

COMMISSIONE VIII
AMBIENTE, TERRITORIO E LAVORI PUBBLICI

RESOCONTO STENOGRAFICO

INDAGINE CONOSCITIVA

10.

SEDUTA DI MERCOLEDÌ 31 MAGGIO 2023

PRESIDENZA DEL PRESIDENTE MAURO ROTELLI

INDICE

	PAG.		PAG.
Sulla pubblicità dei lavori:		Arzà Andrea, <i>presidente di Federchimica Assogasliquidi</i>	3, 5
Rotelli Mauro, <i>presidente</i>	3	Migliorini Silvia, <i>direttore di Federchimica Assogasliquidi</i>	6
INDAGINE CONOSCITIVA SULL'IMPATTO AMBIENTALE DEGLI INCENTIVI IN MATERIA EDILIZIA			
Audizione, in videoconferenza, di rappresentanti di Federchimica-Assogasliquidi:		ALLEGATO: Documentazione depositata dai rappresentanti di Federchimica-Assogasliquidi	7
Rotelli Mauro, <i>presidente</i>	3, 5, 6		

N. B. Sigle dei gruppi parlamentari: Fratelli d'Italia: FdI; Partito Democratico - Italia Democratica e Progressista: PD-IDP; Lega - Salvini Premier: Lega; MoVimento 5 Stelle: M5S; Forza Italia - Berlusconi Presidente - PPE: FI-PPE; Azione - Italia Viva - Renew Europe: A-IV-RE; Alleanza Verdi e Sinistra: AVS; Noi Moderati (Noi con L'Italia, Coraggio Italia, UDC e Italia al Centro) - MAIE: NM(N-C-U-I)-M; Misto: Misto; Misto-Minoranze Linguistiche: Misto-Min.Ling.; Misto-+Europa: Misto-+E.

PAGINA BIANCA

PRESIDENZA DEL PRESIDENTE
MAURO ROTELLI

La seduta comincia alle 14.45.

Sulla pubblicità dei lavori.

PRESIDENTE. Avverto che la pubblicità dei lavori sarà assicurata anche mediante la resocontazione stenografica e la trasmissione attraverso la *web-tv* della Camera dei deputati.

**Audizione di rappresentanti di FEDER-
CHIMICA-ASSOGASLIQUIDI.**

PRESIDENTE. L'ordine del giorno reca l'audizione di rappresentanti di Federchimica-Assogasliquidi.

Ringrazio il presidente Andrea Arzà e la direttrice Silvia Migliorini per la partecipazione ai nostri lavori e cedo loro la parola per lo svolgimento della relazione.

ANDREA ARZÀ, *presidente di FEDER-CHIMICA-ASSOGASLIQUIDI*. Cercherò di essere molto veloce, visto che abbiamo prodotto una memoria.

Assogasliquidi-Federchimica rappresenta tutta la filiera della distribuzione del gas di petrolio liquefatto, con oltre 3 milioni di tonnellate distribuite sia per usi domestici che industriali sia per il settore autotrazione.

Rappresenta circa 1,6 miliardi di valore aggiunto, con un miliardo di valore versato allo Stato e 28 mila dipendenti oltre a quelli dell'indotto.

Le stazioni di servizio in Italia sono uno dei *network* più importanti che abbiamo in Europa e pertanto rappresentiamo in questo momento il segmento più importante

tra le alimentazioni alternative nel settore automobilistico.

Andrei subito alle tematiche di natura ambientale relative alla nostra presentazione parlando delle emissioni.

Vogliamo sottolineare come delle emissioni in atmosfera il 55 per cento del particolato (dati fonte ISPRA) sono derivanti dal settore del riscaldamento e di queste emissioni oltre il 99 per cento è riconducibile a emissioni di particolato di PM10 derivante dall'impiego di biomassa legnosa.

Relativamente agli impianti del settore di riscaldamento domestico, è ormai dimostrato da numerosi studi e ricerche scientifiche che gran parte delle emissioni di particolato polveri sottili è attribuibile al riscaldamento domestico alimentato a biomassa legnosa, legna e pellet.

Nel documento trovate le tabelle, io evito di illustrarle, vado per sommi capi.

I dati di ISPRA e le conclusioni dello studio del Prepair sono confermati dallo studio comparativo sulle emissioni di apparecchi a gas (GPL, gasolio e pellet) condotto da Innovhub, stazione sperimentale per l'industria, dal quale emerge inoltre che la combustione di biomassa legnosa è caratterizzata da emissioni di sostanze cancerogene quali il benzo(a)pirene.

Per quanto riguarda il settore del riscaldamento domestico, se vogliamo entrare nel merito di una tabella comparativa, considerando i diversi generatori di calore alimentati a biomassa solida e certificati 5 stelle – che significa il massimo della tecnologia oggi disponibile sul mercato – nel confronto con le caldaie a gas emerge chiaramente come i fattori emissivi dei generatori di calore a biomassa solida, anche considerando l'apparecchio di ultima tecnologia come dicevo poc'anzi, siano caratterizzati da fattori emissivi di diversi ordini

di grandezza superiori per ogni categoria di inquinante, fino a cento volte.

Sempre per brevità risparmio tutta la questione relativa alle comparazioni sul *Life Cycle Assessment*, dalle quali però risulta in ogni modo molto chiaro che anche l'utilizzo del vettore elettrico, come forma di alimentazione di una pompa idronica, non risulterebbe vantaggioso, e il GPL risulta migliore rispetto alla scelta elettrica in dieci delle sedici categorie esaminate.

Per quanto riguarda gli sviluppi che la nostra industria sta facendo, e quindi per rispondere alle necessità di traguardare gli obiettivi di decarbonizzazione posti a livello comunitario, l'industria del gas sta ponendo in essere investimenti per avere sempre più disponibilità di gas rinnovabili di origine bio o sintetica.

L'obiettivo dell'industria del GPL è di arrivare al 2030 ad avere la disponibilità di un prodotto costituito da almeno il 40 per cento di fonti rinnovabili anche per il settore del riscaldamento domestico e più in generale degli utilizzi civili, industriali e agricoli.

Per raggiungere gli obiettivi non sono necessari divieti, come quello che la Commissione europea vorrebbe introdurre dal 2029 per la commercializzazione delle caldaie a gas.

La sostituzione dello *stock* esistente con apparecchi efficienti e alimentati a gas rinnovabili è un'opportunità per decarbonizzare gli edifici in maniera efficace sotto il profilo costi e benefici e si colloca a pieno titolo fra le altre soluzioni efficienti. E vorrei aggiungere, tra l'altro, con un impatto sociale nettamente inferiore.

Il gas decarbonizzato deve avere un ruolo chiave nel settore del riscaldamento in parallelo a quello dell'elettricità.

Gli studi preparatori per la revisione della normativa in materia di *ecodesign* indicano che se tutto lo *stock* di caldaie a gas convenzionali fosse sostituito con nuove caldaie a gas a condensazione ci sarebbe un risparmio energetico di 463 PJ e che il risparmio in termini di emissioni sarebbe di 23 milioni di tonnellate di CO₂ equivalente.

L'impiego di gas rinnovabili (biometano, bioGPL, DME rinnovabile e idrogeno) rafforzerebbe tali risparmi.

Le capillarità delle reti gas italiane e il numero di impianti residenziali serviti anche al di fuori delle reti costituiscono un potenziale imprescindibile per il raggiungimento degli obiettivi 2030-2050 di decarbonizzazione e di *share* di rinnovabili.

L'incremento della disponibilità di gas rinnovabili, anche tramite specifiche misure di incentivo, consente la piena valorizzazione della rete e delle infrastrutture di stoccaggio e distribuzione già esistenti, con minore impatto per l'erario e per i consumatori.

Cosa chiediamo ?

Chiediamo di sostenere lo sviluppo dei gas rinnovabili per il riscaldamento, la produzione di acqua calda e l'uso cottura negli edifici; ottenere il riconoscimento delle quote rinnovabili per il gas nella valutazione dei fattori di conversione utilizzati per l'etichettatura energetica e nelle valutazioni delle coperture di fonti rinnovabili negli edifici (regolamento Labelling, direttive Red, EED, EPBD, eccetera); definire incentivi dedicati a tecnologie *green gas ready*, dare certezze al settore riconoscendo l'importanza dei gas rinnovabili nel settore del riscaldamento residenziale al fine di garantire il pieno sviluppo di investimenti anche privati in tale segmento di attività.

È necessario che vengano adottate misure finalizzate a rivedere in maniera consistente le attuali politiche di incentivi fiscali, attraverso l'incentivazione delle iniziative di produzione di prodotti gassosi, bio e rinnovabili da utilizzare anche in purezza (bioGPL o biometano anche liquefatto, bioGNL) o in miscele con i gas tradizionali, come ad esempio il dimetiletere da processi biologici o di *carbon recycling*, per ridurre l'impronta carbonica fino ai livelli indicati ai fini della neutralità carbonica della direttiva RED III.

Chiediamo l'incentivazione della sostituzione delle caldaie a gas più vetuste con le moderne caldaie a condensazione, peraltro già pronte e certificate per essere alimentate con gas rinnovabili; l'eliminazione e la riduzione dell'IVA applicabile all'ac-

quisto di pellet; la revisione sostanziale delle disposizioni del conto termico, per prevedere che le misure di incentivo ivi previste si applichino esclusivamente per la sostituzione di impianti vetusti a legna o pellet con analoghi impianti a biomassa, ma solo se certificati 5 stelle, ai sensi del decreto ministeriale 186; l'esclusione della possibilità di accedere alle detrazioni fiscali a favore della biomassa, di cui ai punti precedenti, quando l'unità abitativa è già servita da un impianto di riscaldamento a gas (metano o GPL).

Questo è quanto volevamo rappresentare, anche nello spirito di ottimizzare i tempi delle audizioni.

PRESIDENTE. Grazie. Non ho richieste di intervento, ma le faccio io una domanda.

Lei è andato molto veloce, quindi abbiamo avuto qualche difficoltà nel seguire tutte le indicazioni che ci ha dato per le numerose tabelle che ci ha fornito. Però quello che volevo cercare di capire, mi sembra che ci sia in una di queste *slide*, adesso non mi ricordo quale, una comparazione tra il GPL e le pompe di calore e una parametrizzazione, a seconda che l'energia elettrica fosse presa dalla rete nazionale oppure da produzione di fotovoltaico. Io non so se riusciamo a prendere questa *slide*. Comunque lei ha capito esattamente qual è.

Mi sembra che ci fosse in quella *slide* una valutazione da parte vostra di una migliore efficienza dal punto di vista energetico e soprattutto di emissioni in tutti e due i casi, sia nella produzione di energia elettrica con fotovoltaico sia di quella, addirittura ancora di più, fornita dalla rete nazionale.

La *slide* è quella intitolata « risultati analisi LCA sui diversi combustibili per riscaldamento », con il confronto tra la filiera GPL a sinistra e la pompa di calore a destra, con energia elettrica prelevata dalla rete nazionale oppure prodotta da pannelli fotovoltaici, e ci sono dei riferimenti.

L'ultima cosa proprio veramente molto veloce: combustione da caminetto chiuso dentro casa a uso domestico (legna o biomassa, adesso questo lo decida lei) anche lei lì aveva dei dati. Quant'è il livello di

produzione di CO₂ rispetto alla filiera di GPL con caldaia di ultima generazione ?

Mi interessano queste due questioni, che mi sembrano anche particolarmente diffuse nel nostro Paese.

ANDREA ARZÀ, presidente di FEDERCHIMICA-ASSOGASLIQUIDI. Si tratta dello studio sul *Life Cycle Assessment*, che non si limita a considerare le emissioni dirette ma considera le emissioni di CO₂ nell'intero ciclo di vita.

Perché viene utilizzato un parametro come la fonte rete nazionale ? Perché nel *mix* energetico di produzione di energia elettrica viene considerato il fatto che noi utilizziamo largamente fonti fossili e alcune di queste fonti fossili sono particolarmente inquinanti, anche da un punto di vista della CO₂.

Il nostro Paese nel 2022 ha aumentato il ricorso all'uso del carbone per produrre energia elettrica.

È evidente che, se la fonte è questa, il GPL rappresenta di per sé un risultato molto più vantaggioso nell'analisi dei parametri che vengono lì indicati.

Quindi è per questa ragione che lo studio sottolinea che per i punti esaminati e che vengono indicati puntualmente (io non mi dilungo nell'analisi perché non ci staremmo con i tempi, però lo potete esaminare); sui singoli parametri esaminati si denota che per la maggioranza di questi il GPL risulta nel ciclo di vita avere delle *performance* di emissioni ambientali e anche di CO₂ migliorative.

PRESIDENTE. Mi scusi, ma questo anche con l'utilizzo dell'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili come il fotovoltaico ? Perché sull'energia elettrica da rete nazionale mi è assolutamente chiaro, il quesito io lo faccio su quella prodotta dal fotovoltaico.

ANDREA ARZÀ, presidente di FEDERCHIMICA-ASSOGASLIQUIDI. Nella comparazione con l'impianto fotovoltaico vengono considerati i luoghi di produzione dei pannelli, i costi ambientali per il riciclo dei pannelli, vengono considerati tutti quegli

elementi che fanno sì che ci siano degli elementi che facciano preferire il GPL anche in quella fattispecie.

SILVIA MIGLIORINI, *direttore di FEDERCHIMICA-ASSOGASLIQUIDI*. Posso integrare presidente, se mi consente?

PRESIDENTE. Sì, prego.

SILVIA MIGLIORINI, *direttore di FEDERCHIMICA-ASSOGASLIQUIDI*. Quello che dice il dottor Arzà è particolarmente vero, ovviamente se volete possiamo mandare lo studio integrale da cui questi dati sono stati tratti, che è fatto dal Politecnico di Milano.

L'analisi è stata fatta su più matrici ambientali, come vedete nella colonna sinistra della tabella contenuta nella *slide*. Quindi nel caso di utilizzo di una pompa di calore, utilizzando il 100 per cento dell'energia prodotta da pannelli fotovoltaici, la produzione del pannello fotovoltaico incide su alcune matrici ambientali, una tra queste, per esempio, è la qualità delle acque, proprio per il materiale che viene utilizzato; quindi dall'analisi sull'intero ciclo di vita del pannello e poi della fonte ener-

gica che viene prodotta e che alimenta la pompa di calore, abbiamo questa previsione di preferenza di GPL su quattro delle sedici categorie, ossia le matrici ambientali, che il Politecnico di Milano ha analizzato.

PRESIDENTE. Vi ringraziamo. È un elemento molto interessante perché è uno degli aspetti che ha anche governato una scelta di efficientamento di molti edifici, quella di elettrificarli al 100 per cento, una elettrificazione quanto più spinta possibile, con un utilizzo intenso o intensivo di pompe di calore. Quindi se potete condividere con noi questo studio, noi ve ne saremmo veramente grati e lo distribuiremo ai commissari della Commissione ambiente.

Vi ringrazio, ringrazio il presidente Arzà e la direttrice Migliorini per il contributo reso ai nostri lavori e per i documenti depositati, di cui autorizzo la pubblicazione in allegato alla seduta odierna (*vedi allegato*). Dichiaro conclusa l'audizione.

La seduta termina alle 15.

*Licenziato per la stampa
il 7 luglio 2023*

STABILIMENTI TIPOGRAFICI CARLO COLOMBO

ALLEGATO

**Documentazione depositata dai rappresentanti di FEDERCHIMICA-
ASSOGASLIQUIDI.**



Indagine conoscitiva sull'impatto ambientale degli incentivi in materia edilizia.

***Audizione presso Commissione Ambiente
Camera dei Deputati***

Federchimica Assogasliquidi

31 maggio 2023

Federchimica Assogasliquidi

FEDERCHIMICA ASSOGASLIQUIDI è l'Associazione nazionale delle Imprese produttrici, importatrici, e distributrici di GPL (gas di petrolio liquefatto) e GNL (gas naturale liquefatto) per uso combustione ed autotrazione, impegnate in tutta la filiera dei gas liquefatti: dalle infrastrutture di approvvigionamento fino alla distribuzione alle utenze finali.

Aderiscono all'Associazione anche imprese operanti in attività collegate ai suddetti settori, quali:

- costruzione di apparecchi e recipienti per l'utilizzo del prodotto
- costruzione di mezzi di trasporto e relativa componentistica
- progettazione, costruzione e manutenzione impianti per la movimentazione
- manutenzione e riqualifica di recipienti fissi e mobili per lo stoccaggio ed il trasporto
- attività di servizio inerenti l'ambiente e la sicurezza
- attività di trasporto

ASSOGASLIQUIDI
Associazione nazionale imprese gas di petrolio liquefatti

Federchimica Assogasliquidi

Assogasliquidi nasce nel 1995 per rappresentare le istanze del settore del GPL e dal 2013 ha assunto la rappresentanza anche delle Imprese del settore del GNL.

Ad oggi le aziende associate sono 97 con una presenza territoriale capillare e con filiali ed infrastrutture di stoccaggio e di distribuzione situate su tutto il territorio nazionale, isole comprese.

Le Imprese di Assogasliquidi sono presenti in tutta la filiera di approvvigionamento e di distribuzione fornendo servizi di:

- LOGISTICA,
- STOCCAGGIO E DEPOSITO
- TRASPORTO DEI PRODOTTI
- IMPIANTISTICA
- COMPONENTISTICA
- DISTRIBUZIONE INTERMEDIA E FINALE

ASSOGASLIQUIDI
Associazione nazionale imprese gas di petrolio liquefatti

Il Settore del GPL

Gli impatti generati in Italia

COMBUSTIONE

Anno 2021: 1.702.000 tonnellate *
Anno 2022: 1.592.000 tonnellate *



1,4 mld € di valore aggiunto



Circa 600 mln € versati allo Stato



Circa 21.000 posti di lavoro, oltre l'indotto costituito da tutti i rivenditori dettaglianti

AUTOTRAZIONE

Anno 2021: 1.416.000 tonnellate *
Anno 2022: 1.535.000 tonnellate *



196 mln € di valore aggiunto



Circa 400 mln € versati allo Stato



Circa 7.000 posti di lavoro, oltre l'indotto costituito da tutte le officine di autoriparazione

- fonte: Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza energetica. Altri dati riportati — Fonte: Rielaborazione Assogasliquidi su dati Rapporto E&Y «La valutazione degli impatti del settore del GPL in Italia»

I numeri dei settori

GPL *

- circa 493 imprese
- circa 7 milioni di famiglie servite dal GPL
- 380 depositi di stoccaggio ed imbottigliamento
- circa 1,5 milioni piccoli serbatoi installati
- oltre 28 milioni di bombole
- 704 comuni serviti da reti canalizzate
- circa 4.600 punti vendita (presenti su tutto il territorio nazionale, comprese le isole)
- circa 3 milioni di veicoli circolanti

GNL * *

- 2 depositi Small Scale
- 140 distributori GNL/GNL
- 12 distributori GNL/GNC
- 48 utenze offgrid
- 88 reti isolate

* dati MISE/MITE, ARERA, Ecomotori (2021) , ACI (2020), Quattroruote (2022), rielaborazione Federchimica Assogasliquidi

* * dati Ref-e (rapporto 2021), rielaborazione Federchimica Assogasliquidi



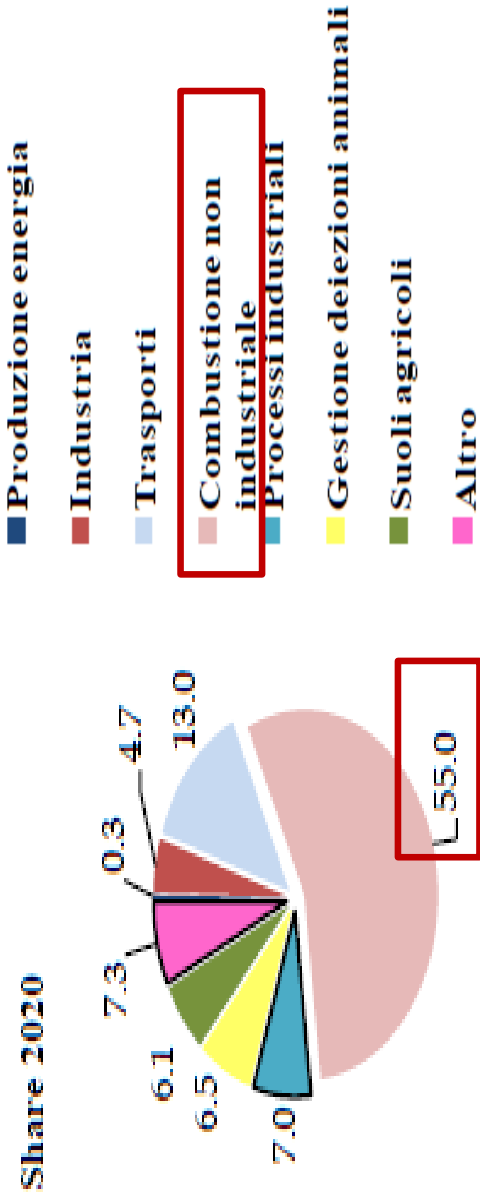
FEDERCHIMICA

ASSOGASLIQUIDI
Associazione nazionale imprese gas liquefatti

Emissioni atmosferiche

Inquinamento atmosferico – inquinanti per settore

Emissioni particolato PM10 - 2020: dall'analisi disaggregata per settore energetico emerge come **circa il 55% delle emissioni di particolato primario sia imputabile al settore del riscaldamento domestico (combustione non industriale)**



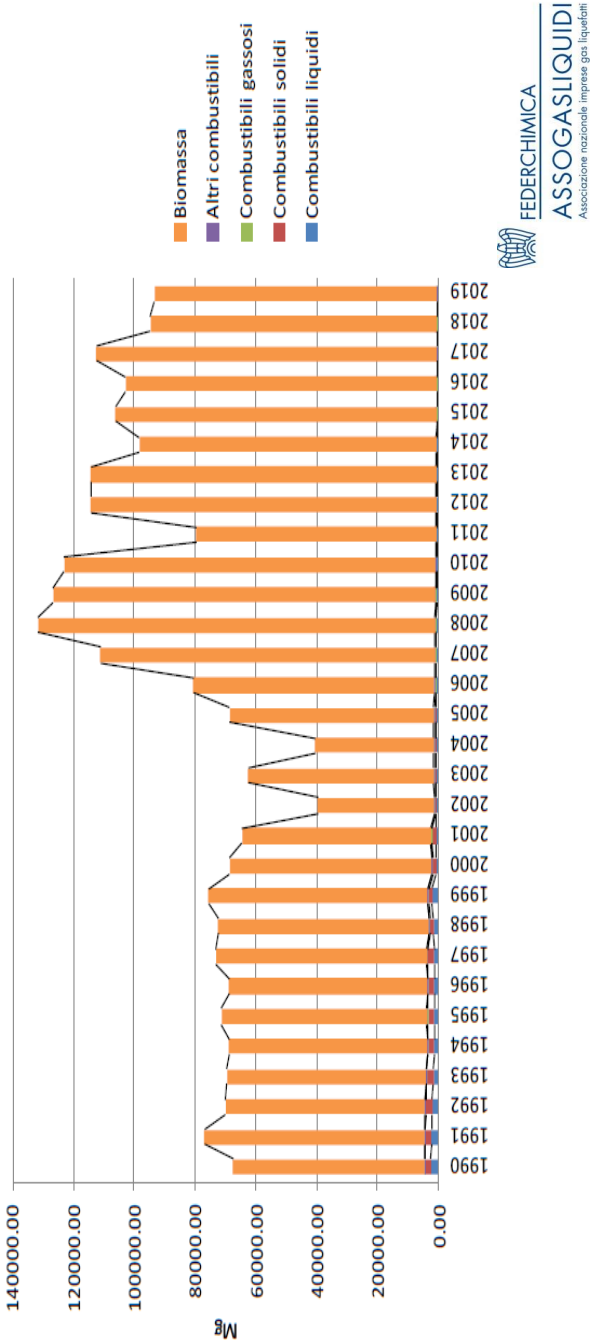
fonte [Italian Emission Inventory 1990 -2020](#), [Informative Inventory Report 202](#), [ISPRA](#)

Emissioni atmosferiche

Inquinamento atmosferico – riscaldamento domestico

Dall’analisi dei dati emerge come oltre il 99% (di fatto la quasi totalità) delle emissioni di particolato PM10 nel settore del riscaldamento domestico sia causato dall’impiego di biomassa legnosa

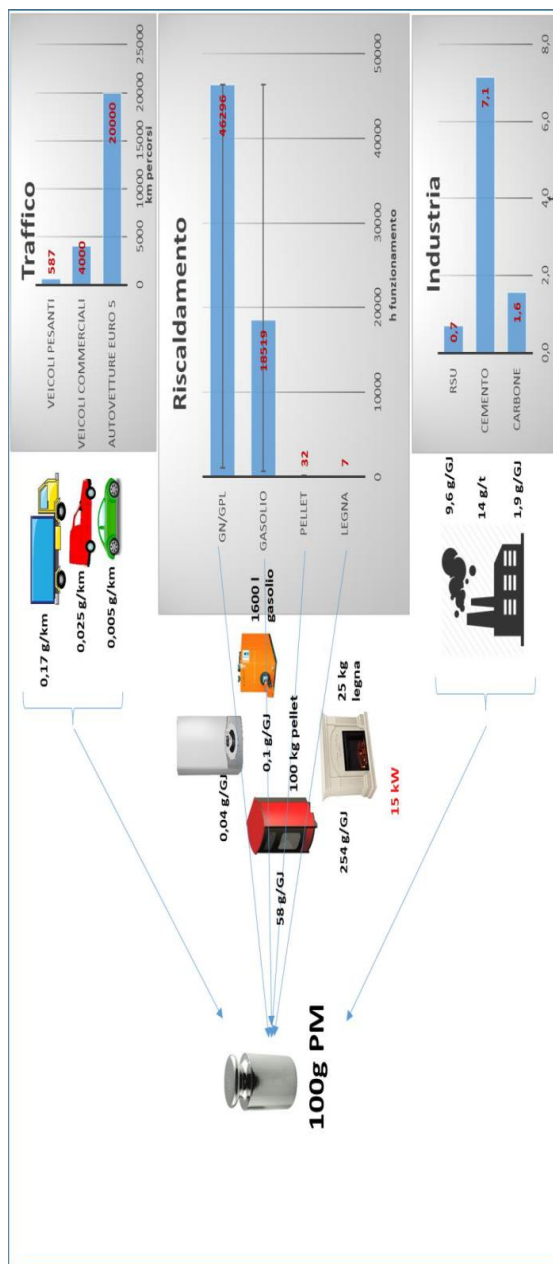
Emissioni di PM10 da riscaldamento



Emissioni atmosferiche

Inquinamento atmosferico – L’impatto della biomassa nel settore del riscaldamento domestico

100 gr di PM sono prodotti da solo 32 ore di utilizzo di un impianto a biomassa (anche di nuova generazione classificate in classe emissiva 4 ai sensi del DM 186/17), rispetto ad una analoga quantità di emissioni prodotta da **46.000 ore di funzionamento di una caldaia a gas** e da **20.000 km percorsi da una autovettura in classe Euro 5**.



Studio comparativo sulle emissioni di apparecchi a gas, GPL, gasolio e pellet - Innovhub

Qualità dell'aria

Settore riscaldamento domestico

Fattori emissivi banca dati ISPRA - confronto GPL con altre fonti energetiche

GPL vs	NOx	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}
Gasolio	-40%	-95%	-45%	-45%
Biomassa legnosa	-55%	-85%	-99%	-99%

Relativamente agli impatti del settore del riscaldamento domestico, è ormai dimostrato da numerosi studi e ricerche scientifiche che gran parte delle emissioni di particolato (polveri sottili) è attribuibile al riscaldamento domestico alimentato a biomassa legnosa (legna e pellet).

Tale aspetto viene confermato anche dai risultati delle campagne di monitoraggio della qualità dell'aria condotte nelle regioni del Bacino Padano. Nel "Report 2 Covid 19 e qualità dell'aria nel Bacino Padano" elaborato e diffuso all'interno del progetto Life Prepair, sono presentati i dati di alcune campagne di monitoraggio condotte durante il periodo di lockdown. L'eccellenza delle condizioni determinate dalle misure restrittive ha offerto la possibilità di connotare ancora più nel dettaglio gli impatti dei diversi settori energetici sul tema qualità dell'aria. Nello studio emerge chiaramente l'impatto dell'uso di apparecchi alimentati a biomassa legnosa

fonte *Inventario delle Emissioni ISPRA*, rielaborazione Assogasliquidi

Qualità dell'aria

Settore riscaldamento domestico

I dati di ISPRA, e le conclusioni dello studio del Prepair, sono confermati dallo «Studio comparativo sulle emissioni di apparecchi a gas, GPL, gasolio e pellet» condotto da Innovhub (stazione sperimentale per l'industria) dal quale emerge, inoltre, che la **combustione di biomassa legnosa è caratterizzata da importanti emissioni di sostanze cancerogene quali il benzo(a)pirene**

Combustibile	CO g/GJ	NOx g/GJ	SOx g/GJ	COV g/GJ	PM g/GJ	IPA benzo(a)pirene µg/MJ	NOTE
Gas Naturale	56.6	32.3	0.3 ^a	<0.15	<0.04	<0.08	^a valore medio di letteratura
GPL	47.8	22.6	2.2 ^b	<0.15	<0.04	<0.08	^b elaborazione ISSI sulla base di dati di specifica
Gasolio	3.7 ^c	34 ^c	19.3 ^c	1.1 ^c	0.1 ^c	0.08 ^a	^c dati ISSI su caldaie di potenza >150 kW ^a valore di letteratura
Legna	5862 ^d	122 ^d	10.7 ^d	536 ^d	254 ^d	68.7 ^d	^d dati ISSI
Pellet A1 stufa alta gamma	175.6	135.9	6.87 ^e	6.7	23.9	0.22	^e valore teorico sulla base del contenuto di zolfo
Pellet A1 stufa bassa gamma	141.4	118.2	6.87 ^e	40.5	44.1	0.18	^e valore teorico sulla base del contenuto di zolfo
Pellet A2 stufa alta gamma	236.1	166.3	12.8 ^e	8.2	83.8	0.1	^e valore teorico sulla base del contenuto di zolfo
Pellet A2 stufa bassa gamma	625.7	233.2	12.8 ^e	223.8	82.9	0.94	^e valore teorico sulla base del contenuto di zolfo

fonte «Studio comparativo sulle emissioni di apparecchi a gas, GPL, gasolio e pellet» Innovhub - stazioni sperimentali per l'industria

Qualità dell'aria

Settore riscaldamento domestico

Gli impianti a gas presentano valori emissivi di gran lunga più bassi anche rispetto alle migliori tecnologie a biomassa

Classe 5 stelle (Decreto n°186/2017)					
Tipo di generatore	PP (g/GJ)	COT (g/GJ)	NOx (g/GJ)	CO (g/GJ)	η (%)
Caminetti aperti	16,75	23,45		67	85
Camini chiusi, inserti a legna	16,75	23,45		435,5	85
Stufe a legna	16,75	23,45	67	435,5	85
Cucina a legna	16,75	23,45	67	435,5	85
Stufe ad accumulo	16,75	23,45	67	435,5	85
Stufe, inserti e cucine a pellet - Termostufe	10,05	6,7		167,5	88
Caldaie	10,05	3,35	100,5	20,1	88
Caldaie (alimentazione a pellet o a cippato)	6,7	3,35	80,4	16,75	92

Considerando i diversi generatori di calore alimentati a biomassa solida e certificati 5 stelle, nel confronto con le caldaie a gas emerge chiaramente come i fattori emissivi dei generatori di calore a biomassa solida (anche considerando l'apparecchio di ultima tecnologia - «5stelle» - alimentato a pellet) siano caratterizzati da fattori emissivi di diversi ordini di grandezza superiori per ogni categoria di inquinante, fino a 100 volte

Fattori emissivi caldaia a gas

	PM (g/GJ)	COV (g/GJ)	NOx (g/GJ)	CO (g/GJ)
Gas Naturale	< 0,04	< 0,15	32,3	56,6
GPL	< 0,04	< 0,15	22,6	47,8

Caldaia 5 stelle - conversione limiti concentrazione in fattori emissivi DM 186/17
fonte DM 186/2017, studio Innovhub, rielaborazione Assogasliquidi

Risultati analisi LCA sui diversi combustibili per riscaldamento

Filiera GPL

24,1 kg/GJ **GPL**
per caldaia
da 25 kW ($\eta = 90\%$)

vs

Filiera pellet

65,6 kg/GJ **PELLET**
classe A1 per 3 stufe ad
aria da
10 kW ($\eta = 88,5\%$)

Categoria impatto	GPL		Pellet
CC	93,83	kg CO2 eq.	-76%
AO	1,17×10-5	kg CFC11 eq.	-75%
RI	3,30	kBq U-235 eq.	-2%
FO	0,11	Kg COVNM eq.	+150%
AP	1,13×10-6	inc. malattia	+1094%
TUNC	1,87×10-6	CTUh	+578%
TUC	3,55×10-7	CTUh	+39%
A	0,18	moli H+ eq.	+86%
ED	3,23×10-3	kg P eq	+140%
EM	2,92×10-2	kg N eq	+257%
ET	0,34	moli N eq.	+298%
EC	19,14	CTUe	+96%
CS	88,10	Pt	+8769%
CA	2,00	m³	+143%
CRE	1122,99	MJ	-72%
CRM	2,71×10-5	kg Sb eq.	+156%

➤ Filiera GPL migliore per 12/16 categorie

➤ Filiera GPL peggiore per sole 3/16 categorie

➤ Impatti confrontabili per 1/16 categoria

Fonte: Studio Politecnico di Milano “Valutazione degli impatti del ciclo di vita del GPL utilizzato quale combustibile, a confronto con altre tipologie di fonti/vettori energetici” - 2021

Filiera pellet meno impattante della filiera GPL

Filiera pellet più impattante della filiera GPL

Impatti confrontabili tra le 2 filiere (Δ impatto $\leq 10\%$)



FEDERCHIMICA



ASSOGASLIQUIDI

Associazione nazionale imprese gas liquidi

Risultati analisi LCA sui diversi combustibili per riscaldamento

Filiera GPL

vs

Filiera gasolio

24,1 kg/GJ **GPL**
per caldaia
da 25 kW (η = 90%)

27,5 kg/GJ **GASOLIO**
per caldaia
da 25 kW (η = 85%)

Categoria di impatto	GPL		Gasolio
CC	93,83	kg CO2 eq.	+9%
AO	1,17×10-5	kg CFC11 eq.	+124%
RI	3,30	kBq U-235 eq.	+156%
FO	0,11	Kg COVNM eq.	+48%
AP	1,13×10-6	inc. malattia	+45%
TUNC	1,87×10-6	CTUh	+9%
TUC	3,55×10-7	CTUh	-20%
A	0,18	moli H+ eq.	+109%
ED	3,23×10-3	kg P eq.	-13%
EM	2,92×10-2	kg N eq.	+46%
ET	0,34	moli N eq.	+45%
EC	19,14	CTUe	+12%
CS	88,10	Pt	+3%
CA	2,00	m3	-4%
CRE	1122,99	MJ	+29%
CRM	2,71×10-5	kg Sb eq.	-1%

➤ Filiera GPL migliore per 9/16 categorie

➤ Filiera GPL peggiore per 2/16 categorie

➤ Impatti confrontabili per 5/16 categorie

Fonte: Studio Politecnico di Milano “Valutazione degli impatti del ciclo di vita del GPL utilizzato quale combustibile, a confronto con altre tipologie di fonti/vettori energetici” - 2021

Filiera gasolio meno impattante della filiera GPL

Filiera gasolio - più impattante della filiera GPL

Impatti confrontabili tra le 2 filiere (Δ impatto ≤ 10%)

FEDERCHIMICA

ASSOGASLIQUIDI

Associazione nazionale imprese gas liquefatti

Risultati analisi LCA sui diversi combustibili per riscaldamento

Filiera GPL

24,1 kg/GJ **GPL**
per caldaia
da 25 kW ($\eta = 90\%$)

Filiera pompa di calore

81,7 kWh/GJ (COP: 3,4)
pompa di calore idronica
69,4 kWh/GJ (COP: 4)
pompa di calore aria-aria

VS

Categoria di impatto	GPL (impatto per UF)	Variazione percentuale di impatto (%)		
		Pompa di calore idronica (clima rigido)	Pannelli fotovoltaici (clima)	Pompa di calore aria-aria (clima mite)
		Prelievo da rete (mix 2019)	Pannelli fotovoltaici (mix 2019)	Pannelli Fotovoltaici
CC (kg CO2 eq.)	93,83	-58%	-86%	-67%
AO (kg CFC-11 eq.)	1,7×10-5	-47%	-88%	-54%
RI (kgBq U-235 eq.)	3,30	+56%	-86%	+35%
FO (kg COVNM eq.)	0,11	-39%	-76%	-45%
AP (incidenza di malattia)	1,13×10-6	+32%	-60%	+17%
TUNC (CTUh)	1,87×10-6	+47%	+54%	+61%
TUC (CTUh)	3,55×10-7	+15%	-34%	+6%
A (mol H+ eq.)	0,18	+51%	-67%	+36%
ED (kg P eq.)	3,23×10-3	+186%	+146%	+205%
EM (kg N eq.)	2,92×10-2	-13%	-70%	-22%
ET (mol N eq.)	0,34	+123%	-74%	+94%
EC (CTUe)	19,14	-38%	-55%	-39%
CS (Pt)	88,10	+233%	-63%	+189%
CA (m3 acqua)	2,00	+906%	+185%	+772%
CRE (MJ)	1122,99	-54%	-93%	-59%
CRM (kg Sb eq.)	2,71×10-5	+292%	+910%	+389%

- Se l'elettricità è prelevata dalla rete nazionale, l'uso del **GPL è migliore in 10 su 16 categorie (pompa idronica) e in 9 su 16 categorie (impianto aria-aria)**
- Se l'elettricità è prodotta interamente da pannelli fotovoltaici, l'uso del **GPL è migliore in 4 su 16 categorie (pompa idronica) e in 4 su 16 categorie (impianto aria-aria)**

Fonte: Studio Politecnico di Milano "Valutazione degli impatti del ciclo di vita del GPL utilizzato quale combustibile, a confronto con altre tipologie di fonti/vettori energetici" - 2021

 Filiera gasolio meno impattante della filiera GPL
 Filiera gasolio più impattante della filiera GPL
 Impatti confrontabili tra le 2 filiere (Δ impatto ≤ 10%)

 **FEDERCHIMICA**
ASSOGASLIQUIDI
Associazione nazionale imprese gas liquidi

Lo sviluppo dei gas rinnovabili e l'approccio di neutralità tecnologia per decarbonizzare gli edifici

- Per rispondere alla necessità di raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione posti a livello comunitario, l'industria del gas sta ponendo in essere investimenti per giungere ad avere sempre più disponibilità di gas rinnovabili di origine bio o sintetica.
- L'obiettivo dell'Industria del GPL è di arrivare al **2030** ad avere la disponibilità di un **prodotto costituito da almeno il 40% di fonti rinnovabili** anche per il settore del riscaldamento domestico (e più ingenerale degli utilizzi civili, industriali ed agricoli)
- Per raggiungere gli obiettivi non sono necessario **DIVIETI** (come quelli che la Commissione europea vorrebbe introdurre al 2029 per la commercializzazione delle caldaie a gas)
- La sostituzione dello stock esistente con apparecchi efficienti ed alimentati da gas rinnovabili è un'opportunità per decarbonizzare gli edifici in maniera efficace sotto il profilo costi-benefici, e si colloca a pieno titolo fra le altre soluzioni efficienti
- **IL GAS DECARBONIZZATO DEVE AVERE UN RUOLO CHIAVE NEL SETTORE DEL RISCALDAMENTO IN PARALLELO A QUELLO DELL'ELETTRICITÀ**

Lo sviluppo dei gas rinnovabili e l'approccio di neutralità tecnologia per decarbonizzare gli edifici

- Gli studi preparatori per la revisione della normativa in materia di Ecodesign indicano che **se tutto lo stock di caldaie a gas convenzionali fosse sostituito con nuove caldaie a gas a condensazione, ci sarebbe un risparmio energetico di 463 PJ/a* e che il risparmio in termini di emissioni sarebbe di 23 Mt CO₂ eq/a***. L'impiego di gas rinnovabili (biometano, BioGPL, rDME e idrogeno) rafforzerebbe tali risparmi.
- Le capillarità delle reti gas italiane e il numero di impianti residenziali serviti anche al di fuori delle reti costituiscono un potenziale imprescindibile per il raggiungimento degli obiettivi 2030-2050 di decarbonizzazione e di share di rinnovabili.
- **L'incremento della disponibilità di gas rinnovabili** (anche tramite specifiche misure di incentivo) **consente la piena valorizzazione della rete e delle infrastrutture di** stoccaggio e distribuzione già esistente con minore impatto per l'erario e per i consumatori.

Lo sviluppo dei gas rinnovabili e l'approccio di neutralità tecnologia per decarbonizzare gli edifici

Cosa serve

- **Sostenere lo sviluppo dei gas rinnovabili** per il riscaldamento, la produzione di acqua calda e l'uso cottura negli edifici
- **Ottenere il riconoscimento delle quote rinnovabili per i gas nella valutazione dei fattori di conversione utilizzati per l'etichettatura energetica** e nelle valutazioni delle coperture di fonti rinnovabili negli edifici (Regolamento Labelling, RED, EED, EPBD e rispettive regole di recepimento nazionali)
- **Definire incentivi dedicati a tecnologie green-gas ready**
- **Dare certezze al settore**, riconoscendo l'importanza dei gas rinnovabili nel settore del riscaldamento residenziale, al fine di garantire il pieno sviluppo di investimenti anche privati in tale segmento di attività.

Proposte di revisione degli incentivi in materia edilizia - Settore riscaldamento domestico

E' necessario che vengano adottate misure finalizzate a rivedere in maniera consistente le attuali politiche di incentivi fiscali attraverso:

- **Incentivazione delle iniziative di produzione di prodotti gassosi bio e rinnovabili**, da utilizzare anche in purezza (BioGPL o biometano anche liquefatto – BioGNL) o in miscele con i gas tradizionali (come, ad esempio, il Dimefiletere da processi biologici o di carbon recycling) per ridurre l'impronta carbonica fino ai livelli indicati ai fini della neutralità carbonica dalla direttiva c.d. RED III.
- **Incentivazione della sostituzione delle caldaie a gas più vetuste con le moderne caldaie a condensazione** peraltro già pronte e certificate per essere alimentate con gas rinnovabili;
- **Eliminazione riduzione dell'IVA applicabile all'acquisto di pellet;**
- **Revisione sostanziale delle disposizioni del c.d. Conto termico (DM 16.02.2016)** per prevedere che le misure di incentivo ivi previste si applichino esclusivamente per la sostituzione di impianti vetusti a legna o pellet con analoghi impianti a biomassa ma solo se certificati "5 stelle" ai sensi del DM 186/17;
- **Esclusione della possibilità di accedere alle detrazioni fiscali a favore della biomassa di cui ai punti precedenti quando l'unità abitativa è già servita da un impianto di riscaldamento a gas (metano o GPL);**

Grazie per l'attenzione



POLITECNICO DI MILANO

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E
AMBIENTALE**

Sezione Ambientale



**Gruppo di ricerca AWARE - *Assessment on WASTE
and RESOURCES***

Valutazione degli impatti del ciclo di vita del GPL per utilizzi stazionari, a confronto con altre tipologie di fonti/vettori energetici

Sommario del lavoro

Committente: Associazione Federchimica-Assogasliquidi

A cura di:

Prof. Mario Grosso, Ing. Lucia Rigamonti (responsabili scientifici)

Dott.ssa Giulia Cavenago e Dott.ssa Camilla Tua

15 Luglio 2021

Sommario

Premessa.....	3
1. Obiettivo e campo di applicazione dello studio LCA.....	4
1.1 Obiettivi dello studio.....	4
1.2 Scenari analizzati.....	4
1.3 Unità funzionale.....	4
1.4 Confini del sistema.....	5
1.5 Categorie di impatto.....	6
1.6 Origine e qualità dei dati di inventario.....	6
2. Inventario degli scenari.....	7
3. Risultati e discussione.....	13
3.1 Settore domestico.....	13
3.2 Settore industriale.....	15
4. Conclusioni.....	21
Bibliografia.....	23

Premessa

Il presente studio nasce dalla volontà dell'associazione Assogasliquidi di Federchimica di analizzare gli impatti ambientali del ciclo di vita del Gas di Petrolio Liquefatto (GPL) per utilizzi stazionari nel contesto italiano, al fine di individuare i potenziali di miglioramento ambientale dell'intera filiera e quantificarne eventuali benefici nei confronti delle filiere energetiche alternative. A tale scopo, a novembre dell'anno 2020, l'associazione ha incaricato il Gruppo di ricerca AWARE (Assessment on WAstE and RESources) del Politecnico di Milano di svolgere una valutazione condotta attraverso la metodologia del ciclo di vita (Life Cycle Assessment - LCA), per analizzare e quantificare i potenziali impatti ambientali associati a tre diverse tipologie di combustibili per uso stazionario (GPL, pellet e gasolio) e all'utilizzo diretto del vettore elettrico con la tecnologia a Pompa Di Calore (PDC).

A oggi la metodologia LCA rappresenta uno dei migliori strumenti di supporto per l'attuazione di interventi e politiche che guidino verso uno sviluppo sostenibile dal punto di vista ambientale. In un'analisi LCA, il ciclo di vita di prodotti, attività, processi e servizi viene esaminato secondo un approccio definito "dalla culla alla tomba". Nel caso di un combustibile questo approccio consente di focalizzarsi non solo sulla fase d'uso (combustione), ma anche sull'estrazione delle materie prime (es. petrolio o gas naturale), sulla loro lavorazione per la produzione del combustibile e sulle fasi di trasporto dello stesso, come l'eventuale importazione in Italia e la distribuzione nel territorio nazionale (Figura 1).

L'analisi è stata condotta seguendo i principi e le linee guida definiti dalle norme ISO dedicate (ISO 14040 e ISO 14044) e, per quanto riguarda la fase specifica di valutazione degli impatti, è stata presa come riferimento la raccomandazione europea PEF (Product Environmental Footprint) sulla misura dell'impronta ambientale dei prodotti (European Commission, 2013; Zampori e Pant, 2019). La metodologia si compone di 4 fasi principali: i) la definizione degli obiettivi dello studio e del relativo campo di applicazione; ii) la compilazione di un inventario di ingressi (materiali, energia e risorse naturali) e di uscite (emissioni in aria, acqua, suolo e produzione di rifiuti) del sistema; iii) la valutazione dei potenziali impatti ambientali associati a tale inventario; iv) l'interpretazione dei risultati ottenuti per individuare le strategie più convenienti sotto il profilo ambientale e fornire raccomandazioni per migliorare le prestazioni ambientali del sistema in esame.



Figura 1. Rappresentazione del ciclo di vita di un generico combustibile secondo la metodologia LCA.

1. Obiettivo e campo di applicazione dello studio LCA

1.1 Obiettivi dello studio

Lo studio ha quantificato i potenziali impatti ambientali associati alla filiera nazionale del GPL per uso stazionario in accordo con i seguenti obiettivi principali:

- identificare le fasi più critiche nella filiera in esame e conseguentemente individuare potenziali di miglioramento in un'ottica di sostenibilità ambientale;
- effettuare un confronto tra la filiera GPL e i principali settori energetici concorrenti (filiera del pellet, del gasolio ed elettrica) per definirne il posizionamento da un punto di vista ambientale sia nel settore domestico che industriale.

1.2. Scenari analizzati

Lo studio ha confrontato gli impatti delle filiere energetiche separatamente per l'ambito domestico (riscaldamento di abitazioni) e per quello industriale (settore *small-business* e grandi industrie).

Per quanto concerne il settore domestico, il ciclo di vita del GPL è stato confrontato con le seguenti filiere:

- **FILIERA DEL PELLETT** per l'alimentazione di stufe ad aria. Tale scenario trova giustificazione nel fatto che al momento l'Italia rappresenta il secondo Paese europeo per consumo di pellet (3,3 milioni di tonnellate nel 2018), prevalentemente di classe A1 (Bioenergy Europe, 2019);
- **FILIERA DEL GASOLIO** per riscaldamento in caldaie domestiche di vecchia installazione (15-20 anni fa). Sebbene nell'ultimo decennio, in Italia, il consumo di gasolio per riscaldamento abbia subito una riduzione drastica (Staffetta Quotidiana, 2020), il combustibile rappresenta attualmente ancora un importante concorrente per il GPL, in quanto spesso si effettuano sostituzioni di vecchie caldaie a gasolio con nuovi apparecchi alimentati proprio a GPL;
- **FILIERA ELETTRICA** basata su **POMPE DI CALORE** che sfruttano il ciclo termodinamico di un fluido refrigerante per trasferire calore da una sorgente esterna a bassa temperatura (aria, terreno o acqua di falda) a un'abitazione, sotto forma di riscaldamento e talvolta di acqua calda a uso sanitario. Il presente studio ha considerato sia le pompe di calore aria-aria, climatizzatori reversibili spesso utilizzati per integrare o sostituire il riscaldamento tradizionale in aree a clima mite (37% delle unità installate in Italia; ENEA, 2015), che le pompe di calore idroniche (di tipologia aria-acqua), dispositivo sempre più utilizzato come impianto di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria in zone a clima rigido (il volume di vendita di tali apparecchi in Italia è triplicato negli ultimi dieci anni; Pieve e Trinchieri, 2017).

L'analisi sul settore industriale si riferisce, invece, alla produzione di calore nel settore *small-business* (80% del mercato) e grandi industrie (20% del mercato) e ha previsto un confronto tra l'uso di GPL e gasolio in caldaie di potenza superiore a 100 kW. La Tabella 1 riporta le principali caratteristiche delle filiere energetiche poste a confronto, in termini di combustibile e della relativa tecnologia di riscaldamento associata.

1.3. Unità funzionale

L'Unità Funzionale (UF) scelta è “la produzione di 1 GJ di calore utile in uscita dall'apparecchio di generazione”, in accordo con recenti studi di letteratura disponibili sul tema (ad esempio Quinteiro et al., 2020). Tale scelta è coerente con la decisione di escludere dai confini del sistema la fase di distribuzione del calore prodotto nell'edificio (analisi per l'ambito domestico) e l'utilizzo finale nei processi industriali. In Tabella 1 si riporta, per ciascuno scenario, il flusso di riferimento

che soddisfa l'unità funzionale, rappresentato dalla quantità di combustibile o di energia elettrica necessaria alla produzione di 1 GJ di calore utile.

Tabella 1. Principali caratteristiche degli scenari analizzati in termini di combustibili/vettori elettrici e tecnologie di riscaldamento associate in accordo con dati primari raccolti per il contesto medio italiano.

SETTORE DOMESTICO				
Scenario	Potere Calorifico Inferiore (PCI)	Tecnologia di riscaldamento	Efficienza	Flusso di riferimento per unità funzionale
GPL miscela C	46,1 MJ/kg	Caldaia domestica (25 kW)	90% (su PCI)	24,1 kg
Pellet classe A1	17,2 MJ/kg ¹	Stufe a pellet (10,5 kW)	88,5% (su PCI) ²	65,6 kg
Gasolio	42,8 MJ/kg	Caldaia domestica di vecchia generazione (25 kW)	85% (su PCI)	27,5 kg
Pompa di calore (clima mite)		Pompa di calore aria-aria	COP ³ : 4	69,4 kWh
Pompa di calore (clima rigido)		Pompa di calore idronica	COP ^{3,4} : 3,4	81,7 kWh
SETTORE INDUSTRIALE (80% small-business e 20% grandi industrie)				
Scenario	PCI	Tecnologia di produzione del calore	Efficienza	Flusso di riferimento per unità funzionale
GPL miscela C	46,1 MJ/kg	Caldaia industriale (380 kW)	87% (su PCI)	24,9 kg
Gasolio	42,8 MJ/kg		86,4% (su PCI)	27,0 kg

¹ Potere calorifico netto, corrispondente a un contenuto di umidità del 6,5% per il pellet A1

² Valor medio di rendimento per le stufe a pellet di classe compresa tra 2-5 stelle ai sensi del D.M. n.186 del 7.11.2017

³ Il parametro COP deriva dall'espressione inglese *Coefficient Of Performance* ed esprime il rapporto tra l'energia resa all'ambiente da riscaldare e l'energia elettrica necessaria per generarla;

⁴ Si riferisce alle condizioni tipiche di funzionamento, temperatura media invernale in clima rigido di 2°C e temperatura dell'acqua di mandata di 35°C (la pompa idronica è generalmente accoppiata a un sistema di riscaldamento a pavimento).

1.4. Confini del sistema

La Figura 2 riporta i confini del sistema considerati per le filiere energetiche in analisi.

La filiera di ciascun combustibile (GPL, pellet e gasolio) include le seguenti fasi:

- produzione del combustibile in Italia e nei Paesi di importazione, secondo le modalità tipiche di ciascun contesto geografico;
- importazione della quota parte di combustibile prodotta all'estero via nave, autocarro o treno;
- distribuzione del combustibile sul territorio nazionale;
- stoccaggio del combustibile presso il cliente finale;
- combustione (produzione e fase d'uso dell'apparecchio di generazione del calore, emissioni dirette in atmosfera e smaltimento di eventuali residui solidi quali le ceneri di pellet).

Nella filiera elettrica, invece, la fase di approvvigionamento e di distribuzione del combustibile viene sostituita con la fase di produzione di energia elettrica e sua successiva trasmissione; si considerano, inoltre, la produzione e l'assemblaggio dell'impianto con pompa di calore e il ciclo di vita del gas refrigerante.

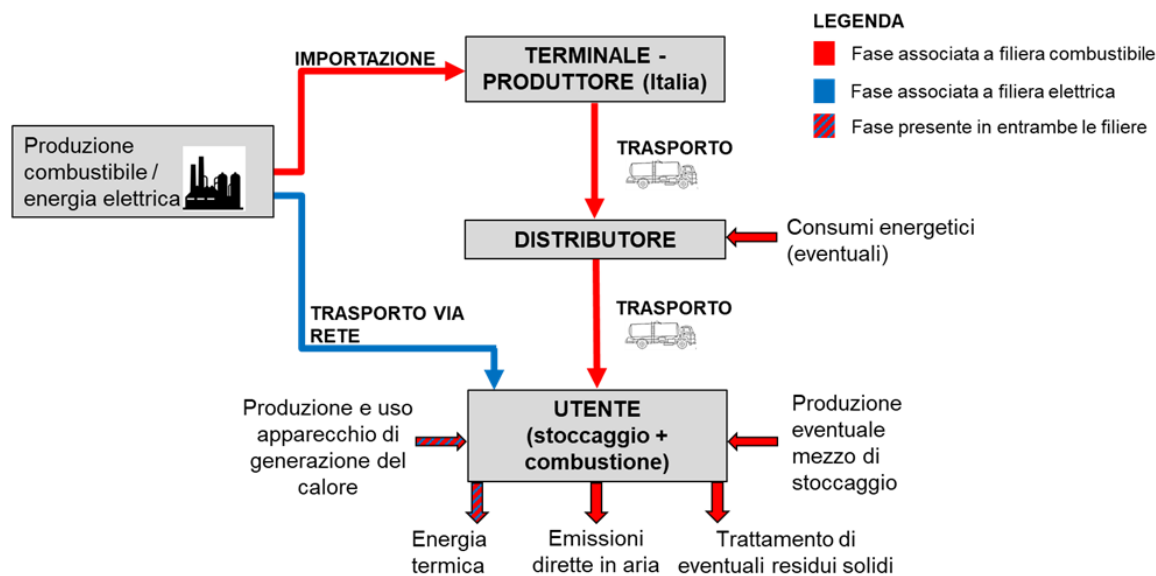


Figura 2. Confini del sistema per le filiere energetiche analizzate.

1.5. Categorie di impatto

Per la valutazione sono state considerate un totale di 16 categorie di impatto, raggruppate come segue:

- 8 categorie di impatto sull'ambiente, ossia Cambiamento Climatico (CC), Assottigliamento dello strato di Ozono (AO), Formazione di Ozono fotochimico (FO), Acidificazione (A), Eutrofizzazione in acqua Dolce (ED), Eutrofizzazione Marina (EM), Eutrofizzazione Terrestre (ET), ed ECotossicità delle acque dolci (EC);
- 4 categorie di impatto sulla salute umana, ossia Radiazioni Ionizzanti con effetto sulla salute umana (RI), Assunzione di materiale Particolato (AP), Tossicità Umana con effetti non cancerogeni (TU_{NC}) e Tossicità Umana con effetti cancerogeni (TU_C);
- 4 categorie di impatto sul consumo di risorse, ossia Consumo di Suolo (CS), Consumo di Acqua (CA), Consumo di Risorse - vettori Energetici non rinnovabili (CR_E) e Consumo di Risorse - Minerali e Metalli (CR_M).

Gli indicatori associati a queste categorie di impatto e i relativi modelli di caratterizzazione utilizzati per il loro calcolo sono quelli proposti nel metodo di caratterizzazione *Environmental Footprint Impact Assessment Method* (EF Method), versione 2.0 recentemente sviluppato per la Commissione Europea dal Joint Research Centre (Fazio et al., 2018).

L'analisi è stata condotta con l'ausilio del software SimaPro 9.0, che ha agevolato lo sviluppo di un modello virtuale degli scambi di energia e di materia nelle filiere energetiche analizzate e la quantificazione delle rispettive prestazioni ambientali.

1.6. Origine e qualità dei dati di inventario

La filiera nazionale del GPL per uso stazionario è stata modellizzata a partire dai dati di inventario relativi all'anno 2019 forniti da un campione di aziende selezionato che in quell'anno ha approvvigionato (con GPL proveniente da Paesi esteri e/o Italia) il 79% del volume di GPL complessivamente consumato in Italia per uso stazionario e ne ha distribuito direttamente il 60%. I dati di inventario per le altre filiere rispecchiano sempre il contesto medio italiano attuale e sono stati acquisiti consultando le aziende di distribuzione dei combustibili e dei relativi apparecchi per

la produzione del calore, i report e le statistiche di settore (ad esempio le rilevazioni effettuate dal Ministero della Transizione Ecologica), la letteratura scientifica recente sul tema, esperti del settore e banche dati LCA riconosciute a livello internazionale (in primis il database ecoinvent, versioni 3.5 e 3.6).

2. Inventario degli scenari

In uno studio LCA, l'analisi di inventario evidenzia e quantifica (in riferimento all'unità funzionale) tutti i flussi di input e di output connessi ai diversi processi del ciclo di vita del sistema analizzato. In Tabella 2 si riassumono i principali dati di inventario associati alla catena produttiva e distributiva di GPL, gasolio e pellet che include le seguenti fasi:

- **PRODUZIONE DEL COMBUSTIBILE.** Per ciascun combustibile sono stati identificati il processo/processi tipici di produzione e il relativo mix geografico di origine. Per la modellizzazione sono stati utilizzati dataset dedicati del database ecoinvent (versione 3.5 e 3.6), modificando il mix elettrico e le modalità di estrazione del gas naturale e del petrolio in accordo con le nazioni di produzione;
- **IMPORTAZIONE DELLA QUOTA PARTE DI COMBUSTIBILE PRODOTTO ALL'ESTERO.** Per ciascun combustibile sono state identificate le modalità tipiche di trasporto e la relativa distanza media di importazione, in accordo con il mix geografico di origine;
- **DISTRIBUZIONE DEL COMBUSTIBILE SUL TERRITORIO NAZIONALE.** La distribuzione di GPL e di gasolio sul territorio nazionale si articola attraverso due fasi di trasporto distinte rappresentate dal trasporto primario (trasporto dal terminale marittimo/ferroviario oppure da raffineria a un deposito commerciale) e dal trasporto secondario (conferimento al cliente finale domestico/industriale). Dati primari sulle modalità di trasporto e sulla relativa distanza percorsa sono stati forniti dalle aziende distributrici dei due combustibili. Per la filiera del pellet, si è invece ipotizzato l'acquisto diretto del cliente presso il rivenditore con auto privata;
- **STOCCAGGIO DEL COMBUSTIBILE.** Per questa fase, per le filiere del GPL e gasolio è stata modellizzata la produzione del serbatoio di stoccaggio. La quantità di acciaio richiesta per il serbatoio espressa per unità funzionale (Tabella 2) è stata calcolata a partire dalla capacità tipica di stoccaggio, dalla relativa massa media, dal numero di riempimenti annuali. Il pellet è invece stoccato in sacchi di polietilene a bassa densità, il cui peso medio è stato ricavato dalla pesatura di alcuni campioni.

La Tabella 3 riporta i dati di inventario relativi alla combustione finale di GPL, pellet e gasolio (ovvero i dettagli sull'unità di produzione del calore, sui fattori di emissione dei principali inquinanti in aria e sulla generazione di residui solidi). I fattori di emissioni in aria derivano, in particolare, da campagne sperimentali di analisi effettuate nel contesto italiano. Le principali fonti consultate a tale proposito risultano:

- lo studio dell'istituto italiano di ricerca Innovhub (Area Combustibili) nell'anno 2017, per la valutazione sperimentale dei fattori di emissione associati alla combustione stazionaria di GPL (studio commissionato da Associazione Federchimica-Assogasliquidi);
- lo studio dell'istituto italiano di ricerca Innovhub (Area Combustibili) nell'anno 2005, per la valutazione sperimentale dei fattori di emissione associati alla combustione stazionaria di gasolio;
- recenti studi di letteratura in merito alla combustione di pellet di alta qualità in stufe ad aria, in condizioni operative reali, tra cui Altroconsumo (2019), Fachinger et al. (2017), Marcotte et al. (2020), Ozgen et al. (2014 e 2018) e Venturini et al. (2018);

- il database di ISPRA (aggiornato all'anno 2019), che riporta l'inventario dei fattori di emissione in atmosfera nel contesto italiano per i diversi settori industriali.

In riferimento alle pompe di calore elettriche, le principali fasi della filiera sono: produzione dell'elettricità e sua trasmissione, produzione e installazione della pompa di calore e ciclo di vita del gas refrigerante.

La domanda di energia elettrica è stata supposta soddisfatta mediante prelievo dalla rete nazionale o con impianto fotovoltaico installato presso l'abitazione in accordo con le seguenti ipotesi:

- prelievo da rete secondo il mix italiano relativo all'anno 2019 fornito da Terna S.p.A.: 42% gas naturale, 14% idroelettrico, 7% solare fotovoltaico, 6% eolico, 5% carbone, 2% geotermico, 4% olio, 14% importazione da fornitori esteri e 6% altre fonti;
- produzione da fotovoltaico secondo la configurazione di un impianto domestico da 3 kWp, con pannelli fissati su tetto inclinato e realizzati per il 78% in silicio policristallino e per il rimanente 22% in silicio monocristallino (GSE, 2019). L'analisi di questa configurazione è giustificata dal fatto che l'Italia è uno dei paesi leader nella produzione di energia solare e l'uso di tale fonte energetica è destinato ad aumentare in accordo con i recenti impegni climatici. Secondo i dati forniti dal Gestore dei Servizi Energetici (GSE, 2019), nell'anno 2018, gli impianti di piccola taglia (≤ 3 kWp) sono stati 279.681 (+6,7% rispetto all'anno 2017), con una potenza installata complessiva pari a 760 MW.

Le specifiche tecniche delle due tipologie di pompe di calore analizzate per l'installazione in ambiente domestico (area abitativa di 120 m²) sono derivate da schede tecniche disponibili in rete e da preventivi (si vedano i dettagli in Tabella 4).

La produzione dei singoli componenti, il relativo assemblaggio e l'installazione finale delle pompe di calore sono state modellizzate in accordo con i dati di inventario e le ipotesi riportate in Heck (2007) e in Greening & Azapagic (2012).

Tabella 2. Principali dati di inventario associati alla filiera di approvvigionamento, distribuzione e stoccaggio di GPL, pellet e gasolio nel contesto italiano.

FASE DEL CICLO DI VITA				
Scenario	PRODUZIONE	IMPORTAZIONE	DISTRIBUZIONE	STOCCAGGIO PRESSO IL CLIENTE
GPL	In accordo con dati primari acquisiti tramite questionario, la produzione del GPL è stata ripartita come: - 56,6% GPL da associated gas: 31,2% Algeria; 9,6% Libia; 6,9% Egitto; 4,5% USA; 2,9% Norvegia; 0,8% Congo e 0,7% Regno Unito; - 43,4% GPL da raffinazione: 24,9% Italia; 17,1% Francia e 1,4% Regno Unito I carichi ambientali dei due processi produttivi sono stati modellizzati in accordo con dataset dedicati di ecoinvent, versione 3.5 e 3.6	Importazione del 75,2% di GPL commercializzato, secondo le seguenti modalità (dati primari acquisiti dalle aziende del settore tramite questionario dedicato): • nave (58,2% del GPL): 2545 km; • treno merci (8,3% del GPL): 925 km • autocisterna da 18 tonnellate di GPL (8,7%): 814 km. Il mix Euro dei mezzi risulta: 2,5% Euro 4, 14,5% Euro 5 e 83,0% Euro 6 I carichi ambientali dei processi di trasporto sono stati modellizzati in accordo con i dataset di ecoinvent, versione 3.5 e 3.6	Dati primari acquisiti dalle aziende di settore tramite apposito questionario: a) trasporto primario su strada (effettuato per il 67,1% del GPL commercializzato): 248 km con autocisterna (capacità: 18 tonnellate di GPL), Euro ≤3: 8,7%; Euro 4: 5,6%; Euro 5: 30,0%; Euro 6: 55,7% b) trasporto primario su rotaia (effettuato per il 3,8% del GPL commercializzato): 743 km c) trasporto secondario su strada per il cliente domestico: 135 km con autocisterna (capacità: 4,6 tonnellate di GPL), Euro ≤3: 31,7%; Euro 4: 11,0%; Euro 5: 40,5%; Euro 6: 16,8% d) trasporto secondario su strada per il cliente industriale: 180 km con autocisterna (capacità: 5,5 tonnellate di GPL), Euro ≤3: 29,1%; Euro 4: 7,5%; Euro 5: 42,6%; Euro 6: 20,8%	Stoccaggio in serbatoi in acciaio al carbonio • massa media per il cliente domestico: 265 g/UF • massa media per il cliente industriale: 116 g/UF

Scenario	FASE DEL CICLO DI VITA				STOCCAGGIO PRESSO IL CLIENTE
	PRODUZIONE	IMPORTAZIONE	DISTRIBUZIONE		
Gasolio	Tipologia di processo produttivo: raffinazione di petrolio greggio. Tale processo produttivo è stato modellizzato in accordo con il dataset di ecoinvent 3.6, considerando l'origine geografica del gasolio per riscaldamento consumato in Italia fornita da Unione Petrolifera: ● produzione nazionale: 85,8% ● importazione (14,2%): 5,2% Grecia, 2,9% Spagna, 4,4% Arabia Saudita e 1,7% USA	Importazione del 14,2% di gasolio via nave per una distanza complessiva di 3935 km. I carichi ambientali dei processi di trasporto sono stati modellizzati in accordo con il dataset di ecoinvent, versione 3.6	Dati primari da 12 aziende distributrici di gasolio per riscaldamento in Italia: a) tratta terminale/raffineria - deposito di stoccaggio: 136 km con camion cisterna (35,000 l), secondo il mix Euro italiano (ACI, 2020) b) tratta deposito - cliente domestico: 50 km con camion cisterna (10,000 l), secondo il mix Euro Italiano (ACI, 2020) c) tratta deposito - cliente industriale: 70 km con camion cisterna (19,000 l), secondo il mix Euro Italiano (ACI, 2020) Utilizzo dei dataset di ecoinvent 3.5 relativi al trasporto stradale con autocarro	Stoccaggio in cisterne monocamera (tipologia di serbatoio utilizzata 15-20 anni fa): ● massa del serbatoio per il cliente domestico: 123,7 g/UF ● massa del serbatoio per il cliente industriale: 62,2 g/UF	
Pellet	Tipologia di prodotto: pellet A1, realizzato principalmente da sottoprodotti dell'industria del legno (57% segatura, 30% trucioli, e 13% cippato di legno). Dati di inventario ricavati dal dataset di ecoinvent (versione 3.5), considerando il mix di origine del combustibile fornito dalla fonte Global Wood Markets Info (2019) per il pellet venduto in Italia: ● produzione nazionale: 17% ● importazioni: 35% Austria, 9% Germania e Croazia, 6% Slovenia, 5% Russia e Repubblica Ceca, 4% Brasile e USA, 3% Canada e Ucraina	L'importazione di pellet in Italia per la vendita a un rivenditore avviene secondo le seguenti modalità: ● autocarro: 668 km (100% pellet), Euro 3 ● treno merci: 750 km (3% pellet) ● nave: 4616 km (36% pellet) I carichi ambientali dei processi di trasporto sono stati modellizzati in accordo con i dataset di ecoinvent, versione 3.5 e 3.6	Modellizzato il trasporto dal rivenditore locale al cliente domestico: percorrenza di 20 km con auto (Quinteiro et al., 2020), per l'acquisto di 10 sacchi da 15 kg l'uno (assunzione dello studio). Nota: il sacco da 15 kg è la modalità di vendita più comune in Italia per il pellet di consumo domestico (Bioenergy Europe, 2019)	Il pellet è stoccato all'interno di un sacco da 15 kg in polietilene a bassa densità (30 g/sacco) prima della combustione finale	

Tabella 3. Dati di inventario della fase di combustione di GPL, gasolio e pellet in ambito domestico ed industriale nel contesto italiano. Il fattore di emissione dei combustibili alternativi nei due diversi ambiti è riportato in termini assoluti per il GPL, mentre per gli scenari alternativi, accanto al valore assoluto, è riportata la variazione percentuale rispetto al valore per la combustione del GPL: (*emissione filiera alternativa* – *emissione GPL*) / *emissione GPL* *100.

Infrastruttura per la combustione	AMBITO DOMESTICO			AMBITO INDUSTRIALE		
	GPL domestico	Pellet	Gasolio domestico	GPL industriale	Gasolio industriale	
Tipologia e potenza	Caldaia da 25 kW	Stufe ad aria da 10,5 KW	Caldaia da 25 kW	Caldaia da 380 kW	Caldaia da 380 kW	
Quantità richiesta per UF	4,2 × 10 ⁻⁴ unità	1,4 × 10 ⁻³ unità	4,4 × 10 ⁻⁴ unità	8,4 × 10 ⁻⁶ unità	8,5 × 10 ⁻⁶ unità	
Operatività	1480 ore/anno Vita utile: 20 anni	1384 ore/anno Vita utile: 15 anni	1480 ore/anno Vita utile: 20 anni	5000 ore/anno Vita utile: 20 anni	5000 ore/anno Vita utile: 20 anni	
Energia elettrica ausiliaria per UF	3,1 kWh	5,2 kWh	3,3 kWh	1,3 kWh	1,3 kWh	
Emissioni in atmosfera per UF	GPL domestico	Pellet A1 - stufe 3-4 stelle¹	Gasolio domestico	GPL industriale	Gasolio industriale	
NOx	25,1 g	141,2 g	43,3 g	34,5 g	71,6 g	+108%
CO ₂	72,1 kg	111,2 kg	82,6 g	75,9 kg	85,4 kg	+13%
CO	53,1 g	186,4 g	5,7 g	11,5 g	1,3 g	-89%
SO _x	2,4 g	2,4 g	53,3 g	0,25 g	91,6 g	+36.540%
CH ₄	1,1 g	10,2 g	8,2 g	1,2 g	0,1 g	-92%
N ₂ O	2,2 g	4,5 g	2,3 g	2,3 g	2,3 g	0%
Particolato (PM _{2,5})	0,022 g	32,9 g	0,16 g	0,23 g	0,98 g	+326%
Benzo(a)pirene	0,04 mg	7,9 mg	Non disponibile	0,01 µg	Non disponibile	
Arsenico	-	0,85 mg	1,2 mg	-	0,89 mg	
Cadmio	-	0,62 mg	1,2 mg	-	0,16 mg	
Cromo	-	6,8 mg	1,2 mg	-	5,51 mg	
Emissioni in atmosfera per UF	GPL domestico	Pellet	Gasolio domestico	GPL industriale	Gasolio industriale	
Rame	-	5,1 mg	1,2 mg	-	5,54 mg	
Piombo	-	22,6 mg	5,9 mg	-	2,92 mg	

Nichel	-	0,23 mg	1,2 mg	-	33,2 mg
Zinco	-	124,3 mg	2,4 mg	-	4,03 mg
Mercurio	-	0,63 mg	-	-	0,89 mg
COVNM	0,083 g	10,2 g	+12.189%	2,3 g	-
Black carbon	2,2 mg	5.100 mg	+231.718%	5,75 mg	81,0 mg +1309%
Residui solidi per UF	GPL domestico	Pellet	Gasolio domestico	GPL industriale	Gasolio industriale
Ceneri (recupero su suolo agricolo)	-	429,5 g (0,7% su base secca) ²	-	-	-

¹ Per gli inquinanti presi come riferimento nella classificazione dei generatori in accordo con il D.M. n.186 (7 novembre 2017), rappresentati da NO_x, particolato e CO, è stata considerata la combustione del pellet A1 in stufe da 3-4 stelle

² Contenuto percentuale massimo di ceneri nel pellet di tipologia A1 permesso dalla norma UNI EN ISO 17225-2:2014.

Tabella 4. Specifiche tecniche della pompa di calore presa come riferimento per entrambe le tipologie analizzate (aria-aria e idronica).

	Pompa di calore aria-aria	Pompa di calore idronica
Configurazione impianto	Impianto con tre unità identiche (2,6 kW) caratterizzate da una configurazione mono-split	1 pompa di calore idronica (potenza termica nominale 7 kW) con 1 serbatoio di accumulo inerziale (100 litri di capacità)
Peso medio	Peso di ciascun climatizzatore: 40 kg	Pompa di calore: 115 kg ¹ Serbatoio di accumulo inerziale: 35 kg
Ore annuali operative di funzionamento	1 790 ore (raffreddamento + riscaldamento) Vita utile: 10 anni	1 738 ore (riscaldamento + acqua calda sanitaria) Vita utile: 20 anni
Tipo di refrigerante	R-32	R-410a
Carica iniziale di refrigerante	1 kg/unità	2,4 kg/unità
Perdita di refrigerante	Assemblaggio: 3% (Heck, 2007) Funzionamento: 2% all'anno (Lozano-Miralles et al., 2018)	Assemblaggio: 3% (Heck, 2007) Funzionamento: 4% all'anno (Department of Energy & Climate Change, 2014)

¹ Peso medio tra la tipologia monoblocco e il modello splitato.

3. Risultati e discussione

Questa sezione riporta sia per il settore domestico che per quello industriale i risultati del confronto tra i potenziali impatti ambientali della filiera GPL e dei settori energetici alternativi (pellet, gasolio e pompa di calore elettrica). Per ogni filiera, oltre al valore complessivo di impatto per ciascuna delle categorie indicate al paragrafo 1.5, è presentata e discussa l'analisi dei contributi che individua, all'interno della filiera analizzata, i processi del ciclo di vita maggiormente impattanti.

3.1. Settore domestico

Per il settore domestico è stato effettuato un confronto tra la filiera del GPL e l'uso alternativo di pellet, gasolio e pompe di calore elettriche nel contesto medio italiano. La Tabella 5 riporta il valore complessivo di impatto associato a ciascuna categoria per la filiera GPL e la corrispondente variazione percentuale tra il medesimo scenario GPL e le filiere energetiche alternative. Le categorie di impatto dove lo scenario energetico alternativo risulta migliore sono riportate in colore verde, mentre in rosso si indicano quelle per cui l'alternativa energetica presenta un peggioramento rispetto alla filiera del GPL. Al fine di considerare eventuali incertezze legate alla modellizzazione LCA, due filiere sono state ritenute confrontabili (colore nero in Tabella 5) quando si evidenzia, per una data categoria, una differenza d'impatto inferiore o uguale al 10%.

Nel confronto tra GPL e pellet nel contesto italiano, la filiera del pellet risulta peggiorativa in 12 delle 16 categorie di impatto considerate, con un incremento d'impatto sempre maggiore del +39% (categoria *tossicità umana cancerogena*) e che supera il +1000% in due categorie di impatto (+1094% nella categoria *assunzione di materiale particolato* e +8769% nella categoria *consumo di suolo*). In accordo con l'analisi dei contributi effettuata (Figura 3), le migliori prestazioni ambientali del GPL sono associate ai minori carichi ambientali in fase di produzione (come si osserva nelle categorie di impatto AP/TU_{NC}/TU_C/ED/EM/ET/CS/CA e CR_M), in fase di importazione e distribuzione del combustibile (specialmente per le categorie TU_C/EC/CA e CR_M) e nella fase di combustione finale (FO/AP/TU/A/EM/ET/CA ed EC). Più specificatamente, i benefici ambientali del GPL durante la fase di combustione sono riconducibili ai seguenti aspetti:

- minori emissioni dirette in atmosfera di NO_x (-82% in accordo con Tabella 3), con un evidente beneficio nelle categorie di *formazione fotochimica di ozono*, *acidificazione*, *eutrofizzazione marina e terrestre*;
- un'emissione diretta di particolato fine inferiore di tre ordini di grandezza (-99,9%; Tabella 3), che garantisce un vantaggio ambientale nella categoria *assunzione di materiale particolato*;
- assenza di ceneri nella filiera del GPL, il cui smaltimento finale determina carichi ambientali non trascurabili per la filiera del pellet nelle categorie di *tossicità umana*;
- una maggiore potenza termica della caldaia (25 kW) rispetto alle comuni stufe a pellet (10,5 kW), che implica una minore richiesta di infrastruttura a parità di calore prodotto (Tabella 3).

Nelle categorie di impatto dove il GPL risulta avere prestazioni ambientali peggiori del pellet (CC/AO e CR_E), la motivazione è generalmente legata all'origine fossile del combustibile, caratteristica ovviamente non modificabile se non mediante il ricorso alla produzione di GPL di origine biogenica. Nella categoria di impatto *cambiamento climatico*, le due filiere presentano carichi ambientali pressoché confrontabili nel processo di produzione e distribuzione del combustibile; lo scenario del GPL mostra tuttavia un impatto elevato in fase di combustione domestica per le emissioni dirette in aria di CO₂ fossile (72,1 kg/GJ; Tabella 3). Si sottolinea che la combustione del pellet prevede l'emissione in aria di una maggiore quantità di anidride carbonica (111,2 kg/UF; Tabella 3); tuttavia convenzionalmente a livello di raccomandazione della Commissione Europea (Zampori & Pant, 2019) si assume che tale emissione non concorra nel

calcolo dell'indicatore ambientale poiché si tratta di una re-immissione in aria di CO₂ precedentemente assorbita dalla biomassa da cui il pellet deriva.

Nella categoria di impatto *consumo di risorse, vettori energetici non rinnovabili*, il ciclo di vita del GPL evidenzia un carico significativo in fase di produzione del combustibile per l'estrazione di fonti fossili ossia petrolio greggio e gas naturale come input del processo (Figura 3). Una spiegazione differente sta invece alla base delle prestazioni peggiorative del GPL nella categoria di impatto *assottigliamento dello strato di ozono*. In tale categoria, la filiera GPL presenta un carico elevato in fase di produzione associato al processo di estrazione del combustibile in raffineria (effettuato sul 43% del GPL distribuito), per le emissioni di Halon 1301 presenti durante l'estrazione e la lavorazione del petrolio.

Nel confronto tra la filiera del gasolio e del GPL, il gasolio risulta peggiore in 9 delle 16 categorie di impatto (AO/RI/FO/AP/A/EM/ET/EC e CR_E) con incrementi di impatto fino al 156% (categoria di impatto *radiazioni ionizzanti*; Tabella 5). La ragione è principalmente riconducibile al maggiore impatto ambientale del gasolio in fase produttiva poiché tale combustibile è esclusivamente prodotto dalla raffinazione del petrolio, mentre il GPL deriva per il 57% in massa dall'estrazione di gas naturale, un processo generalmente meno impattante (Figura 4). La filiera GPL presenta inoltre carichi ambientali significativamente inferiori durante la combustione in caldaia domestica (Figura 4) per i seguenti vantaggi in termini emissivi:

- minori emissioni di ossidi di azoto (-42% in accordo con Tabella 3), con benefici evidenti per le categorie di impatto *formazione di ozono fotochimico, eutrofizzazione terrestre e marina*;
- minori emissioni di ossidi di zolfo (-95% in accordo con Tabella 3), con specifico riferimento alle categorie di impatto *assunzione di materiale particolato e acidificazione*;
- assenza di emissioni di piombo e cadmio, con vantaggi significativi nella categoria di *tossicità umana non cancerogena*.

La filiera del gasolio per riscaldamento domestico risulta invece migliorativa nelle categorie di impatto *tossicità umana cancerogena* ed *eutrofizzazione in acqua dolce*. In entrambe le categorie, la differenza significativa tra i due combustibili consiste nei carichi ambientali della fase di stoccaggio presso l'utente ossia negli impatti associati alla produzione del serbatoio in acciaio. In accordo con le informazioni primarie acquisite (Tabella 2), il peso per unità funzionale del serbatoio di GPL è superiore di circa il doppio rispetto a quello del gasolio (serbatoio monocamera). Inoltre, anche la fase di importazione e distribuzione del combustibile presenta carichi ambientali maggiori per il GPL. Questo perché la filiera del gasolio prevede innanzitutto l'importazione del combustibile solo per una quantità ridotta (14% in massa) e la successiva fase distributiva è localizzata in poche aree geografiche con una conseguente percorrenza media del viaggio di consegna di 190 km anziché di 300 km come per la filiera del GPL. Si segnala infine che per cinque categorie di impatto (*cambiamento climatico, tossicità umana non cancerogena, consumo di suolo, consumo di risorse idriche e consumo di risorse, minerali e metalli*) gli impatti delle due filiere risultano di entità confrontabile.

Per quanto riguarda le pompe di calore elettriche, è evidente che gli impatti ambientali del loro ciclo di vita e il conseguente confronto con la filiera GPL sono strettamente dipendenti dal mix elettrico di alimentazione (Tabella 5). Quando l'elettricità è prelevata dalla rete elettrica, l'uso del GPL è migliore in 10 su 16 categorie per la pompa idronica e in 9 su 16 categorie per l'impianto aria-aria. L'atteso incremento della quota di energia rinnovabile presente nel mix elettrico italiano è destinato tuttavia a rendere progressivamente meno vantaggiosa la filiera GPL: infatti se la pompa di calore di entrambe le tipologie fosse allacciata ad un impianto fotovoltaico, la filiera GPL risulterebbe preferibile in sole 4 categorie di impatto (TU_{NC}/ED/CA e CR_M). È bene sottolineare però che la

filiera del GPL è propensa ad orientarsi in un prossimo futuro verso la produzione di bio-GPL e/o miscele di GPL con combustibili rinnovabili; sarà quindi opportuno effettuare anche un confronto tra queste nuove filiere e l'alternativa elettrica alimentata da un mix rinnovabile.

3.2. Settore industriale

Tale sezione è dedicata al confronto tra le filiere GPL e gasolio in ambito industriale (80% settore *small-business* e 20% grandi industrie) per il contesto italiano. I risultati di tale confronto sono riportati in Tabella 6 (valore degli impatti complessivi) e in Figura 5 (analisi dei contributi).

In maniera del tutto simile al confronto per il settore domestico, emerge che il GPL fornisce prestazioni ambientali migliori in 10 delle 16 categorie di impatto analizzate (AO/RI/FO/AP/TU_{NC}/A/EM/ET/EC e CR_E). In tali categorie di impatto, la filiera del gasolio presenta aumenti di impatto compresi tra l'11% (categoria di impatto *ecotossicità delle acque dolci*) e il 149% (categoria di impatto *radiazioni ionizzanti*). Il gasolio è vantaggioso solamente per l'*eutrofizzazione in acqua dolce* e il *consumo di risorse idriche* mentre per le 4 categorie di impatto rimanenti (*cambiamento climatico*, *tossicità umana cancerogena*, *consumo di suolo* e *consumo di risorse, minerali & metalli*) gli impatti delle due filiere sono confrontabili.

Tabella 5. Potenziali impatti ambientali espressi per unità funzionale associati alla filiera GPL ad uso domestico e variazione percentuale di impatto nelle filiere associate alle fonti energetiche alternative (pellet, gasolio e pompe di calore elettriche). Tale variazione percentuale è calcolata come: $\Delta\% = \frac{[IMPATTO_{FILIERA\ ALTERNATIVA} - IMPATTO_{GPL}]}{IMPATTO_{GPL}}$. LEGENDA: celle verdi - filiera energetica alternativa migliore rispetto alla filiera GPL; celle rosse - filiera energetica alternativa peggiore rispetto alla filiera GPL; celle nere: scenari confrontabili (variazione di impatto contenuta entro il 10%).

Categoria di impatto ¹	GPL (impatto per UF)	Pellet	Gasolio	Variazione percentuale di impatto (%)			
				Pompa di calore idronica (clima rigido)		Pompa di calore aria-aria (clima mite)	
				Prelievo da rete	Fotovoltaico	Prelievo da rete	Fotovoltaico
CC (kg CO ₂ eq.)	93,83	-76%	+9%	-58%	-86%	-67%	-91%
AO (kg CFC-11 eq.)	$1,17 \times 10^{-5}$	-75%	+124%	-47%	-88%	-54%	-89%
RI (kBq U-235 eq.)	3,30	-2%	+156%	+56%	-86%	+35%	-82%
FO (kg COVNM eq.)	0,11	+150%	+48%	-39%	-76%	-45%	-77%
AP (incidenza di malattia)	$1,13 \times 10^{-6}$	+1094%	+45%	+32%	-60%	+17%	-62%
TU _{NC} (CTUh)	$1,87 \times 10^{-6}$	+578%	+9%	+47%	+54%	+61%	+67%
TU _C (CTUh)	$3,55 \times 10^{-7}$	+39%	-20%	+15%	-34%	+6%	-36%
A (mol H ⁺ eq.)	0,18	+86%	+109%	+51%	-67%	+36%	-64%
ED (kg P eq.)	$3,23 \times 10^{-3}$	+140%	-13%	+186%	+146%	+205%	+171%
EM (kg N eq.)	$2,92 \times 10^{-2}$	+257%	+46%	-13%	-70%	-22%	-70%
ET (mol N eq.)	0,34	+298%	+45%	+123%	-74%	+94%	-73%
EC (CTUe)	19,14	+96%	+12%	-38%	-55%	-39%	-53%
CS (Pt)	88,10	+8769%	+3%	+233%	-63%	+189%	-53%
CA (m ³ acqua)	2,00	+143%	-4%	+906%	+185%	+772%	+160%
CR _E (MJ)	1122,99	-72%	+29%	-54%	-93%	-59%	-92%
CR _M (kg Sb eq.)	$2,71 \times 10^{-5}$	+156%	-1%	+292%	+910%	+389%	+915%

¹ CC=cambiamento climatico; AO=assottigliamento dello strato di ozono; RI=radiazioni ionizzanti; FO=formazione di ozono fotochimico; AP=assunzione di materiale particolato; TU=tossicità umana; A=acidificazione; ED=eutrofizzazione in acqua dolce; EM=eutrofizzazione marina; ET=eutrofizzazione terrestre; EC=ecotossicità acquatica; CS=consumo di suolo; CA=consumo di risorsa idrica; CR_E=consumo di risorse energetiche, non rinnovabili; CR_M=consumo di risorse, minerali & metalli (la legenda è valida anche per la Tabella 6 e per le Figure 3, 4 e 5).

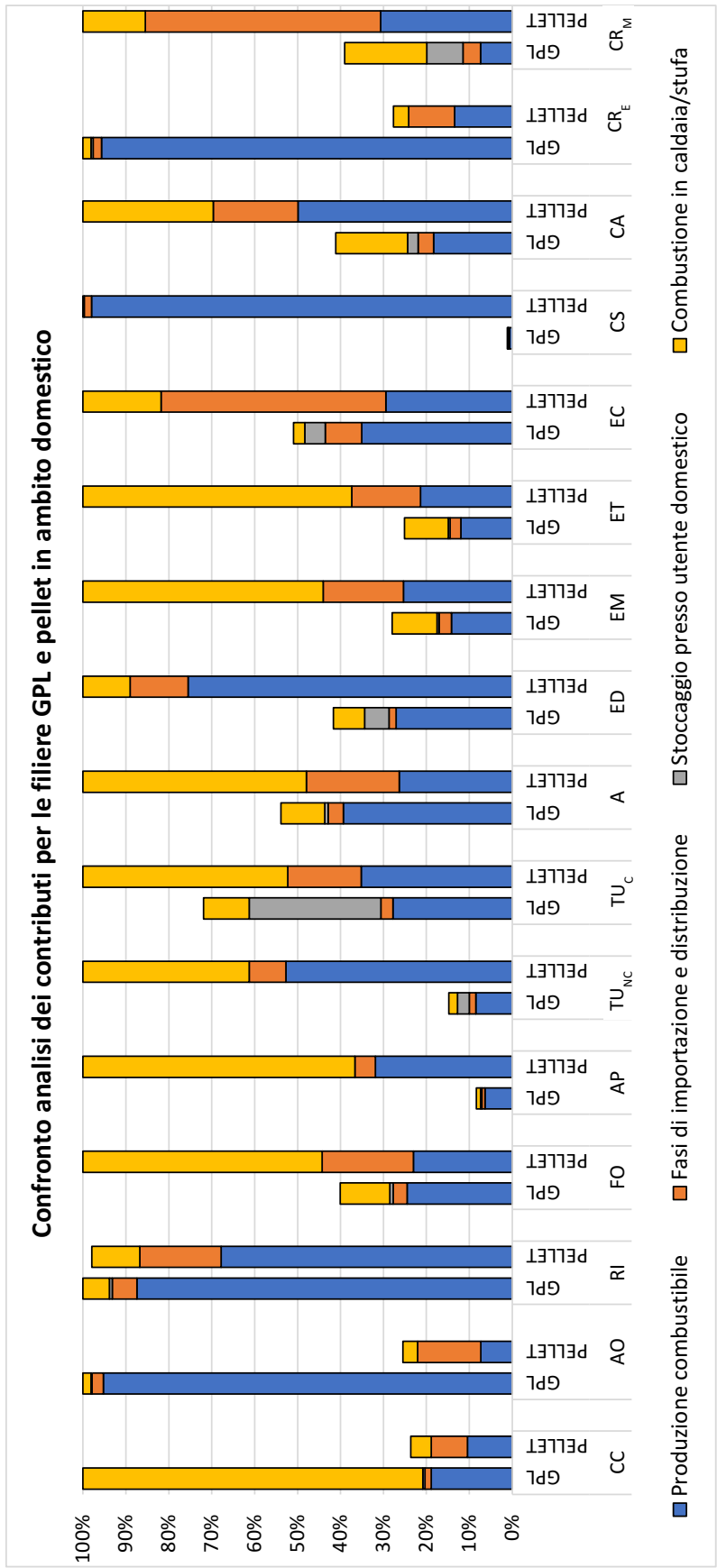


Figura 3. Contributi agli impatti delle principali fasi del ciclo di vita per la filiera nazionale domestica di GPL e pellet nelle 16 categorie di impatto analizzate. L'impatto dello scenario maggiore è stato posto al 100% e gli altri contributi calcolati conseguentemente.

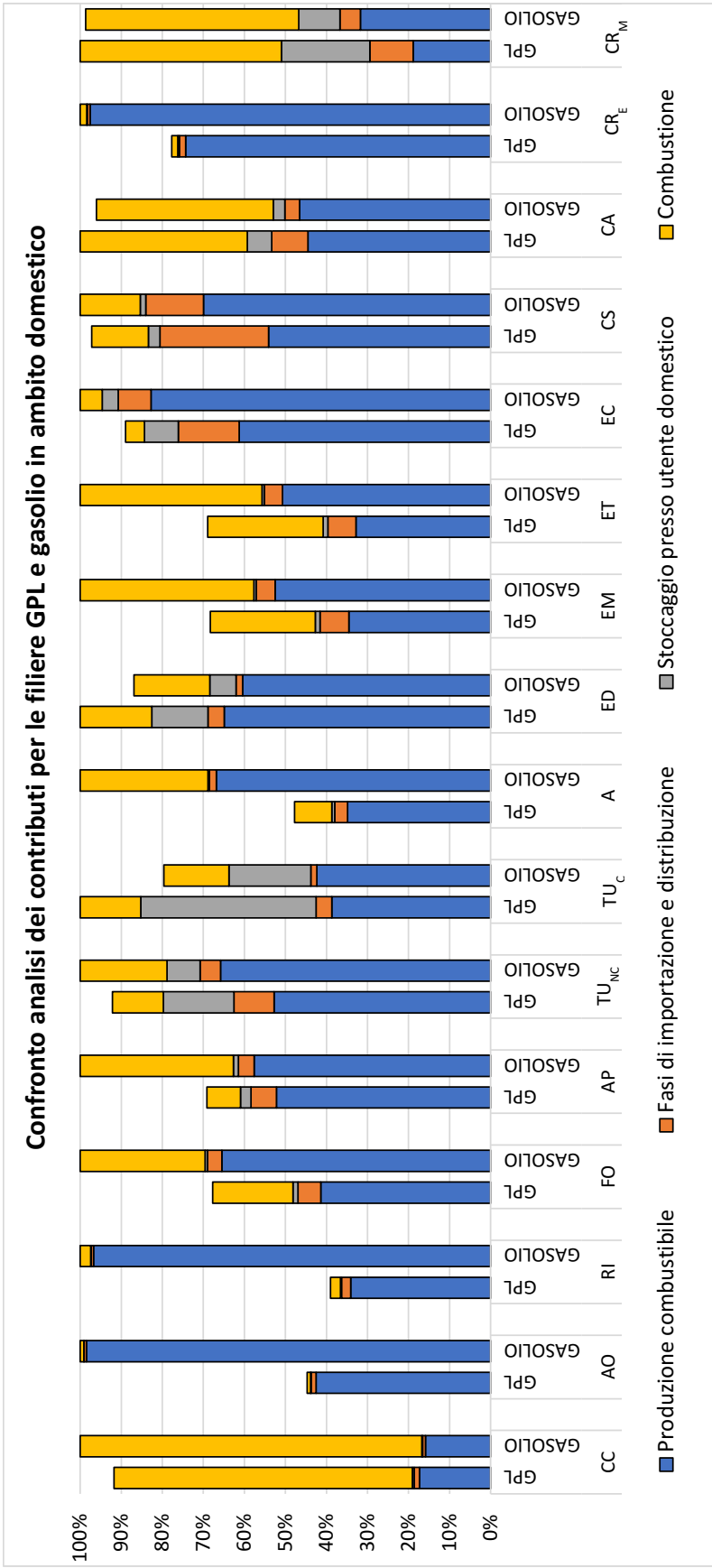


Figura 4. Contributi agli impatti delle principali fasi del ciclo di vita per le filiere GPL e gasolio in ambito domestico nelle 16 categorie di impatto analizzate. L'impatto dello scenario maggiore è stato posto al 100% e gli altri contributi calcolati conseguentemente.

Tabella 6. Impatti ambientali espressi per unità funzionale associati alla filiera GPL ad uso industriale e variazione percentuale di impatto relativa alla filiera del gasolio. Tale variazione percentuale è calcolata come: $\Delta\% = \frac{[\text{IMPATTO}_{\text{GASOLIO}} - \text{IMPATTO}_{\text{GPL}}]}{\text{IMPATTO}_{\text{GPL}}}$. LEGENDA: celle verdi - filiera gasolio migliore rispetto alla filiera GPL; celle rosse - filiera gasolio peggiore rispetto alla filiera GPL; celle nere: scenari confrontabili (variazione di impatto contenuta entro il 10%).

Categoria di impatto	Valore indicatore	Variazione percentuale dell'impatto per la filiera del gasolio
CC (kg CO ₂ eq.)	96,84	+7%
AO (kg CFC-11 eq.)	1,19×10 ⁻⁵	+114%
RI (kBq U-235 eq.)	3,29	+149%
FO (kg COVNM eq.)	0,12	+57%
AP (incidenza di malattie)	1,16×10 ⁻⁶	+67%
TU _{NC} (CTUh)	1,62×10 ⁻⁶	+52%
TU _C (CTUh)	2,62×10 ⁻⁷	-7%
A (mol H ⁺ eq.)	0,18	+141%
ED (kg P eq.)	2,65×10 ⁻³	-16%
EM (kg N eq.)	3,27×10 ⁻²	+60%
ET (mol N eq.)	0,37	+60%
EC (CTUe)	18,66	+11%
CS (Pt)	84,47	-3%
CA (m ³ acqua)	1,51	-11%
CR _E (MJ)	1147,31	+23%
CR _M (kg Sb eq.)	1,27×10 ⁻⁵	-4%

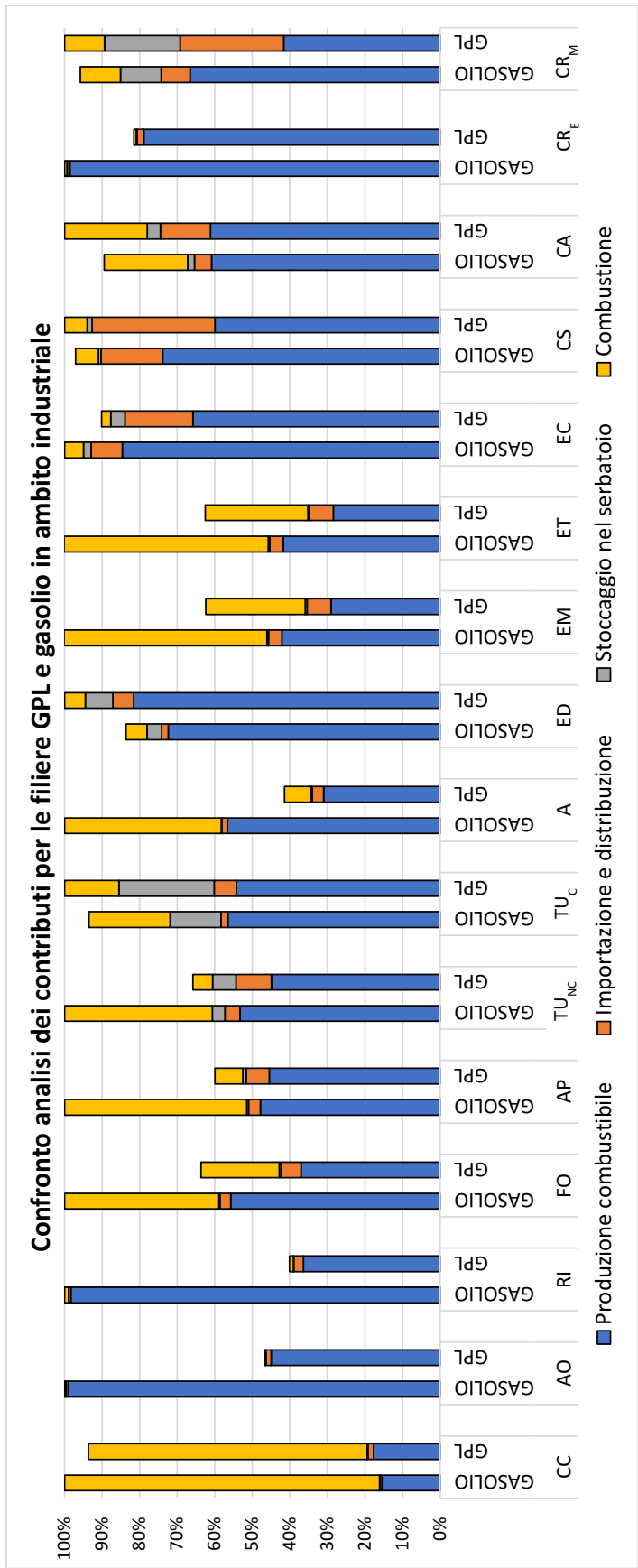


Figura 5. Contributi agli impatti delle principali fasi del ciclo di vita per le filiere GPL e gasolio in ambito industriale nelle 16 categorie di impatto analizzate. L'impatto dello scenario maggiore è stato posto al 100% e gli altri contributi calcolati conseguentemente.

4. Conclusioni

Il presente studio ha valutato dettagliatamente, attraverso la metodologia LCA, i potenziali impatti ambientali associati alla filiera nazionale del GPL per uso stazionario. Le prestazioni di tale combustibile per uso domestico ed industriale sono state confrontate con le più comuni alternative energetiche, considerando 16 categorie di impatto sull'ambiente, sulla salute umana e sul consumo di risorse in accordo con le più recenti linee guida europee.

Per il settore domestico, l'utilizzo di GPL in caldaie è stato confrontato con alcuni scenari energetici alternativi, nello specifico il consumo di pellet in stufe ad aria, l'uso di gasolio in caldaie di vecchia installazione e il ricorso a pompe di calore elettriche (idronica in clima rigido e aria-aria in clima temperato).

L'analisi sul settore industriale ha riguardato, invece, la produzione di calore nel settore *small-business* (80% del mercato) e grandi industrie (20% del mercato) e ha previsto un confronto tra l'uso di GPL e gasolio in caldaie di potenza superiore a 100 kW.

Il confronto è avvenuto considerando come unità funzionale *la produzione di 1 GJ di calore utile in uscita dall'apparecchio di generazione*, includendo tutte le fasi del ciclo di vita delle filiere energetiche (produzione del combustibile/energia elettrica, importazione, distribuzione, stoccaggio presso l'utente e successiva combustione).

Nel settore domestico, la filiera GPL nelle attuali condizioni operative offre prestazioni generalmente migliori rispetto alle filiere competitive di pellet e gasolio (GPL migliore per 12 su 16 categorie di impatto rispetto al pellet e per 9 su 16 categorie di impatto rispetto al gasolio). Le principali differenze si riscontrano, come prevedibile, sulle categorie di impatto associate alla rinnovabilità, di fatto le uniche, insieme all'assottigliamento dello strato di ozono, dove il pellet risulta vincente rispetto al GPL. Il confronto con la filiera elettrica, invece, risulta significativamente influenzato dalla fonte di approvvigionamento dell'elettricità. In caso di prelievo da rete alle condizioni attuali (2019) e in accordo con i valori di COP scelti, la filiera del GPL risulta migliore per 10 categorie di impatto su 16 nel confronto con la pompa idronica e per 9 su 16 nel caso di pompa aria-aria. Come per il confronto con il pellet, anche in questo caso la filiera elettrica risulta sempre vincente, tra le altre, per le categorie di impatto associate alla rinnovabilità (cambiamento climatico e consumo di risorse energetiche non rinnovabili), mentre risulta perdente in particolare sul fronte del consumo di risorsa idrica e di risorse minerali. L'atteso incremento della quota di energia rinnovabile immessa in rete è destinato a rendere progressivamente meno vantaggiosa la filiera GPL rispetto a quella elettrica: infatti nel caso estremo di alimentazione della pompa con un impianto fotovoltaico domestico, l'uso di GPL rimarrebbe migliore in sole 4 categorie di impatto. È bene sottolineare però che la filiera del GPL è propensa ad orientarsi in un prossimo futuro verso la produzione di bio-GPL e/o miscele di GPL con combustibili rinnovabili; sarà quindi opportuno effettuare anche un confronto tra queste nuove filiere e l'alternativa elettrica alimentata da un mix rinnovabile.

Per quanto concerne l'ambito industriale, i risultati dell'analisi mostrano come la filiera GPL risulti generalmente vantaggiosa da un punto di vista ambientale rispetto a quella del gasolio, con impatti minori in 10 su 16 categorie di impatto.

Oltre a effettuare i confronti con i sistemi concorrenti, lo studio LCA ha permesso di identificare potenziali di miglioramento ambientale per la filiera GPL per uso stazionario in Italia in modo da garantire una gestione futura più sostenibile nell'intero ciclo di vita del combustibile commercializzato.

In dettaglio, si raccomandano i seguenti interventi:

- valutare in un’ottica di ciclo di vita le prestazioni ambientali di processi produttivi del GPL di origine biogenica o di miscele di GPL e combustibili rinnovabili e, in caso di risultati migliorativi rispetto alla filiera fossile attuale, promuovere la loro effettiva introduzione sul mercato nazionale;
- promuovere l’uso di fonti energetiche alternative (es. fotovoltaico e cogenerazione) nel processo produttivo del GPL a livello di raffinazione del petrolio nel contesto nazionale;
- promuovere il rinnovamento della flotta di autocisterne per il trasporto stradale del GPL. A tale proposito si sottolinea che, al momento, le società coinvolte nello studio prevedono un parco mezzi in prevalenza di classe Euro 5, che garantisce un carico ambientale in fase distributiva abbastanza contenuto nonostante la percorrenza media di un viaggio di consegna di sola andata si aggiri intorno ai 300 km (ambito domestico) - 350 km (ambito industriale). Sempre in relazione alla fase distributiva si raccomanda, se possibile, di promuovere il trasporto del combustibile su rotaia;
- allungare quanto più possibile la vita del serbatoio di stoccaggio in acciaio al carbonio installato presso l’utente, la cui produzione è caratterizzata da impatti non trascurabili nelle categorie di impatto *tossicità umana e consumo di risorse, metalli e minerali*;
- incentivare presso gli utenti la sostituzione di vecchie caldaie domestiche e industriali con moderni apparecchi a condensazione caratterizzati da rendimenti più elevati e quindi da un’effettiva riduzione delle emissioni in atmosfera a parità di calore utile prodotto.

Bibliografia

Altroconsumo (2019). *Stufe a pellet efficienti e sicure*. Inchieste febbraio 2019, n° 333. Available online (in Italian): <https://www.altroconsumo.it/vetrina?type=magazine-articles&magazine=altroconsumo>

Bioenergy Europe (2019). *Statistical Report (2019) - Report Pellet*. Autori: Calderón C., Colla M., Jossart J-M., Hemeleers N., Martin A., Aveni N., Caferri C. Available online: <https://bioenergyeurope.org/article.html/268>

Department of Energy & Climate Change (2014). *Impacts of leakage from refrigerants in heat pumps*. Available online: <https://www.ammonia21.com/files/decc-refrigerants-heat-pumps.pdf>

ENEA - Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (2015). *Analisi della dotazione impiantistica di climatizzazione (estiva e invernale) del patrimonio edilizio ad uso residenziale e terziario e valutazione dell'impatto economico in relazione a misure di politiche energetiche e ambientali finalizzate a incidere sensibilmente sull'efficienza negli usi finali e alla promozione di fonti di energia rinnovabile*. Available online (in Italian): https://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/edifici-pa/2014/rds-par2014-069.pdf

Fachinger F., Drewnick F., Gieré R., Borrmann S. (2017). *How the user can influence particulate emissions from residential wood and pellet stoves: emission factors for different fuels and burning conditions*. Atmospheric Environment, 158: 216-226. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.03.027>

Fazio S., Castellani V., Sala S., Schau EM., Secchi M., Zampori L., Diaconu E. (2018). *Supporting information to the characterisation factors of recommended EF Life Cycle Impact Assessment method. New models and differences with ILCD*. JRC Technical Reports. ISBN 978-92-79-76742-5 Available online: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/supporting-information-characterisation-factors-recommended-ef-life-cycle-impact-assessment-methods>

Gestore Servizi Energetici - GSE (2019). *Rapporto Statistico Solare Fotovoltaico 2018, il solare fotovoltaico in Italia stato di sviluppo e trend del settore*. Available online (in Italian): https://www.gse.it/documenti_site/Documenti%20GSE/Rapporti%20statistici/Solare%20Fotovoltaico%20-%20Rapporto%20Statistico%202018.pdf

Global Wood Markets Info (2019). *Italy: imports of wood pellets up 27% in 2018*. Available online: <https://www.globalwoodmarketsinfo.com/italy-imports-wood-pellets-27-2018/>

Greening B. & Azapagic A. (2012). *Domestic heat pumps: life cycle environmental impacts and potential implications for the UK*. Energy 39(1): 205-217. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.energy.2012.01.028>

Heck T. (2007). *Wärmepumpen*. ecoinvent report n°6-X, Villigen, Dicembre 2007

Innovhub, stazione sperimentale per i combustibili (2005). *Sperimentazione combustibili - Analisi comparativa dei combustibili ad uso civile*. The document was directly provided by Innovhub.

Innovhub, stazione sperimentale per i combustibili (2017a). *Compendio di fattori di emissione di vari combustibili. Rapporto prova N°: RPT-SSC-170047*. The document was directly provided by Liqueigas S.p.A.

Innovhub, stazione sperimentale per i combustibili (2017b). *Studio comparativo sulle emissioni di apparecchi a gas, GPL, gasolio e pellet ed effetto dell'invecchiamento*. Available online (in Italian): <https://assogasliquidi.federchimica.it/docs/default-source/default-document-library/executive-summary-studio-innovhub.pdf>

International Organisation for Standardisation - ISO (2006). *ISO 14040 Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Principi e quadro di riferimento*

ISO (2018). *ISO 14044 Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Requisiti e linee guida*

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, ISPRA (2019) - Rete del Sistema Informativo Nazionale Ambientale. *Fattori di emissione per le sorgenti di combustione stazionarie in Italia*. File excel available online (in Italian): <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/serie-storiche-emissioni/fattori-di-emissione-per-le-sorgenti-di-combustione-stazionarie-in-italia/view>

Lozano-Miralles J.A., Palomar-Carnicero J.M., Lopez-Garcia R., Rey-Martinez F.J. (2018). *Life cycle assessment (LCA) methodology of air/air heat pump applicated to a tertiary building as a contribution to renewable energy*. DYNA Journal Engineering, 93(3): 262-267. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8465>

Marcotte S., Castilla C., Morin C., Merlet-Machour N., Carrasco-Cabrera L., Medaerts F., Lavanant H., Afonso C. (2020). *Particulate inorganic salts and trace element emissions of a domestic boiler fed with five commercial brands of wood pellets*. Environmental Science and Pollution Research, 27: 18221-18231. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08329-8>

Ozgen S., Caserini S., Galante S., Giugliano M., Angelino E., Marongiu A., Hugony F., Migliavacca G., Morreale C. (2014). *Emission factors from small scale appliances burning wood and pellets*. Atmospheric Environment 94:144-153. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.05.032>

Ozgen S. and Caserini S. (2018). *Methane emissions from small residential wood combustion appliances: experimental emission factors and warming potential*. Atmospheric Environment, 189: 164-173. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.07.006>

Pieve M. and Trinchieri R. (2019). *The heat-pump market in Italy: an in-depth economic study about the reasons for a still unexpressed potential*. Clean Energy, 3(2), 126-143. DOI: <https://doi.org/10.1093/ce/zkz002>

Quinteiro P., Greco F., da Cruz Tarelho L.A., Righi S., Arroja L., Dias A.C. (2020). *A comparative life cycle assessment of centralised and decentralised wood pellets production for residential heating*. Science of the Total Environment 730, 139162. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139162>

Staffetta quotidiana (2020) - Quotidiano delle fonti di energia. *Evoluzione consumi decennali (2009-2019) - Gasoli altri usi in extra-rete, uso per riscaldamento*. Available online (in Italian): <https://www.staffettaonline.com/>

Terna (2019a). *Pubblicazioni statistiche - produzione di energia elettrica in Italia, anno 2019*. Available online (in Italian): https://download.terna.it/terna/5-PRODUZIONE_8d833bdb946e47d.pdf

Terna (2019b). *Pubblicazioni statistiche - Energia elettrica richiesta in Italia nell'anno 2019*. Available online (in Italian): https://download.terna.it/terna/RICHIESTA%202019%20Annuale%20e%20Mensile_8d833bc2d59f891.pdf

Venturini E., Vassura I., Agostini F., Pizzi A., Toscano G., Passarini F. (2018). *Effect of fuel quality classes on the emissions of a residential wood pellet stove*. Fuel 211: 269-277. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.09.017>

Zampori L. and Pant R. (2019). *Suggestions for updating the Product Environmental Footprint (PEF) method*. JRC Technical Reports. ISBN 978-92-76-00654-1. Available online: https://eplca.jrc.ec.europa.eu/permalink/PEF_method.pdf

PAGINA BIANCA

PAGINA BIANCA



19STC0040450