle applicazioni antincendio a livello mondiale⁸¹, tuttavia, essendo dannosi per l'ambiente sono stati successivamente banditi sia dal Protocollo di Montreal che dal Protocollo di Kyoto, con la cessazione della produzione e del consumo al primo gennaio 1994⁸². Il settore dei sistemi fissi antincendio, nonostante tali divieti, vede tuttavia ancora l'utilizzo di sostanze alogenate come agenti estinguenti (Ciannelli N., 2014 -2015).

Secondo quanto riportato da UNEP (UNEP, 2014), nel 2014 nel mondo sono ancora installate 42.627 tonnellate di halon 1301 (escluso l'uso per scopi militari), di cui 6.916 t risultano collocate in Europa e Australia e 3.613 nei paesi Articolo 5. Le stime al 2019 prevedono uno stock installato di halon pari a 37.508 t che si ridurrà a 24.256 nel 2044 (di cui 2.535 t previste in Europa e Australia).

In sostituzione degli halon, a seguito dei divieti internazionali, hanno preso piede i seguenti agenti estinguenti:

- HFC (HFC-23, HFC-227ea e HFC-125)
- Gas inerti
- Water mist
- Aerosol

⁸¹Gli halon sono stati usati come agenti estinguenti per più di un secolo. Inizialmente si utilizzavano il bromuro di metile (CH₃BR), il tetracloruro di carbonio (CCL₄) e il clorobromometano (CH₂CLBR) che furono successivamente soppiantati da altri composti alogenati con migliori proprietà estinguenti: l'halon 1301 per gli impianti fissi di protezione antincendio, l'halon 1211 e l'halon 2402 per gli estintori portatili (Ciannelli N., 2014 - 2015). Attualmente, nonostante il divieto di produzione e consumo come definito dal protocollo di Montreal, continua la produzione di halon 1301 per essere impiegato come materia prima nella produzione del pesticida Fibrinil (UNEP, 2014).

⁸²L'Italia ha regolamentato la dismissione e l'impiego degli halons negli estintori e negli impianti antincendio con la Legge 28 dicembre 1993 n° 549.

La scelta dell'estinguente dipende dalle caratteristiche possedute in termini di velocità di spegnimento, spazio occupato e sicurezza che lo rendono più o meno idoneo alla tipologia di incendio da contrastare e al luogo in cui questo si verifica. La velocità di spegnimento è un requisito fondamentale in presenza di un incendio che si propaga velocemente e in un ambiente con beni di valore, come ad esempio sale di elaborazioni dati con molti server; in luoghi dagli spazi limitati, come aerei, veicoli militari o vascelli da pesca, oltre alla rapidità di spegnimento è richiesto inoltre un estinguente capace di occupare poco spazio. Estinguenti tossici o che esercitano il potere estinguente per soffocamento, riducendo la concentrazione di ossigeno nell'area da proteggere, possono invece essere pericolosi, se non opportunamente controllati, in presenza di essere umani nel luogo dell'incendio (Assure, 2003).

Molte delle sostanze alternative agli halon, tuttavia, combinano la maggiore tutela ambientale con una minore efficacia estinguente. Gli idrofluorocarburi hanno cominciato a diffondersi come estinguenti negli anni 90, in sostituzione degli halon. Nel settore antincendio vengono principalmente impiegati allo stato puro (non in miscele). Nei sistemi fissi si utilizzano l'HFC-227ea, l'HFC-125 e l'HFC-23, mentre negli estintori viene impiegato l'HFC-236fa.

I gas fluorurati svolgono l'azione estinguente assorbendo calore dalla fiamma. Possiedono caratteristiche tali da risultare ottimi estinguenti e i migliori sostituti dell'halon in determinate condizioni, soprattutto lì dove è necessario garantire rapidità di spegnimento dell'incendio, sicurezza e ridotta occupazione di spazio.

Gli HFC raggiungono infatti il livello di spegnimento in 10 secondi, a fronte dei 60 secondi richiesti dai gas inerti e di alcuni minuti (da 1 a 7) richiesti dalla CO₂. Poiché, inoltre, sono compressi in fase liquida, gli impianti ad HFC necessitano di una minore quantità di estinguente rispetto agli altri, e quindi di un minor numero di bombole, inoltre, a differenza dei gas inerti e della CO₂, non sono tossici alle concentrazioni di spegnimento e conseguentemente non danno problemi nella protezione di spazi frequentati dagli essere umani.

Per tutti questi motivi gli HFC si sono imposti come i migliori sostituti degli halon per la protezione di banche, centri di calcolo ed elaborazioni dati, aerei e veicoli militari, musei e così via

Per quanto riguarda l'utilizzo degli idrofluorocarburi, non sono disponibili da fonti ufficiali, dati relativi agli stock installati nel mondo nei sistemi fissi di protezione antincendio. Gli operatori del settore, hanno fornito delle stime sui quantitativi cumulati dal 1992 al 2005 in Italia, in Europa e nel mondo per tre estinguenti: HFC-23, HFC-125 e HFC-227ea. Da tali stime, riportate nella tabella successiva, emerge come l'HFC-227ea rappresenti il gas più utilizzato a livello, non solo mondiale ed europeo, ma anche nazionale.

Tabella 8.1 - Stima delle quantità di HFC installate in Italia, in Europa e nel mondo nei sistemi fissi di protezione antincendio: quantitativi cumulati dal 1992 al 2005 (Fonte: Gastec Vesta, 2017)

HFC	ITALIA	EUROPA	MONDO	TOTALE
HFC23	1.500 t	4.000 t	5.000 t	10.500 t
HFC 125	1.500 t	4.000 t	5.000 t	10.500 t
HFC 227ea	3.000 t	10.000 t	30.000 t	43.000 t

Secondo quanto riportato da UNEP le emissioni di HFC dai sistemi fissi di protezione antincendio rappresentano meno dell'1% delle emissioni totali di HFC, con un contributo all'effetto serra pari allo 0,015% dell'impatto di tutti i gas serra negli Stati Uniti e allo 0,05% dell'impatto degli stessi gas in Europa (UNEP, 2014). Si stima inoltre che nel periodo 2008-2012 circa l'1% delle vendite globali di HFC sia stato destinato alle applicazioni per la protezione antincendio. Le vendite degli idrofluorocarburi nel settore risultano crescenti nei paesi asiatici e del medio oriente ma stabili in Nord America, America Latina e Europa. Pochissime sono invece informazioni sul mercato dell'HFC-236fa in questo settore.

Sulla base dei dati globali delle emissioni, la quantità di HFC-227ea stimata come quantità installata per il settore antincendio nel periodo 2006-2010, oscilla tra 30.000 e 50.000 tonnellate metriche (valori da considerarsi come ordine di grandezza) (UNEP, 2014).

8.2 Le alternative agli HFC nei sistemi fissi di protezione antincendio a livello europeo e internazionale

Nei prossimi anni è prevista una progressiva riduzione dell'uso degli agenti estinguenti a base di HFC, fino a una loro completa sostituzione. Tre risultano essere gli elementi trainanti in questo processo:

- Il regolamento F-gas, con il divieto di immissione in commercio di nuove apparecchiature contenenti HFC-23 a partire da gennaio 2016;
- le dinamiche di mercato in atto, con la drastica diminuzione della disponibilità di idrofluorocarburi e l'impennata del loro prezzo di mercato;
- il Nuovo Regolamento dell'Unione Europea, in bozza, che prevede limitazioni all'uso degli HFC con GWP superiore a 1.500, con divieto di installazione di nuovi impianti a partire dal 2021.

In alternativa e/o in sostituzione degli HFC, sono state individuate le seguenti sostanze con impatto ambientale nullo: estinguenti chimici, estinguenti inerti, estinguenti ad acqua nebulizzata ed aerosol. Tutte queste alternative comunque, presentano lo svantaggio di possedere una minore efficacia della capacità estinguente.

Tabella 8.2 - Principali alternative agli HFC nei sistemi fissi di protezione antincendio (Fonte: Gastec Vesta, 2017)

PRINCIPALI ALTERNATIVE AGLI HFC	
ESTINGUENTI CHIMICI (UNI EN 15004-1):	FK 5-1-12
ESTINGUENTI INERTI (uni en 15004-1):	IG 01 (argon)
	IG 55 (argon/azoto)
	IG 100 (azoto)
	IG 541 (argon/azoto/CO ₂)
ESTINGUENTI AD ACQUA NEBULIZZATA (UNI CEN/TS 14972- in revisione):	WATER MIST
ESTINGUENTI CONDENSATI AEROSOL (UNI ISO 15779)	AEROSOL (utilizzo in aree normalmente non occupate)

Già nel 2016 è stata registrata una crescita notevole nell'uso dell'FK 5-1-12 e dei gas inerti. L'FK 5-1-12, noto commercialmente come Novec 1.230⁸³, è un fluido estinguente che assicura un processo di spegnimento veloce (spegne in pochi secondi) e pulito, non rilasciando alcun tipo di residuo nell'area in cui viene erogato. Questa sostanza, di recente introduzione nel mercato è inoltre atossica, non corrosiva, non conduttiva e con un margine di sicurezza tra la concentrazione di spegnimento e quella alla quale si potrebbero riscontrare effetti avversi per le persone pari al 69%, margine molto più elevato che per i gas inerti o i tradizionali estinguenti a base di HFC. A parità di volume da proteggere richiede un numero di bombole inferiore di circa 6 volte rispetto a quello necessario per i gas inerti; inoltre a temperatura ambiente si trova in fase liquida, condizione che consente operazioni di travaso, ricarica e manutenzione molto più economiche e meno impegnative (Molajoni).⁸⁴⁸⁵

Per tutte queste caratteristiche il Novec 1230 è particolarmente adatto alla protezione di apparecchiature sensibili (ad es., apparecchi di telecomunicazione e computer, installazioni marine, piattaforme petrolifere).

I gas inerti, sono costituiti da argon, azoto e loro miscele con anidride carbonica⁸⁶ si utilizzano soprattutto nella protezione di ambienti chiusi ed esercitano il potere antincendio portando la concentrazione di ossigeno nell'aria al di sotto del valore necessario perché possa avvenire la combustione.

Ciascuna delle alternative presentate possiede vantaggi e svantaggi, per cui la scelta dell'agente estinguente dipenderà dalle caratteristiche dell'incendio e del luogo che ha preso fuoco.

I sistemi antincendio a Novec 1.230 sono pressurizzati a 24 e 42 bar, pressioni molto più basse rispetto a quelle previste per i sistemi a gas inerti. Come comunicati dagli esperti del settore, presentano come criticità le distanze limitate, i dislivelli ascendenti e le dimensioni delle tubazioni, che, in caso di sostituzione di impianti a HFC e halon, devono essere cambiate. La quantità di Novec 1.230 da installare per m³ di spazio protetto è superiore rispetto a quella richiesta per gli HFC e per l'halon: sono infatti necessari 0,880 kg/m³ di questo estinguente contro 0,720 kg/m³ di HFC-227ea, 0,627 kg/m³ di HFC125 0,580 kg/m³ di HFC- 23 e 0,360 kg/m³ di halon 1301.

I gas inerti hanno un'elevata pressione di stoccaggio ed esercizio; sono commercializzati in bombole che arrivano fino a un massimo di 140 l e 300 bar di pressione. Presentano come problema la logistica e la maggiore quantità di bombole da utilizzare a parità di area da proteggere, oltre al tempo di scarica di circa 60 secondi, molto elevato in caso di richiesta di interventi di spegnimento rapido (quello dei tradizionali HFC e

⁸³ Il Novec 1.230 è stato sviluppato dalla società internazionale 3M specializzata in diversi settori merceologici.

⁸⁴ <http://www.molajoniservizi.it/prodotti/antincendio/impianti-di-spegnimento-fluido-chimico/>

⁸⁵ Il Novec, mediante un sistema opportuno, viene fatto passare dalla fase liquida a quella gassosa al momento dell'erogazione. Dopo la scarica dell'altro estinguente viene riversato nella bombola a sua volta pressurizzata con una piccola bombola di azoto. Questa operazione può essere condotta con una officina mobile.

⁸⁶ Azoto puro al 100% (IG100), Argon puro al 100% (IG01), miscela 50% Argon e 50% Azoto (IG55), miscela al 52% Azoto, 42% Argon e 8% CO₂ (IG541).

del Novec è di circa 10 secondi). Di seguito è messo a confronto il numero di bombole necessario per proteggere un'area di 1000 m³ in funzione del tipo di gas estinguente. Si nota come il numero di bombole con il gas inerte è fino a 6 volte superiore al numero di bombole a halon 1301 e 3-4 volte superiore a quello delle bombole a HFC.

Tabella 8.3 - Numero di bombole necessario per proteggere un'area di 1000 m³ in funzione del tipo di agente estinguente (Fonte: Gastec Vesta, 201).

Numero di bombole necessario per proteggere un'area di 1000 m³ in funzione del tipo di agente estinguente	
HFC227ea	5 bb da 150 l
HFC125	4 bb da 150 l
HFC23	5 bb da 134 l
Halon1301	3 bb da 120l
Gas inerte	18 bb da 140 l a 300 bar

Il sistema di spegnimento a “water mist” consiste invece in una tecnica di erogazione di acqua additivata ad alta pressione e rilasciata da appositi erogatori sotto forma di gocce finissime nebulizzate. La pressione è generalmente compresa tra i 20 e i 200 bar. Le gocce d'acqua, prima di entrare in contatto con le fiamme, si trasformano in vapore acqueo che genera le condizioni per l'estinzione repentina dell'incendio combinando più effetti contemporaneamente: sottrazione di calore (raffreddamento), rarefazione dell'ossigeno dovuto al rapido cambio di stato dell'acqua (soffocamento) e creazione di una barriera fredda all'irradiazione del calore verso l'esterno dell'incendio (le particelle d'acqua nebulizzate assorbono energia radiante sprigionata dal fuoco e limitano così il propagarsi dell'incendio) (Ciannelli N., 2014-2015). Il sistema a water mist non è considerato un impianto di spegnimento alla pari di quelli a saturazione totale che usano estinguenti gassosi, ma un sistema di contenimento degli incendi che ha come vantaggio un ridotto consumo di acqua rispetto ai sistemi sprinkler. Questo sistema, associando alla bassa o nulla tossicità, la rapidità di spegnimento e i ridotti danni derivanti dall'uso di acqua durante il funzionamento, può essere usato in un gran numero di situazioni, sia in campo civile che in quello militare, sia in ambito terrestre che marino (navi, turbine, locali macchina, magazzini, treni ecc). Il sistema ad aerosol invece può essere usato solo in aree normalmente non occupate poiché la fase di spegnimento avviene con la dispersione di particelle che dopo la scarica si depositano a terra e sui materiali, sporcandoli; il vantaggio è dato dalla non necessità di tubazioni.

Le alternative sopra elencate non riescono a coprire tutti i settori che richiedono la presenza di sistemi di protezione antincendio. Settori come quello militare, dell'aviazione e del petrolio e del gas, richiedono ancora l'uso di HCFC, HFC e halon, perché necessitano di sostanze con capacità estinguenti superiori, che non possono essere soddisfatte dalle alternative ad oggi in commercio. Secondo quanto riportato da UNEP (UNEP, 2014), la mancanza di progressi nell'implementazione delle alternative dell'halon per l'aviazione civile potrebbe portare a una situazione critica, poiché le quantità installate di halon in questo settore, come percentuale delle quantità globali disponibili, continuano ad aumentare annualmente. Non essendo più possibile produrre halon per i sistemi antincendio, la gestione degli stock di questo estinguente diventa essenziale nel garantire la protezione nei settori che non hanno ancora trovato delle soluzioni alternative. Il mercato dell'halon riciclato è piuttosto forte, per quanto risulti difficile ottenere quantità di questa sostanza che coprano più di pochi mesi di fornitura od ottenere i necessari permessi di import/export; la domanda di halon riciclato rimane ancora alta per le applicazioni esistenti in alcune parti del mondo. (UNEP, 2014)

L'introduzione di agenti estinguenti alternativi può in alcuni casi rendere necessarie modifiche alle tecnologie tradizionalmente usate. In generale, a livello internazionale la situazione impiantistica è rimasta invariata e nessuna modifica tecnologica è stata apportata se non per gli estinguenti chimici (Novec 1.230) e i gas inerti. In merito all'FK 5-1-12, per superare il problema dei limiti nelle distanze e nel dislivello, si è aumentata la pressione standard da 24 e 42 bar (che sono le stesse pressioni di stoccaggio degli HFC) a 30 e 50 bar ma non si sono fatti progressi per quanto riguarda la possibilità di riusare le stesse tubazioni, che con questi livelli di pressurizzazione devono essere sostituite. Per i gas inerti invece si è passati da bombole da 60 l e 150 bar a bombole da 140 l e pressione di carica pari a 300 bar, il che significa un aumento dell'area protetta da 18 m³ a 54 m³. Il sistema di riduzione della pressione in uscita dalle bombole, prima costituito da un orifizio calibrato, è stato inoltre sostituito da un riduttore di pressione (interno od esterno alla valvola di scarica) che permette di ottenere un flusso di uscita dell'estinguente costante a una pressione iniziale meno invasiva (Gastec Vesta, 2017).

8.3 Le alternative agli HFC nei sistemi fissi di protezione antincendio in Italia

Gli HFC, come alternativa agli halon, hanno fatto la loro comparsa nel mercato italiano nel 1995, a valle dell'entrata in vigore del divieto di produzione di halon nel 1994. L'idrofluorocarburo più utilizzato come agente estinguente è l'HFC-227ea, che costituisce circa il 90 % del mercato seguito dall'HFC-125. Per quanto riguarda gli altri estinguenti appartenenti alla famiglia degli F-gas, nei primi anni 2000 risultava un uso dell'HFC-23 limitato alle sole ricariche e un impiego ridotto di SF₆ (Assure, 2003).

I dati relativi alle importazioni e alle esportazioni di HFC nel settore antincendio per l'Italia non sono attualmente disponibili; come riportato nel paragrafo 8.1, stime sui quantitativi cumulati dal 1992 al 2005 degli HFC impiegati come agenti estinguenti riportano per l'Italia i seguenti valori: 3000 t di HFC-227ea, 1500 t sia di HFC-125 che di HFC-23. Anche il settore antincendio italiano sta risentendo della crisi di approvvigionamento degli HFC e dell'aumento dei prezzi dei gas, per cui la disponibilità di alternative rappresenta un elemento importante al fine di assicurare la protezione antincendio richiesta. L'estinguente chimico Novec 1230 e i gas inerti costituiscono le principali alternative ai tradizionali estinguenti. Il Novec si è imposto come principale sostituto dell'HFC-227ea ed è usato in tantissime applicazioni. Le limitazioni nell'utilizzo degli estinguenti alternativi riguardano sempre i settori dell'aviazione e quello militare dove sono necessari agenti estinguenti dalla massima efficacia (paragrafo 8.2). Nei treni italiani il nuovo estinguente Novec 1230 viene utilizzato per i quadri elettrici e i motori, (dove si possono usare anche l'HFC-227 e i gas inerti), mentre per l'area passeggeri viene usato il sistema a water mist. Come già riportato nel paragrafo precedente, l'utilizzo dei nuovi estinguenti può portare alla necessità di interventi sulle tecnologie e sulla componentistica, al fine di superare le limitazioni connesse al loro utilizzo (tempi di scarica dell'estinguente, spazio occupato, distanze, livelli ascendenti, tubazioni). Nel settore dei sistemi di protezione antincendio l'Italia è leader mondiale nella produzione di tecnologie e brevetti. Le società italiane che producono i sistemi antincendio, acquistano i nuovi prodotti e sulla base di questi estinguenti e delle loro caratteristiche, investono nello sviluppo di propri sistemi e componenti.

Per quanto riguarda il Novec 1230, ad esempio, si è investito nello sviluppo di sistemi capaci di superare il limite delle distanze e dei dislivelli insieme a quello del cambio delle tubazioni. Una società italiana del settore ha così progettato e certificato bombole antincendio da 180 l pressurizzate a 80 bar (primo sistema al mondo) che consentono un'efficacia antincendio paragonabile a quella degli HFC e degli halon. Con il Novec a 80 bar è possibile sostituire l'halon 1301 e i gas inerti anche negli impianti esistenti senza necessità di cambiare le tubazioni. Anche nel campo dei gas inerti le aziende italiane si distinguono per il loro contributo innovativo con lo sviluppo, la progettazione e la certificazione di una nuova serie di valvole adatte, ad esempio, a grandi portate e alla ricarica delle bombole sul posto, con connessione dedicata. Le dimensioni e le pressioni delle bombole sono aumentate fino alla progettazione di unità da 180 litri condizionate a 300 bar, portando l'area di protezione di ogni bombola a 96 m³. L'utilizzo di bombole da 180 l a 300 bar necessita di valvole speciali in grado di garantire la scarica dell'agente estinguente in un minuto. Mentre per bombole di dimensioni minori, fino a 140 l è possibile usare le valvole tradizionali, l'aumento delle dimensioni ha reso necessario lo sviluppo di una valvola di scarico speciale. Altre tecnologie e brevetti italiani comprendono: ugelli di scarica silenziati (brevetto italiano), capaci di ridurre la pressione sonora durante la scarica del gas inerte proteggendo per esempio gli hard disk da possibili danni, riduttori di pressione, valvole speciali che consentono la scarica ma anche la ricarica delle bombole sul posto e sistemi che regolano la scarica del gas inerte sulla base del volume libero da materiali ed arredi. Questo ultimo sistema consente di mantenere costante la percentuale di ossigeno residuo respirabile per le persone eventualmente presenti (minimo richiesto 11%) oppure di mantenere nel luogo dell'incendio una percentuale residua di ossigeno (massima del 14%) necessaria per il mantenimento della concentrazione di spegnimento. In pratica nell'ambiente da proteggere vengono installati dei rilevatori della concentrazione di ossigeno che comunicano con una centralina elettronica; sulla base delle concentrazioni di ossigeno rilevate, la centralina regola la scarica di gas inerte bloccandola e/o facendola ripartire fino all'esaurimento del contenuto delle bombole. Si tratta di un sistema particolarmente utile nella protezione di ambienti che possiedono un volume netto molto variabile, come magazzini e archivi (Gastec Vesta, 2017).

9 IL MERCATO EUROPEO DELLE TECNOLOGIE CHE USANO REFRIGERANTI NATURALI

Una panoramica sullo stato attuale del mercato dei refrigeranti naturali in Europa è offerta da uno studio di Shecco (Shecco, 2016), già menzionato nei capitoli precedenti. Lo studio ha visto il coinvolgimento di produttori, fornitori di componenti e tecnologie che hanno consentito di identificare il numero di aziende che lavorano con i refrigeranti naturali. Produttori e utenti finali sono stati contattati attraverso diversi canali (interviste individuali, presentazioni a conferenze, ecc) e un sondaggio online a cui hanno risposto oltre 230 rappresentanti del settore HVAC&R⁸⁷ che lavorano sia i con tradizionali HFC sia con i refrigeranti naturali. Anche l'Italia ha partecipato a questo sondaggio con un livello di rappresentatività del 10-18%.⁸⁸ Lo studio rappresenta la principale base di dati e informazioni disponibili sullo stato della diffusione dei refrigeranti naturali, non solo in Europa ma anche in Italia e per questo motivo si ritiene utile illustrare i risultati di questo lavoro.

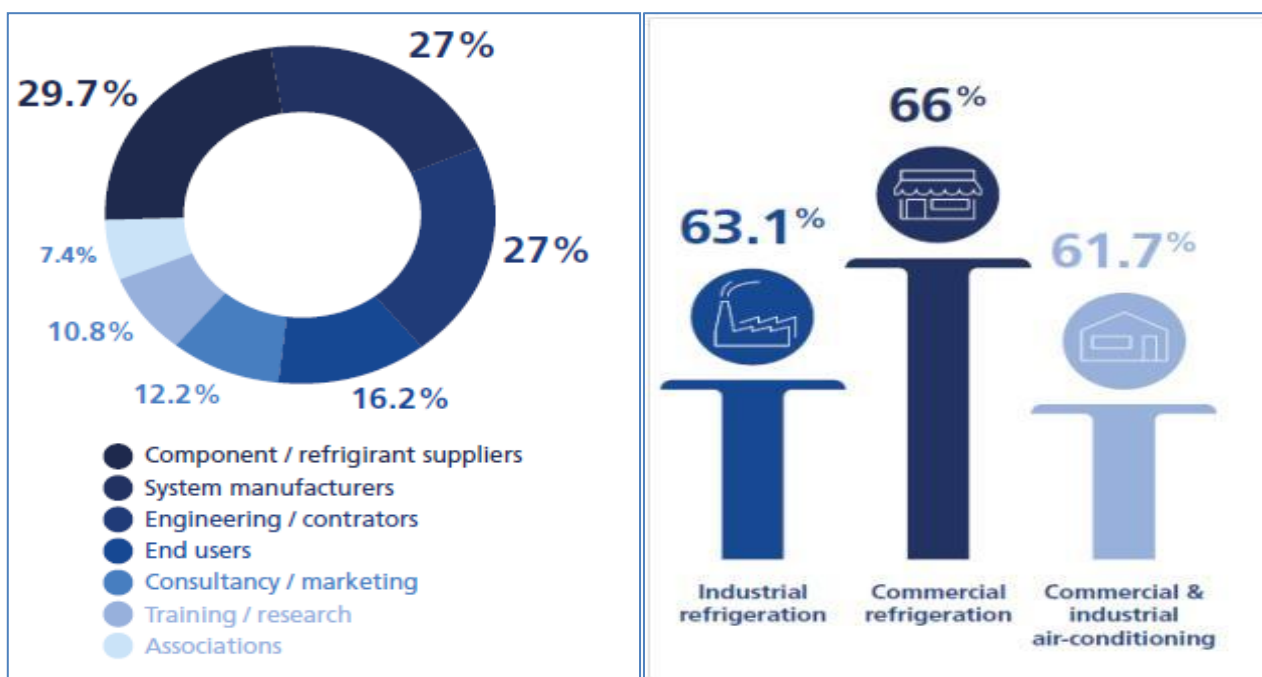


Figura 9.1 - Profilo dei soggetti che hanno risposto alla survey on line di Shecco (a sinistra) e percentuale dei settori chiave più rappresentati dai rispondenti alla survey (a destra) (Fonte: Shecco, 2016)

I settori più rappresentati dai rispondenti della survey on line sono stati quelli della refrigerazione commerciale e industriale insieme a quelli dell'aria condizionata (commerciale e industriale), mentre non sono risultate rappresentate in maniera significativa nello studio le applicazioni residenziali (ad eccezione delle pompe di calore con il 35,5% e dell'aria condizionata con il 34%) e le applicazioni di trasporto.

9.1 Numero di compagnie che lavorano con refrigeranti naturali

Il numero di compagnie⁸⁹ che in Europa, Norvegia, Svizzera e Islanda lavorano con i refrigeranti naturali ha subito un continuo incremento negli ultimi anni passando da 400 nel 2013 a 655 nel 2016 (Figura 9.2). I paesi più all'avanguardia nel settore dell'HVAC&R rimangono Germania, Paesi Bassi, Gran Bretagna e i Paesi del nord Europa ma anche nei paesi del Sud Europa, Italia e Spagna in primis, si è assistito a un progressivo interesse per le tecnologie climate-friendly. Oltre alle imprese che hanno già adottato tali refrigeranti viene segnalata la presenza in Europa di una serie di compagnie che si stanno preparando ad

⁸⁷HVAC&R: heating, ventilation, air conditioning and refrigeration

⁸⁸ Quasi due terzi delle aziende che hanno partecipato all'indagine hanno sede in cinque paesi europei (Paesi Bassi, Germania, Italia, Belgio e Regno Unito).

⁸⁹ Si intende in tal caso per compagnie: i fornitori di sistemi e componenti, i progettisti, l'ingegneria e le aziende di installazione, ma anche le organizzazioni specializzate in consulenza, marketing e formazione.

abbandonare i fluidi tradizionali per abbracciare quelli naturali, adeguandosi ai vincoli imposti dal Regolamento. Circa il 70 % dei rispondenti alla survey ha infatti dichiarato di far già uso di refrigeranti naturali, mentre il 35% dichiara di utilizzare refrigeranti sintetici con GWP <150 e quindi in accordo con le prescrizioni più severe del Regolamento F-gas. C'è da dire che il processo di graduale abbandono di sostanze climalteranti a favore di sostanze e tecnologie a basso effetto serra in Europa è iniziato ancor prima dell'adozione del Regolamento F-gas, a seguito di misure nazionali di regolamentazione e limitazione dell'uso degli HFC (Shecco, 2016). I dati riportati nella figura sottostante relativi al numero di compagnie europee che lavorano con i refrigeranti naturali, non sono esaustivi ma possono fornire interessanti indicazioni circa i futuri sviluppi del settore HVAC&R.

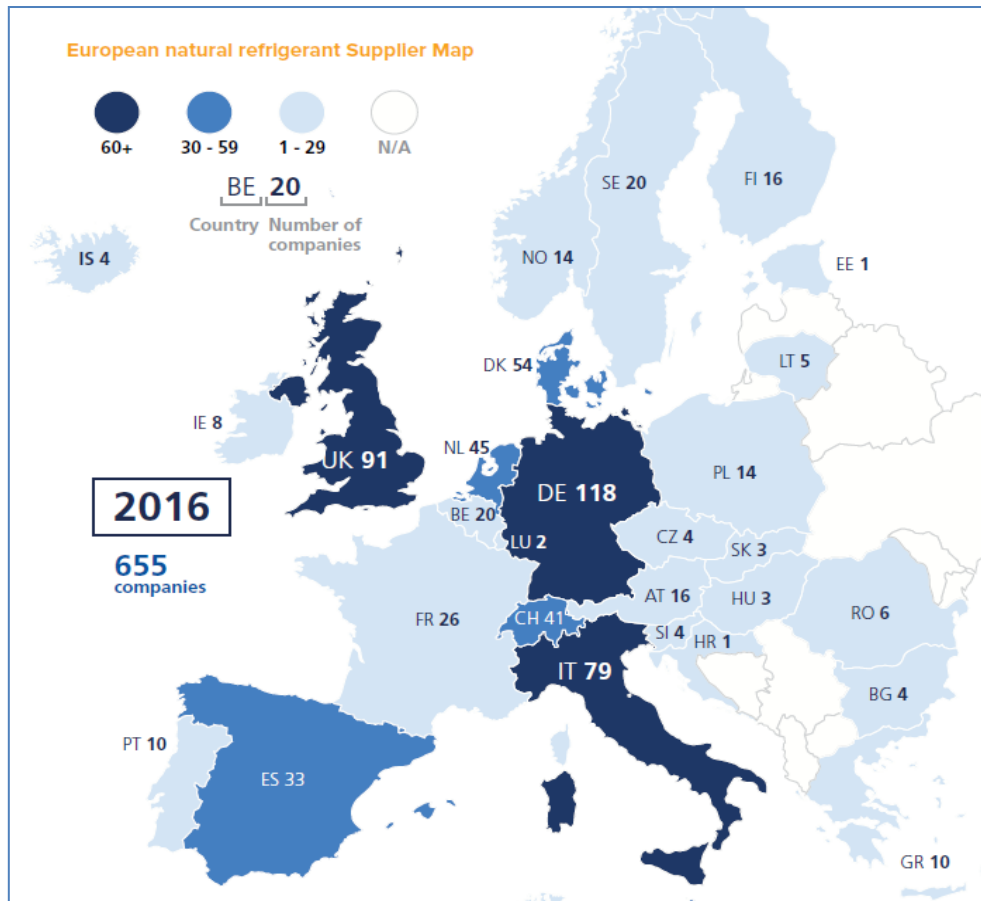


Figura 9.2 - Numero di compagnie che lavorano con i refrigeranti naturali in Europa nel 2016 (Fonte: Shecco, 2016)

9.2 Il mercato europeo della refrigerazione commerciale con refrigeranti naturali

L'impatto del Regolamento F-gas sul mercato europeo manifesta livelli differenti da settore e settore. Il settore che risulta maggiormente coinvolto da questo cambiamento anche sulla base dei risultati dell'indagine di Shecco è quello della refrigerazione commerciale. Tutte le società attive nel settore della refrigerazione commerciale hanno visto un aumento della disponibilità di apparecchiature che usano refrigeranti naturali negli ultimi 5 anni e ben tre quarti degli intervistati da Shecco indicano una forte crescita nel settore. Il numero di negozi a CO₂ transcritica in Unione Europea, Norvegia e Svizzera è triplicato dal 2013 al 2016 raggiungendo l'8%⁹⁰ del mercato complessivo del settore della vendita al dettaglio dei beni alimentari: si è passati in particolare da 2.885 unità nel 2013 a 8.732 nel 2016 (dati aggiornati a metà del 2016), con il nord Europa leader nell'uso di questa tecnologia. Allo stato attuale la tecnologia a CO₂ transcritica risulta utilizzata soprattutto nei supermercati di grande taglia (più grandi di 400 m²). L'indagine di Shecco in particolare rivela come questa tecnologia stia prendendo piede anche in nuovi paesi, come l'Est e soprattutto il Sud Europa dove il clima più caldo si riteneva fosse un ostacolo all'uso della CO₂ a causa del

⁹⁰ Dimensione complessiva del mercato del circa 110,000-115,000 supermercati (Fonte: Shecco, 2016).

calo di efficienza registrato dagli impianti in condizioni di alte temperature. I progressi tecnologici (in particolare nella componentistica) e l'ampliamento delle conoscenze nel corso degli ultimi, anni, hanno permesso di superare quelli che in passato erano ritenuti ostacoli all'uso di questa sostanza.

I tassi di crescita annuali del numero di supermercati con impianti a CO₂ dal 2012 al 2016 si aggirano intorno al 30% (figura 9.4). I rappresentanti del settore che lavorano con la tecnologia a CO₂ prevedono che a partire dal 2018 verranno aperti annualmente circa 6.000 nuovi negozi a CO₂ transcritica. (Shecco, 2016).

Per quanto riguarda il mercato italiano, il primo sistema a CO₂ è stato installato nel 2011 in un supermercato del gruppo Coop a Lestano e, secondo l'indagine della Shecco, il numero di supermercati a CO₂ transcritica è aumentato del 150% dal 2011 al 2013 passando da 6 a 15 unità (Shecco, 2014)⁹¹ che sono diventate 91 nel 2016 (Shecco, 2016). Nella figura successiva è riportato il numero di supermercati che utilizza il sistema a CO₂ transcritico; i dati mostrati vanno considerati come indicativi essendo il risultato di un sondaggio tra i principali fornitori di sistemi e gli utenti finali del settore commerciale.

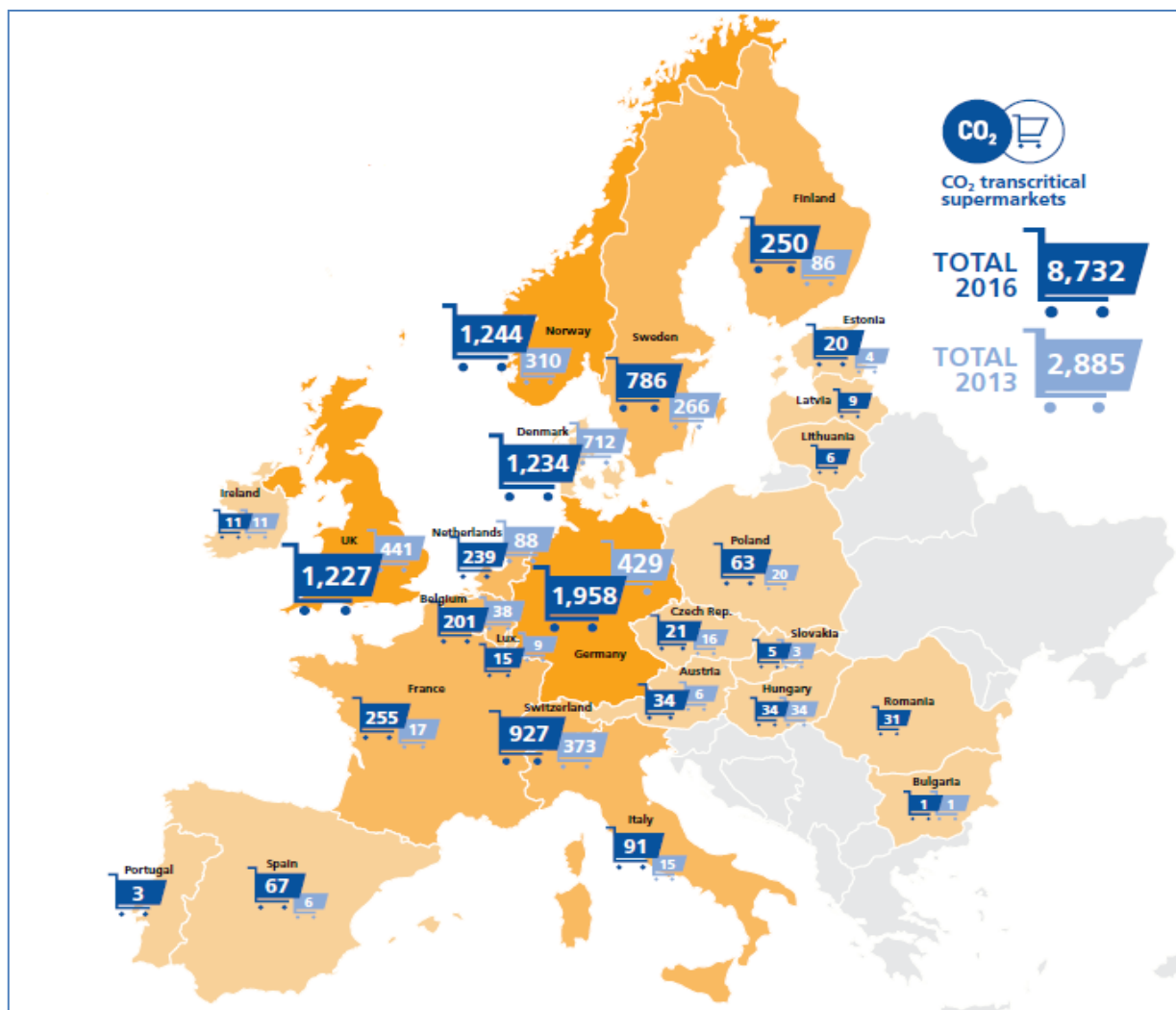


Figura 9.3 - Numero di supermercati che utilizzano la tecnologia a CO₂ transcritica nel 2013 e nel 2016 (Fonte: Shecco, 2016)

⁹¹I dati vanno considerati come non esaustivi, in quanto frutto di un sondaggio del 2013 rivolto ai leader fornitori di queste tecnologie e agli utenti finali del settore commerciale.

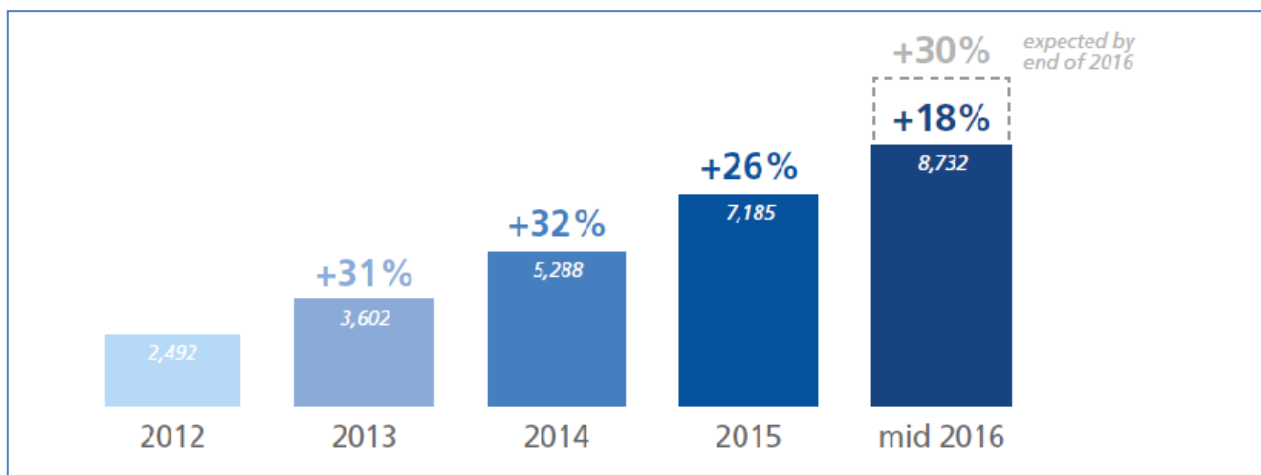


Figura 9.4 - Andamento della crescita del numero di supermercati a CO₂ transcritica in Europa nel periodo 2012 - metà 2016 (Fonte: Shecco, 2016)

Oltre ai sistemi a CO₂ transcritici sono presenti anche quelli a cascata dove la CO₂ viene utilizzata nel ciclo a bassa temperatura mentre i refrigeranti tradizionali (HFC) o quelli naturali (NH₃ o HC) nel ciclo a media temperatura. Dall'indagine della Shecco condotta nel 2013 risultano in Europa 1.638 supermercati a CO₂/HFC, 19 a CO₂/NH₃ e 5 a CO₂/HC (Shecco, 2014). I Paesi Bassi e l'Italia registrano il più alto numero di supermercati a CO₂/HFC rispettivamente con 242 e 199 unità (Figura 9.5). Carrefour ha adottato molti di questi sistemi nel territorio italiano.

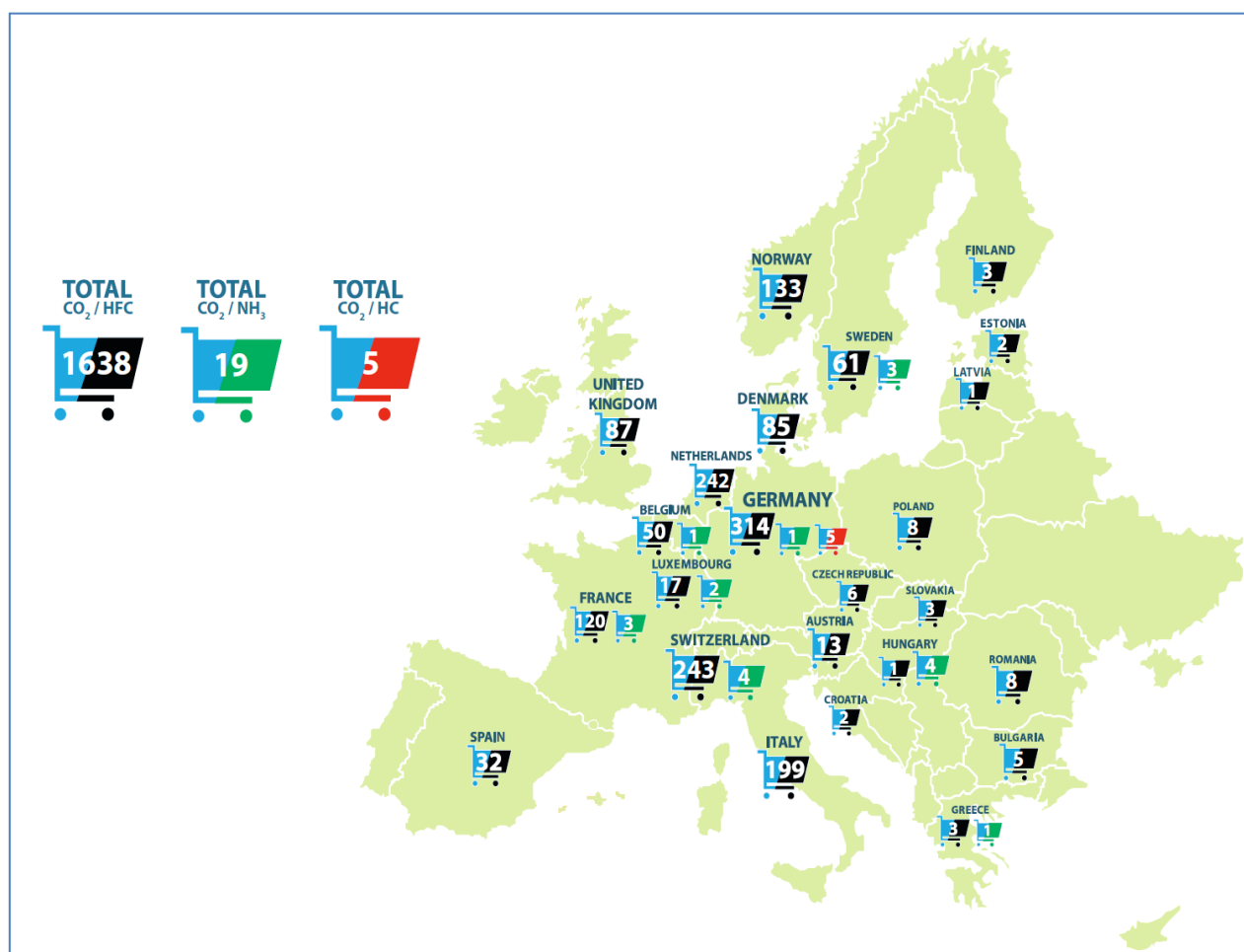


Figura 9.5 - Numero di supermercati con sistemi di refrigerazione a cascata (CO₂/HFC, CO₂/NH₃, CO₂/HC)(Fonte: Shecco, 2014)

Tabella 9.1 - Numero di negozi con sistemi a CO₂ transcritica e in cascata (CO₂/HFC) in Europa dal 2006 al 2013
(Fonte: Shecco, 2014)

	Prima del 2006	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013 (metà)	totale
Stores con sistemi a CO₂ transcritica	23	13	67	139	189	487	574	705	514	2.885
Stores con sistemi in cascata CO₂/HFC	82	63	67	99	111	150	229	302	207	1.638

Per quanto riguarda gli altri refrigeranti naturali, in Europa si contano migliaia di negozi che utilizzano idrocarburi nei cosiddetti plug-in cabinets (le vetrine autonome per la conservazione dei cibi ad esempio). Dalla ricerca di Shecco (Shecco, 2014) risultano circa 480.000 plug-in cabinets a propano nei supermercati europei, numero che sicuramente potrebbe essere maggiore considerando che alcuni fornitori di questa tipologia di sistemi non hanno fornito dati. In Germania, la catena di supermercati Lidl sta usando propano nel 60-70% dei suoi congelatori orizzontali a bassa e media temperatura mentre in Italia risultano presenti nei supermercati 23.135 unità plug a idrocarburi. Il propano è l'idrocarburo più diffuso. Idrocarburi e ammoniaca sono spesso usati nei sistemi indiretti (Figura 9.6).

Per quanto riguarda la refrigerazione commerciale leggera (per il raffreddamento di bottiglie e gelati ad esempio), il numero di sistemi a CO₂ o idrocarburi è in forte aumento: a livello mondiale si stima la presenza di oltre 2 milioni e 700.000 unità, la maggior parte delle quali installate in Europa. La compagnia della Coca-Cola Company, ad esempio, ha comunicato la propria decisione di eliminare gradualmente gli HFC adottando la tecnologia a CO₂. Nel mese di ottobre del 2013, aveva già installato 986.000 unità prive di HFC in tutto il mondo. La Pepsi Company ha già installato in 30 paesi del mondo oltre 200.000 unità free HFC (principalmente a R-290, R-600a e CO₂), Red Bull ha circa 457.000 "dispositivi di raffreddamento ECO" (metà circa della sua flotta), che utilizzano l'R-600a come refrigerante. La società Carlsberg invece usa refrigeratori per bottiglie a idrocarburi; questa compagnia installa dispositivi di raffreddamento di bottiglia nei paesi nordici (Danimarca, Finlandia, Norvegia e Svezia) ma ora anche nei paesi del Sud Europa (Shecco, 2014).

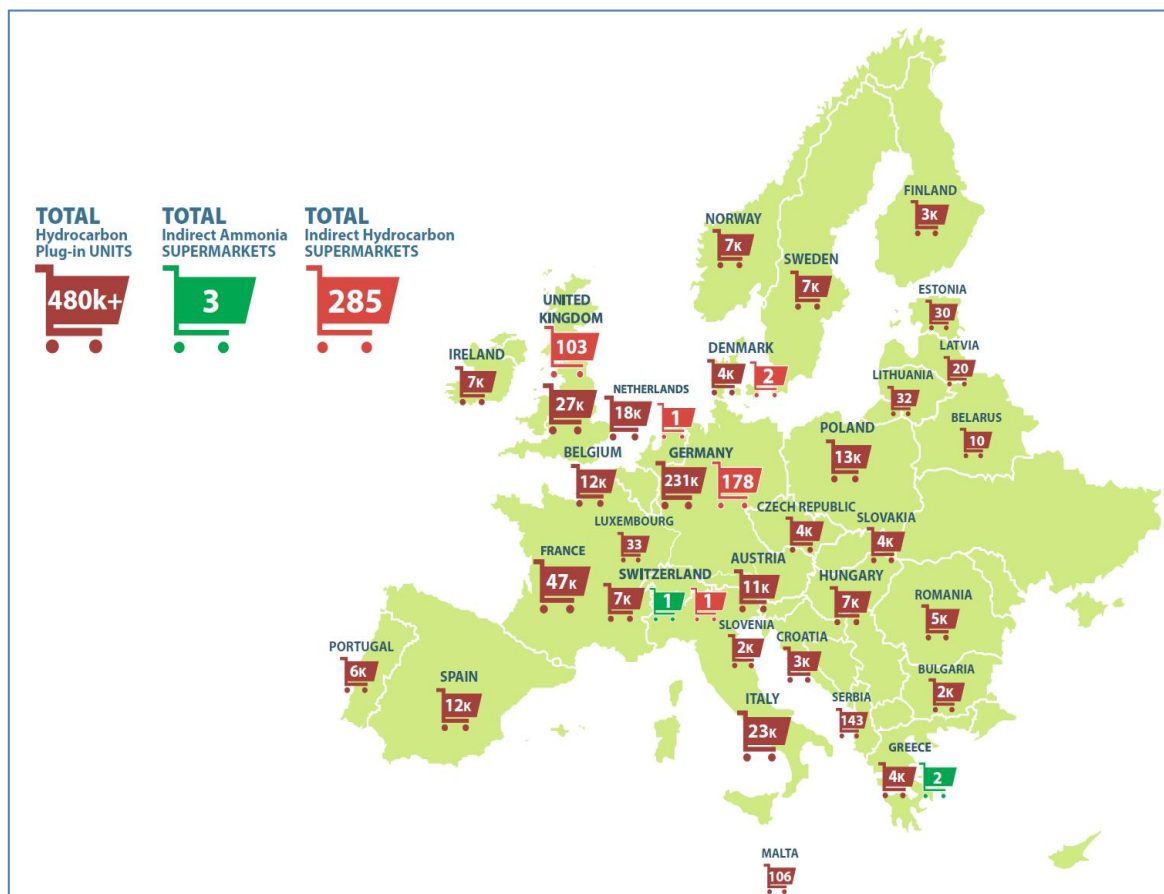


Figura 9.6 - Numero di unità plug-in a HC e di supermercati con sistemi indiretti a HC e NH₃ (Fonte: Shecco, 2014)

Per quanto riguarda il settore della refrigerazione industriale, il 65% degli intervistati da Shecco ha confermato un aumento, da lieve a forte, nella disponibilità commerciale dei nuovi prodotti che utilizzano refrigeranti naturali negli ultimi cinque anni. Di fatto l'intero settore sembra aver già effettuato il passaggio a refrigeranti climate friendly senza alcun intervento normativo, poiché l'ammoniaca risulta ad oggi il refrigerante standard impiegato nella refrigerazione industriale. Altre soluzioni ecosostenibili presenti sono i sistemi a cascata CO₂/NH₃, i sistemi secondari così come la tecnologia a CO₂ transcritica. Ma soluzioni alternative free HFC stanno prendendo piede anche nel settore della refrigerazione industriale di media piccola taglia da sempre dominato dagli HFC (Shecco, 2016).

Secondo i rappresentanti dell'industria consultati da Shecco, il mercato del condizionamento d'aria e delle pompe di calore non ha dato, ad oggi, segni di significativo cambiamento verso i refrigeranti alternativi free HFC. C'è da dire che il settore del condizionamento e delle pompe di calore non è coinvolto dai divieti di immissione nel mercato di HFC con GWP >150, previsti dal Regolamento F-gas come per la refrigerazione commerciale. I cambiamenti del mercato europeo dell'HVAC&R testimoniano, a detta di Shecco, come siano proprio tali divieti (Allegato III del Regolamento EU n. 517/2014) a costituire la maggiore spinta verso l'adozione rapida di soluzioni climate friendly; i settori coinvolti solo dal phase-down degli HFC reagiscono più lentamente negli anni e lo shift a soluzioni alternative naturali sarà guidato soprattutto dalla carenza di idrofluorocarburi nel mercato.(Shecco, 2016).

10 ATTIVITÀ DI RICERCA, SVILUPPO E FORMAZIONE SULLE ALTERNATIVE AGLI HFC

Come già riportato nei paragrafi precedenti, il phase down degli HFC e i divieti della messa in commercio di specifici prodotti e apparecchiature stanno trasformando profondamente il mercato europeo dei refrigeranti. Se da un lato spariranno gli HFC a GWP più elevato, che dovranno essere sostituiti necessariamente da nuove sostanze, dall'altro anche la tecnologia sarà chiamata ad adeguarsi al funzionamento con i nuovi fluidi frigorigeni che non sempre consentono di raggiungere i livelli di efficienza delle sostanze tradizionalmente utilizzate. L'obiettivo del sistema produttivo è garantire elevate efficienze delle apparecchiature che utilizzano i refrigeranti, insieme alla loro fattibilità tecnico-economica.

Per far fronte a questi cambiamenti l'industria di settore, in collaborazione spesso con il mondo accademico, è stata spinta ad intensificare le attività e gli investimenti in ricerca e sviluppo, focalizzandosi in particolar modo su due filoni di indagine:

- la ricerca e lo sviluppo di nuovi refrigeranti a minor impatto ambientale o totalmente climate friendly
- la ricerca e lo sviluppo di nuove tecnologie climate friendly nel rispetto dei requisiti di sicurezza e fattibilità tecnico-economica.

10.1 Le attività di ricerca e sviluppo in Europa

Grazie alla spinta del Regolamento F-gas, l'Europa si pone all'avanguardia in materia di investimenti in ricerca e sviluppo nei settori dell'HVAC&R. Se negli anni passati era stato soprattutto il Nord Europa a fare da apripista, negli ultimi anni anche nell'Europa meridionale sempre più compagnie si stanno focalizzando sulla produzione, la ricerca e sviluppo di tecnologie alternative. Secondo quanto riportato dallo studio di Shecco (Shecco, 2016), i rappresentanti del mondo dell'industria che sono stati intervistati hanno segnalato un aumento dei loro investimenti in R&S negli ultimi 5 anni nei settori della refrigerazione, dell'aria condizionata e delle pompe di calore con lo sviluppo di tecnologie basate sull'uso di refrigeranti naturali (Figura 10.1).

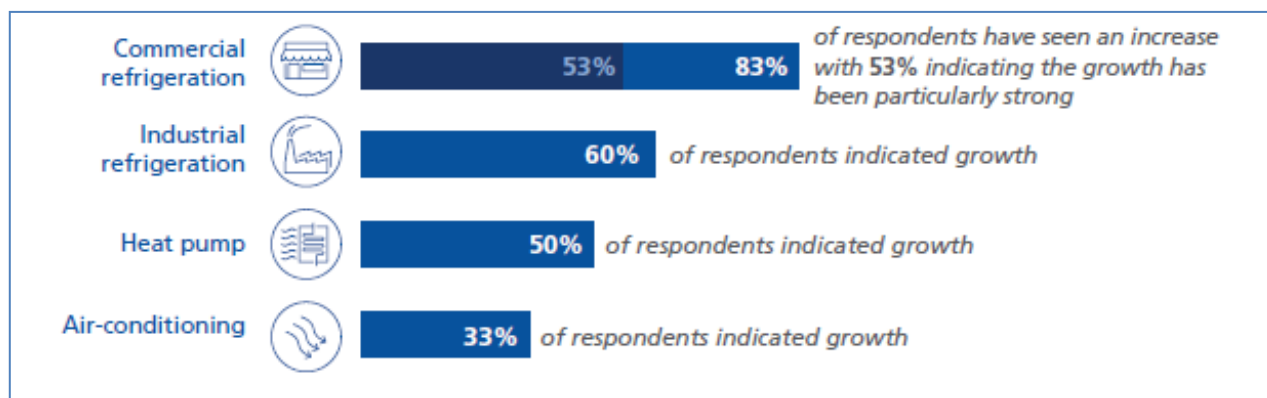


Figura 10.1 - Aumento percentuale degli investimenti in ricerca e sviluppo in refrigeranti naturali negli ultimi 5 anni secondo gli rappresentanti dei settori intervistati (Fonte: Shecco, 2016)

In linea generale si può affermare che la tecnologia a CO₂ transcritica per i medi e grandi supermercati è maturata per cui il focus della ricerca e degli investimenti a livello europeo si è ora spostato soprattutto verso lo sviluppo di tecnologie senza HFC per negozi di piccola taglia e verso lo sviluppo di tecnologie free HFC per l'utilizzo in climi caldi. Partendo inizialmente dal Giappone, dove ha segnato una forte crescita, la tecnologia a CO₂ per le unità a condensazione tipiche di negozi più piccoli è penetrata anche nel mercato europeo e alcune aziende come la Panasonic e la Sanden stanno lavorando per adattare la tecnologia alle esigenze di tale mercato. Diverse compagnie hanno investito nello sviluppo di prodotti per piccoli negozi che sono stati messi in vendita. Ad esempio, la Green & Cool nell'aprile del 2016, ha presentato un'unità a condensazione stand alone a CO₂ ritenuta idonea a lavorare anche nei climi caldi tipici dell'Europa meridionale. L'uscita del prodotto dopo le prove in campo in Svezia e in Inghilterra era prevista per la fine del 2016. Le tecnologie a HC per piccoli negozi sono anch'esse viste come un'opzione praticabile (Shecco, 2016).

Inizialmente molte delle tecnologie free HFC sviluppate, come la tecnologia transcritica per i sistemi centralizzati, presentavano il limite del calo di efficienza alle alte temperature. Di conseguenza tali apparecchiature non erano commercializzabili nel mercato del sud Europa. La necessità di adeguamento al Regolamento F-gas di tale parte di mercato, ha dato un forte impulso alla ricerca di tecnologie free HFC adatte ai climi più caldi. I progressi tecnologici conseguiti a valle di questa attività di ricerca, hanno permesso così di superare il limite della temperatura e attualmente diverse compagnie hanno prodotto tecnologie ritenute efficienti anche fino a 45° C come appunto il sistema transcritico con la compressione parallela, gli eiettori e il sottoraffreddamento. Nel 2016 è stato lanciato un eiettore modulabile per migliorare l'efficienza energetica degli impianti a CO₂ nella refrigerazione commerciale, risultato degli sforzi congiunti in ricerca e sviluppo di due della maggiori compagnie del settore, Cariel e Carrer Commercial Refrigeration. Con tale eiettore sono previsti risparmi energetici del 13% (Shecco, 2016). Gli studi per migliorare ancora l'efficienza energetica dei sistemi transcritici a CO₂ stanno andando avanti, ma già adesso si sta vedendo che tale tecnologia, con le opportune modifiche, è in grado di lavorare meglio dei sistemi convenzionali a HFC. Attività di ricerca e sviluppo di tecnologie free HFC sono presenti anche in settori diversi da quelli della refrigerazione commerciale; la società olandese Unichemie, ad esempio, ha brevettato nel 2015 una pompa di calore a propano per il riscaldamento e il raffreddamento di edifici medi e grandi; tale tecnologia consente di ridurre il consumo energetico fino al 50% portando l'edificio a un'etichetta di energia A +++ (Shecco, 2016).

Tutto un filone di ricerca è focalizzato inoltre sullo sviluppo di nuovi refrigeranti e sullo studio delle loro caratteristiche di infiammabilità e sicurezza. Leader in questo filone sono soprattutto gli Stati Uniti e il Giappone. La letteratura internazionale è ricca di studi sulla transizione ad alternative a basso GWP o climate friendly, sulle prestazioni dei fluidi sintetici tradizionali confrontati con quelli a basso GWP (HFO ad esempio) o non climalteranti e sull'analisi delle caratteristiche di sicurezza e tossicità delle nuove sostanze (Paul S., Sarkar A., Mandal B. K., 2013; Kataoka O., 2013; Zeiger B., Gschrey B., Schwarz W., 2014; Zeiger B., Gschrey B., 2014; Kalla S.K. *, Usman J.A., 2014; Abdelaziz O. et al., 2015). Honeywell, multinazionale americana che opera in diversi campi tra cui anche la refrigerazione, ad esempio sta portando avanti un progetto di ricerca per identificare nuove molecole fluorurate appartenenti alla quarta generazione, le HFO. (Achaichia N. Matteo G.).

10.2 Le attività di ricerca e sviluppo in Italia

Al fine di definire lo stato della ricerca in Italia in materia di refrigeranti alternativi e tecnologie innovative basate sull'uso di tali refrigeranti, sono state consultate le associazioni di categoria, gli stakeholder del settore e si è proceduto a ricerche sul web. Da tali attività è emerso innanzitutto che in Italia:

- Non sono presenti attività di ricerca finalizzate alla produzione di nuovi refrigeranti a minor impatto ambientale.
- E' presente una intensa attività di ricerca nel settore delle tecnologie, con il coinvolgimento di numerose realtà imprenditoriali oltre che accademiche.

Come gli esperti del settore ci hanno comunicato, ottenere una anagrafe completa dei progetti di ricerca conclusi o in corso, attraverso la consultazioni delle banche dati esistenti, è difficilissimo se non impossibile; molti progetti non verrebbero inclusi con i criteri di ricerca a disposizione. Alcune informazioni sulla ricerca in campo accademico sono state presentate in occasione del workshop "*F-gas in Italia e possibili alternative*" tenutosi a ottobre 2016 a Roma. In particolare, sono state prese in esame le pubblicazioni scientifiche italiane nel contesto internazionale, che forniscono di fatto i risultati pubblici dei progetti di ricerca dal 1/1/2009 a ottobre 2016 (dal 1/1/1998 per CO₂). Da questa indagine emerge come l'Italia, con la sua produzione scientifica, costituisca un'eccellenza nel contesto non solo europeo ma anche internazionale. La ricerca presentata ha visto un confronto sul numero di articoli pubblicati per nazione, sul numero medio di citazioni, sulle istituzioni italiane coinvolte e sui tipi di ricerca. Le sostanze maggiormente studiate sono risultate essere: R-1234yf, R-1234ze, CO₂ e il propano. Le pubblicazioni scientifiche hanno riguardato soprattutto gli scambi termici bifasici dei fluidi, l'ottimizzazione progettuale degli scambiatori di calore, delle macchine frigorifere e degli impianti nel condizionamento dell'aria (anche pompe di calore) (Zilio C. 2016).

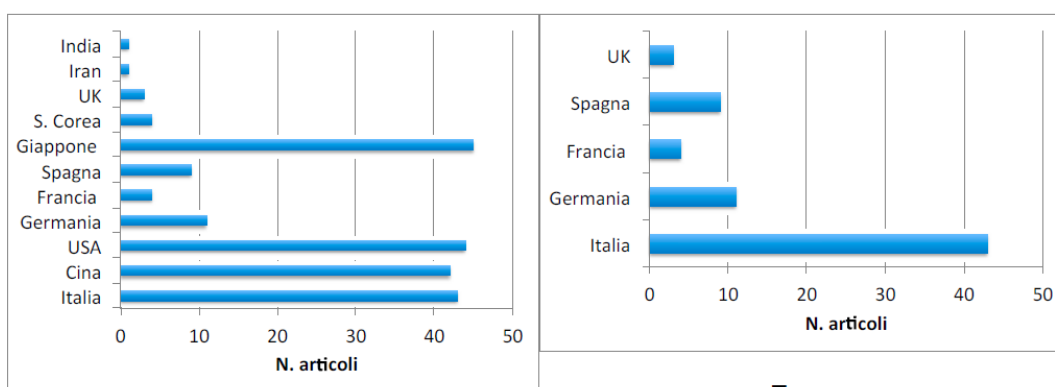
Nelle figure successive sono riportati il numero delle pubblicazioni scientifiche (confrontato con quelli di altri paesi) per fluido refrigerante e le principali Università in Italia impegnate nello studio delle alternative

agli HFC. Il maggiore contributo alla ricerca nel settore viene dall'Università di Padova, seguita dall'Università delle Marche, dalla Federico II di Napoli e dall'Università del Sannio (Zilio C. 2016). Sul fronte dei finanziamenti alla ricerca, allo stato attuale non si possiedono strumenti che permettano di definirne l'entità complessiva; la maggior parte di tali finanziamenti proviene dall'Unione Europea e da Fondazioni.

Tabella 10.1 - Numero totale di pubblicazioni scientifiche per le HFO1234-ze e 1234yf e numero medio di citazioni (Fonte: Zilio C. , 2016)

R-1234ze(..)

✓ Numero totale articoli trovati: 166

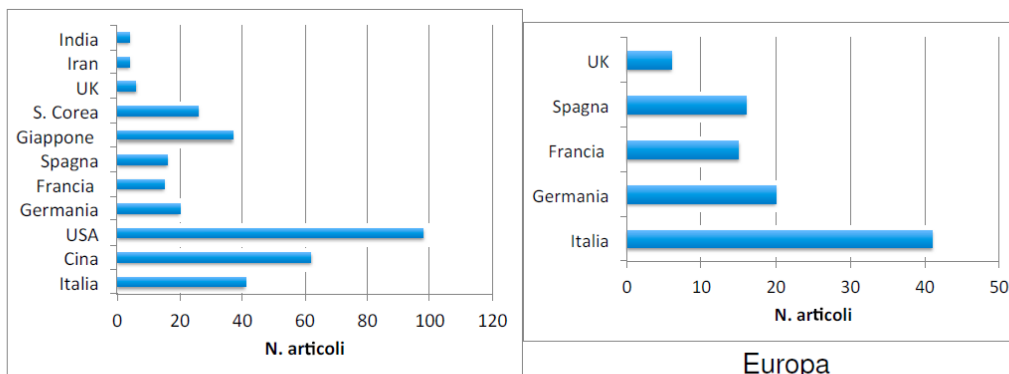


Europa

- Numero medio citazioni:
- ✓ Mondo: 9,0
- ✓ Italia: 8,1

R-1234yf

✓ Numero totale articoli trovati: 245



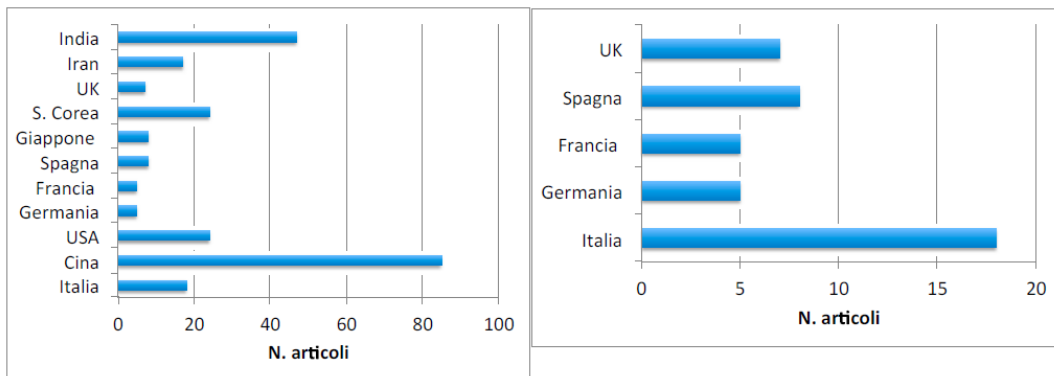
Europa

- Numero medio citazioni:
- ✓ Mondo: 10,7
- ✓ Italia: 16,3

Tabella 10.2 - Numero totale di pubblicazioni scientifiche per l'HC-290 e la CO₂ e numero medio di citazioni (Fonte: Zilio C., 2016)

R-290

✓ Numero totale articoli trovati: 222

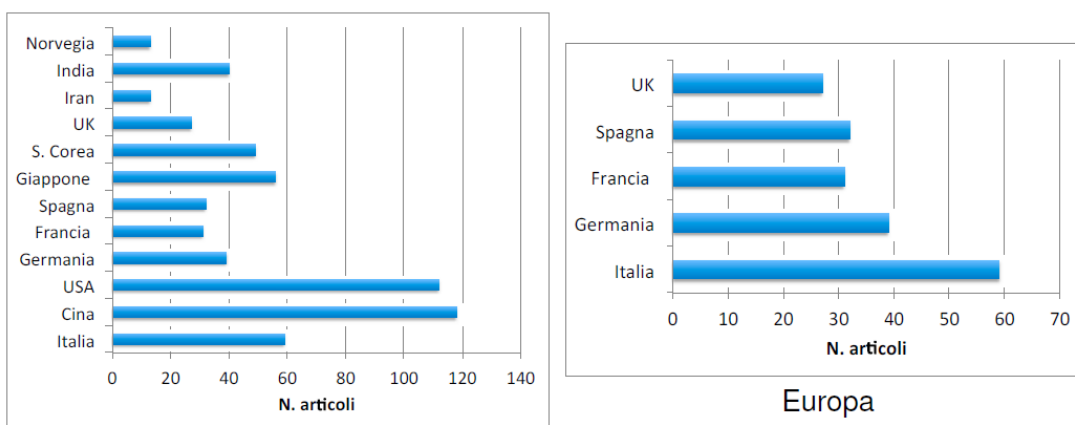


Europa

- Numero medio citazioni:
- ✓ Mondo: 9,1
- ✓ Italia: 8,3

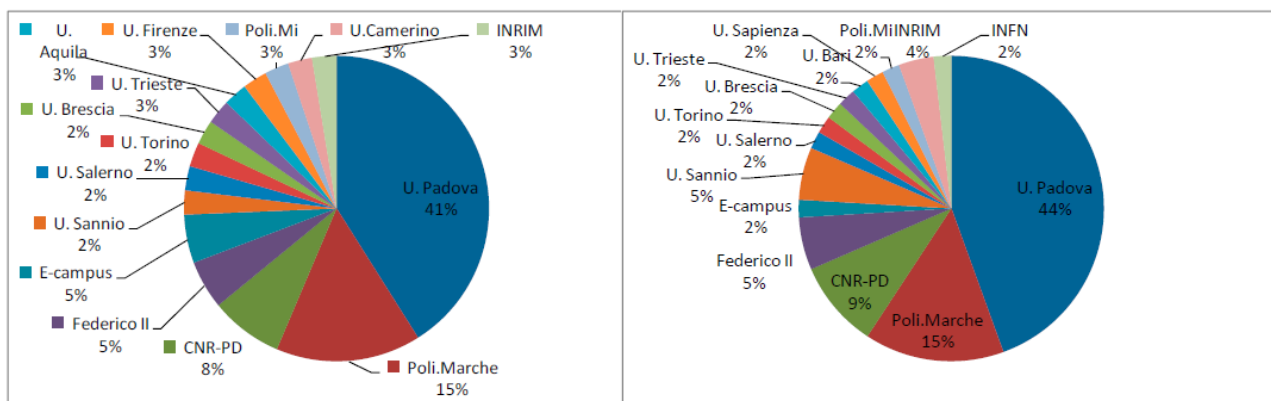
CO₂

✓ Numero totale articoli trovati: 655 (1998-oggi)



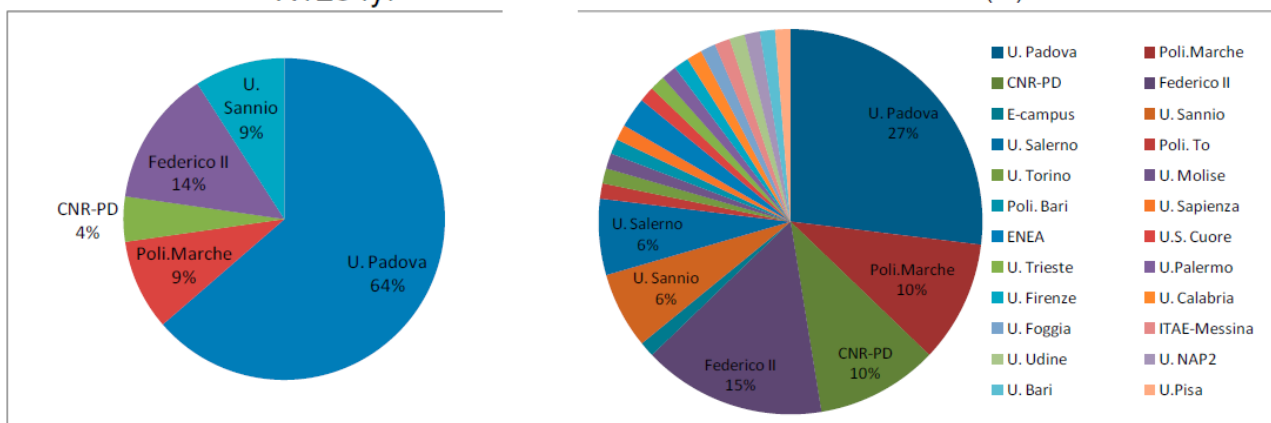
Europa

- Numero medio citazioni:
- ✓ Mondo: 15,7
- ✓ Italia: 13,1 (con articoli citati più di 50 volte)



R1234yf

R1234ze(E)



Propano

Anidride carbonica

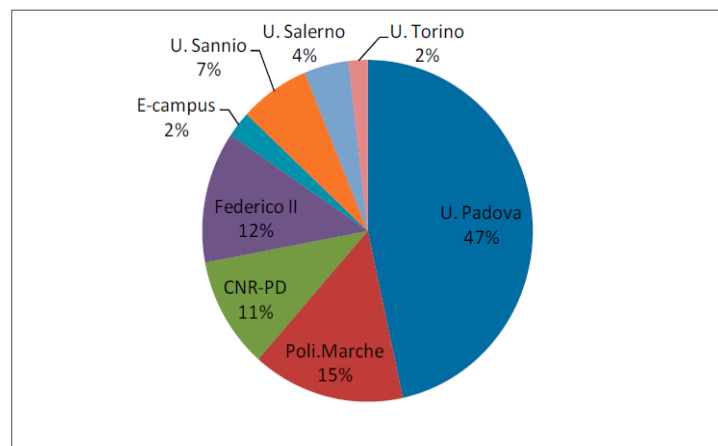


Figura 10.2 - Gruppi di ricerca italiani per fluidi refrigeranti (Fonte: Zilio C., 2016)

10.2.1 Specificità dell'industria italiana

Già da diversi anni molte aziende italiane partecipano a progetti di ricerca finalizzati alla individuazione di tecnologie efficienti, tecnicamente ed economicamente fattibili e compatibili con i nuovi refrigeranti a basso GWP o con i refrigeranti naturali. Numerosi progetti vedono la collaborazione delle aziende di settore con le Università e gli Enti di Ricerca.

Sul fronte delle tecnologie, l'Italia è un Paese leader a livello mondiale nella progettazione, produzione e commercializzazione di componenti e sistemi innovativi. Il Paese è un'eccellenza nel campo degli impianti idronici, sistemi in cui il calore o il freddo vengono trasmessi nell'ambiente da riscaldare o raffreddare attraverso l'acqua che funge da fluido vettore. La maggior parte degli impianti di riscaldamento nel Paese usa l'idronica, la cui evoluzione ha visto il passaggio da semplici caldaie all'uso di nuovi sistemi, grazie allo sviluppo di tecnologie innovative per la produzione di energia (ad esempio le pompe di calore). Il nostro Paese in particolare costituisce un'eccellenza a livello mondiale nella realizzazione di chillers a pompa di

calore per aria condizionata. Nell'ambito dei roof top, è in grado di realizzare soluzioni ad hoc attraverso per esempio il recupero di calore, in modo da rispondere ai requisiti sempre più stringenti in materia di efficienza energetica essendo però di macchine poco standard non rientrano ancora negli ultimi regolamenti sull'efficienza. Anche le torri di raffreddamento per chiller e impianti industriali di processo rappresentano una realtà italiana da tutelare. Nel nostro Paese esistono realtà imprenditoriali leader mondiali anche nel settore delle pompe di calore, delle schiume e dei sistemi fissi di protezione antincendio, che si impongono sui mercati internazionali grazie alle loro innovative tecnologie, alla personalizzazione del prodotto in base alle esigenze del cliente, alle condizioni climatiche e alle condizioni locali. La capacità di offrire soluzioni ad hoc è ciò che contraddistingue il made in Italy in campo internazionale.

10.3 La formazione sui refrigeranti alternativi agli HFC in Europa e in Italia

La penetrazione nel mercato di refrigeranti alternativi in sostituzione dei tradizionali HFC pone problemi in termini di gestione in sicurezza di queste sostanze che presentano caratteristiche di tossicità, infiammabilità e alte pressioni di lavoro. Alla competenza richiesta nel manipolare i refrigeranti alternativi si associa la preparazione necessaria per il personale addetto alla installazione e manutenzione delle nuove apparecchiature, nate per consentire l'utilizzo dei gas non climalteranti..

Una prima valutazione sullo stato di formazione a livello europeo del personale addetto alla manipolazione dei refrigeranti alternativi, a valle dell'entrata in vigore del Regolamento F-gas, è stata presentata a fine 2016 dalla Commissione Europea (CE, 2016), che ha così risposto all'articolo 21 paragrafo 6 del citato Regolamento⁹². Tale Regolamento impegna la Commissione ad elaborare e presentare entro il primo gennaio 2017 *“una relazione di esame della normativa dell'Unione riguardo alla formazione di persone fisiche alla manipolazione in condizioni di sicurezza di refrigeranti alternativi”*. Luci ed ombre emergono da questa prima ricognizione in materia. Il quadro legislativo europeo in tema di formazione di persone fisiche nella manipolazione in sicurezza dei refrigeranti alternativi, secondo l'indagine della Commissione, appare adeguato e completo. Il Regolamento F-gas di per se, avendo come campo di applicazione i gas fluorurati, non prevede in realtà requisiti di formazione specifici per i refrigeranti alternativi, tuttavia con l'art. 10⁹³ viene richiesto ai tecnici certificati in materia, il possesso di informazioni sull'uso di tecnologie che consentono di sostituire i gas fluorurati a partire dal 1° gennaio 2015. Requisiti specifici per la manipolazione in sicurezza di sostanze e che risultano pertinenti con i refrigeranti alternativi sono però contenuti in altre direttive europee che riguardano l'uso di attrezzature a pressione (Direttiva 97/23/CE), la tutela della sicurezza e della salute dei lavoratori che possono essere esposti al rischio di atmosfere esplosive (Direttiva 2014/34/UE e Direttiva 99/92/CE), la sicurezza dei prodotti (Direttiva 2006/95/CE; Direttiva 2004/108/CE; Direttiva 2006/42/CE) e la salute e la sicurezza sul lavoro (Direttiva 89/391/CEE). La Direttiva sulle attrezzature in pressione, è pertinente con le attrezzature a CO₂, mentre le direttive relative all'infiammabilità e alle atmosfere esplosive riguardano anche l'uso di refrigeranti alternativi infiammabili, quali le HFO e gli idrocarburi, sebbene in queste direttive non ci sia un riferimento specifico ai refrigeranti alternativi. La direttiva sulla salute e sicurezza dei lavoratori negli ambienti di lavoro definisce, tra l'altro, criteri per la formazione dei dipendenti che devono essere opportunamente formati, non solo in caso di assunzione e di trasferimento e cambiamento di lavoro, ma anche ogni volta che viene modificata un'apparecchiatura o viene introdotta una nuova tecnologia. Di conseguenza appare evidente come questa direttiva coinvolga anche le tecnologie alternative free HFC e interessi i lavoratori impegnati nella manipolazione di refrigeranti alternativi che possono costituire un rischio per la salute (CE, 2016). Infine le Direttive sulla sicurezza dei prodotti, destinate ai fabbricanti non fanno riferimento specifico alla formazione sulla manipolazione delle sostanze alternative, ma stabiliscono i requisiti per la formazione del personale che deve fare le verifiche di conformità dei prodotti e per la cooperazione in materia di attività di formazione tra Stati Membri. Nel documento della Commissione viene evidenziato come l'aspetto normativo, caratterizzato da Direttive e non da Regolamenti, come per gli F-gas, consenta un certo margine di libertà ai singoli Stati Membri per cui ad oggi a livello di Unione Europea non sono stati definiti standard minimi prescrittivi per i refrigeranti alternativi o sistemi di certificazione obbligatori per tali sostanze a livello UE (per esempio non è definito il ruolo degli organismi di certificazione in materia di refrigerazione). Alle direttive citate, che contribuiscono a creare un quadro in cui è richiesta una formazione adeguata per il personale che lavora con i

⁹² Art. 21 par. 6 del Regolamento n.517/2014: *Entro il 1° gennaio 2017, la Commissione pubblica una relazione di esame della normativa dell'Unione riguardo alla formazione di persone fisiche alla manipolazione in condizioni di sicurezza di refrigeranti alternativi per sostituire o ridurre l'uso di gas fluorurati a effetto serra e presenta, se del caso, una proposta legislativa al Parlamento europeo e al Consiglio volta a modificare la pertinente normativa dell'Unione.*

⁹³ Art. 10 par. 3 lettera e) del Regolamento n. 517/2014: *...I programmi di certificazione e i corsi di formazione di cui ai paragrafi 1 e 2 prevedono le seguenti materie:... e) informazioni sulle pertinenti tecnologie che consentono di sostituire i gas fluorurati a effetto serra o di ridurre l'uso e di manipolare questi gas in condizioni di sicurezza.*

refrigeranti naturali, si aggiungono le Norme EN, EN 378 (sugli elementi di formazione rilevanti per i refrigeranti alternativi) e EN 13313 (sulla competenza del personale riguardo i sistemi di refrigerazione e le pompe di calore) che si applicano sia ai gas fluorurati che ai refrigeranti alternativi e definiscono requisiti di formazione e competenza prescrittivi. (CE, 2016).

Dalla combinazione delle direttive citate e delle Norme EN a detta della Commissione, emerge un quadro positivo in materia di requisiti di formazione obbligatori per i refrigeranti alternativi sebbene meno prescrittivi rispetto a quelli dei gas fluorurati.

A un quadro legislativo ritenuto esaustivo nel garantire la manipolazione in sicurezza di refrigeranti e tecnologie alternative, si contrappone una realtà assai diversa dove le criticità rilevate sull'offerta formativa per l'utilizzo delle nuove tecnologie possono costituire un ostacolo per la penetrazione delle stesse nel mercato europeo. La disponibilità di formazione sui refrigeranti alternativi in Europa è ancora bassa. Se si esclude l'ammoniaca, per la quale il 71% degli Stati Membri dichiara di disporre di formazione (l'ammoniaca è un refrigerante conosciuto perché utilizzato da molti anni), per gli altri refrigeranti alternativi la disponibilità cala notevolmente, con il 52% per la CO₂, il 48% per gli HC (limitatamente alle piccole apparecchiature ermetiche) e il 35 e 20% rispettivamente per i sistemi a HC di maggiori dimensioni e le HFO. Altra criticità rilevata dal documento della Commissione è la mancanza di un numero adeguato di personale certificato e formato per l'uso di gas alternativi; in termini percentuali tale personale a seconda del tipo di alternativa, non supera il 2,3% del totale dei tecnici dell'UE formati per la manipolazione di gas fluorurati (Tabella 10.3); tale percentuale potrebbe salire lievemente considerando che la mancanza di sistemi di certificazione e formazione obbligatori per i refrigeranti alternativi, a differenza dei gas fluorurati, non consente agli Stati Membri di avere una informazione completa e aggiornata.

Tabella 10.3 - Disponibilità di offerta formativa in materia di refrigeranti alternativi (CE, 2016)

OFFERTA FORMATIVA	NH ₃	CO ₂	HC (in piccoli sistemi ermetici)	HC (in sistemi di dimensioni maggiori – split, refrigeratori)	HFO
Formazione disponibile nel Paese (% di Stati membri)	71%	52%	48%	35%	20%
Percentuale di personale certificato per l'uso di gas fluorurati formato in relazione ai refrigeranti alternativi	2.3%	2.2%	0.7%	0.05%	0%

Le principali problematiche che sono state rilevate riguardano:

- La disponibilità di adeguati materiali formativi, che dovrebbero essere forniti in tutte le lingue e soggetti a continui aggiornamenti per rimanere al passo con le novità del mercato.
- La mancanza di strutture per la formazione pratica, dovuta soprattutto ai costi di investimento per realizzare e gestire le strutture dedicate. In Europa vi sono circa 90 centri che offrono una formazione teorica e 50 una formazione pratica, individuati in 14 Stati Membri con una disomogeneità regionale nella distribuzione di tali strutture.
- La mancanza di ingegneri e tecnici specializzati sia per le fasi di progettazione che installazione e manutenzione.

In un mercato in cui la progressiva e rapida riduzione della disponibilità di HFC spinge necessariamente a trovare delle soluzioni alternative, la carenza di personale qualificato può creare un corto circuito, con un ritardo nell'attuare il passaggio a refrigeranti climate-friendly pur nella necessità di trovare dei sostituti agli HFC sempre meno disponibili. Sicuramente un mercato costituito da microimprese presenta maggiori difficoltà nella divulgazione di corsi di formazione. Alcuni Stati Membri hanno dichiarato di aver adottato o di voler adottare iniziative per favorire la migrazione a refrigeranti alternativi anche supportando l'aspetto della formazione del personale: dal finanziamento di progetti in materia di formazione, promozione e sensibilizzazione, alla realizzazione di strutture di formazioni specifiche aggiuntive ecc. Nel settore privato, i fabbricanti di prodotti che usano refrigeranti alternativi si sono spinti nel fornire essi stessi autonomamente formazione e personale qualificati per le operazioni di manutenzione. Esistono poi le linee guida della Air Conditioning and Refrigeration European Association (AREA), sui requisiti minimi per la formazione e la certificazione dei contraenti che sono specifici per ammoniaca, anidride carbonica, idrocarburi e idrofluoroolefine (Area, 2014). Ulteriori informazioni sullo stato della formazione sui refrigeranti alternativi si possono trovare nel Report pubblicato da Shecco (Shecco 2016). Secondo Shecco, nel 2015 su un totale di 160.000 tecnici europei, 8.000 - 10.000 hanno ricevuto una formazione sui refrigeranti naturali e questo

numero sembra destinato ad aumentare nei prossimi anni a fronte di una domanda crescente. Shecco ha individuato 200 aziende europee, tra cui istituti di formazione, produttori di sistemi e componenti, Università, Istituti di ricerca, associazioni e altre organizzazioni, che offrono formazione legata ai refrigeranti naturali. Leader nel settore sembrano essere il Regno Unito e la Francia, seguiti da Germania, Spagna, Italia e Svezia

Per quanto riguarda il contesto italiano, la formazione del personale addetto alla manipolazione dei refrigeranti alternativi e all'installazione e manutenzione delle nuove tecnologie, presenta sostanzialmente le stesse criticità evidenziate dal rapporto della Commissione Europea sopracitato, in particolare nella mancanza di personale da formare e di corsi di formazione pratici assai meno diffusi rispetto a quelli teorici. Come ci hanno comunicato gli esperti del settore, la carenza di personale da formare non riguarda soltanto i progettisti o i tecnici per la manutenzione delle apparecchiature, ma anche il personale docente da impiegare nell'insegnamento, per esempio in quegli istituti professionali che hanno il compito di formare e immettere nel mercato le figure richieste; viene rilevato come, a fronte di una domanda crescente nel mercato del lavoro di figure tecnico/professionali specializzate nella manipolazione di refrigeranti alternativi e relative tecnologie (come i frigoristi ad esempio), il Paese non sia in grado di rispondere offrendo un numero di professionisti sufficiente per soddisfare tale richiesta. Vi è quindi uno scollamento tra il mondo formativo e il mercato del lavoro che per essere superato necessita di sforzi congiunti a tutti i livelli della filiera che prevede l'uso delle sostanze climate-friendly, sforzi in cui l'informazione (come ad esempio far conoscere quelle che sono figure professionali ricercate) deve andare di pari passo con la formazione per poter immettere nel mercato tali figure. Il lavoro da svolgere al riguardo è quindi notevole ma esempi concreti di azioni messe in campo per fronteggiare queste criticità possono essere qui riportati; basti pensare ad esempio all'iniziativa dell'Associazione Italiana Frigoristi (Assofrigoristi)⁹⁴, che, in collaborazione con l'ente di formazione professionale lombardo Galdus⁹⁵, ha consentito alla Regione Lombardia di includere tra i profili professionali quello del "frigorista", ossia dell'installatore e manutentore di impianti a fluidi termoportanti, figura molto ricercata dalle aziende lombarde del settore. Attraverso un percorso che coniuga formazione scolastica ed esperienze in azienda, reso possibile dai finanziamenti della Regione Lombardia, si mira alla formazione di tecnici del freddo con competenze di livello che vadano oltre gli F-gas (il patentino F-gas sarà solo uno dei requisiti in possesso del frigorista) per comprendere le nuove sostanze e tecnologie (ZerosottoZero, 2016). Esperienze di questo tipo devono però fare i conti con la disponibilità delle scuole e delle aziende per la realizzazione dei laboratori per la formazione pratica. Manca un approccio a livello di sistema Paese e un piano nazionale sulla gestione dei refrigeranti.

10.4 Uno sguardo alle tecnologie future nel settore della refrigerazione: la refrigerazione magnetica

La refrigerazione magnetica o magnetocalorica rappresenta una nuova tecnologia nel campo della refrigerazione completamente climate-friendly. A differenza degli attuali sistemi di refrigerazione e condizionamento, infatti, non utilizza gas refrigeranti bensì le proprietà magnetocaloriche di alcuni materiali. Questi materiali sono capaci di aumentare o diminuire la loro temperatura per effetto dell'applicazione e rimozione di un campo magnetico. Sebbene ancora in fase prototipale, questa tecnologia sembra destinata a una significativa diffusione nei prossimi anni. Secondo quanto riportato da MarketsandMarkets, compagnia specializzata in ricerche di mercato, il mercato globale della refrigerazione magnetica subirà una considerevole crescita raggiungendo i 315,7 milioni di dollari entro il 2022 con un tasso di crescita mondiale (CAGR - tasso di crescita annuale composto) del 98,7% tra il 2017 e il 2022. Il mercato europeo nello stesso periodo crescerebbe dell'87,3%. Il settore nel quale è prevista la massima crescita è quello industriale. Nel segmento della refrigerazione la domanda per questa tecnologia sarà legata a congelatori e frigoriferi. La figura successiva riporta l'andamento stimato del mercato della refrigerazione magnetica (<http://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/magnetic-refrigeration.asp>).

⁹⁴ <http://www.assofrigoristi.it/>

⁹⁵ <https://www.galdus.it/>

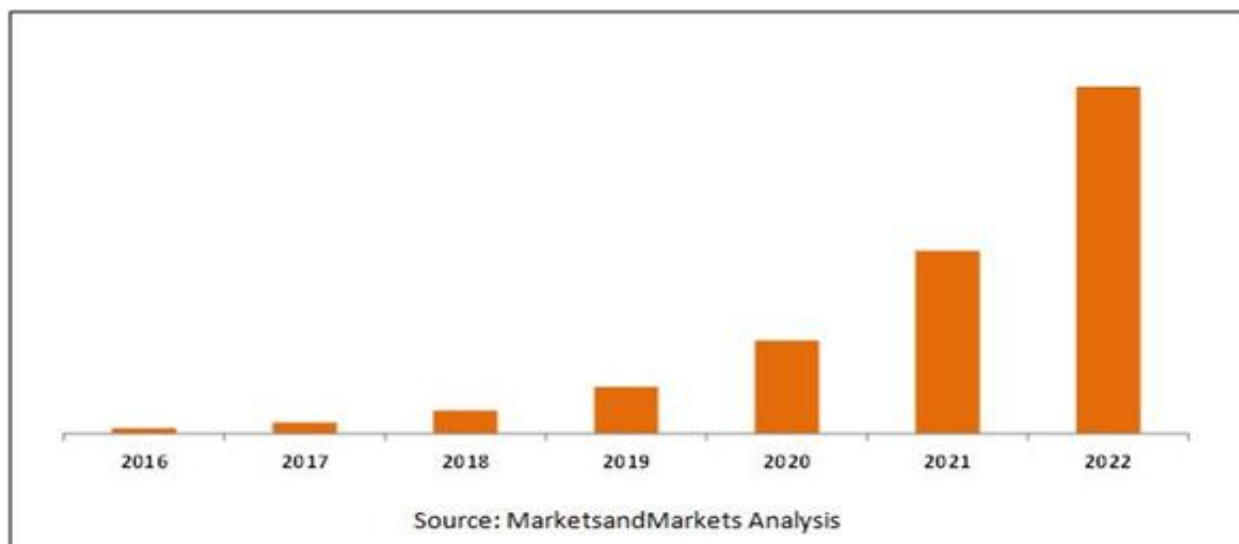


Figura 10.3 - Stima dell'andamento del mercato della refrigerazione magnetocalorica per il periodo 2016-2022 (Fonte: <http://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/magnetic-refrigeration.asp>)

Il ciclo di riferimento della refrigerazione magnetica è il ciclo AMR – *Active Magnetic Regenerator Cycle*, che può essere assimilato a quello di una macchina frigorifera a compressore. Nel ciclo AMR una matrice porosa (il materiale magnetocalorico) viene impiegata sia come refrigerante che come rigeneratore. Il fluido rigenerante viene inviato all'interno della matrice. Tale fluido può essere un gas (ad esempio aria) o un liquido (ad esempio acqua). Dei magneti generano un campo magnetico di intensità costante che produce un aumento della temperatura della lega immersa in tale campo. (Ancona M.A., Branchini L., De Pascale A., 2016.)⁹⁶ Il fluido a contatto con la lega assorbe il calore del materiale magnetocalorico scaricandolo all'esterno. Con la successiva interruzione/diminuzione del campo magnetico (diminuzione che determina l'effetto frigorifero) il materiale riduce la propria temperatura e per tornare al suo stadio precedente assorbe calore dal fluido che si raffredda. Tale fluido può essere fatto circolare nell'ambiente da raffreddare (effetto utile-frigorifero). Ripetendo più volte il ciclo si possono raggiungere temperature molto basse.

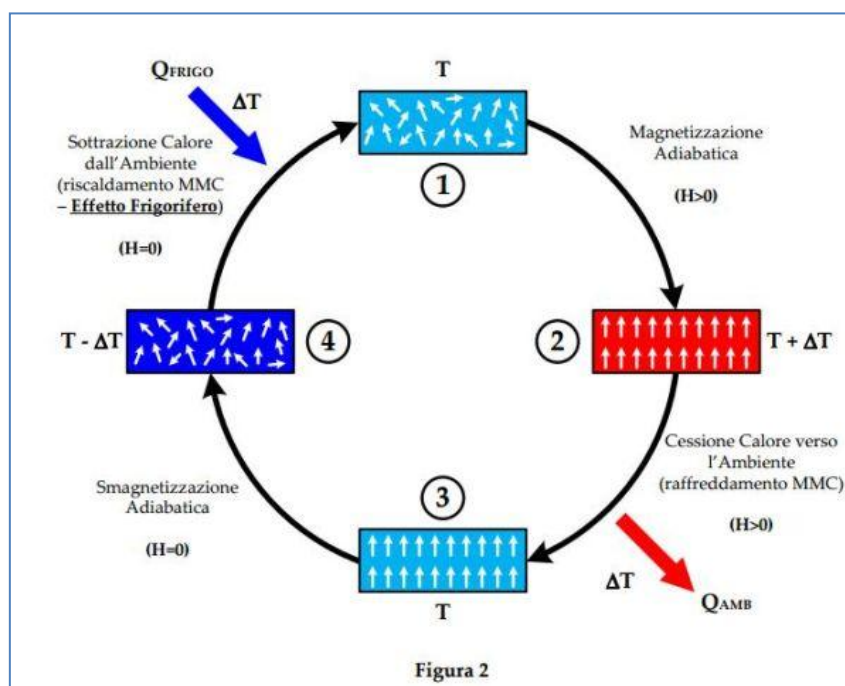


Figura 10.4 - Ciclo AMR – *Active Magnetic Regenerator Yole* (Fonte: Ancona M.A., Branchini L., De Pascale A., 2016)

⁹⁶ L'energia totale del materiale deve mantenersi costante: a un aumento del campo magnetico corrisponde un allineamento dei dipoli magnetici degli atomi riducendo l'entropia stessa del materiale e determinando un aumento di temperatura. La successiva fase di smagnetizzazione, ovvero la rimozione del campo magnetico, comporta un incremento dell'entropia a discapito della temperatura del materiale che pertanto si riduce. (Ancona M. A. et al., 2016)

L'effetto magnetocalorico (MCE) dei materiali sottoposti a un campo magnetico moderato (sopra a 1,5 T) produce una variazione massima della temperatura adiabatica di 5 °K. Questo significa che questa tecnologia necessita di campi magnetici intensi per ottenere quelle variazioni di temperatura (oltre 30 °K) necessarie per il riscaldamento o il raffreddamento (Zhang M., Momen A. M., Abdelaziz O., 2016). La variazione di temperatura dipende sia dall'intensità del campo magnetico che dal tipo di materiale magnetocalorico impiegato. Al fine di superare tali limiti applicativi, la ricerca è incentrata sull'individuazione di nuovi materiali e nuove leghe che permettano di ottimizzare il processo. Attualmente si utilizza principalmente il gadolinio. Altri limiti alla diffusione di questa tecnologia sono il costo elevato, la necessità di individuare una pompa o una valvola rotante per il sistema, la bassa velocità di trasferimento di calore a causa della bassa conduttività termica dei fluidi. Dagli anni 80 diversi studi sono stati condotti su questo fronte al fine di riuscire a realizzare variazioni di temperatura paragonabili a quelle raggiungibili con i tradizionali sistemi di raffreddamento. Rispetto ai tradizionali sistemi di raffreddamento questa tecnologia presenta tuttavia diversi vantaggi, quali ad esempio i minori costi operativi, minori consumi energetici (la metà rispetto ai sistemi tradizionali), l'assenza di rumore, i minori costi di manutenzione e i tempi di vita più lunghi che vanno ad aggiungersi al vantaggio di non utilizzare più gas refrigerante. (Codegoni A., 2016)

Attualmente tale tecnologia è solo a livello di prototipo; ma si stanno facendo grandi progressi. In Europa la Cooltech⁹⁷, società leader mondiale per la refrigerazione magnetica, ha annunciato a giugno 2016 l'immissione sul mercato del primo sistema di raffreddamento magnetico commerciale per la sua linea di prodotti, dopo 13 anni di studi in parte finanziati dall'Unione Europea. Tra i prodotti commerciali sono compresi frigoriferi medici, vetrine, distributori di bevande, supporti negozio e cantine con potenze di raffreddamento comprese tra 200 e 700 W. (Businesswire, 2016)

10.4.1 Progetti di ricerca sulla refrigerazione magnetica in Italia

L'Italia ha un ruolo attivo nella ricerca sulla refrigerazione magnetica e negli ultimi anni ha partecipato a diversi progetti al riguardo, in gran parte finanziati dalla Commissione Europea. Tra questi progetti si segnala ELICIT (Environmentally Low Impact Cooling Technology) sull'applicazione della tecnologia di raffreddamento magnetica al mercato domestico. Il progetto triennale, conclusosi nel dicembre 2016, è stato finanziato dalla Commissione Europea all'interno del Programma quadro FP7 per un costo totale di circa 3 milioni di euro di cui 2,12 milioni su fondi della Commissione. L'Italia è stato il Paese coordinatore con la società WHIRLPOOL R&D SRL. Le altre realtà italiane coinvolte sono state il Centro di ricerca interuniversitario SCIRE⁹⁸ e il Politecnico di Milano. I risultati del progetto, che si è concluso con la realizzazione di un prototipo di frigorifero a dicembre 2016, sono ritenuti importanti nella riduzione del gap tra la fase della ricerca e la fase di produzione; la fase successiva prevede la realizzazione dei prototipi di frigoriferi per essere testati dai produttori. Il prototipo realizzato presenta un impatto ambientale nella fase di pre- produzione e produzione paragonabile a quello dei frigoriferi tradizionali (Pastore A., 2017).

Un'altro progetto che vede la partecipazione del nostro Paese è il FRIMAG (<http://www.frimag.it/it/homepage>) progetto di ricerca industriale finalizzato a sviluppare un prototipo di refrigeratore per la conservazione degli alimenti. Il progetto, finanziato con fondi POR-FESR 2014-2020 e coordinato dall'Istituto IMEM⁹⁹ di Parma del CNR, vede la partecipazione di un consorzio di laboratori e imprese della regione Emilia Romagna leader nei loro settori (Jonix srl, Spin Applicazioni Magnetiche srl, MBN Nanomaterialia Spa). La fine del progetto, di durata biennale, è prevista per il 31 marzo 2018.

Dall'11 al 16 settembre 2016 si è svolta inoltre a Torino, a testimonianza del ruolo centrale dell'Italia in questo campo, la "VII Conferenza internazionale sulla refrigerazione magnetica a temperatura ambiente", organizzata dall'Inrim (Istituto nazionale di ricerca metrologica) e con la partecipazione di circa 200 studiosi ed esperti provenienti da tutto il mondo. In questa occasione sono stati presentati diversi prototipi che si caratterizzano per l'efficienza energetica, la silenziosità e le dimensioni ridotte. La refrigerazione magnetica viene presentata come la tecnologia del futuro, non solo nel campo della refrigerazione domestica ma anche in quello degli impianti di condizionamento. (INRIM, 2016).

⁹⁷ <http://www.cooltech-applications.com/>

⁹⁸ SCIRE: Consorzio per lo Sviluppo e l'Applicazione di Metodologie di fluidodinamica computazionale in ambito industriale con sede a Napoli

⁹⁹ Istituto Materiali Speciali per l'Elettronica e Magnetismo

10.5 Attività di ricerca sulle pompe di calore

L'Italia partecipa a diversi progetti di ricerca sulle pompe di calore principalmente finanziati dell'Unione Europea. A titolo di esempio si descrivono di seguito due di questi progetti: il progetto HEAT4 e il progetto NxtHPG

10.5.1 Progetto Heat4U

Heat4U è un progetto di ricerca internazionale che si inquadra nelle azioni di lotta ai cambiamenti climatici e sull'efficienza energetica, nell'ambito del Settimo Programma Quadro per la ricerca e lo Sviluppo tecnologico (FP7) della Comunità Europea (<http://www.heat4u.eu/it>). Partito nel 2011 con un finanziamento complessivo di 10 milioni di euro per 4 anni, il progetto mirava a trovare soluzioni tecnologiche per permettere l'utilizzo, entro il 2015, delle pompe di calore ad alto assorbimento a metano (Gas Absorption Heat Pump - GAHP) nel settore degli edifici residenziali esistenti, mono e bifamiliari. La tecnologia GAHP infatti per anni è stata impiegata esclusivamente nei settori commerciale ed industriale. Il progetto ha visto il coinvolgimento di 14 partner europei dei settori dell'industria, dell'energia e della ricerca. Tra questi le seguenti realtà italiane: Robur Spa¹⁰⁰, Pininfarina, Enea, Politecnico di Milano e le società D'Apollonia¹⁰¹ e CF Consulting.¹⁰²

La tecnologia GAHP è un prodotto di Robur, una azienda italiana che da molti anni opera nel settore della progettazione e realizzazione delle pompe di calore a basso consumo energetico e che fin dagli anni 90 ha investito oltre 50 milioni di euro per lo studio e lo sviluppo delle pompe di calore. Questo tipo di tecnologia inizialmente non risultava idonea per il riscaldamento di edifici residenziali a causa di una serie di aspetti sfavorevoli riconducibili: all'alto costo iniziale (rispetto alle caldaie tradizionali a condensazione), al rumore, alla difficoltà di installazione e alle dimensioni. Tale tecnologia è stata pertanto impiegata per molto tempo esclusivamente nei settori commerciale e industriale. Il progetto ha visto la realizzazione di una serie di prototipi con i relativi sistemi di controllo per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria; testati e validati in due centri di ricerca tra cui il ReLAB del Politecnico di Milano. Successivamente la tecnologia GAHP è stata testata in abitazioni monofamiliari in Germania, Regno Unito, Francia, Italia e Polonia. La pompa di calore ad assorbimento a gas metano della Linea GAHP si differenzia dalle tradizionali pompe di calore elettriche perché, anziché consumare energia elettrica per il funzionamento di un compressore, utilizza gas metano (o GPL). Questo alimenta un bruciatore, il quale riscalda, in un circuito ad assorbimento totalmente ermetico, una soluzione di acqua e ammoniacale. L'unità GAHP-AR sfrutta il ciclo frigorifero inverso per recuperare calore dall'ambiente esterno (energia rinnovabile - aria) che, sommato al calore prodotto dalla combustione del gas metano viene trasferito nel condensatore e quindi all'ambiente da riscaldare. Questa nuova tecnologia sembra in grado di garantire efficienze di oltre il 170% con il 34% di riduzione dei costi annuali per il riscaldamento e delle emissioni di CO₂ rispetto alle caldaie a condensazione.

I risultati finali del progetto sono stati presentati a novembre 2014 e hanno confermato che la tecnologia GAHP risulta applicabile anche nel settore residenziale. Le pompe di calore a metano GAHP permettono infatti di aumentare di oltre il 35% l'efficienza energetica degli edifici rispetto alle attuali caldaie a condensazione. In termini di tonnellate equivalenti di petrolio (Tep), ogni pompa di calore GAHP applicata al residenziale determinerebbe un risparmio di 1,20 Tep ed eviterebbe l'emissione di 3 tonnellate di CO₂. Nella tabella successiva sono messi a confronto i consumi energetici e i benefici ambientali e finanziari di una caldaia a condensazione, di una pompa di calore elettrica aria/acqua (A/W EHP) e di una pompa di calore ad assorbimento (GAHP) considerando come punto di riferimento una caldaia normale (comunemente utilizzata nelle applicazioni residenziali esistenti) e il carico di riscaldamento di una casa situato nella latitudine europea intermedia (Strasburgo) (Tabella 10.4).

Ulteriori informazioni sul progetto Heat4u progetto sono disponibili sul sito <http://www.heat4u.eu/it/>.

¹⁰⁰<http://www.robur.it>

¹⁰¹<http://www.dapollonia.it>

¹⁰²<http://www.cf-consulting.it/>

Tabella 10.4 - Consumi energetici, benefici ambientali e finanziari associati a una caldaia normale, utilizzata tipicamente negli edifici residenziali, a caldaia a condensazione, alla pompa di calore elettrica aria/acqua (A/W EHP) e alle pompe di calore ad assorbimento (GAHP) (Fonte: HEATH4U, 2011)

Single home (individual dwelling) Average Climate (Strasbourg) Annual Demand for Space Heating and DWH of 16,4 MWh	Reference Boiler	Condensing boiler	A/W EHP (COP 3,3)	GAHP (GUE 1.49)
Annual Efficiency on Primary Energy (HCV)	81.0%	94.0%	110.0%	133%
Energy Consumption MWh/year	100.0%	86.2%	73.5%	66.9%
CO ₂ Emissions ton/year	100.0%	86.2%	73.5%	67.0%
Renewable Energy Use (% heat demand) MWh/year	0.0%	0.0%	25.8%	37.6%
Operating cost (%)	100.0%	88.7%	70.9%	66.8%

Note: Calculations according to EN15316; Energy conversion factor as per RES directive

10.5.2 Progetto NxtHPG

Il progetto *NxtHPG - Next Generation of Heat Pumps working with Natural fluids*, è finalizzato alla realizzazione di pompe di calore ad alta capacità funzionanti con refrigeranti naturali e valide sia per il riscaldamento che per il raffreddamento di edifici nuovi ed esistenti. NxtHPG rientra nel Settimo Programma Quadro per la ricerca e lo Sviluppo tecnologico (FP7). Avviato nel 2012, con termine il 30/11/2016 ha visto il coinvolgimento di 13 partner europei dei settori dell'industria, dell'energia e della ricerca. Tra i suoi partner risultano le realtà italiane Lu-ve S.p.a, ENEX Srl, Officine MARIO DORIN Spa, l'Università di Napoli FEDERICO II e l'Enea. In particolare le società Dorin Spa, LU-VE ENEX sono state coinvolte nella produzione dei compressori, degli scambiatori di calore e delle pompe di calore mentre l'ENEA ha svolto soprattutto attività nello sviluppo della pompa di calore a CO₂ in tutti i suoi componenti e la campagna di sperimentazione sul campo.

(http://cordis.europa.eu/project/rcn/105998_en.html; <http://www.nxthpg.eu/home/>).

NxtHPG mira a sviluppare pompe di calore a refrigeranti naturali a elevata efficienza, economicamente e tecnicamente sostenibili, portando a un miglioramento dell'efficienza energetica del 10-20% e a una riduzione del 20% del TEWI rispetto alle tradizionali pompe di calore ad assorbimento a HFC/HFO, il tutto a costi simili o leggermente superiori (dell'ordine del 10 %) a quelli delle soluzioni tecnologiche attualmente usate. Allo stesso tempo il progetto mira a garantire lo sviluppo di una capacità di modulazione flessibile, per permettere l'integrazione di queste nuove soluzioni tecnologiche con altre fonti rinnovabili in edifici e industrie. Il dettaglio il progetto prevede due linee di sviluppo specifiche per ciascun refrigerante naturale con la realizzazione complessiva di 5 prototipi:

- 3 prototipi funzionanti a idrocarburi (HC): una serie di pompe di calore aria/acqua o acqua/acqua capaci di fornire acqua calda a 40-50 °C per il riscaldamento così come per produrre acqua sanitaria a 60 °C.
- 2 prototipi funzionanti con CO₂: pompe di calore in grado di produrre acqua calda sanitaria a 60 °C direttamente da acqua a 10-15 °C.

In più è previsto lo studio di configurazioni per la produzione di acqua ad alta temperatura (70-90 °C).

I prototipi sono poi stati testati in laboratori con campagne sperimentali avviate nel maggio 2014. I risultati della prima campagna sono stati dichiarati promettenti. Nel caso di prototipi per la produzione di acqua calda sanitaria, sono stati misurati valori molto elevati del coefficiente di prestazione COP, ottenendo valori superiori al 5 per il CASO 3 (pompa di calore acqua-acqua con propano) e superiore 4 per il CASO 4 (pompa di calore aria-acqua con CO₂) nella maggior parte delle condizioni di lavoro. (http://cordis.europa.eu/result/rcn/165057_en.html)

Il progetto richiede la ri-progettazione e la realizzazione di molti altri componenti della pompa di calore, come i compressori, gli evaporatori, i condensatori ecc. Tali componenti, progettati per lavorare con gli HFC, dovranno essere ottimizzati per l'utilizzo di HC e CO₂. Ulteriori informazioni sul progetto sono disponibili sul sito <http://www.nxthpg.eu/home/>

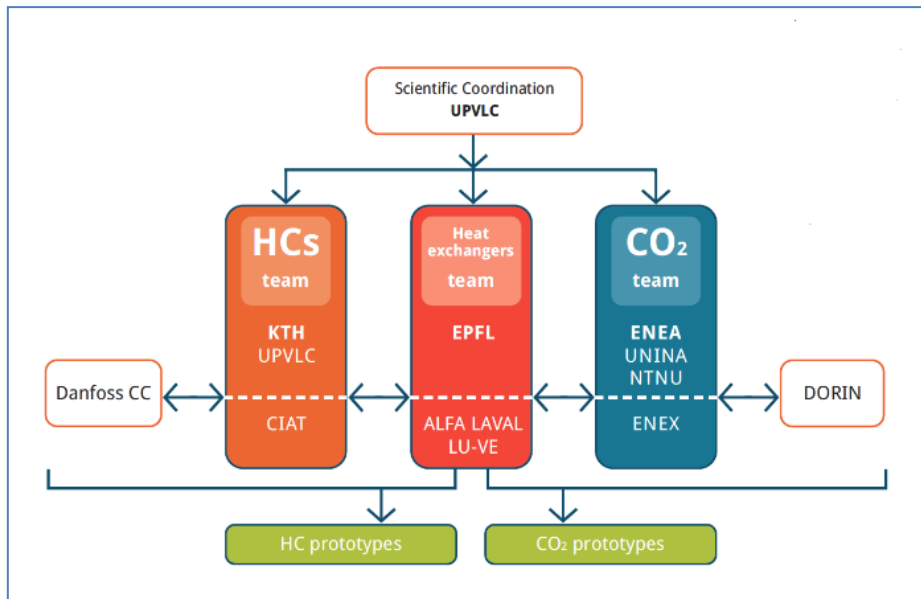


Figura 10.5 - Progetto NxtHPG - struttura e organizzazione (Fonte: <http://www.nxthpg.eu/description/project-structure-and-organization>)

11 CONCLUSIONI

Nel 2014 è entrato in vigore il Regolamento UE n. 517/2014 detto anche Regolamento F-gas, avente come obiettivo la riduzione del 79% delle emissioni dei gas fluorurati ad effetto serra entro il 2030. Il Regolamento prevede il calo progressivo delle quantità di F-Gas (HFC), espresse in ton di CO₂ equivalente, immesse nel territorio dell'Unione Europea e una serie di ulteriori misure, tra cui il divieto di immissione in commercio di specifici prodotti e apparecchiature di HFC con potenziale di riscaldamento globale superiore a determinati valori. Tali disposizioni stanno mutando radicalmente il mercato di queste sostanze e spingendo i settori e gli addetti ai lavori che le utilizzano ad adottare specifiche misure al fine di mantenere fede ai vincoli normativi. Anche l'Italia si trova coinvolta in questo processo di adeguamento e una comprensione sullo stato di utilizzo degli HFC a livello nazionale e per settore, insieme alla conoscenza di come il mercato italiano sta rispondendo al Regolamento, è utile al fine di individuare sia le criticità che gli attori coinvolti stanno incontrando sia anche le eventuali opportunità che possono scaturire da questi cambiamenti per il sistema Paese.

L'acquisizione di queste informazioni per ogni settore di interesse (refrigerazione, condizionamento, schiume, aerosol e sistemi fissi di protezione antincendio) ha richiesto il contatto diretto con le associazioni di categoria e gli addetti ai lavori. Trattandosi della prima ricognizione a livello nazionale sullo stato di utilizzo degli HFC per settore di applicazione, comprese le possibili alternative, sono emerse diverse criticità in relazione alla disponibilità dei dati necessari per delineare un primo stato dell'arte del Sistema Paese.

In merito alle alternative agli HFC, vengono confermati anche per l'Italia gli scenari internazionali per settore, sia nel breve-medio periodo (5 -10 anni) che nel lungo periodo. Nel breve periodo si assisterà, ma in realtà si sta già assistendo, alla graduale sostituzione degli idrofluorocarburi con GWP più elevato, ossia a maggior effetto serra, con altri a GWP inferiore, quindi meno dannosi per l'ambiente. Nel lungo periodo gli HFC tenderanno invece a essere sostituiti dai refrigeranti naturali (anidride carbonica, ammoniaca e idrocarburi in primis) e/o da refrigeranti sintetici di ultima generazione, le idrofluoroolefine, tutte alternative caratterizzate da un bassissimo o nullo effetto serra.

La riduzione scaglionata nel tempo delle quantità di HFC immesse in commercio sta subendo delle accelerazioni rispetto alla tempistica prevista sulla base delle prescrizioni del Regolamento, non solo per effetto della normativa, ma anche per dinamiche di mercato esterne; strategie di paesi produttori di materie prime che incidono sulla disponibilità di tali sostanze e rincari di prezzi degli HFC a GWP più elevato, con tassi di crescita molto più alti di quelli previsti in base alle normali logiche di mercato, stanno mettendo in crisi l'approvvigionamento di HFC di interi settori e di fatto accelerando la transizione ai refrigeranti naturali e/o alle idrofluoroolefine.

Le alternative praticabili non sono però percorribili nella stessa maniera per i diversi settori, e per esigenze e per criticità diverse. Mentre il passaggio a HFC a minore GWP nelle macchine esistenti non costituisce un problema, la migrazione a refrigeranti naturali e idrofluoroolefine ha spostato l'attenzione dal GWP a nuove problematiche, legate alle caratteristiche intrinseche delle nuove sostanze, all'efficienza di prestazione delle macchine e alla fattibilità tecnico economica delle alternative. I refrigeranti naturali a differenza dei fluidi sintetici tradizionali presentano infatti problemi di sicurezza legati alla tossicità (ammoniaca), all'infiammabilità (HC ma anche HFO), alla corrosività (con incompatibilità dei fluidi con alcune leghe come il rame e le plastiche) o a pressioni di lavoro molto elevate (CO₂). La sostituzione di un refrigerante con una nuova sostanza può determinare cali di efficienza energetica delle macchine che mal si accordano con un quadro normativo sempre più severo in materia di eco design. Inoltre mentre in alcuni casi è possibile la sostituzione di una sostanza apportando solo piccole modifiche, in altri gli interventi necessari possono essere massicci fino a richiedere la riprogettazione e la sostituzione totale delle macchine con un aggravio dei costi non sempre sostenibile.

Nel settore della refrigerazione domestica si è già assistito alla migrazione ai refrigeranti naturali. Tutti i frigoriferi domestici utilizzano da tempo l'isobutano come fluido frigorifero. Nel campo della refrigerazione commerciale le alternative possibili dipendono dalla taglia e dal tipo di sistema. Per le unità stand alone gli idrocarburi (propano) sono l'alternativa ad oggi possibile così come la tecnologia a CO₂ transcritica sembra rappresentare la principale soluzione futura per gli impianti di taglia maggiore, quali i sistemi centralizzati. Per la fascia intermedia, costituita dalle unità a condensazione, problemi di sicurezza non rendono sempre possibile l'uso di alternative infiammabili come gli HC o le HFO, mentre gli alti costi di investimento richiesti per questa fascia di potenza non rendono la CO₂ una alternativa facilmente praticabile. Al momento sono disponibili solo alternative costituite da HFC a minore GWP (nuove miscele con GWP intorno a 600 sono state formulate e messe in commercio). Problemi nell'adeguamento alle prescrizioni del Regolamento F-gas sono stati segnalati dal comparto della refrigerazione professionale, in particolar modo per gli

abbattitori di temperatura e i produttori di ghiaccio. La rimodulazione del Regolamento facendo rientrare le apparecchiature professionali nella definizione contenuta nell'art. 20, rimodulazione richiesta dal comparto, consentirebbe a queste apparecchiature l'utilizzo di HFC con GWP pari o inferiore a 2500 fino al 2020 e quindi il rispetto dei vincoli normativi.

Problemi sono stati segnalati anche dal comparto del condizionamento, potenzialmente in forte espansione con una domanda crescente alla quale sono legati produzione, occupazione e investimenti. Il comparto sta soffrendo l'aumento sproporzionato dei prezzi e la minor disponibilità di gas refrigeranti HFC impiegati per il funzionamento di climatizzatori e pompe di calore. Poiché per le macchine di potenza intermedia non vi sono ancora soluzioni alternative agli HFC, la loro scomparsa anticipata dal mercato è in grado di mettere in crisi l'intero settore.

Gli altri settori interessati dall'uso degli HFC, aerosol, schiume e sistemi fissi antincendio sono pronti a passare alle alternative (alternative naturali, HFO, agenti inerti e gas chimici); in alcuni casi alcune di queste alternative sono già in uso.

Il mercato della produzione delle sostanze refrigeranti è in mano a Giappone e Stati Uniti. L'Italia importa queste sostanze dall'estero non essendo un paese produttore. Sul mercato globale il nostro Paese risulta però leader nella progettazione di tecnologie alternative agli HFC. A differenza dei competitor internazionali che producono in scala, il made in Italy riesce a progettare tecnologie alternative ad hoc, studiate sulle esigenze del cliente e delle condizioni locali. L'Italia in particolare è leader nella produzione di chillers per aria condizionata e refrigerazione e nelle tecnologie per la produzione di poliuretano; nei sistemi fissi antincendi detiene diversi brevetti per agenti inerti e gas chimici.

IL TEWI è il parametro scelto dalle aziende italiane per rappresentare l'impatto ambientale di un refrigerante nella fase di progettazione delle apparecchiature. Questo indicatore considera l'impatto sull'ambiente dell'intero ciclo di vita di una macchina, somma delle perdite di refrigerante in atmosfera (contributo diretto, direttamente proporzionale al GWP) e delle emissioni prodotte dal consumo di energia elettrica della macchina (contributo indiretto). La normativa attualmente vigente e i documenti tecnici di riferimento a livello internazionale al contrario, basano le loro valutazioni principalmente sul GWP. Pertanto, la comprensione del ruolo e del peso che il TEWI ha e potrà avere in futuro nell'ambito delle politiche di lotta al cambiamento climatico e dell'attuazione del Protocollo di Montreal risulta fondamentale poiché questo indicatore basato anche sugli aspetti prestazionali delle tecnologie peserà direttamente sui settori coinvolti nella progettazione degli impianti che usano i refrigeranti o le nuove alternative.

La necessità di rispondere alle prescrizioni normative ha dato un forte impulso alla ricerca di nuove sostanze a basso impatto ambientale e di nuove tecnologie capaci di utilizzare i fluidi emergenti mantenendo inalterate o migliorando le prestazioni energetiche delle macchine. La ricerca in Italia si focalizza sulla progettazione di nuove tecnologie e non sulla produzione di sostanze refrigeranti. L'Italia partecipa a diversi progetti che vedono il coinvolgimento sia del mondo accademico che del mondo imprenditoriale sulla base di finanziamenti che provengono soprattutto dall'Europa.

La manipolazione di nuove sostanze spesso tossiche, infiammabili o con pressioni di lavoro molto elevate richiede personale tecnico preparato. E' necessario quindi che gli operatori che svolgono attività di installazione, manutenzione, assistenza ad impianti e che manipolano le nuove alternative acquisiscano competenze specifiche, tramite corsi di formazione professionale mirati. In Italia i corsi di formazione non sono sufficienti per sostenere il processo di sostituzione dei refrigeranti tradizionali, non coprono in maniera omogenea tutte le nuove alternative e non hanno una distribuzione omogenea nel territorio. Alla conseguente carenza di progettisti e tecnici preparati, si accompagna anche la difficoltà nel reperire personale docente da formare sulle tecnologie e sui fluidi alternativi.

Mentre a livello internazionale esistono standard di classificazione delle sostanze in infiammabili, mediamente infiammabili e non infiammabili, in Italia vige ancora un sistema di classificazione basato su due criteri: infiammabilità o non infiammabilità della sostanza. Ciò pone seri problemi agli operatori italiani nell'impiego di sostanze, considerate mediamente infiammabili a livello internazionale (HFO), e classificate come infiammabili nel nostro Paese, con tutte le limitazioni di utilizzo che ne conseguono. L'adeguamento alla classificazione sulla base delle norme europee e internazionali viene auspicato dagli operatori dei settori coinvolti nell'uso di sostanze più o meno infiammabili.

In Italia vigono due tipi di decreti che regolano l'uso di fluidi infiammabili e/o tossici: quelli prescrittivi che vietano direttamente l'uso di fluidi infiammabili e quelli di nuovo approccio, che invece permettono anche l'uso di queste sostanze ma viene richiesta un'analisi dei rischi. I criteri di sicurezza per i decreti di nuovo approccio sono oggi di competenza del comando locale dei vigili del fuoco. Il superamento della discrezionalità di tali criteri e la loro unificazione a livello nazionale, così come richiesto dagli addetti ai lavori che usano tali fluidi, avrebbe ripercussioni positive sulla diffusione e utilizzo dei nuovi refrigeranti e delle nuove tecnologie in tutta la filiera.

BIBLIOGRAFIA

Capitolo 1

CE, 2009. *Regolamento CE n. 1005/2009 del Parlamento europeo e del consiglio del 16 settembre 2009 sulle sostanze che riducono lo strato di ozono.*

Parnell N. B., et al. Working Paper *Phasing Down the Use of Hydrofluorocarbons – HFC*. Disponibile su http://newclimateeconomy.report/workingpapers/wp-content/uploads/sites/5/2016/04/Phasing-down-HFC_final_web.pdf

Maranion B., 2015. *Current and Future HFC Demand by Sectors*,. TEAP co-chair OEWG-35, Bangkok, 22 April 2015

ISPRA, 2017. *Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2015, National Inventory Report 2017. Rapporti 261/2017. ISBN 978-88-448-0822-8*

UE, 2014. *Regolamento UE n. 517/2014 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 aprile 2014 sui gas fluorurati ad effetto serra e che abroga il precedente Regolamento(CE) n. 842/2006*

Legambiente. *Gas refrigeranti in Italia - impatto ambientale, quantitativi, gestione e recupero degli F-gas nel nostro Paese-Stato dell'arte e proposte*. A cura di: Mancini M., Zampetti G. Collaboratori: De Amicis M., Durini D., Sabbadin D.

Disponibile su https://www.legambiente.it/sites/default/files/docs/i_gas_refrigeranti_in_italia_.pdf

D.P.R., 2012. *Decreto del Presidente della Repubblica n. 43/2012, Regolamento recante attuazione del Regolamento (CE) n. 842/2006 su taluni gas fluorurati ad effetto serra.*

Capitolo 2

UE, 2014. *Regolamento UE n. 517/2014 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 aprile 2014 sui gas fluorurati ad effetto serra e che abroga il precedente Regolamento(CE) n. 842/2006*

Shecco, 2016. *F-gas regulation shaking up the HVAC&R industry*, 2016.

Carel, 2016. *White Paper Refrigerant scenario Rules and trends in the near future. +4000044EN -1.1 - 20.05.2016*

EIA, 2016. Environmental Investigation Agency (EIA) *Manuale sul nuovo Regolamento UE in merito ai gas fluorurati: Come rimanere all'avanguardia mentre l'Europa riduce i gas HFC*, 2016. Trad. Di Legambiente [tit. orig. F-Gas Regulation Handbook: Keeping Ahead of the Curve as Europe Phases Down HFC]

General Gas, 2016. *Refrigeranti di 4° Generazione a Basso GWP*. Presentato al Workshop “Alternative agli HFC e opportunità per il sistema Italia”, Roma, 21 ottobre 2016.

CE, 2016. *Progress of the HFC Phase Down, October 2016*, su https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/f-gas/docs/phase-down_progress_en.pdf. Consultato in data Settembre 0217.

UNEP, September 2016. UNEP Technology and Economic Assessment Panel, Decision XXVII/4 Task Force Update Report - *Further Information on Alternatives to Ozone Depleting Substances*, September 2016, Volume 1, ISBN: 978-9960-076-17-5

UNEP, June 2016. Report of the UNEP Technology and Economic Assessment Panel June 2016 Volume 1 Progress Report, ISBN: 978-9966-076-20-5.

Campagna E., 2016. *Gli HFO come soluzione alla riduzione dei gas serra*. RIVOIRA Refrigerants. Presentato al Workshop “Alternative agli HFC e opportunità per il sistema Italia”, Roma, 21 Ottobre 2016.

Carel, 2016. *White Paper Refrigerant scenario Rules and trends in the near future*. +4000044EN -1.1 - 20.05.2016

Gschrey B, 2017. *Alternative agli HFC per la refrigerazione commerciale. Il monitoraggio dei prezzi HFC nell'UE* in “Industria e Formazione per il tecnico delle refrigerazione e del climatizzazione”. Organo Ufficiale del Centro Studi Galileo n. 405, pp. 32 (Anno XLI - N. 1 – 2017)

HIS, 2016. *Fluorspar and Inorganic Fluorine Compounds*. Pubblicato in data Gennaio 2016. Disponibile su <https://www.ihs.com/products/fluorspar-and-inorganic-fluorine-chemical-economics-handbook.html>

Cooling Post, 2017. *More suppliers increase refrigerant prices, 23/03/2017* Disponibile su <http://www.coolingpost.com/uk-news/more-suppliers-increase-refrigerant-prices/>.

AssofrigoristiBlog, 2017. *Nel 2018 Honeywell interrompe la produzione di R404A e R507*. Pubblicato in data 11 Aprile 2017. Disponibile su <http://assofrigoristiblog.blogspot.it/2017/04/nel-2018-honeywell-interrompe-la.html>

Assoclima, 2017. *Allarme Assoclima per il mercato delle pompe di calore, 25/07/2017*, Disponibile su <http://www.infobuildenergia.it/notizie/allarme-assoclima-mercato-pompe-calore-climatizzazione-5810.html>,

OKO Recherche, 2016. *Briefing Paper, Availability of alternatives to HFC in commercial refrigeration in the EU, November 2016*. Disponibile su <http://www.oekorecherche.de/de/briefing-paper-availability-alternatives-HFC-commercial-refrigeration-eu>

EIA, 2012a. Environmental Investigation Agency (EIA), *F-Gas Regulation Briefing Note – Domestic Refrigeration*, May 2012.

EIA, 2012b. Environmental Investigation Agency (EIA), *F-Gas Regulation Briefing Note – Commercial Refrigeration*, May 2012

EIA, 2012c. Environmental Investigation Agency (EIA), *F-Gas Regulation Briefing Note – Industrial Refrigeration*, May 2012.

EIA, 2012d. Environmental Investigation Agency (EIA), *F-Gas Regulation Briefing Note – Stationary Air Conditioning*, May 2012.

Capitolo 3

Carel, 2016. *White Paper Refrigerant scenario Rules and trends in the near future*. + 4000044EN -1.1 - 20.05.2016

UNEP, march 2016. Report of the Technology and Economic Assessment Panel March 2016 Decision XXVII/4 Task Force Report Further Information on Alternatives to Ozone-Depleting Substances ISBN: 978-9966-076-17-5.

Riva M., Flohr C F. Meurer Purdue University Purdue e-Pubs International Refrigeration and Air Conditioning Conference School of Mechanical Engineering 2006 *LCCP vs. Eco-Efficiency*;

KTH/ITM/Departments & Divisions/Energy Technology/ Research/Applied Thermodynamics and Refrigeration/Projects/Low GWP refrigerants News Reducing environmental impact of refrigeration technology <http://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1738&context=iracc>

Maykot R., Weber G.C., Maciel R.A., 2004. *Empresa Brasileira de Compressores SA Using the TEWI Methodology to Evaluate Alternative Refrigeration Technologies (2004)*. International Refrigeration and Air Conditioning Conference. Paper 709. <http://docs.lib.purdue.edu/iracc/709>.

Riva M., Felix F., Meurer C., 2006. *LCCP vs. Eco-Efficiency (2006)*. International Refrigeration and Air Conditioning Conference. Paper 739. <http://docs.lib.purdue.edu/iracc/739>.

Makhnatcha P., Khodabandeha R., 2014. *The role of environmental metrics (GWP, TEWI, LCCP) in the selection of low GWP refrigerant*. The 6th International Conference on Applied Energy – ICAE2014. Energy Procedia 61 (2014) 2460 – 2463. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610214030525>

Bréon F.M. et al., 2013. *Anthropogenic and natural radioactive forcing in Climate Change 2013* *The Physical Science Basis : Anthropogenic and Natural Radiative Forcing*. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf

UNEP, September 2016. UNEP Technology and Economic Assessment Panel, Decision XXVII/4 Task Force Update Report - *Further Information on Alternatives to Ozone Depleting Substances*, September 2016, Volume 1, ISBN: 978-9960-076-17-5

CE, 2016. *Relazione della Commissione relativa agli ostacoli posti dai codici, dagli standard e dalla legislazione all'utilizzo di tecnologie rispettose del clima nei settori della refrigerazione, della climatizzazione, delle pompe di calore e delle schiume*. Bruxelles, 30.11.2016 COM(2016) 749 final

ASHRAE, 2015. Factsheet 1, Update on New Refrigerants Designations and Safety Classifications, October 2105 <http://www.uneptie.org/ozonation/information/mmcfiles/7769-e-FactsheetASHRAENewRefrigerants.pdf>

Colbourne D. - Proklima G.. *Gli standard di sicurezza dei refrigeranti idrocarburi HC*. Disponibile su http://www.centrogalileo.it/nuovaPA/Articoli%20tecnici/gtz/gtz_standard_sicurezza.htm

Shecco, 2014. *Guide 2014: natural refrigerants continued growth & innovation in Europe*, 2014.

Becken K. et al. 2011. *Avoiding Fluorinated Greenhouse Gases Prospects for Phasing Out*, Federal Environment Agency, 8/2011, ISSN 1862-4359. <http://www.ditec.unige.it/users/sche/documents/Fluidi%20refrigeranti%20alternativi%20a%20CFC%20e%20HCFC.pdf>

Giroto S., 2013. *Applicazione nei paesi dell'Europa del Sud Evoluzione dei sistemi frigoriferi con CO₂ come refrigerante*, in Zerosottozero, Febbraio 2013. Disponibile su <http://www.enex-ref.com/download/articolo1.pdf>

Danfoss, 2008. *Transcritical Refrigeration Systems with Carbon Dioxide (CO₂) How to design and operate a small-capacity (< 10 kW) transcritical CO₂ system*. Danfoss A/S (RA Marketing/MWA), July 2008
Shecco, 2015. *The Basics of R718: Technology Fundamentals*, 7 Agosto 2015. Disponibile su http://www.r718.com/articles/3420/the_basics_of_r718_technology_fundamentals_br

M. Spatz, T. G. A. Vink, 2010. *Refrigeranti sintetici e naturali: recenti sviluppi* in “Industria e formazione per il tecnico della refrigerazione e climatizzazione”. Organo Ufficiale del CENTRO STUDI GALILEO n. 338 pp. 24-28. (Anno XXXIV - N. 4 – 2010)

KTH, 2015. *Department of Energy Technology (ITM) del Royal Institute of Technology di Stockholm (KTH) The potential dangers of TFA*, 1 Novembre 2015. Disponibile su <https://www.kth.se/en/itm/inst/energiteknik/forskning/ett/projekt/koldmedier-med-lag-gwp/low-gwp-news/potentiella-faror-med-trifluorattiksyra-tfa-1.602615>.

Bitzer, 2016. *Refrigerant report 19*. A-501-19. Disponibile su https://www.bitzer.de/shared_media/documentation/a-501-19.pdf

Campagna E., 2016. *Gli HFO come soluzione alla riduzione dei gas serra*. RIVOIRA Refrigerants. Presentato al Workshop “Alternative agli HFC e opportunità per il sistema Italia”, Roma, 21 Ottobre 2016.

UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 3, 2015. *Fact Sheets 3 on HFC and Low GWP Alternatives: Domestic Refrigeration*. Version 2, Ottobre 2015.

General Gas, 2016. *Refrigeranti di 4° Generazione a Basso GWP*. Presentato al Workshop “Alternative agli HFC e opportunità per il sistema Italia”, Roma, 21 Ottobre 2016.

Capitolo 4

Danieli D., 2013. *Termodinamica applicata ai cicli frigoriferi - Certificazione Frigoristi Regolamento CE n.842/2006*. 23/04/2013. Disponibile su https://climatizzazione.files.wordpress.com/2013/04/termodinamica-applicata-agli-impianti-frigoriferi_dd.pdf.

<http://www.dimnp.unipi.it/forgione-n/frigoriferi.pdf>

Pannoa D., Messineo A., Dispenza A., 2008. *Analisi dei cicli frigoriferi a cascata e confronto con i cicli frigoriferi a doppio stadio*. Università degli studi di Palermo. Presentato al 63 congresso nazionale ATI – energia per lo sviluppo sostenibile, Palermo 23-26 settembre 2008

UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 3, 2015. *Fact Sheets 3 on HFC and Low GWP Alternatives: Domestic Refrigeration*. Version 2, Ottobre 2015.

UNEP, September 2016. UNEP Technology and Economic Assessment Panel, Decision XXVII/4 Task Force Update Report - *Further Information on Alternatives to Ozone Depleting Substances*, Settembre 2016, Volume 1, ISBN: 978-9960-076-17-5

Buoni M.. *Refrigerati a GWP, Linee guida sull'uso dei refrigeranti a basso GWP e competenze di base dei tecnici* Disponibile su http://www.centrogalileo.it/nuovaPA/Articoli%20tecnici/buoni/refrigeranti_baso_gwp.htm

UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 4, 2015. *Fact Sheets 3 on HFC and Low GWP Alternatives: Commercial Refrigeration*. Version 2, Ottobre 2015.

EPA, 2016. *Transitioning to low-GWP Alternatives in Commercial Refrigeration*, Dicembre 2016, EPA-430-F-16-073. Disponibile su https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-12/documents/international_transitioning_to_low-gwp_alternatives_in_commercial_refrigeration.pdf

Karampour M., Sawalha S., Arias J, 2016. *Eco-friendly supermarkets - an overview* Report 2, SuperSmart Ottobre 2016. Disponibile su <http://www.supersmart-supermarket.info/downloads/>

SKM Enviros, 2013. *Possible Bans for New RAC Equipment A review of the technical and economic impact of potential bans on the use HFC for new equipment in RAC market sectors*, Version 1, February 15 th 2013. Disponibile su https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/f-gas/legislation/docs/refrigeration_air_conditioning_en.pdf

Gschrey B., 2017. *Alternative agli HFC per la refrigerazione commerciale in “Industria e formazione per il tecnico della refrigerazione e climatizzazione”*. Organo Ufficiale del Centro Studi Galileo n. 405 pp. 25-31. (Anno Anno XLI - N. 1 - 2017)

Pisano G. *utilizzo dell'anidride carbonica nei sistemi frigoriferi*. Disponibile su <http://www.centrogalileo.it/nuovaPA/Articoli%20tecnici/PISANO%2025-07-07/ANIDRIDECARBONICANEISISTEMIFRIG.htm> Ultima consultazione: settembre 2017

Carel, 2015. Comunicato stampa, *Ad Atmosphere Europe, l'intervento di Carel per fare il punto sulle nuove frontiere dei refrigeranti naturali*.

Disponibile su http://www.carel.com/documents/10191/165618/ATMO13-3-15_it.pdf/ee56f186-8fa8-45c8-b238-71eaa604a03b. Pubblicato il 13 marzo 2015. Ultimo accesso Settembre 2017.

Ferrarese T., Bagarella G., 2015. *Supermercati ad alta efficienza: compressori BLDC e waterloop in Industria e Formazione per il tecnico delle refrigerazione e del climatizzazione*. Organo Ufficiale del CENTRO STUDI GALILEO .Articolo Pubblicato il 20 Febbraio 2015. Disponibile su <https://industriaeformazione.it/2015/02/20/supermercati-ad-alta-efficienza-compressori-bldc-e-waterloop/> Ultimo accesso Ottobre 2017.

UE, 2014. Allegato III, Divieti di immissione in commercio ai sensi dell'articolo 1, paragrafo 1 del Regolamento UE n. 517/2014 del Parlamento e del Consiglio Europeo del 16 aprile 2014 sui gas fluorurati ad effetto serra ed abroga il precedente Regolamento(CE) n. 842/2006.

Epta, 2016. *Sviluppi ed Innovazioni nella Refrigerazione Commerciale alla luce delle attuali Normative Energetiche ed Ambientali*. Presentato al Workshop "Utilizzo dei gas naturali e altre alternative agli Fgas, con particolare riferimento al settore della refrigerazione, Roma, 17 Novembre 2016.

https://industriaeformazione.files.wordpress.com/2016/12/epta-costan_mastrapasqua.pdf

Della Guerra F., 2016. *INRES-COOP- Caso pratico: esperienze di COOP con CO₂ trascritto*. Presentato al Workshop "Alternative agli HFC e opportunità per il sistema Italia", Roma, 21 Ottobre 2016.

https://industriaeformazione.files.wordpress.com/2016/12/inres-coop_della-guerra1.pdf

Enex, 2016. *Sistemi di refrigerazione con CO₂: realizzazioni pratiche*. Presentato al Workshop "Utilizzo dei gas naturali e altre alternative agli Fgas, con particolare riferimento al settore della refrigerazione", Roma, 17 Novembre 2016.

https://industriaeformazione.files.wordpress.com/2016/12/enex_chinellato.pdf

Arneg, 2016. *Tecnologia CO₂ con eiettore per il più grande ipermercato in Italia*. Disponibile su <https://www.arneg.it/it/news/tecnologia-co2-con-eiettore-il-piu-grande-ipermercato-italia>. Pubblicato il 29/06/2016.

ZerosottoZero, 2016. *Il più grande ipermercato d'Italia sceglie la CO₂ per la refrigerazione*. Disponibile su <http://www.zerosottozero.it/2016/05/30/il-piu-grande-ipermercato-ditalia-sceglie-la-co2-per-la-refrigerazione>. Pubblicato il 30/05/ 2016.

ZerosottoZero, 2017. *EPTA: aria di rivoluzione per la refrigerazione a CO₂*. Disponibile su <http://www.zerosottozero.it/2017/06/14/epta-aria-di-rivoluzione-per-la-refrigerazione-a-co2/>. Pubblicato il 14/06/ 2017.

UE, 2014. *Regolamento UE n. 517/2014 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 aprile 2014 sui gas fluorurati ad effetto serra e che abroga il precedente Regolamento(CE) n. 842/2006*

CE, 2009. *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*

UE, 2010. *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*

UE, 2012. *Direttiva 2012/27/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 25 ottobre 2012, sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE*

UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 5, 2015. *Fact Sheets 5 on HFC and Low GWP Alternatives: Industrial Refrigeration*. Version 2, Ottobre 2015

Billiard F.. *Impianti per la refrigerazione, efficienza energetica e fluidi frigoriferi*. Disponibile su <http://www.centrogalileo.it/nuovaPA/Articoli%20tecnici/Billiard/Impianti%20per%20refrigerazioen.htm>

Capitolo 5

UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 7, 2015. *Fact Sheets 5 on HFC and Low GWP Alternatives: Small self contained air –conditioning*. Version 2, October 2015.

UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 8, 2015. *Fact Sheets 5 on HFC and Low GWP Alternatives: Small split air-conditioning*. Version 2, October 2015.

UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 9, 2015. *Fact Sheets 5 on HFC and Low GWP Alternatives: Large air conditioning (air to air)*. Version 2, October 2015.

UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 10, 2015. *Fact Sheets 5 on HFC and Low GWP Alternatives: Water chiller for air conditioning*. Version 2, October 2015.

SKM Enviros, 2013. *Possible Bans for New RAC Equipment A review of the technical and economic impact of potential bans on the use HFC for new equipment in RAC market sectors*, Version 1, February 15 th 2013. Disponibile su

Pennati W., 2017. Comunicazione personale. E-mail del 16/06/2017.

Assoclimate, Comunicato stampa 2017. *Segno positivo per il settore della climatizzazione nel 2016*. Disponibile su <http://www.anima.it/comunicati-stampa/9/segno-positivo-settore-climatizzazione-2016>
Ultimo accesso Settembre, 2017.

Punto Clima. *HFC-32 Refrigerant Gas*. Disponibile su http://www.puntoclimatizzatori.it/Area_cataloghi_e_tecnico/Refrigerante%20HFC%20R32.pdf Ultimo accesso Settembre 2017.

Danfoss. *R32 - For Environmentally Friendly A/C Systems and Heat Pumps*. Disponibile su <http://refrigerants.danfoss.com/r32/#/>.

Confindustria, 2017. *Alternative agli HFC. Criticità e opportunità della sostituzione dei gas fluorurati a effetto serra nel settore della refrigerazione*. Marzo, 2017

CoAer - Anima. - Gruppo Italiano Pompe di Calore, 2010. Libro bianco sulle pompe di calore. Seconda edizione.

ZeroSottoZero, 2016. ENEX: pompe di calore a CO₂ sempre più efficienti. Disponibile su <http://www.zerosottozero.it/2016/01/14/enex-pompe-di-calore-a-co2-sempre-piu-efficienti/> Pubblicato il 14/01/2016.

Capitolo 6

UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 14, 2015. *Fact Sheets 14 on HFC and Low GWP Alternatives: Aerosols*. Version 2, October 2015.

UNEP, September 2016. UNEP Technology and Economic Assessment Panel, Decision XXVII/4 Task Force Update Report - *Further Information on Alternatives to Ozone Depleting Substances*, Settembre 2016, Volume 1, ISBN: 978-9960-076-17-5

EPA, 2016. *Transitioning to low-GWP Alternatives in Aerosols*. Dicembre 2016, EPA-450-F-16-003. Disponibile su https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-12/documents/transitioning_to_low-gwp_alternatives_in_aerosols.pdf

UE, 2014. *Regolamento UE n. 517/2014 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 aprile 2014 sui gas fluorurati ad effetto serra e che abroga il precedente Regolamento(CE) n. 842/2006*

Associazione Italiana Aerosols, 2008. *Annuario AIA 2008* Disponibile su http://aia.federchimica.it/docs/default-source/annuario/annuario-2008.pdf?sfvrsn=db55c02c_10

Malerba A., 2017. *Propellenti fluorurati- training tecnico Propellenti – AIA*, 5 Aprile 2017, Honeywell Fluorine Products.

Capitolo 7

UNEP Ozone Secretariat, Fact Sheets 13, 2015. *Fact Sheets 13 on HFC and Low GWP Alternatives: Insulating Foam* Version 2, October 2015.

Monzeglio M., 2017 - *ANPE Poliuretano Espanso Rigido: Aggiornamento sugli agenti d'espansione*. Maggio 2017

D'Egidio M., 2005. *La marcatura CE dei prodotti da costruzione e la certificazione energetica degli edifici*. ANCE. Vicenza 25, Febbraio 2015.

UNEP, September 2016. UNEP Technology and Economic Assessment Panel, Decision XXVII/4 Task Force Update Report - *Further Information on Alternatives to Ozone Depleting Substances*, September 2016, Volume 1, ISBN: 978-9960-076-17-5

UE, 2014. *Regolamento UE n. 517/2014 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 aprile 2014 sui gas fluorurati ad effetto serra e che abroga il precedente Regolamento(CE) n. 842/2006*

SKM Enviro, 2013. *Possible Bans for Aerosols and Foams A review of the technical and economic impact of potential bans on the use HFC for in the aerosol and foam market sectors* , Version 1, February 19 th 2013.

EPA aerosols, 2016. *Transitioning to low-GWP Alternatives in bulding/construction foams*. Febbraio 2011, EPA-430-F-11-005

Capitolo 8

UE, 2014. *Regolamento UE n. 517/2014 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 aprile 2014 sui gas fluorurati ad effetto serra e che abroga il precedente Regolamento(CE) n. 842/2006*

CE, 2009. *Informazioni per operatori di apparecchiature contenenti gas fluorurati ad effetto serra – impianti fissi di protezione antincendio ed estintori*, 2009.

Ciannelli N., 2014 -2015. *Corso di Scienza e Tecnica della Prevenzione Incendi. A .A. 2014 – 2015 Materia: Sostanze estinguenti*. Università di Pisa -Dipartimento di Ingegneria Civile ed industriale; Ministero dell'Interno - Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile.

UNEP, 2014. *Report of the Halons Technical Options Committee*. December 2014, Volume 1, 2014 Assessment Report, ISBN: 978-9966-076-04-5.

Assure, 2003. Comunicazione personale

Gastec Vesta, 2017. Comunicazione personale. Email maggio 2017

Molajoni, *Impianti di spegnimento a fluido chimico fk-5-1-12 (NOVEC 1230®)*. Pagina web <http://www.molajoniservizi.it/prodotti/antincendio/impianti-di-spegnimento-fluido-chimico/>

Capitolo 9

Shecco, 2016. *F-gas regulation shaking up the HVAC&R industry*, 2016.

Shecco, 2014. *Guide 2014: natural refrigerants continued growth & innovation in Europe*, 2014.

Capitolo 10

Shecco, 2016. *F-gas regulation shaking up the HVAC&R industry*, 2016

Paul S, , Sarkar A., Mandal B. K., 2013. *Environmental impacts of halogenated refrigerants and their alternatives: recent developments* in “International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering” Volume 3, Special Issue 3: ICERTSD 2013, Feb 2013, pp. 400-409

Kataoka O., 2013. *Safety considerations when working with 2L flammability class refrigerants*. THE INSTITUTE OF REFRIGERATION. Proc. Inst. R. 2013-14. 1-1.

Zeiger B., Gschrey B., Schwarz W., 2014. *Alternatives to HCFCs/HFC in unitary air conditioning equipment at high ambient temperatures*, Öko-Recherche, November 2014.

Zeiger B., Gschrey B., 2014. *Alternatives to HCFCs/HFC in developing countries with a focus on high ambient temperatures*. Öko-Recherche, November 2014

Kalla S.K. *, Usman J.A., 2014. *Alternative Refrigerants: A Review*. International journal of engineering sciences & research technology. June 2014: 397-401.

Abdelaziz O. et al., 2015. *Alternative Refrigerant Evaluation for High-Ambient-Temperature Environments: R-22 and R-410A*. Alternatives for Mini-Split Air Conditioners, October, 2015. ORNL/TM-2015/536.

Achaichia N. Matteo G. *Sviluppo di refrigeranti con basso impatto ambientale. Dossier sul nuovo refrigerante del futuro applicabile a molti tipi di impianti*. Disponibile su <http://www.centrogalileo.it/nuovaPA/Articoli%20tecnici/Honeywell/sviluppo%20refrigeranti.htm>

CE, 2016. *Relazione della Commissione Europea sulla disponibilità di formazione per il personale addetto all'assistenza in relazione alla manipolazione in condizioni di sicurezza di tecnologie rispettose del clima volte a sostituire l'uso di gas fluorurati ad effetto serra*. Bruxelles, 30.11.2016 COM (2016) 748 final.

Area, 2014. *Low GWP Refrigerants Guidance on minimum requirements for contractors' training & certification*. November, 2014. Rev. 2 added training facilities listù

ZerosottoZero, 2016. *Il frigorista per le scuole lombarde: installatore e manutentore di impianti a fluidi termoportanti* Disponibile su <http://www.zerosottozero.it/2016/11/15/il-frigorista-per-le-scuole-lombarde-installatore-e-manutentore-di-impianti-a-fluidi-termoportanti/> Pubblicato il 15 /11 2016.

Zilio C., 2016. *Esperienze dal mondo accademico in materia di alternative agli HFC*. Università degli studi di Padova – Scuola di Ingegneria, Dipartimento di Tecnica e gestione dei Sistemi industriali, 21 Ottobre 2016. Presentato al Workshop “Alternative agli HFC e opportunità per il sistema Italia”, Roma, 21 ottobre 2016.

<http://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/magnetic-refrigeration.asp>

Ancona M.A., Branchini L., De Pascale A., 2016. *La refrigerazione magnetica, un approccio innovativo per la riduzione delle emissioni climalteranti*. 21/06/2016.

Disponibile su <http://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/Refrigerazione-magnetica-approccio-innovativo-riduzione-delle-emissioni-climalteranti-276.html>.

Zhang M., Momen A. M., Abdelaziz O., 2016. *Preliminary Analysis of a Fully Solid State Magnetocaloric Refrigeration*. 2016. 16th International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, July 11-14, 2016

Codegoni A., 2016. *Refrigerazione magnetica: in arrivo una rivoluzione per i frigoriferi?* Pubblicato in data 25 luglio 2016. Disponibile su <http://www.qualenergia.it/articoli/20160725-refrigerazione-magnetica-arrivo-una-rivoluzione-per-frigoriferi>. Ultimo accesso Settembre 2017.

Businesswire, 2016. *Cooltech Applications Launches the First Magnetic Cooling System for Commercial Refrigeration* June 15, 2016. Disponibile su <http://www.businesswire.com/news/home/20160615005178/en>

Pastore A., 2017. *Avanza la refrigerazione magnetica* in “Industria e Formazione per il tecnico delle refrigerazione e del climatizzazione”. Organo Ufficiale del Centro Studi Galileo n. 405, pp. 33-37. (Anno XLI - N. 1 – 2017)

<http://www.frimag.it/it/homepage>

INRIM, 2016. *Si è concluso a Torino il convegno THERMAG VII*. Pubblicato in data 23/09/2016
Disponibile su <https://www.researchitaly.it/news/si-e-concluso-a-torino-il-convegno-thermag-viii/>.
<http://www.heat4u.eu/it>

HEATH4U, 2011. *Annex I. -“Description of Work”* Date of preparation of Annex I (latest version): 16/09/2011. Disponibile su [http://www.heat4u.eu/doc/publications/HEAT4U\(285158\)-Description.pdf](http://www.heat4u.eu/doc/publications/HEAT4U(285158)-Description.pdf)

http://cordis.europa.eu/project/rcn/105998_en.html

<http://www.nxthpg.eu/home/>

<http://www.nxthpg.eu/description/project-structure-and-organization>

http://cordis.europa.eu/result/rcn/165057_en.

