



Immagine libera da diritti

WP 4.2 – PRODOTTO 159727

SISTEMI DI REFRIGERAZIONE E CLIMATIZZAZIONE:

CENSIMENTO DEGLI USI E DELLE METODOLOGIE
DI CALCOLO DELLE EMISSIONI DI INQUINANTI
ATMOSFERICI E DI GAS A EFFETTO SERRA

Referenza del prodotto:

ALP'AERA – Ref. CTE 159727

Autori del documento: Sonia Oppo

Versione del documento: 1.1

Data di realizzazione della versione finale del documento: 10/07/2025

FINANZIAMENTO

Questo studio è stato reso possibile grazie al particolare sostegno finanziario dei seguenti membri:



France – Italia ALCOTRA

SOMMARIO

1	Contesto	5
2	Definizioni.....	6
3	Metodologia di calcolo delle emissioni dirette.....	10
3.1	IPCC.....	10
3.2	CITEPA.....	12
3.3	ISPRA.....	12
4	Inventari nazionali	13
4.1	HFC totali in Francia	13
4.2	HFC totali in Italia.....	13
4.3	HFC totali in Europa	14
5	Usi e prospettive.....	16
5.1	Utilizzo degli HCFC	16
5.2	Utilizzo degli HFC	16
5.3	Utilizzo dei sistemi di climatizzazione (domestica e terziaria)	17
5.4	Consumo di energia dei Data Center	21
5.5	Conseguenze sull'isola di calore urbana	21
	Conclusioni	22
	Rassegna stampa.....	24
	Bibliografia	24

1 Contesto

La presente nota è uno studio bibliografico realizzato nell'ambito del progetto europeo ALP'AERA. Questo progetto, finanziato dal programma Interreg VI-A Francia-Italia ALCOTRA 2021-2027, mira a fornire un supporto alla governance per adattarsi alle conseguenze del cambiamento climatico nelle valli alpine franco-italiane.

Un Work Package è dedicato allo stato dell'arte delle emissioni di inquinanti e di gas a effetto serra in Francia e in Italia. Particolare attenzione è rivolta alle emissioni biogeniche e al settore residenziale, due fonti di inquinamento destinate a evolversi con il cambiamento climatico.

Il presente studio bibliografico si propone di valutare l'impatto climatico determinato dall'uso della climatizzazione in Francia e in Italia, ma anche su scala mondiale. A tal fine, raccoglie gli inventari delle emissioni relativi all'argomento e analizza le prospettive future di questo settore chiave.

2 Definizioni

I sistemi di refrigerazione e di condizionamento dell'aria (**Figura 1**) sono classificati in 6 categorie **[1]** :

- Refrigerazione domestica per le famiglie;
- Refrigerazione commerciale comprendente diversi tipi di apparecchiature: dai distributori automatici ai sistemi di refrigerazione centralizzati dei supermercati;
- Processi industriali inclusi gruppi frigorifero (chiller), magazzini frigorifero e pompe di calore industriali utilizzati nel settore dell'agroalimentare, della petrolchimica e in altri settori;
- Refrigerazione per il trasporto che copre le apparecchiature e i sistemi installati nei camion frigorifero, container, unità "reefer" e carri ferroviari;
- Climatizzazione fissa, compresi i sistemi aria-aria, le pompe di calore e i chiller per edifici terziari e residenziali;
- Climatizzazione mobile per automobili, cabine di camion, autobus e treni.

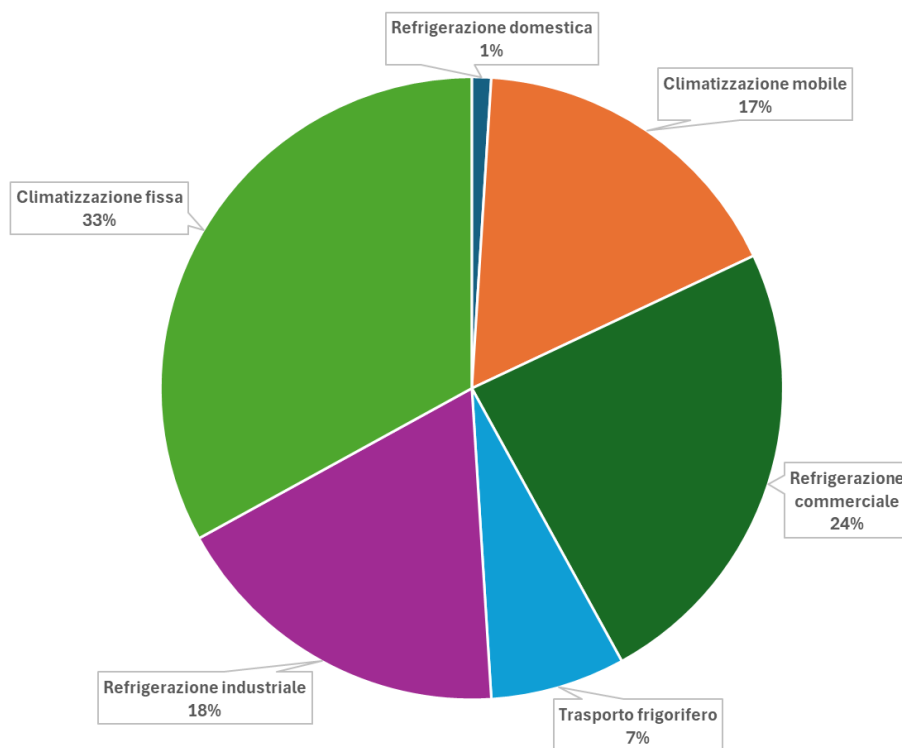


Figura 1 : Contributo dei settori alle emissioni di HFC in CO₂ equivalente nel 2022 in Francia (fonte: CITEPA, marzo 2024)

Questi sistemi di refrigerazione emettono emissioni dirette durante il loro utilizzo in caso di perdite e durante gli interventi di manutenzione. Gli inquinanti emessi direttamente da questi sistemi che utilizzano fluidi frigoriferi (**Figura 2**) sono i seguenti:

- **Idroclorofluorocarburi (HCFC) e Clorofluorocarburi (CFC):** sono famiglie di fluidi frigoriferi che sono stati ampiamente utilizzati per decenni nella refrigerazione, nel condizionamento dell'aria e come agenti propellenti negli aerosol. A causa del loro impatto ambientale, i CFC sono stati vietati fin dagli anni '90 nei paesi sviluppati, per poi essere progressivamente eliminati in tutto il mondo, in applicazione del Protocollo di Montreal (1987). Gli HCFC, meno nocivi per lo strato di ozono ma comunque problematici, sono anch'essi soggetti ad una eliminazione graduale: nell'Unione Europea, il loro uso è vietato dal 2015 e la loro completa eliminazione è prevista entro il 2030.
- **I CFC,** come il R-12 o il R-502, sono stati tra i primi fluidi utilizzati. Sono molto stabili chimicamente, caratteristica che li rendeva efficaci e duraturi negli impianti. Tuttavia, questa stabilità è anche la ragione della loro grande persistenza nell'atmosfera, dove risalgono fino alla stratosfera distruggendo lo strato di ozono che determina un effetto drammatico per la protezione dai raggi ultravioletti del sole.
- **Gli HCFC,** come il R-22, sono stati sviluppati come sostituti « meno nocivi » dei CFC. Sono formati comunque da cloro, quindi contribuiscono anch'essi alla distruzione dello strato di ozono, anche se in misura minore. Hanno inoltre un potenziale di riscaldamento globale (PRG) significativo, spesso compreso tra 1.000 e 2.500, che li rende anche dei gas serra molto potenti. I PRG dei diversi fluidi frigoriferi sono in **APPENDICE 1**.
- **Idrofluorocarburi (HFC):** sono composti chimici costituiti da idrogeno (H), fluoro (F) e carbonio (C) utilizzati come fluidi frigoriferi (refrigeranti) nel condizionamento dell'aria, nella refrigerazione e in alcune schiume isolanti. Non riducono lo strato di ozono (a differenza di CFC/HCFC), ma generalmente hanno un potenziale di riscaldamento globale (PRG) molto elevato, che li rende dei potenti gas a effetto serra, inclusi nel Protocollo di Kyoto.
- **Idrofluoroolefine (HFO):** sono molecole insature (con doppio legame C=C) composte da idrogeno, fluoro e carbonio. Rappresentano una nuova generazione di fluidi frigoriferi ma, a differenza degli idrofluorocarburi (HFC), le loro molecole possiedono un doppio legame carbonio-carbonio che le rende molto reattive nell'atmosfera. Questa instabilità le fa degradare in pochi giorni, per cui il loro potenziale di riscaldamento globale (PRG) è estremamente basso, spesso inferiore a 10, senza effetti distruttivi sullo strato di ozono. Infine, sebbene gli HFO costino ancora da due a quattro volte di più degli HFC classici, i loro prezzi stanno rapidamente diminuendo man mano che l'industria aumenta le capacità produttive.
- **Refrigeranti « naturali » / « alternativi »:** rappresentano una buona soluzione per ridurre l'impatto ambientale dei sistemi di condizionamento e refrigerazione. Il loro utilizzo si sta rapidamente sviluppando nell'industria e nel commercio, e inizia ad essere adottato anche in applicazioni residenziali, a condizione di gestire i rischi legati alle loro proprietà fisiche (tossicità, infiammabilità e rischio di esplosione). I principali refrigeranti sono ammoniaca, CO₂, propano e isobutano. Il loro uso non impoverisce lo strato di ozono e ha un impatto più contenuto sul clima.

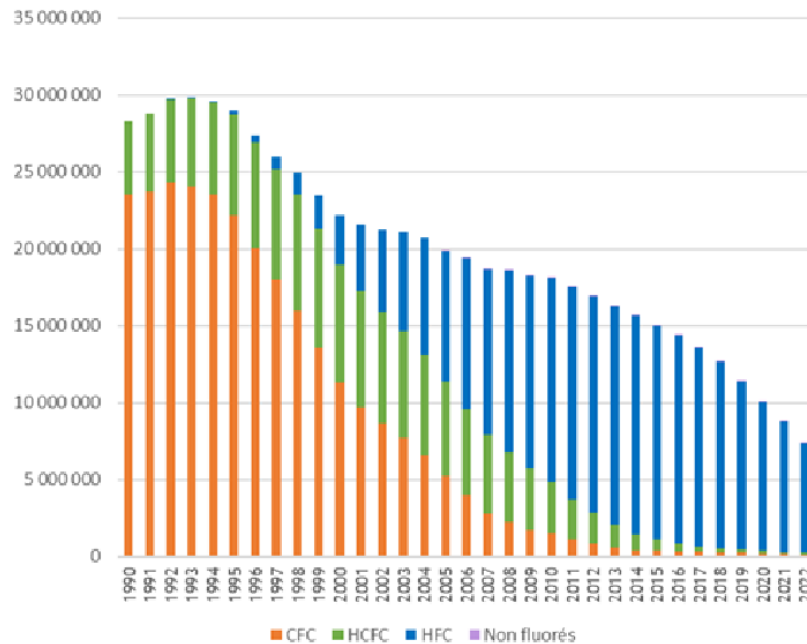


Figura 2 : Emissioni mondiali di CO₂ equivalente dei fluidi frigoriferi tra il 1990 e il 2022 (Fonte: IPCC, AR5).

Le emissioni di CFC e HCFC non devono essere riportate negli inventari dei gas serra poiché la loro progressiva eliminazione è stata stabilita dal Protocollo di Montreal e quindi non incluse nell’ambito di applicazione del Protocollo di Kyoto. Lo stesso vale per gli HFO, che non sono coperti dagli obblighi di rendicontazione della UNFCCC a causa del loro basso PRG. L’insieme dei diversi trattati ed emendamenti che regolano i gas fluorurati è riportato in **APPENDICE 2**.

Le emissioni dirette di gas serra (GES) e di inquinanti atmosferici legate all’uso di sistemi refrigerati sono dovute a perdite durante il funzionamento, durante le operazioni di manutenzione e a fine ciclo di vita, se il fluido non viene recuperato correttamente. Queste emissioni sono principalmente formate da gas serra, ma in caso di utilizzo di refrigeranti naturali sono rappresentate da inquinanti atmosferici come ammoniaca o idrocarburi. Solo gli HFC, ancora in uso, hanno un impatto significativo sul clima e devono essere considerati nel bilancio delle emissioni.

I gas serra e gli inquinanti atmosferici emessi indirettamente sono quelli legati all'uso di elettricità per far funzionare i condizionatori. Le emissioni indirette legate all'elettricità dipendono dal mix energetico di ciascun Paese, cioè dalla quota di centrali nucleari, a carbone, a gas e di energie rinnovabili nella produzione di elettricità disponibile nella rete.

3 Metodologia di calcolo delle emissioni dirette

3.1 IPCC

L'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), ha pubblicato nel 2006 un rapporto metodologico per l'inventario delle emissioni nazionali di gas serra [2]. Una revisione di questo rapporto è stata proposta nel 2019, in particolare il capitolo 7 del Volume 3, che tratta delle emissioni dei gas fluorurati utilizzati come sostituti delle sostanze che riducono lo strato di ozono.

Questo rapporto propone due tipi di metodi in base alla precisione dei dati disponibili (Tier 1 e Tier 2). Per capire quale metodo possa essere applicato alle nostre esigenze, bisogna fare riferimento all'albero decisionale presente nel rapporto (Figura 3).

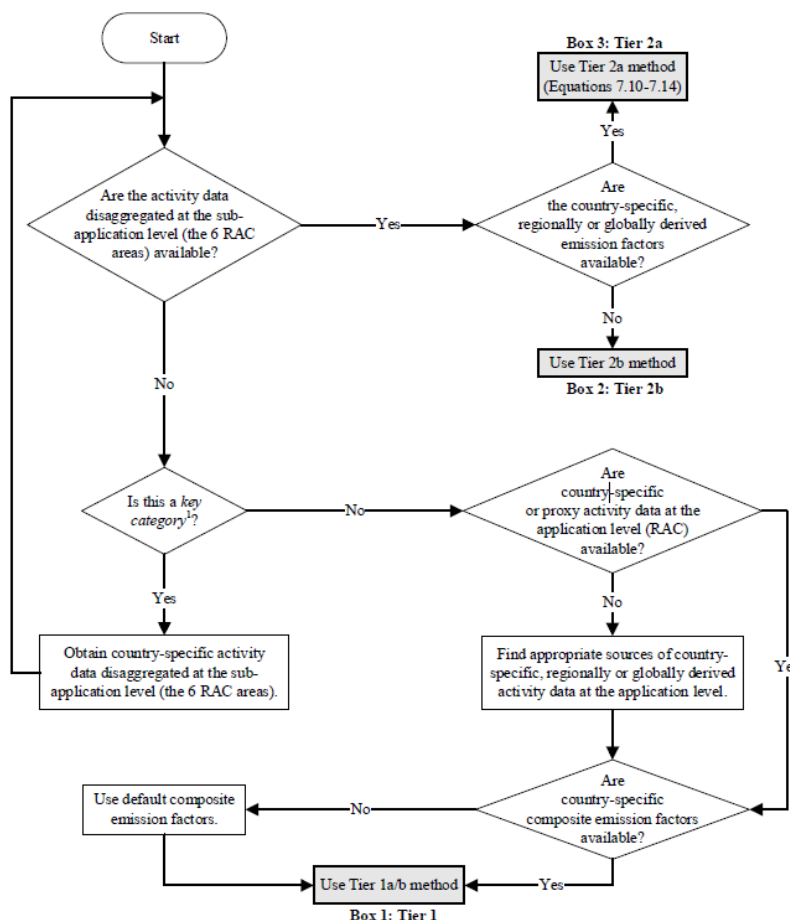


Figura 3 : Albero delle decisioni per la scelta della metodologia di calcolo delle emissioni legate alla refrigerazione e al condizionamento dell'aria.

Una volta identificato il metodo, è possibile utilizzare dei files Excel contenenti casi d’uso per il calcolo di queste emissioni:

- Tier 1: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/3_Volume3/XLS/V3_An1_Calculation_example_for_2F1.xls
- Tier 2: file « Calculation example for 2F1 (Tier 2) » disponibile nella cartella del Volume 3 (revisione 2019)

Nel file del Tier 1, i fattori di emissione (FE) sono già inseriti e non è consigliabile modificarli. Nel file del Tier 2, è possibile adattare i FE in base alle attività considerate (**Figura 4**).

TABLE 7.9 (UPDATED) DEFAULT ESTIMATES ¹ FOR CHARGE, LIFETIME AND EMISSION FACTORS FOR REFRIGERATION AND AIR-CONDITIONING SYSTEMS						
Sub-application	Charge (kg)	Lifetimes (years) ²	Emission Factors (% of initial charge/year) ³		End-of-Life Emission (%)	
Factor in Equation	(M)	(d)	(k)	(x)	($\eta_{rec,d}$)	(p)
			At Time of Charge	Annual loss, Operating Lifetime	Recovery Efficiency ⁴	Initial Charge Remaining
Domestic Refrigeration	$0.05 \leq M \leq 0.5$	$12 \leq d \leq 20$	$0.2 \leq k \leq 1$	$0.1 \leq x \leq 0.5$	$0 < \eta_{rec,d} < 70$	$0 < p < 80$
Stand-alone Commercial Applications	$0.2 \leq M \leq 6$	$10 \leq d \leq 15$	$0.5 \leq k \leq 3$	$1 \leq x \leq 15$	$0 < \eta_{rec,d} < 70$	$0 < p < 80$
Medium & Large Commercial Refrigeration	$50 \leq M \leq 2000$	$7 \leq d \leq 15$	$0.5 \leq k \leq 3$	$10 \leq x \leq 35$	$0 < \eta_{rec,d} < 70$	$50 < p < 100$
Transport Refrigeration	$3 \leq M \leq 8$	$6 \leq d \leq 9$	$0.2 \leq k \leq 1$	$15 \leq x \leq 50$	$0 < \eta_{rec,d} < 70$	$0 < p < 50$
Industrial Refrigeration including Food Processing and Cold Storage	$10 \leq M \leq 10,000$	$15 \leq d \leq 30$	$0.5 \leq k \leq 3$	$7 \leq x \leq 25$	$0 < \eta_{rec,d} < 90$	$50 < p < 100$
Chillers	$10 \leq M \leq 2000$	$15 \leq d \leq 30$	$0.2 \leq k \leq 1$	$2 \leq x \leq 15$	$0 < \eta_{rec,d} < 95$	$80 < p < 100$
Residential and Commercial A/C, including Heat Pumps	$0.5 \leq M \leq 100$	$10 \leq d \leq 20$	$0.2 \leq k \leq 1$	$1 \leq x \leq 10$	$0 < \eta_{rec,d} < 80$	$0 < p < 80$
Mobile A/C	$5 \leq M \leq 6500$ (maritime) $10 \leq M \leq 30$ (railway) $4 \leq M \leq 18$ (busses) $0.5 \leq M \leq 2$ (other MAC)	$9 \leq d \leq 16$	$0.2 \leq k \leq 0.5$	$20 \leq x \leq 40$ (maritime) $5 \leq x \leq 20$ (railway) $10 \leq x \leq 20$ (other MAC)	$0 < \eta_{rec,d} < 50$	$0 < p < 50$

Source:
¹ UNEP RTOC Reports (UNEP-RTOC, 1999; UNEP-RTOC, 2003), Japan Refrigeration and Air Conditioning Industry Association (2009), Gallagher et al (2014), Umweltbundesamt (2015). For information on mobile A/C charge and mobile A/C emission factors for annual loss during operating lifetime: Schwarz and Rhiemeier (2007) and Gallagher et al (2014).
^{2,3} Lower value for developed countries and higher value for developing countries
⁴ The lower threshold (0%) highlights that there is no recovery in some countries.

Figura 4 : Tabella contenente carica, durata e i fattori di emissione degli HFC per i sistemi di refrigerazione e condizionamento dell’aria.

3.2 CITEPA

Il CITEPA (Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique) è l'organismo francese incaricato di produrre gli inventari delle emissioni di inquinanti atmosferici e gas serra, a supporto delle politiche pubbliche ambientali.

Utilizza il metodo dettagliato « Tier 2a » raccomandato dall'IPCC per il calcolo delle emissioni nei settori del freddo e del condizionamento dell'aria.

Un rapporto **[3]** dettagliato è disponibile online in francese per applicare la metodologia a tutti i fluidi frigoriferi e non solo a quelli regolamentati.

3.3 ISPRA

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale è un organismo italiano incaricato dell'aggiornamento annuale delle emissioni atmosferiche in Italia (gas a effetto serra e inquinanti atmosferici). Utilizza anch'esso la metodologia descritta dall'IPCC, « Tier 2a ». Un rapporto recente **[4]** descrive in dettaglio l'applicazione della metodologia, nonché i risultati degli ultimi anni.

4 Inventari nazionali

4.1 HFC totali in Francia

Il CITEPA mette a disposizione i dati degli HFC totali per anno e per settore. Si può osservare che le emissioni di HFC legate all'uso del condizionamento dell'aria negli edifici (terziari o residenziali), hanno raggiunto un picco all'inizio degli anni 2010, ma sono sensibilmente diminuite dal 2018 (Figura 5).

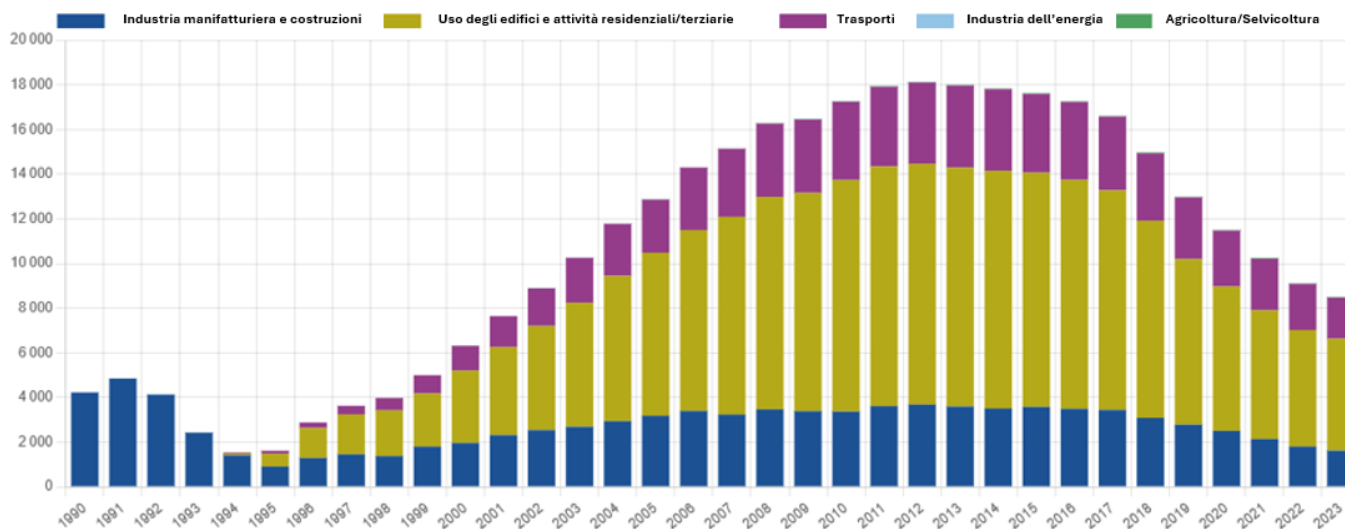


Figura 5: Evoluzione delle emissioni di HFC in kt di CO₂ equivalente tra il 1990 e il 2023 in Francia per settore (Fonte: CITEPA, 2024)

4.2 HFC totali in Italia

In Italia, le emissioni di HFC hanno raggiunto un picco tra il 2010 e il 2015 (Figura 6), fenomeno che si osserva anche in Francia. Le emissioni di HFC, espresse in CO₂ equivalente, sono attualmente marginali rispetto alle emissioni dirette di CO₂ o di metano.

GHG emissions	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022	2023
	<i>kt CO₂ equivalent</i>									
CO ₂ excluding net CO ₂ from LULUCF	438,208	448,596	469,598	501,365	435,672	361,244	302,600	335,930	340,115	312,291
CO ₂ including net CO ₂ from LULUCF	432,937	424,242	448,286	466,925	395,390	318,933	262,124	296,666	299,836	257,900
CH ₄ excluding CH ₄ from LULUCF	55,017	57,097	57,786	54,867	52,932	49,397	47,419	47,044	45,716	45,161
CH ₄ including CH ₄ from LULUCF	55,744	57,269	58,184	55,035	53,126	49,535	47,594	47,540	46,091	45,355
N ₂ O excluding N ₂ O from LULUCF	24,757	26,715	27,456	26,605	18,661	17,365	17,902	17,779	16,032	16,987
N ₂ O including N ₂ O from LULUCF	25,668	27,512	28,144	27,193	19,062	17,694	18,412	18,491	16,702	17,596
HFCs	372	1,100	3,748	9,669	12,805	12,503	10,347	9,786	9,350	8,736
PFCs	2,615	1,351	1,363	1,759	1,377	1,540	516	413	462	297
Unspecified mix of HFCs and PFCs	NA,NO	24	24	24	24	24	22	25	22	29
SF ₆	421	700	621	565	405	483	252	282	405	367
NF ₃	NA,NO	77	13	33	20	28	16	15	20	20
Indirect CO ₂	1,391	1,296	1,187	1,167	996	830	890	876	807	855
Total (excluding LULUCF, with CO₂ indirect)	522,781	536,955	561,797	596,055	522,892	443,414	379,963	412,152	412,928	384,742
Total (including LULUCF, with CO₂ indirect)	519,148	513,570	541,571	562,371	483,205	401,572	340,172	374,095	373,694	331,153

Figura 6: Emissioni di gas serra in Italia tra il 1990 e il 2023 (fonte: ISPRA, 2025).

4.3 HFC totali in Europa

Gli inventari europei riportati dall'EEA [5] mostrano anch'essi una maggioranza di gas fluorurati emessi dai sistemi di refrigerazione (Figura 7). La quota di ogni sistema di refrigerazione in questo totale di emissioni è espressa dettagliatamente in ANNEXE 1.

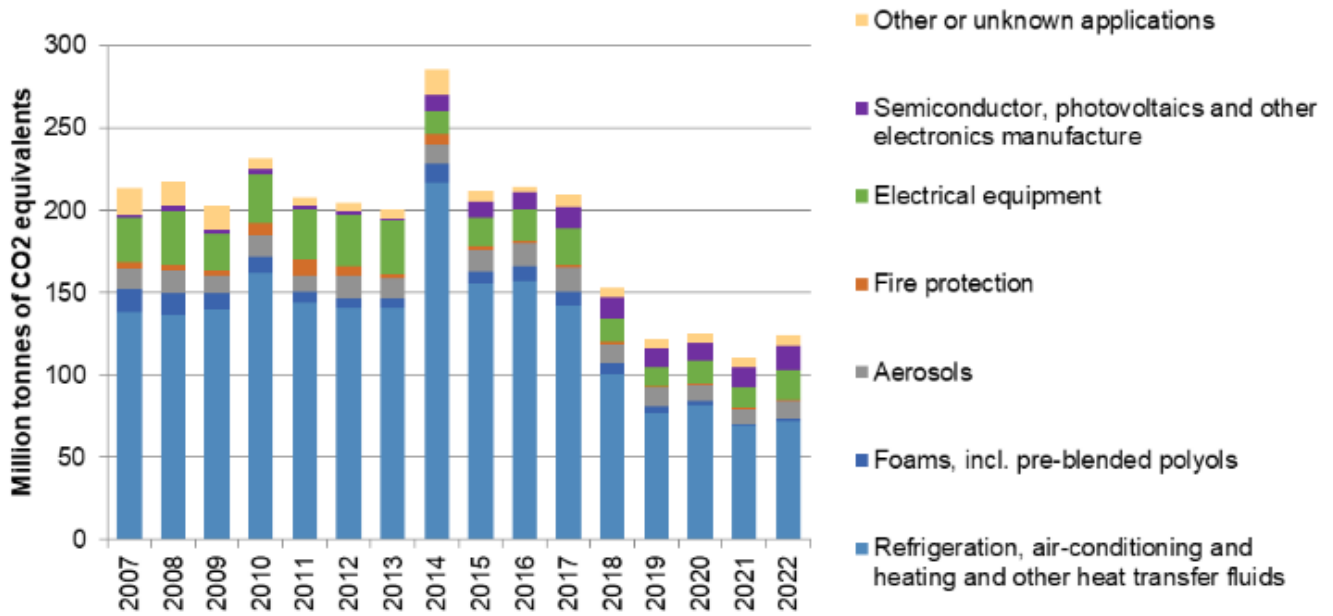


Figura 7: Evoluzione delle categorie di approvvigionamento dei gas fluorurati (in equivalente CO₂) nell'UE per tipo di attività (Fonte: EEA, 2023).

5 Usi e prospettive

5.1 Utilizzo degli HCFC

Il loro utilizzo per la messa in commercio, in particolare quello dell'HCFC-22, è vietato in Europa [6][7].

Tuttavia, un articolo scientifico pubblicato su *Nature* nel 2020 [8] mette in discussione gli sforzi fatti da Cina e India; un'altra fonte ipotizza un ritardo nell'adozione delle tecnologie di mitigazione nell'Asia orientale [9].

In effetti, gli autori stimano che vi sia un grande divario tra le emissioni calcolate negli inventari nazionali (che includono le riduzioni previste da Cina e India) e le emissioni stimate sulla base di misure atmosferiche. Si ipotizza che grandi quantità di HCFC-22 siano state prodotte e non riportate, soprattutto negli impianti non dichiarati o non identificati.

Questa produzione non registrata avrebbe determinato delle emissioni in atmosfera del sottoprodotto HFC-23, equivalenti al totale delle emissioni di gas serra della Spagna nel 2017 (302 Mt di CO₂ equivalente).

5.2 Utilizzo degli HFC

Da momento della pubblicazione delle linee guida dell'IPCC nel 2006, si è avuto un cambiamento importante nel quadro normativo relativo agli HFC. In precedenza, gli HFC, che non impoveriscono direttamente lo strato di ozono, non erano regolamentati dal Protocollo di Montreal [10].

Successivamente, durante la 28^a Riunione delle Parti (MOP28), tenutasi a Kigali (Ruanda) nell'ottobre 2016, 197 paesi hanno adottato un emendamento volto a ridurre progressivamente l'uso degli HFC [11].

Questo impegno è di fondamentale importanza per il clima, poiché si stima che le emissioni di HFC avrebbero potuto rappresentare dal 9 al 19% delle emissioni mondiali di CO₂ equivalente nel 2050 [12].

Le Parti si sono impegnate a ridurre la produzione e il consumo di HFC di oltre l'80%, ponderato in base al loro PRG, entro i prossimi 30 anni:

- I paesi sviluppati hanno iniziato a ridurre il loro consumo di HFC nel 2019.
- I paesi in via di sviluppo seguiranno, con un congelamento dei livelli di consumo tra il 2024 e il 2028.
- Un piccolo gruppo di paesi con climi particolarmente caldi (India, Pakistan, Iran, Arabia Saudita, Kuwait) congelerà il proprio consumo di HFC a partire dal 2028.

Questi limiti di produzione e consumo dovrebbero comportare modifiche significative nella quantità e nel tipo di HFC utilizzati per sostituire le sostanze che riducono lo strato di ozono. Per mantenere la stima di precisione delle emissioni di HFC negli inventari, i responsabili di essi devono familiarizzare con i limiti applicabili nel loro paese e prevedere di raccogliere i dati sull'evoluzione dell'uso e delle emissioni di HFC che ne derivano.

Una proiezione al 2035 realizzata con lo strumento RIEP da Mines ParisTech [13] per la Francia metropolitana, mostra una riduzione del livello di emissioni del 63% rispetto a quello del 2010 (Figura 8). Il settore del freddo commerciale ha registrato una diminuzione di quasi il 70%, grazie al regolamento F-Gas II, che vieta l'uso degli HFC più inquinanti per la manutenzione degli impianti di refrigerazione a partire dal 2020.

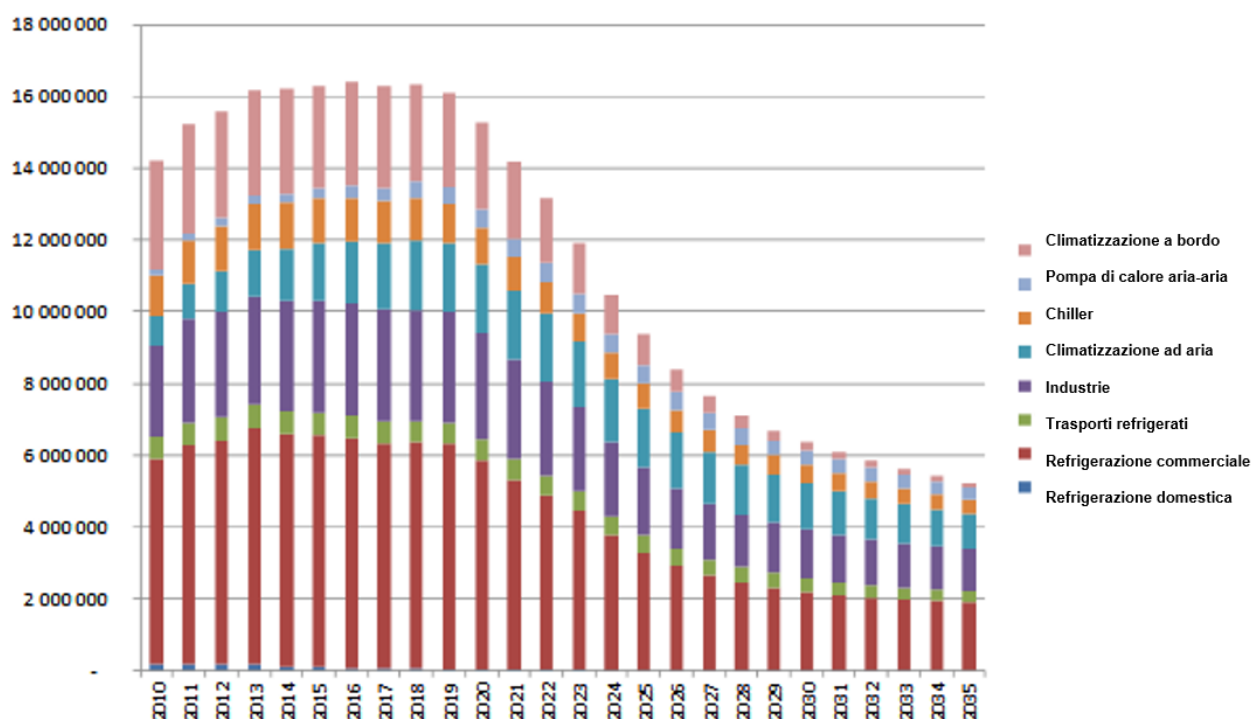


Figura 8: Evoluzione delle emissioni di HFC in tonnellate di CO₂ equivalente per settore nel quadro dello scenario F-Gas II in Francia (fonte: Mines ParisTech).

5.3 Utilizzo dei sistemi di climatizzazione (domestica e terziaria)

In Francia, l'ADEME ha condotto un'indagine [14] nel 2020 stimando, per le famiglie, un tasso di equipaggiamento del 25%. Nei dipartimenti costieri della Regione Sud, questo tasso raggiunge il 47% e il 28% nei Dipartimenti alpini francesi.

Nel nord Italia, questo tasso arriva al 49% [15], anche se le disparità regionali sono significative (**Figura 9**): meno del 5% delle famiglie possiede un sistema di climatizzazione in Valle d’Aosta. Dal 2014 si osserva una crescita costante della climatizzazione residenziale, legata ai molteplici episodi di ondate di calore. Inoltre, lo sviluppo della climatizzazione è favorito dalla reversibilità dei sistemi: i tradizionali convettori elettrici vengono sostituiti da unità reversibili utilizzate sia per il riscaldamento sia per il raffrescamento.

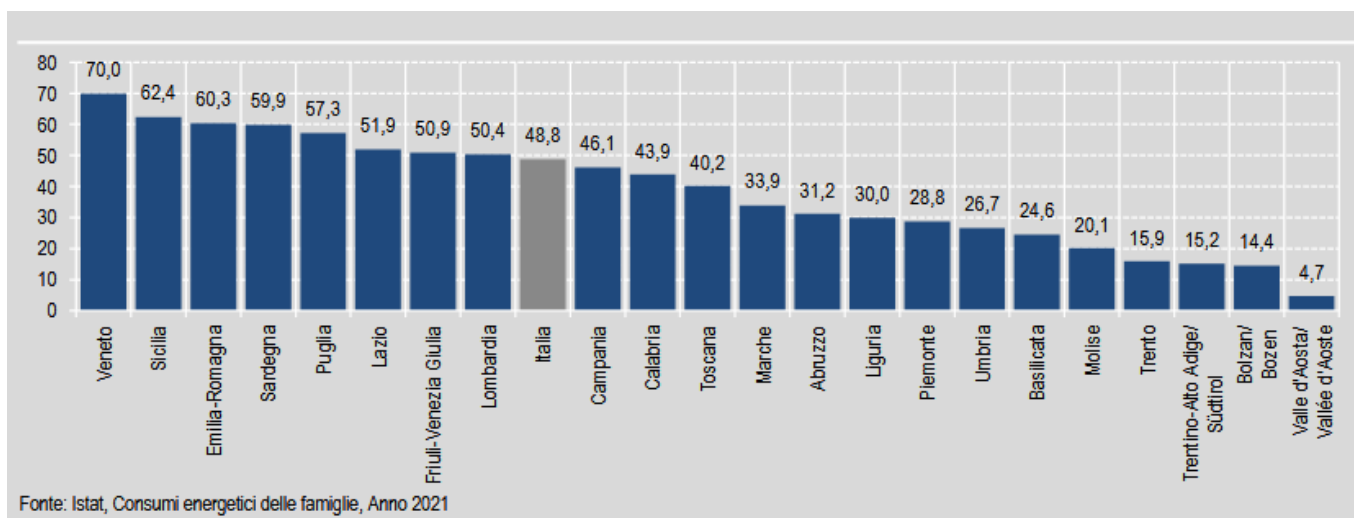


Figura 9: Percentuale di famiglie dotate di impianto di climatizzazione per Regione in Italia nel 2021 (Fonte: ISTAT).

Nel settore terziario, la quota di superfici climatizzate raggiunge il 40% in Francia. Tuttavia, la regione dell’Île-de-France e il bacino lionese ospitano la maggior parte delle superfici climatizzate, a causa del peso economico di questi territori.

In Francia, l’uso della climatizzazione nel settore terziario è predominante negli uffici, seguiti dal settore del commercio e infine dalla sanità (**Figura 10**). I fabbisogni dei Data Center arrivano ultimi nella classifica.

In Italia, l’ENEA [16] ha stimato che la climatizzazione rappresenta il 57% del consumo elettrico degli edifici terziari, primo rispetto alle apparecchiature elettriche e all’illuminazione (rispettivamente 25% e 17%).

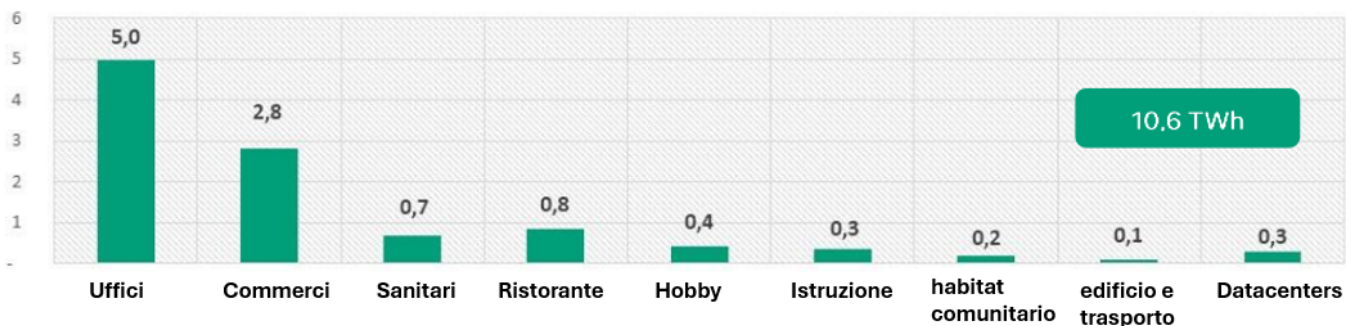


Figura 10: I consumi energetici dei diversi settori terziari nel 2020 nella Francia metropolitana (in TWh) (Fonte: ADEME, 2021).

Nel 2050, gli scenari previsti dall’ADEME portano a consumi energetici che variano considerevolmente (Figura 11). Infatti, lo scenario tendenziale “filo dell’acqua” (scenario 0) raggiunge i 41 TWh nel 2050 (contro i 16,5 TWh del 2020), in relazione alla crescita del parco abitativo (+0,3% annuo), al crescente ricorso alla climatizzazione nelle abitazioni ma anche in settori poco climatizzati come le scuole, e a una crescita del 40% delle superfici commerciali. Da notare che l’ADEME stima che nel 2050 il 95% delle superfici terziarie e residenziali sarà climatizzato in questo scenario.

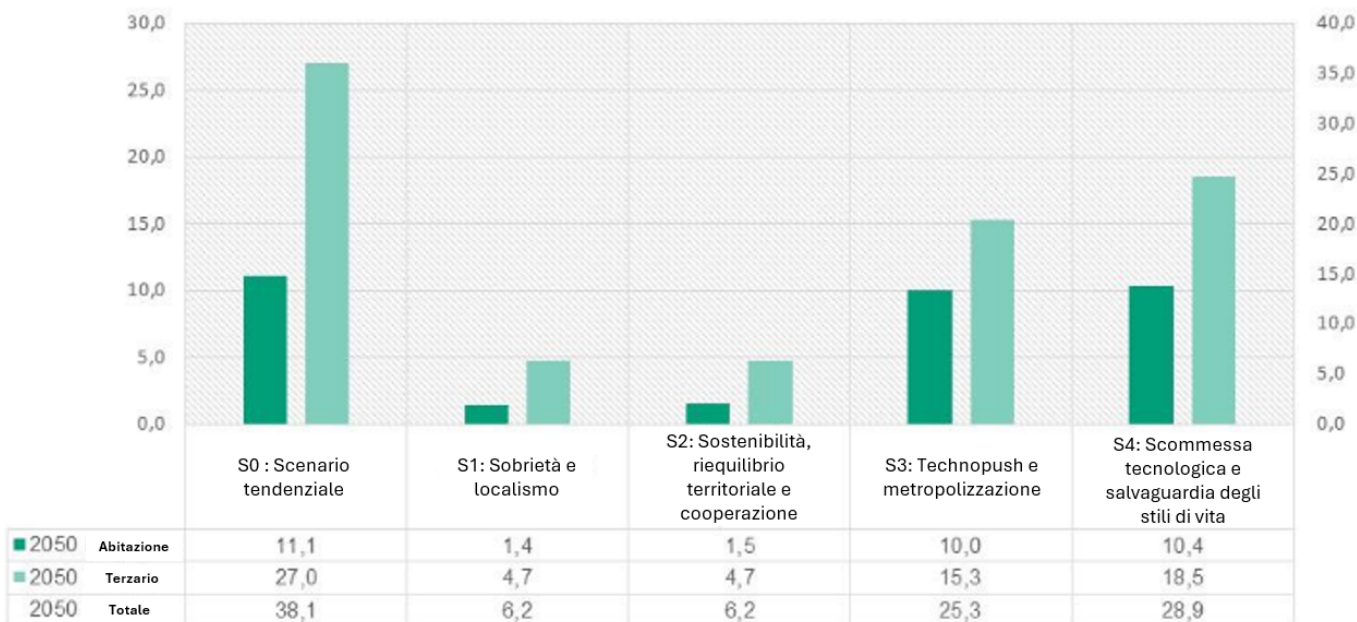


Figura 11: I consumi energetici totali associati alla climatizzazione allo scenario 2050 secondo i diversi scenari previsti.

Lo studio di prospettiva mostra anche che il ricorso a tecnologie più performanti non consente di compensare l'aumento dei consumi. Al contrario, gli scenari S0 e S1 puntano su un cambiamento significativo dei comportamenti delle famiglie e degli utenti, che porta a una riduzione importante dei consumi:

- Durata di utilizzo più breve durante i periodi di caldo (8 ore contro 12 ore nello scenario S0)
- Temperatura di riferimento interna più elevata (26°C contro 22°C)

A livello globale, le vendite di condizionatori sono triplicate negli ultimi trent'anni. Il numero di condizionatori ha raggiunto 1,5 miliardi nel 2021 e si prevede che questo numero triplichi entro il 2050.

Va notato che la quota dell'Europa nell'uso dei sistemi di climatizzazione tenderà a diventare marginale nei prossimi anni (**Figura 12**), a causa del crescente utilizzo in India e in Cina [17].

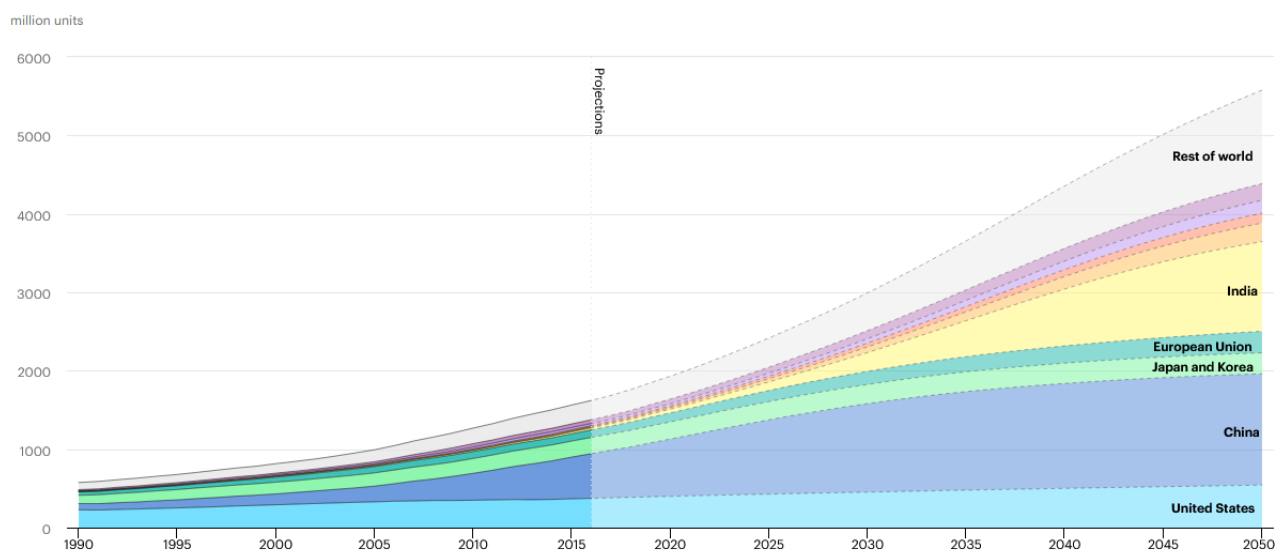


Figura 12: Stock mondiale di unità di climatizzazione tra il 1990 e il 2050 (Fonte: IEA, 2018)

Inoltre, l'IEA ha stimato che tra il periodo 2002-2004 e quello 2019-2021, il numero medio annuo di decessi legati al caldo tra le persone di 65 anni o più è aumentato del 61%, raggiungendo circa 300.000 decessi [18]. L'accesso a un raffreddamento efficace ha quindi salvato decine di migliaia di vite: nello stesso periodo, il numero medio annuo di decessi legati al caldo ma evitati grazie ai sistemi di climatizzazione è triplicato, raggiungendo circa 190.000 vite per anno salvate nel periodo 2019-2021.

5.4 Consumo di energia dei Data Center

In Francia, nel 2020, l'ADEME ha stimato un consumo energetico di 0,3 TWh legato al raffreddamento dei data center, rappresentando circa l'1% dei consumi nei servizi terziari (Figura 13). Nel 2050, anche considerando lo scenario S0, il più pessimista, questo consumo rimarrebbe stabile. Inoltre, è prevista anche una significativa crescita nell'uso della climatizzazione in altri settori (sanità, commercio, tempo libero...).

	2020			2050														
	France Métro.	DOM	Total	F Métro. S0	F Métro. S1	F Métro. S2	F Métro. S3	F Métro. S4	DOM S0	DOM S1	DOM S2	DOM S3	DOM S4	Total S0	Total S1	Total S2	Total S3	Total S4
Consommation énergétique (TWh)																		
Tertiaire	10,6	1	11,6	27	4,7	4,7	15,3	18,5	1,7	0,3	0,3	0,8	1,0	28,7	5,0	5,0	16,1	19,5
Bureaux	5,0	0,8	5,8	5,6	1,2	1,2	2,9	3,3	0,9	0,2	0,2	0,5	0,5	6,5	1,4	1,4	3,4	3,8
Commerces	2,8	0,1	2,9	5,6	1	1	3,7	4	0,3	0,1	0,1	0,2	0,2	5,9	1,0	1,0	3,9	4,2
Santé	0,7	0,04	0,7	2,4	0,5	0,5	1,1	1,5	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	2,5	0,5	0,5	1,2	1,6
Cahore	0,8	0,02	0,8	1,6	0,3	0,3	0,8	1,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	0,3	0,3	0,8	1,1
Sports, Loisirs, Culture	0,4	0,01	0,4	3,2	0,4	0,4	1,4	2,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	3,3	0,4	0,4	1,4	2,3
Enseignement	0,3	0,01	0,4	5,4	0,9	0,9	3,9	4,3	0,2	0,0	0,0	0,1	0,1	5,6	0,9	0,9	4,0	4,4
Habitat Communautaire	0,2	0,01	0,2	2,4	0,4	0,4	1	1,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,4	0,4	1,0	1,6
Transport	0,1	0,00	0,1	0,5	0,1	0,1	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,1	0,1	0,3	0,3
Datacenters	0,3	0,03	0,3	0,3	0,1	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	0,1	0,2	0,2
Résidentiel	4,9	0,4	5,3	11,1	1,4	1,5	10	10,4	1,3	0,1	0,1	1,2	1,2	12,4	1,5	1,6	11,2	11,6
Maisons individuelles	3,5	0,3	3,8	8,1	1,1	1,1	7,2	7,7	0,9	0,09	0,09	0,9	0,9	9,0	1,2	1,2	8,1	8,6
Logements collectifs	1,4	0,1	1,5	3	0,3	0,4	2,8	2,7	0,4	0,03	0,03	0,3	0,3	3,4	0,3	0,4	3,1	3,0
Résidences principales	4,2	0,38	4,6	9,3	1,3	1,4	8	8,3	1,2	0,1	0,1	1,1	1,1	10,5	1,4	1,5	9,1	9,4
Résidences secondaires	0,7	0,02	0,7	1,8	0,1	0,1	2	2,1	0,1	0,005	0,005	0,1	0,1	1,9	0,1	0,1	2,1	2,2
Emissions GES - Teq CO₂																		
Emissions de fluides (tonnes)	1856	176	2032	5092	3918	4246	4470	4618	408	287	313	388	353	5500	4205	4559	4858	4971
Emission MTeq CO ₂ - équipements	3,5	0,3	3,8	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,03	0,02	0,02	0,03	0,01	0	0,32	0,32	0,33	0,21
Emission MTeq CO ₂ - Conso. Energie	0,9	0,1	1	2	0,5	0,5	1,5	1,7	0,2	0,03	0,03	0,13	0,13	2	0,53	0,53	1,63	1,83
Emissions totales MTeq CO₂	4,4	0,4	4,8	2,4	0,8	0,8	1,8	1,9	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	2,6	0,9	0,9	2,0	2,0

Figura 13: Valutazione dei consumi e delle emissioni associate ai sistemi di climatizzazione e prospettive al 2050 in Francia (in TWh).

Così, le emissioni di gas fluorurati legate all'attività dei data center dovrebbero diminuire in Francia tra il 2020 e il 2050 grazie ai progressi tecnologici nei sistemi di climatizzazione.

5.5 Conseguenze sull'isola di calore urbana

Oltre alle emissioni dirette (derivanti dai fluidi frigoriferi) e indirette (consumo di elettricità), il ricorso alla climatizzazione influisce in modo significativo anche sulla temperatura esterna a causa del calore rilasciato dai vari sistemi all'esterno, il che rappresenta un problema nelle grandi città e aggrava l'isola di calore urbana. Diversi studi scientifici [19] hanno stimato, tramite strumenti di modellizzazione, che durante l'ondata di calore del 2003, se il tasso di dotazione di climatizzatori fosse stato del 50%, la temperatura esterna sarebbe aumentata di 2°C in alcuni quartieri di Parigi.

Conclusioni

Il presente report mette in evidenza l'importanza crescente dei sistemi di refrigerazione e di climatizzazione nei bilanci delle emissioni di gas a effetto serra (GES), in particolare attraverso l'uso di fluidi refrigeranti ad alto potenziale di riscaldamento globale (PRG). Mentre i CFC e gli HCFC sono stati progressivamente eliminati a causa del loro impatto sullo strato di ozono, gli HFC sono ancora ampiamente utilizzati e rappresentano ormai una fonte non trascurabile di gas a effetto serra. Le metodologie proposte dall'IPCC permettono una valutazione rigorosa e armonizzata di queste emissioni a livello mondiale, nazionale e persino locale.

Gli inventari mostrano tuttavia un'evoluzione contrastante a seconda dei settori e dei territori, con una diminuzione delle emissioni in alcuni ambiti grazie alle politiche europee come il regolamento F-Gas II; altri paesi faticano ancora a contenere le proprie emissioni. L'uso crescente dei sistemi di climatizzazione, in particolare nei settori residenziale e terziario, pone nuove sfide, sia in termini di efficienza energetica che di scelta dei fluidi. La tendenza all'aumento del parco climatizzatori, esacerbata dal cambiamento climatico e dagli episodi di caldo estremo, lascia prevedere un incremento continuo della domanda energetica mondiale.

In questo contesto, lo sviluppo e la diffusione di refrigeranti cosiddetti «naturali» o di nuova generazione, come gli HFO, offrono alternative promettenti. Tuttavia, la loro adozione è ancora ostacolata da sfide di natura tecnico-economica, normativa e legata alla sicurezza. Parallelamente, le proiezioni al 2050 mostrano che i soli progressi tecnologici, non saranno sufficienti a compensare l'aumento degli usi, sottolineando la necessità di agire anche sui comportamenti e sulle pratiche. Esistono numerose soluzioni, o che attendono di essere esplorate, come i sistemi di raffreddamento passivo (adiabatico diretto e indiretto) che hanno già dimostrato la loro efficacia¹, oppure, che limitano l'impatto sull'isola di calore urbana e il rilascio del calore proveniente dai sistemi di climatizzazione nel sottosuolo o nell'acqua.

¹ <https://www.adaptaville.fr/rafraichissement-adiabatique-ou-bio-climatisation-une-alternative#:~:text=Le%20rafra%C3%AEchissement%20adiabatique%20consiste%20%C3%A0,sont%20moins%20gourmands%20en%20%C3%A9nergie>

Una risposta efficace al paradosso della climatizzazione — indispensabile per far fronte al caldo, ma che contribuisce al riscaldamento globale — si basa su una strategia integrata: innovazione tecnologica, quadro normativo rigoroso, sobrietà energetica e rafforzamento dei dispositivi di controllo e monitoraggio. La posta in gioco è alta, poiché un raffreddamento sostenibile rappresenta non solo una leva di resilienza di fronte al cambiamento climatico, ma anche un imperativo di salute pubblica in molte Regioni del mondo. A titolo di esempio, in Francia, il programma «MaPrimeRénov'», destinato a migliorare l'isolamento delle abitazioni e quindi a ridurre indirettamente il consumo di riscaldamento e climatizzazione, sarà sospeso per alcuni mesi e i suoi massimali saranno rivisti al ribasso.

È dunque essenziale che le politiche pubbliche, l'industria e gli utenti affrontino congiuntamente questa problematica per conciliare comfort termico, giustizia climatica e tutela dell'ambiente.

Le metodologie di valutazione delle emissioni devono continuare a evolversi per rispecchiare le nuove pratiche e le nuove sostanze impiegate. Infine, solo una governance internazionale coerente e ambiziosa, fondata su dati precisi e trasparenti, permetterà di limitare gli impatti climatici di questi sistemi, rispondendo al tempo stesso alla crescente domanda di raffreddamento su scala globale.

Rassegna stampa

- Articolo del CITEPA «Aumento inatteso delle emissioni di HFC-23»: <https://www.citepa.org/hausse-inattendue-des-emissions-de-hfc-23/>
- Articolo di «Le Monde»: https://www.lemonde.fr/planete/article/2023/08/20/le-paradoxe-de-la-climatisation-de-plus-en-plus-necessaire-elle-aggrave-le-rechauffement_6185979_3244.html
- Articolo di Ambiente&Energia “Climatizzazione è il 57% dei consumi di energia negli uffici”: https://www.ansa.it/canale_ambiente/notizie/energia/2019/06/13/climatizzazione-e-il-57-dei-consumi-di-energia-negli-uffici_51c788a9-30a3-49f4-b0a8-ef39837b0f42.html

Bibliografia

- [1] **Bjønness, K. L., Gustafsson, T., Ishikawa, J., & Maione, M. (2019).** Emissions of fluorinated substitutes for ozone depleting substances. In 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Vol. 3, pp. 7.1–7.47). Intergovernmental Panel on Climate Change.
https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/3_Volume3/19R_V3_Ch07_ODS_Substitutes.pdf
- [2] **Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2019).** 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IPCC.
<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>
- [3] **Alliance Froid Climatisation Environnement (AFCE). (2024).** Inventaire des émissions de fluides frigorigènes pour la France métropole – Résultats 2022 et estimation provisoire. AFCE.
<https://www.afce.asso.fr/rapport-fluides-frigorigenes-septembre-2024/afce.asso.fr+7>
- [4] **ISPRA (2025).** National Inventory Report 2025: Italy – Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol (Rapporto ISPRA 411/2025)
https://emissioni.sina.isprambiente.it/wp-content/uploads/2025/04/NID_2025_Italy_Rapporto_411_2025.pdf
- [5] **European Environment Agency. (2020).** Fluorinated greenhouse gases 2020 (EEA Report No 15/2020).
<https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/fluorinated-greenhouse-gases-2020>
- [6] **Union européenne. (2009).** Règlement (CE) n° 1005/2009 du Parlement européen et du Conseil du 16 septembre 2009 relatif à des substances qui appauvrissent la couche d’ozone. Journal officiel de l’Union européenne, L 286, 1–30
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A32009R1005>
- [7] **World Bank. (2018).** China HCFC Phaseout Project Stage II (P156397).
<https://documents1.worldbank.org/curated/en/666591522341014010/pdf/ITM00194-P156397-03-29-2018-1522341008764.pdf>
- [8] **Stanley, K. M., Say, D., Mühle, J., Harth, C. M., Krummel, P. B., Young, D., O’Doherty, S. J., Salameh, P. K., Simmonds, P. G., Weiss, R. F., Prinn, R. G., Fraser, P. J., & Rigby, M. (2020).** Increase in global emissions of HFC-23 despite near-total

expected reductions. Nature Communications, 11, 397.

<https://doi.org/10.1038/s41467-019-13899-4>

[9] Simmonds, P. G., Rigby, M., McCulloch, A., Vollmer, M. K., Henne, S., Mühle, J., O'Doherty, S., Manning, A. J., Krummel, P. B., Fraser, P. J., Young, D., Weiss, R. F., Salameh, P. K., Harth, C. M., Reimann, S., Trudinger, C. M., Steele, L. P., Wang, R. H. J., Ivy, D. J., Prinn, R. G., Mitrevski, B., and Etheridge, D. M. (2018). Recent increases in the atmospheric growth rate and emissions of HFC-23 (CHF₃) and the link to HCFC-22 (CHClF₂) production, Atmos. Chem. Phys., 18, 4153–4169, <https://doi.org/10.5194/acp-18-4153-2018>

[10] Montreal Protocol on Substances That Deplete the Ozone Layer. (1987). Montreal Protocol on Substances That Deplete the Ozone Layer, adopted in Montreal on 16 September 1987. United Nations Treaty Collection. <https://treaties.un.org/doc/Publication/UNTS/Volume%201522/volume-1522-I-26324-English.pdf>

[11] United Nations Environment Programme. (2016). Amendment to the Montreal Protocol on Substances That Deplete the Ozone Layer, Kigali, 15 October 2016 <https://ozone.unep.org/treaties/kigali-amendment>

[12] Velders, G. J. M., Fahey, D. W., Daniel, J. S., McFarland, M. & Andersen, S. O., 2009. The large contribution of projected HFC emissions to future climate forcing. Proc. Natl Acad. Sci. USA 106, 10949–10954

[13] Barrault, S., & Nemer, M. (2015). F-GAS II regulation and refrigerant emission forecasts in France. MINES ParisTech, Centre d'efficacité énergétique des systèmes. <https://www.ces.minesparis.psl.eu/Donnees/data10/1089-F-GasII-and-refrigerant-emissions-forecast-in-France.pdf>

[14] ADEME & CODA STRATEGIES. (2021). La climatisation dans le bâtiment : État des lieux et perspectives 2050. ADEME. <https://bibliothèque.ademe.fr/batiment/5182-la-climatisation-dans-le-batiment.html>

[15] ISTAT. (2022). Consumi energetici delle famiglie – Anno 2021 <https://www.istat.it/it/files/2022/06/REPORT-CONSUMI-ENERGETICI-FAMIGLIE-2021-DEF.pdf>Wikipedia+7

[16] De Pasquale, A., Santino, D., Martini, F., & Ferrari, S. (2019). Benchmark di consumo energetico degli edifici per uffici in Italia [Rapport monographique]. ENEA. <https://www.media.enea.it/component/downloads/?task=download.send&id=307&Itemid=101>

[17] International Energy Agency. (2018). The future of cooling: Opportunities for energy-efficient air conditioning. <https://www.iea.org/reports/the-future-of-cooling>

[18] International Energy Agency. (2023). Sustainable, affordable cooling can save tens of thousands of lives each year. <https://www.iea.org/reports/sustainable-affordable-cooling-can-save-tens-of-thousands-of-lives-each-year>

[19] Tréméac, B., Bousquet, P., de Munck, C., Pigeon, G., Masson, V., Marchadier, C., Merchat, M., Poef, P., & Meunier, F. (2012). Influence of air conditioning management on heat island in Paris air street temperatures. Applied Energy, 95, [numéros de page non précisés].

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.02.015>

APPENDICI

APPENDICE 1 Potenziale di Riscaldamento Globale (PRG) delle diverse sostanze utilizzate nella refrigerazione e climatizzazione.

SUBSTANCE	FORMULE CHIMIQUE	PRG A HORIZON 100 ANS		
		2 ND RAPPORT (SAR)	4 ^E RAPPORT (AR4)	5 ^E RAPPORT (AR5)
Substances relatives au Protocole de Montréal				
CFC-11	CCl ₃ F	3 800	4 750	4 660
CFC-12	CCl ₂ F ₂	8 100	10 900	10 200
HCFC-22	CHClF ₂	1 500	1 810	1 760
Hydrofluorocarbures (HFC)				
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	1 300	1 430	1 300
HFC-143a	CH ₃ CF ₃	3 800	4 470	4 800
HFC-152a	CH ₃ CHF ₂	140	124	138
HFC-125	CHF ₂ CF ₃	2 800	3 500	3 170
HFC-32	CH ₂ F ₂	650	675	677
HFC-23	CHF ₃	11 700	14 800	12 400

Figura 14 : Evoluzione del PRG dei principali CFC, HCFC e HFC utilizzati nella refrigerazione e climatizzazione.

APPENDICE 2 Regolamentazione relativa ai gas fluorurati

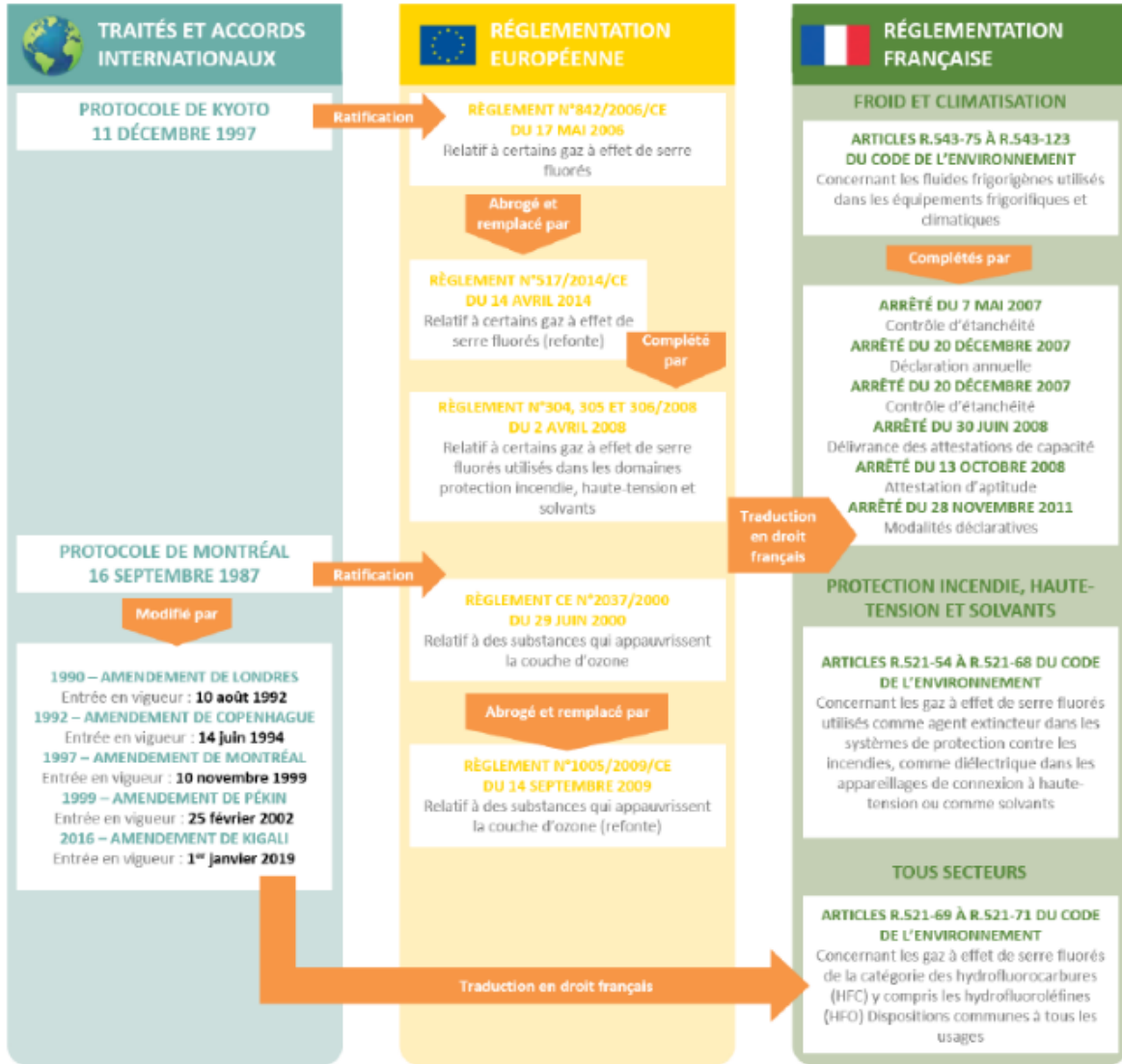


Figura 15 : Riepilogo dei trattati, accordi e normative vigenti in materia di gas fluorurati (fonte: ADEME).

ANNEXE 1 Distribuzione dell'uso dei gas fluorurati in Europa nei sistemi di refrigerazione.

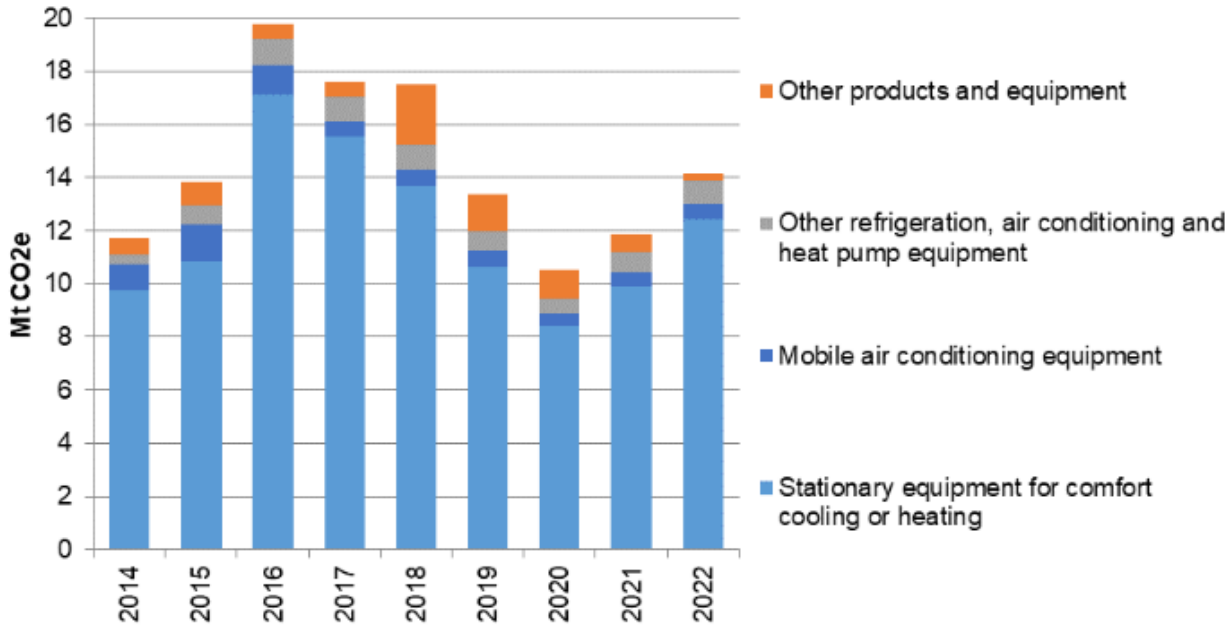


Figura 16 : Evoluzione delle categorie di approvvigionamento di gas fluorurati contenuti in prodotti e apparecchiature frigorifere (in equivalente CO₂) nell'UE (Fonte: EAA, 2023).