

Il metano nell'inventario nazionale delle emissioni di gas serra. L'Italia e il Global Methane Pledge



Il metano nell'inventario nazionale delle emissioni di gas serra. L'Italia e il Global Methane Pledge

Informazioni legali

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

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

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

ISPRA, Rapporti 374/2022
ISBN 978-88-448-1133-4

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Elaborazione grafica

Grafica di copertina: Alessia Marinelli - ISPRA – Area Comunicazione Ufficio Grafica
ISPRA – Area Comunicazione

Coordinamento pubblicazione online:

Daria Mazzella
ISPRA – Area Comunicazione

27 Settembre 2022

Autori

Antonio Caputo (Introduzione, §1, §4, §5, §6, Conclusioni), Eleonora Di Cristofaro (§2), Barbara Gonella (§3), Ernesto Taurino (§3, §5)

Ringraziamenti

È lunga la lista delle persone da ringraziare perché numeroso è il gruppo di persone che ogni anno elabora le stime delle emissioni e redige l'Inventario Nazionale delle emissioni di gas serra. Questo lavoro ne è una costola e a tutti gli autori e le autrici dell'Inventario va il nostro ringraziamento.

Contatti:

Antonio Caputo

Tel. 0650072540

e-mail antonio.caputo@isprambiente.it

Area VAL-ATM

Sezione scenari di emissione, modelli integrati e indicatori

“Penso che gli ambiziosi delle democrazie si preoccupino meno degli altri degli interessi e dei giudizi dell'avvenire, poiché sono completamente assorbiti dal momento attuale. Preferiscono condurre a termine rapidamente molte imprese più che elevare pochi monumenti duraturi; amano il successo più che la gloria.”

Alexis de Tocqueville, La democrazia in America, 1835-1840.

INDICE

EXECUTIVE SUMMARY	6
SOMMARIO (Italiano)	18
INTRODUZIONE	31
1 EMISSIONI NAZIONALI DI METANO	36
1.1 Il metano nell’Inventario nazionale delle emissioni di gas serra	38
1.1.1 Agricoltura	41
1.1.2 Rifiuti	43
1.1.3 Energia: emissioni fuggitive	44
1.1.4 Energia: combustione	46
1.1.5 Principali sorgenti emissive	48
2 AGRICOLTURA	51
2.1 Fermentazione enterica	52
2.2 Gestione delle deiezioni	56
2.3 Coltivazione di riso	59
3 RIFIUTI	62
3.1 Smaltimento dei rifiuti solidi	63
3.2 Gestione acque reflue	68
3.2.1 Emissioni di metano dai reflui civili	68
3.2.2 Emissioni di metano dai reflui industriali	72
4 ENERGIA: EMISSIONI FUGGITIVE	75
5 ENERGIA: COMBUSTIONE	83
6 CONTESTO INTERNAZIONALE	88
CONCLUSIONI	94
BIBLIOGRAFIA	98

EXECUTIVE SUMMARY

Methane is a powerful greenhouse gas, second only to carbon dioxide in terms of its contribution to global warming (IPCC, 2021). Methane has a Global Warming Potential (GWP) 85 times that of CO₂ over a period of 20 years, although CO₂ has an atmospheric lifetime of thousands of years, while methane disappears in about 10-15 years. The rapid decay of methane and its high impact on atmospheric temperature make it a primary objective to curb in a timely and effective manner the climate change.

According to the recent report of the International Energy Agency (IEA, 2021) reducing anthropogenic methane emissions is one of the most effective strategies, including in economic terms, to rapidly reduce the rate of warming and contribute significantly to efforts to limit the increasing global temperature. Currently available measures, along with additional measures (energy efficiency, fuel substitution and behavioral changes, such as reducing food waste, modifying the diet) can reduce anthropogenic methane emissions by up to 45% or 180 Mt per year by 2030. This result would avoid almost 0.3°C of global warming in the decade from 2040 and is considered a prerequisite for complying with the 2015 Paris Agreements that aim to limit global warming to 2°C, possibly 1.5°C, above pre-industrial levels.

In this context, the focus on methane and the emission reduction commitments such as the one announced in September 2021 by the European Union and the United States (*Global Methane Pledge*) with a political commitment to reduce global methane emissions in all sectors by 30% below 2020 levels by 2030. The Commitment has been launched at the COP 26 in November 2021 held in Glasgow and signed at the 19 September 2022 by 122 countries.

The European Commission had already in October 2020 announced the strategy for the reduction of methane emissions (EC, 2020[a]) with the aim of containing the rise in temperature, improving air quality, and strengthening the EU's leadership in the fight against climate change. Reducing methane emissions is essential to achieve greenhouse gas reduction targets of at least 55% by 2030 and carbon neutrality in 2050. The strategy focuses on reducing methane emissions in the energy, agriculture, and waste sectors, as these areas account for almost all anthropogenic methane emissions. Among the various objectives, the strategy stresses the need to improve measures and the reporting of methane emissions to international bodies.

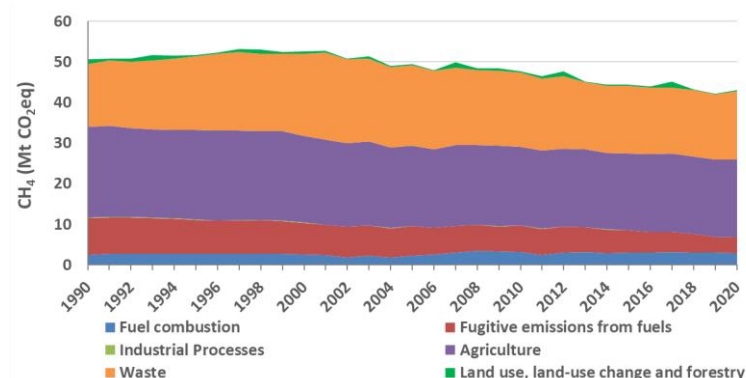
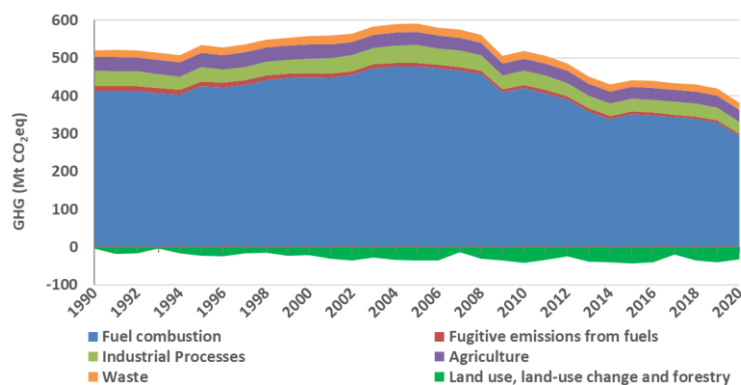
As highlighted by the recent study by the International Energy Agency (IEA, 2022) global methane emissions in the energy sector are about 70% greater than reported to the UNFCCC by national governments, although the differences between IEA estimates and National Inventories are not the same for all the states.

This report analyses methane emissions from the main emission sources. The data examined are reported in the National Greenhouse Gas Emission Inventory submitted by ISPRA to UNFCCC. A brief international overview of methane emissions and a comparison between the promoters of the *Global Methane Pledge* (the United States and the European Union) will also be carried out. The knowledge of the methane emission levels from the respective sources is an unavoidable step for the evaluation of the effectiveness of national measures and policies to be implemented for the mitigation of methane in all sectors to comply with European and international climate objectives. The greatest attention must be paid to the main sources considering the feasibility and costs in the overall budget of the measures that can potentially be taken. In addition, knowledge of the international situation provides a useful framework for the definition of possible objectives for individual state entities to achieve the global goal set by the *Global Methane Pledge*.

National methane emissions

National greenhouse gas emissions are reduced from 519.9 Mt CO₂eq in 1990 to 381.2 Mt CO₂eq in 2020 with a reduction of 26.7%. Considering the contribution of natural sources, namely the LULUCF sector, it is estimated a net absorption of greenhouse gases ranging from 3.6 Mt CO₂eq in 1990 to 32.4 Mt CO₂eq in 2020.

National methane emissions, without the contribution of natural sources, represent on average 9.5%±0.7% of CO₂eq emissions from 1990 to 2020, with a rather variable trend and lower than the European average (EU28) in



the same period is 10.9%±0.9%. Methane emissions without LULUCF decreased from 49.4 to 42.8 Mt CO₂eq from 1990 to 2020 (-13.4%). The reduction of methane emissions is much lower than the reduction of total GHG (-26.7%). In addition, GHGs other than methane reduced the emissions by 28.1% from 1990 to 2020. These rates show the need to achieve methane emissions reduction from the main sources.

Emission sources contribute differently to methane emissions. The agriculture is the main source, followed by the waste sector. In the last year, methane emissions from such two sectors accounted for 5.1% and 4.4% of national GHG emissions, respectively. In addition, methane represents the main gas, with 59% and 60.2% respectively of sector's GHG emissions in 2020. Fugitive emissions from the energy sector account for just over 1% of national GHG emissions, and for this source methane account for 64.6% of GHG emissions in 2020. Unburned methane emissions from the energy sector account for less than 1% of total GHG emissions and make up a share of less than 1% of GHG emissions from the energy sector. Methane emissions from energy processes are marginal, <0.01% of total emissions and 0.1% of sector's emissions. Finally, 0.6% of national methane emissions come from forest, grassland and cropland fires, whose emissions are reported in LULUCF.

Among the main sources, waste recorded a significant increase in emissions compared to 1990 levels (+8.6% in 2020). The agriculture recorded a reduction of 13.5% and fugitive emissions of 57.3% from 1990 to 2020. Considering only methane emissions, agriculture contribute with 45.1% of emissions in 2020, while the waste sector accounts for 39.3%. Fugitive emissions make up 9% of methane emissions, and unburned methane in the energy sector accounts for 6.5%.

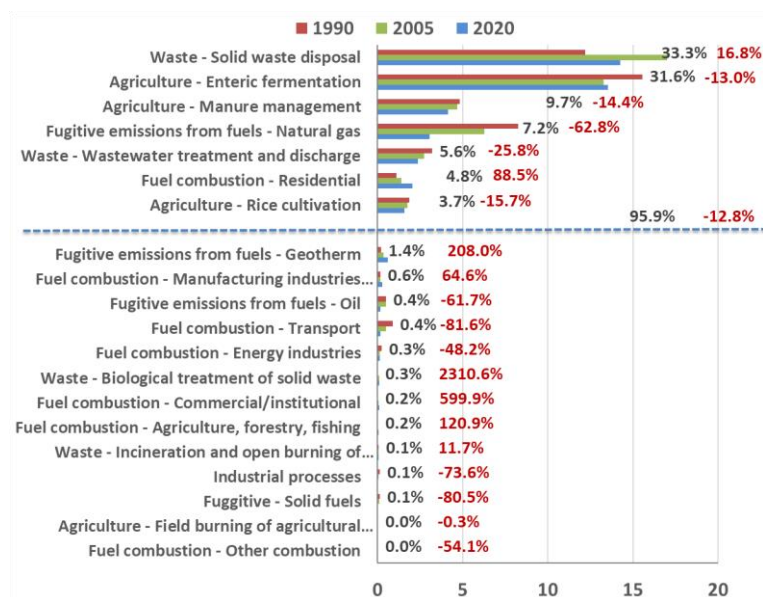
By far the most important source of the agricultural sector is represented by enteric fermentation, or the digestive processes of farm animals. This source represents 70.2% of methane emissions from the agriculture in 2020, followed by manure management with 21.5% and rice cultivation with 8.2%. Emissions due to the combustion of agricultural residues in the open field represent a marginal 0.1%.

In the waste sector, the dominant source of methane emissions is represented by the disposal of solid waste, responsible in 2020 for almost 85% of sector's methane emissions, the next source is represented by wastewater treatment, with 14.1% of methane emissions. The remaining two sources, biological treatment of solid waste and incineration and open field burning, account for a marginal share of emissions of just over 1%.

Most of the fugitive methane emissions are due to the natural gas supply chain (production, transport, and distribution) which in 2020 accounts for 79.5% of total fugitive methane emissions with a share that

has decreased significantly since 1990, when it was 91.2%. Oil and natural gas supply chains have recorded reductions in methane emissions of more than 60% since 1990.

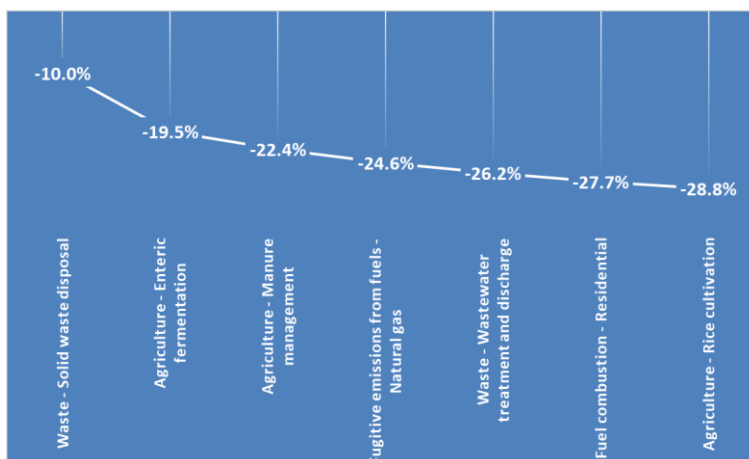
Unburned methane emissions in the energy sector are mainly due to the dominant source of the civil and agricultural sectors. This source represents a sector share of 80% in 2020, followed by manufacturing and construction industries with 9.8%, transport with 5.9% and energy industries with 4.2%.



Arranging in descending order the methane emissions recorded in 2020 from all sources it can be noted that almost 96% of methane emissions in 2020 come from seven key sources (95.9%) that emit 41 Mt CO₂eq. Emissions from key sources have been reduced by 12.8% since 1990. Minor sources, which are cumulatively responsible for 4.1% of emissions in 2020, are 25.4% lower than in 1990. The disposal of municipal solid waste is the first key source with a third of methane emissions in 2020, followed by enteric fermentation with 31.6%. The first two sources are responsible for almost two-thirds of methane emissions.

The waste sector has two key sources (MSW and disposal and wastewater treatment) with 38.9% of total methane emissions, while the agriculture has three sources (enteric fermentation, manure management and rice cultivation) with 45% of total methane emissions in 2020. The energy sector has a source for fugitive emissions (natural gas supply chain) and one for combustion (residential sector) which contribute 7.2% and 4.8% of total methane emissions respectively.

Measures aimed at reducing methane emissions cannot be separated from the assessment of the relative weight of the sources and the specific reduction potentials. The identification of the main sources allows to focus attention on the sectors most responsible for emissions and on the parameters that regulate emissions from these sources. Theoretically, it is possible to imagine measures aimed at reducing methane emissions on each of the key sources starting from the most relevant and evaluate the effect on total emissions. The application of the target set by the *Global Methane Pledge* on the first source (-30% by 2030 compared to 2020) involves the reduction of total methane emissions by 10%, a similar target for the second source would reduce the emissions by 19.5% cumulatively and so on up to the seventh source, with the reduction of national methane emissions by 28.8%. Such simplified analysis shows that reduction efforts on the least significant sources have a decreasing impact on the achievement of national targets.



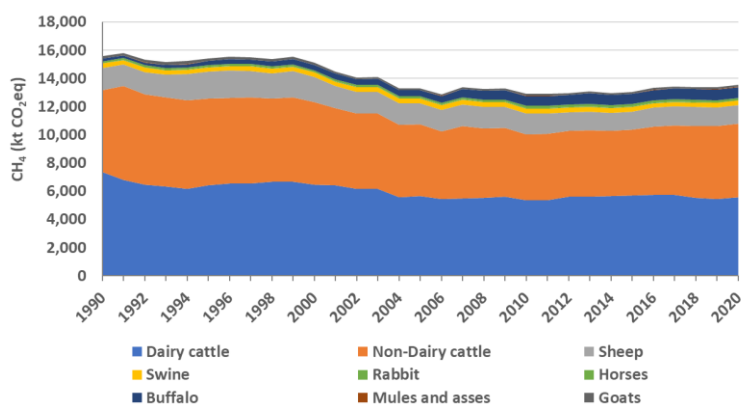
Agriculture

The three main sources of the sector represent 45% of national methane emissions and 99.9% of methane emissions from the sector in 2020.

The top source of methane is the **enteric fermentation** of livestock, which in 2020 accounts for 70.2% of methane emissions from the agricultural sector.

The number and mass of livestock are the main activity data for estimating emissions. To these parameters are added for the main animal categories parameters such as the production of milk, the percentage of fat in the milk, the percentage of grazing animals, the daily weight gain, the share of females that give birth, the quantity and quality of the diet and the coefficient of conversion into methane of the diet.

Cattle represent the main source of methane emissions from enteric fermentation (79.6% of methane emissions in 2020), followed by sheep (9.3%). Buffaloes record a constant increase in emissions in parallel with the increase in livestock bred and in 2020 they determine 5.8% of methane emissions from the source.



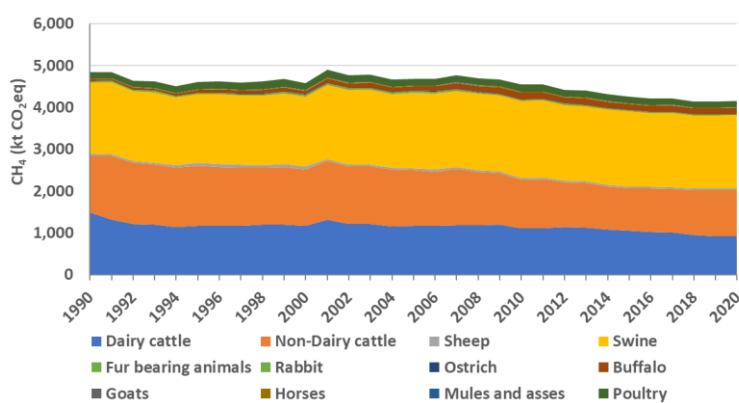
Methane emissions from cattle and sheep decreased from 1990 to 2020, by 18.1% and 16.2% respectively, while for buffaloes there is an increase of a factor of about 4.5. The variation of emissions depends on the annual fluctuation of the parameters of the activities mentioned. For dairy cattle, which account for 41% of enteric fermentation emissions, the most important parameters are the milk yield, the percentage of digestibility of feed and the conversion coefficient to

methane of feed. As far as milk production is concerned, since 1990 there has been an increase in milk production per cow, which has led to an increase in the emission factor. As for the feed, the increase in digestibility reduces methane emissions.

An estimate of the methane emissions reduction based on the IPCC guidelines (IPCC, 2006) is possible by assuming an increase in the digestibility of the dairy cattle feed from 69% (present value) to 72% and consequently the reduction of the methane conversion rate from 6% to 5.7%. In this case, with all the other parameters as recorded in 2020, thus assuming the same milk yield and number of heads, there would be 10% less methane emissions for enteric fermentation from dairy cattle and a reduction in methane from the source around 4%. No assumptions are made about reductions in enteric fermentation emissions for the non-dairy cattle category, as it is unlikely that the type of ration fed to this animal category will change (in the case of fattening animals, a more digestible diet is used, while in the case of breeding animals, a more fiber-rich diet is used, with overall forage percentages ranging from 30% to 80%).

Manure management is the second largest source of methane emissions in the agriculture, with 21.5% of the sector's emissions. These emissions are generated by the decomposition of organic matter under anaerobic conditions, during treatment and storage, and on pasture. The most relevant factors of the emissions are the amount of manure produced, which depends on the number of animals and the rate of production per animal, and the share of anaerobic treatment, which depends on the adopted manure management. The storage of non-palatable manure (liquid waste), which takes place in environments essentially devoid of oxygen, generates a significant amount of methane compared to the management of solid manure. The temperature and duration of storage also affect methane production.

Cattle represent the main source of methane emissions from manure management, accounting for almost 50% of the source's emissions in 2020, followed by swine, which contribute more than 40%. In 1990, the share of cattle was about 60% and that of swine 35%. The share of emissions from grazing is very low and is equal, in 2020, to 0.7% of methane emissions from the management of dairy cattle manure and 0.4% of emissions from both other cattle and buffaloes.



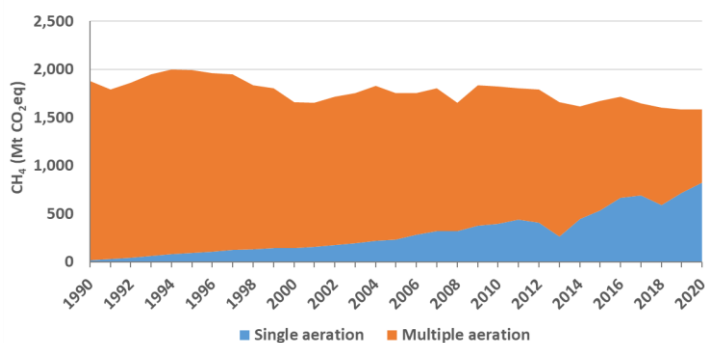
The reduction in emissions from cattle (-28.9%) is mainly due to the reduction in the number of heads (-23% in 2020 compared to 1990, which represents an average value between the reduction in the number of dairy cows (-38%) and other cattle (-15%)), as well as the overall increase in swine (+2%), given by a reduction in sows (-13%) and an increase in the number of other pigs (+3%), led to an overall increase in emissions of 2.8%.

A factor of considerable importance for this source is the share of organic matter used for biogas production in anaerobic digestion plants that allows to avoid methane emissions. Emissions generated by energy production through the combustion of biogas are estimated and reported in the energy sector of the national emission inventory. At present, fugitive methane emissions due to losses in anaerobic digestion plants are slightly lower than the "avoided" methane emissions. To reduce methane emissions from the management of livestock manure, it would therefore be necessary to increase the amount of manure sent for anaerobic digestion, reducing the other components. Fugitive emissions from biogas plants should also be reduced.

The reduction of emissions from this source is possible by increasing the use of livestock manure to produce biogas at the expense of other matrices and with the adoption of measures aimed at containing fugitive emissions from various plant components, such as covering the storage tanks of digestate (which can be an additional source of emission) produced by anaerobic digestion (Liebetrau *et al*, 2017). Using 60% of cattle and poultry livestock manure and 10% of swine manure (as reported in CRPA, 2018) and covering the storage tanks to reduce fugitive emissions, keeping unchanged the number of heads, the production of manure, the losses of the plants, in other words considering the absolute values unchanged in 2020, it is possible to estimate 26% less methane emissions due to manure management.

Rice cultivation is the third source of methane emissions in the agriculture with 8.2% of sector's emissions. Emissions are generated by the decomposition of organic material in submerged rice fields of water by methanogenic microorganisms. Emissions depend on the extent of the crops, the length of the growing period, the irrigation regimes and usage of organic and inorganic soil improvers. Soil type, temperature and cultivated variety also affect methane emissions.

In 2020 the emissions of the source were about 64 kt CH₄, with a reduction of 15% compared to 1990. Although the total cultivated area has increased by 6%, there is a gradual spread of the cultivation technique in which the surface is submerged for less time than the traditional technique and therefore with less methane emission. The average weighted methane factor from 1990 to 2020 decreased by 20%. This reduction is mainly due to the increasing share of area cultivated with single aeration (in which the dry-seeded sowing technique is applied) and to the variation in the percentage of straw incorporated in the soil (which goes from 50% to 40% from 1990 to 2020 and the complementary part is burned in the field) and



from the modification of the average growth time of the varieties (the early ones go from 143 to 140 days and the non-early ones from 155 to 157 days, from 1990 to 2020).

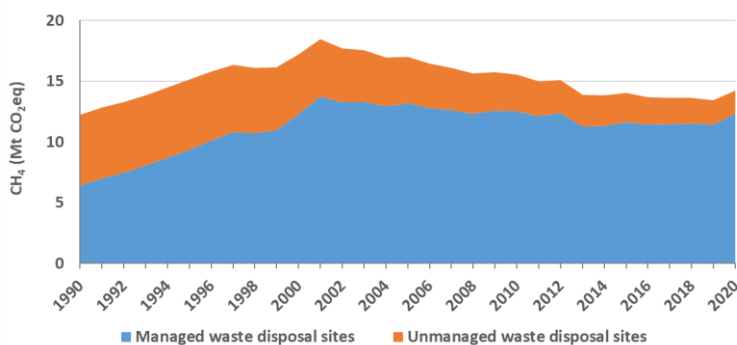
In the reasonable hypothesis, based on the evidence of the average growth trend since 1990, that the entire area of 2020 is cultivated with the technique of dry-seeded sowing, with an average growth period of 147 days, it is estimated 7% less methane emissions for rice cultivation.

With the assumptions made for the three agriculture sources and other activity data unchanged compared to 2020, it is estimated 9% less methane emissions compared to what is recorded in 2020. The hypothesis on anaerobic digesters, according to which an increase in manure sent to plants from 15 to 49 Mt is assumed, would also reduce nitrous oxide emissions of 3% from the agriculture. The storage of manure under anaerobic conditions in digesters reduces nitrous oxide emissions, according to IPCC guidelines (IPCC, 2006), since the production of such gas needs oxygen. The implementation of the hypotheses formulated would result in 7% less GHG emissions from the agriculture as compared to 2020 level.

Waste

In the waste sector, the dominant source of methane emissions is represented by the disposal of solid waste, responsible in 2020 for almost 85% of the sector's methane emissions, the next source is represented by wastewater management with 14.1% of the methane emissions.

Landfilling of solid waste is a key category for methane, both in terms of quantity and in terms of trend. The main parameters that influence the estimation of landfill emissions are, in addition to the quantity of waste disposed in landfills, the waste composition, the methane ratio in the biogas and the quantity collected and recovered. These parameters are strictly dependent on the waste management policies that start from the production and transport of waste, separate collection, treatment for volume reduction,



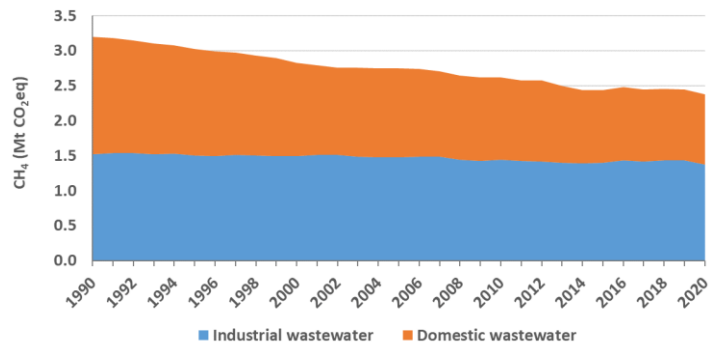
stabilization, recycling, and energy recovery up to the deposition of the final residues in landfills. The disposal of solid waste in landfills contributes to a third of methane national emissions in 2020 (33.3%). Between 1990 and 2020, methane emissions from this source increased by 16.8%, from a value of 12.2 MtCO₂eq to 14.3 MtCO₂eq. The detail of the emissions trend shows an increase from 1990 to 2001 (+51.1%) followed by a decreasing trend up to 2020 (-22.7%),

although in the last year there was an increase of 6% compared to the previous year.

The emissions trend depends on the cumulative quantities of waste deposited over the years, so in 2020 there were emissions related to waste deposited over the last few decades. The "national landfill" curve seems to have already exceeded the maximum for some time and is slowly decreasing (except the 2020 value due to a significantly lower biogas recovery than in previous years). The target to be pursued for the reduction of emissions is that identified by the measures to reduce organic matter in landfills through separate collection and specific treatment systems for some types of waste.

According to the conservative hypotheses formulated and with a biogas uptake efficiency of 45% until 2030, the estimated reduction of methane emissions from landfills by 2030 compared to 2020 is about 30%, from 14.3Mt to about 9.9Mt. A biogas uptake efficiency of 60%, if feasible, would allow emissions reduction of about 47%.

Anaerobic conditions can also arise within **wastewater management** systems. In addition, the sewage sludge and the organic substance contained in the sewage, if dispersed in the environment, can undergo anaerobic degradation. Methane emissions can therefore occur which are strictly connected to the characteristics of the wastewater and therefore to the quantity of organic substance present in the



sewage, to the way in which they are managed as well as to the temperature. Methane emissions are estimated for both civil and industrial wastewater. In this regard, it is important to specify that civil wastewater means mixed civil-industrial sewage deriving from strictly domestic activities and from commercial /industrial users, inserted in an urban context. In 2020, the 99.5% of population is served by sewer systems, whereas 88% of population is served by wastewater treatment plants (against 57% and 52% in 1990). Methane emissions from this source show a significant reduction from 1990 to 2020 (40.5%) compared to an increase in the total organic load in treated wastewater of 30% in the same period.

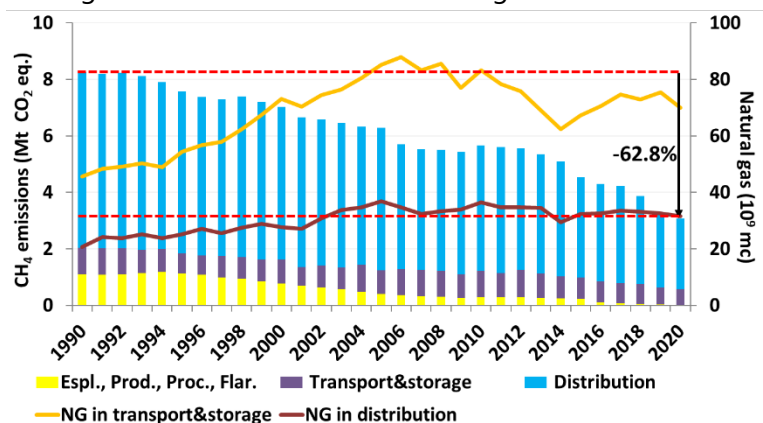
Concerning CH₄ emissions from industrial wastewater, neither wastewater flow nor average COD (Chemical Oxygen Demand) value change much over time, therefore emissions are stable and mainly related to the production data. Methane emissions from this source show a slow but steady decrease from 1990 to 2020 (-9.5%).

The estimated reduction in methane emissions for wastewater management (civil and industrial) in 2030 is around 1.7% compared to the 2020 level.

Energy: fugitive emissions

The natural gas supply chain accounts for 7.2% of national methane emissions and 79.5% of fugitive emissions in 2020. There has been a significant reduction in emissions since 1990 when represented 16.7% of national methane emissions.

Transport, storage and distribution of natural gas are the main sources of fugitive emissions with distribution in the dominant role. Fugitive emissions from the supply chain have been significantly reduced since 1990 because of many measures to improve the transport and distribution network performances. Since the 90s there has been the replacement in the distribution network from material characterized by high emission factors (gray cast iron with hemp and lead joints) to materials characterized by fewer joints and lower emission factors. In addition, the steel pipelines with cathodic protection for the corrosion prevention is increasingly extensive (ARERA, 2020). Such improvements led to the methane emissions reduction of 62.8% from 1990 to 2020 compared to an increase in gas transported and distributed by over 53% in the same period. Distributed natural gas meets the demand of users in the civil sector and small industry, while large industrial users are directly served by the transport network.



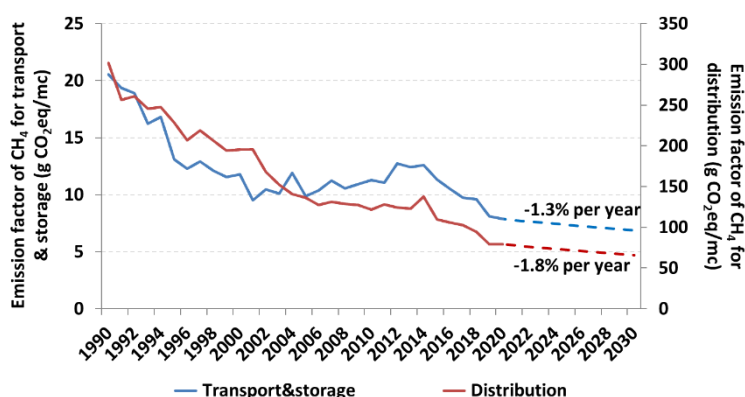
Such improvements led to the methane emissions reduction of 62.8% from 1990 to 2020 compared to an increase in gas transported and distributed by over 53% in the same period. Distributed natural gas meets the demand of users in the civil sector and small industry, while large industrial users are directly served by the transport network.

The main sources transport-storage and distribution recorded emission reductions from 1990 to 2020 of 41.4% and 59.7%, respectively. In the transport-storage source, losses due to the transport, storage and regasification of liquefied natural gas are considered. The emission factors show a continuous decrease, an expression of the improvement in the performance of the transport and distribution network. The emission factor per unit of gas in the transport-storage source recorded a reduction of 61.8% from 1990

to 2020, while for distribution there was a decrease of 73.7% in the same period. The emission factor in the transport-storage source is about an order of magnitude lower than the emission factor in the distribution and shows that the grid set-up for the satisfaction of natural gas demand is a crucial factor for the reduction of fugitive emissions in the natural gas supply chain. In addition, the relevance of emissions from distribution makes this source the main objective for future actions to reduce fugitive emissions.

Applying the target of -30% compared to 2020 emissions to the two main sources of the supply chain, methane emissions in 2030 should be about 2.2 Mt CO₂eq (-74% compared to 1990). The 74% reduction in 2030 compared to 1990 is comparable with the 72% target identified in the document *Indirizzi per una Strategia di riduzione delle emissioni di metano dalla filiera del gas naturale* (2021), signed by the main players of natural gas supply chain and carried out after the round tables organized by the Amici della Terra, in collaboration with EDF (Environmental Defense Fund), which involved several operators in the gas & oil supply chain and institutional subjects, including ARERA and ISPRA.

The target (-72% by 2030 compared to 1990, that is -28% compared to 2020) is achievable with the natural gas consumption envisaged by the scenario with measures of the PNIEC published in January 2020 and reduction rates of emission factors of -1.3% per year for transport & storage and -1.8% for distribution, around 40% of the average annual rates recorded since 1990 for the two sources and much higher than the rates recorded in the last 5 years. The natural gas consumption envisaged by the PNIEC is reasonably to be revised downwards considering the new European targets for reducing greenhouse emissions and increasing renewable sources, defined with the Green Deal and the REPowerEU Plan.

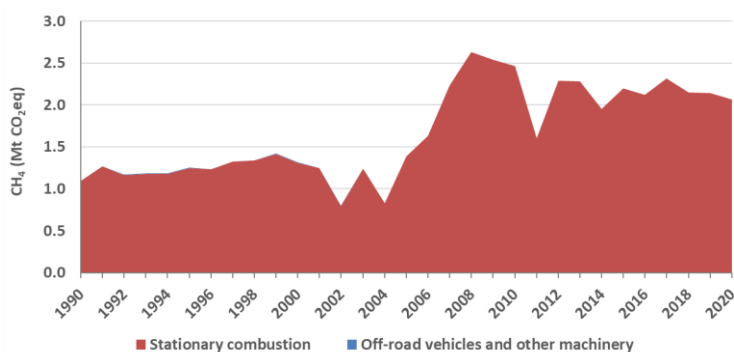


Preliminary estimates of methane emissions due to the Italian import of natural gas show values from 2.3 to 4.6 times greater than the emissions on the national territory, while carbon dioxide emissions are about 50 times greater than the estimated national emissions in the natural gas supply chain.

Energy: Combustion

In 2020 the residential sector is the main source of methane emissions from combustion with a growing share from 1990, when it contributed to 44.8% of methane emissions, to 2020 with 73.7%.

Greenhouse gas emissions in the sector originate from the energy used directly in buildings, mainly for heating. Emissions from stationary sources account for almost all methane emissions, while emissions from vehicles and other machinery represent a marginal share that from 1990 to 2020 decreased from 0.2% to 0.01%.



Methane emissions increased from 1990 to 2020 by 88.5% compared to a 17.9% reduction in total greenhouse gas emissions in the sector. The decoupling is due to the increasing share of biomass energy compared to other fuels. The sector's energy consumption oscillates around an average value without a particular trend, while the share of energy consumption from biomass has increased, going from an average of 14.1% in the 90s to an average of 24.1% in the last decade. Biomass essentially refers to the consumption of wood for heating.

The share of methane emissions from biomass has always been prevalent but increased from 91% in 1990 to 97.6% in 2020. Other fuels contribute fewer and fewer shares. The emission factors of methane and nitrous oxide from biomass for the entire time series examined are respectively 320 and 14 kg/TJ, much higher than those recorded for fossil fuels. However, unlike the sectors previously examined, in the residential sector the contribution of carbon dioxide is decisive in the overall greenhouse gas emissions and constitutes on average about 95% of greenhouse gas emissions. The emission factors of biomass, expressed in CO₂eq, thus also considering the zero emissions of CO₂, are lower than those of fossil fuels.

With the current accounting rules for greenhouse gases, it therefore does not seem feasible to change the mix of fuels and reduce biomass consumption to curb methane emissions from this sector. With the same energy consumption, the replacement of biomass with fossil fuels with lower emission impact, such as natural gas, would entail on the one hand the reduction of methane and nitrous oxide emissions but would determine on the other hand the significant increase in overall greenhouse gas emissions.

A viable strategy to reduce the sector's methane emissions may be the electrification of energy consumption, i.e. the use of electrically powered devices to meet the need for heating, such as heat pumps, to replace energy consumption from fossil fuels. In 2020 the share of electricity consumption in the residential sector was 18.6%, well below the EU27 average (24.7%) and, after Poland (12.2%) and Romania (14.6%), the lowest value among the main European countries. In addition to the electrification of consumption, the contribution of district heating must also be considered. Increasing the consumption of heat from district heating to the detriment of energy supplied directly by fuels is an effective strategy to reduce greenhouse emissions. The European average (EU27) of the share of heat in the final consumption of the residential sector in 2020 was 8.2% against 2.8% in Italy.

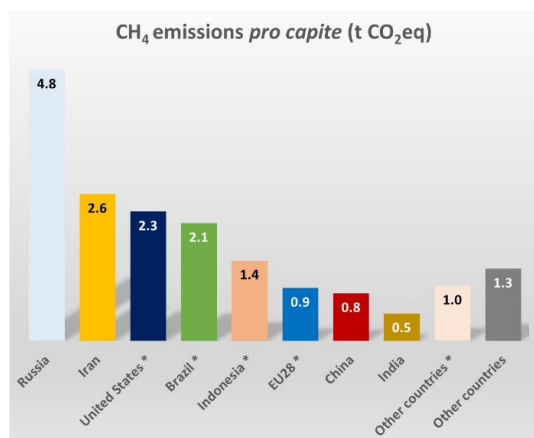
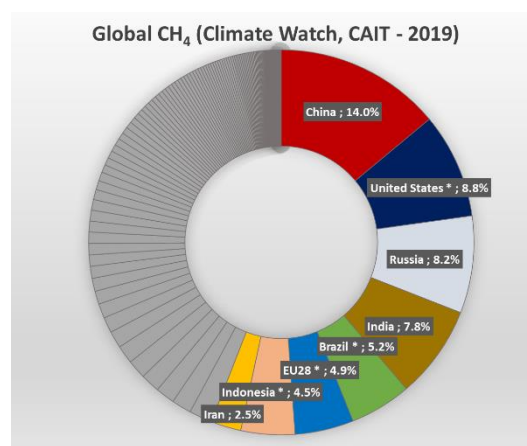
A very simplified estimate of the reduction in greenhouse gas emissions has been carried out considering an increase in electricity and heat consumption in final consumption with the same total consumption recorded in 2020. Electrification and heat shares were increased by a further 3% to 21.6% and 5.8% respectively. To maintain the 2020 value of energy consumption, the additional amount of final energy of electricity and heat was subtracted entirely from each of the fuels used.

The greatest reduction in methane emissions, about -30%, would occur if the additional amount of electricity and heat replaced an equal amount of energy from biomass. However, in such a scenario there would be the least reduction in total greenhouse gases (-2%). The largest reduction in total greenhouse gases would occur in the scenario with liquid fuel substitution (-11.3%), although there would be no significant reduction in methane (-0.3%). The greenhouse emissions reduction strategy to be adopted in this sector will therefore have to consider the optimal solution in relation to the different targets to achieve.

International data

On 17 September 2021, the European Union and the United States of America announced at the *Major Economies Forum* the *Global Methane Pledge* (GMP) proposed in November at COP 26 in Glasgow. Participants joining the Pledge agree to take voluntary actions to contribute to the global goal of reducing methane emissions by at least 30% by 2030 compared to 2020 levels.

At the 19 September 2022, the countries participating in the GMP were 122. According to estimates by the *World Resources Institute*, in 2019 methane emissions from these countries, including the LULUCF source, represent around 50% of global methane emissions, considering EU28 emissions. According to estimates by the *World Resources Institute*, among the top five methane emitters are China, the United States, Russia, India and Brazil, which collectively emitted 43.9% of global methane in 2019. The EU28 share is almost 5%. Italy contributes to about 10% of European emissions. *Per capita* emissions change the rank of countries. China has lower *per capita* emissions than Europe and among the top emitters are Russia, Iran, and the United States.

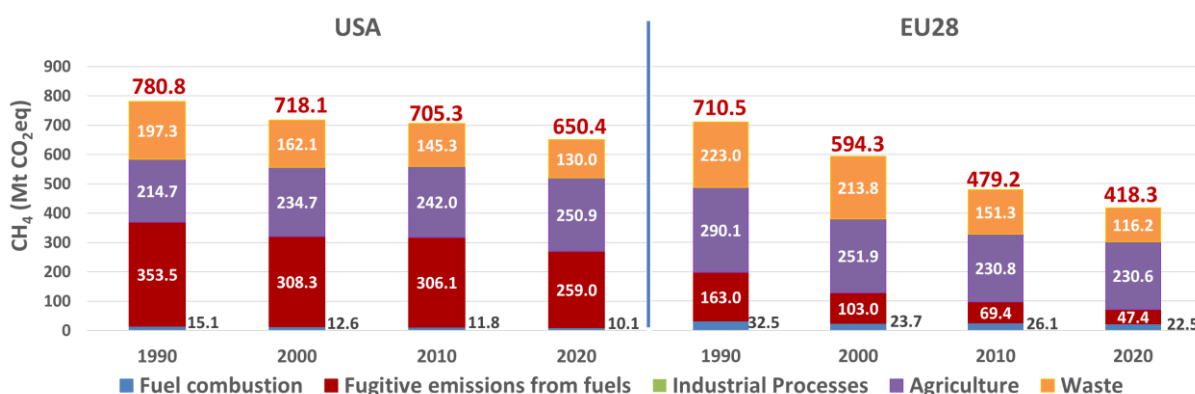


In 2020, according to data reported in the respective GHG inventories submitted to UNFCCC, methane emissions *per capita*, including LULUCF, was 2.1 t CO₂eq in the United States, 1.0 CO₂eq in EU28 and 0.7 CO₂eq in Italy.

Total methane emissions, without the contribution of natural sources, in EU28 in 2020 decreased by 41.1% compared to 1990 levels, while for the USA the percentage of reduction is 16.7%. In 1990 the USA had 10% more methane emissions than EU28, the gap between the two entities has grown steadily and in 2020 methane emissions in the USA are 55% higher than in Europe.

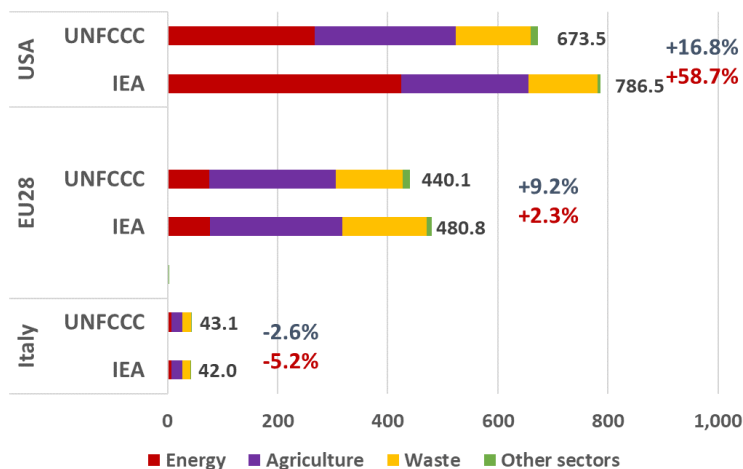
European emissions are decreasing in all sectors with a faster rate than that recorded for the United States, where for some sectors, such as agriculture, there is a significant increase in methane emissions (+16.9% in the USA vs -20.5% in EU28).

Fugitive emissions, although not the dominant source in EU28, decreased by 70.9% while in the USA, where they are the dominant source, they decreased by 26.7%. Also, in the waste sector there is a higher rate of reduction in Europe (-47.9%) than in the United States (-34.1%).



On the side of methane emissions from the energy sector, such as fugitive emissions, the International Energy Agency (IEA) has recently highlighted the urgency of improving the data quality. IEA pays particular attention to the energy sector since this sector is responsible for about 40% of global methane emissions, in addition in this sector the most convenient measures for reducing emissions are available, especially in the oil and gas supply chains. Considering the recent rise in natural gas prices, almost all options to reduce emissions in these supply chains could be implemented at no net cost (IEA, 2022).

The IEA points out that there are substantial differences between data based on direct measurements and emissions reported by public official bodies (UNFCCC), which rarely use measures and directives. Globally, the IEA's analysis finds that methane emissions from the energy sector are about 70% higher than the sum of estimates submitted by national governments.



than the sum of estimates submitted by national governments. The general framework developed by the IEA must however be declined at the level of individual states and the total methane emissions estimated by the IEA for Italy are lower than the figure reported in the 2021 National Inventory, while for the USA the surplus of the IEA estimates compared to the Inventory is equal to +58.7% and for the EU28 +2.3%.

Such data provide a useful framework to guide efforts to reduce methane emissions. GMP is a global target and, although joining countries agree to take

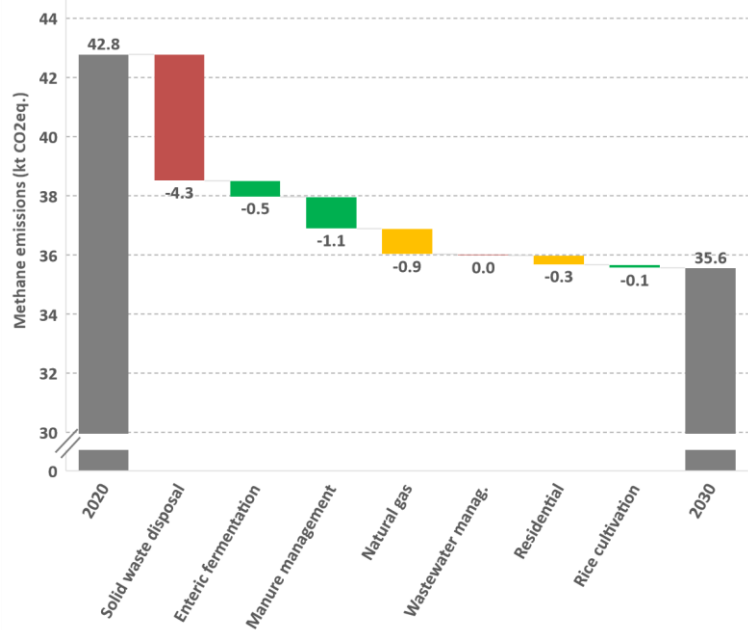
voluntary action to reduce methane emissions, it is reasonable for different countries to contribute to efforts to achieve the goal considering the cost-effectiveness of measures and the reduction efforts that countries, such as the European ones, have already put in place since 1990.

Conclusions

No mitigation policy can disregard the knowledge of methane sources and emission levels. Although globally the sectors that contribute most to methane emissions are known (UNEP, 2021; IEA, 2021), national situational awareness is needed to support the policy-maker in adopting measures that are as effective as possible. The main purpose of this report is the analysis of methane emission sources in Italy with the aim of identifying the key sources, i.e. the sources potentially subject to measures aimed at reducing methane emissions.

At the national level, there are seven main sources, responsible for almost 96% of methane emissions in 2020. The waste sector has two key sources (MSW disposal and wastewater management) with 38.9% of total methane emissions, while the agriculture sector includes three sources (enteric fermentation, manure management and rice cultivation) with 45% of total methane emissions in 2020. The energy sector has a source for fugitive emissions in the natural gas supply chain and one for combustion in the residential sector which contribute for 7.2% and 4.8% of total methane emissions respectively. The sources mentioned, except enteric and residential fermentation, show a tendential reduction in emissions since 2005.

The scenarios considered allow to estimate a reduction in national methane emissions in 2030 of about 17% compared to the value recorded in 2020, equal to about 28% compared to the 2005 level. This percentage shows that, given the assumptions considered in the present report, for this greenhouse gas Italy is below the range of values estimated by the European Commission in the methane strategy to meet the goal of reducing GHG emissions to at least 55% by 2030 compared to 1990. According to the European Commission, achieving the target requires a greater effort to reduce methane emissions from 35% to 37% by 2030 compared to 2005. To achieve these objectives and make them truly achievable, it is appropriate that Italy set a national methane strategy



aligned with the European one and with the international commitments signed by the country to reduce methane emissions from the main sources of the waste, agriculture and energy sectors (Gaudio, 2022). In this regard, it is useful to underline that, given the importance of methane emissions from the source of waste disposal, the application of aimed measures in this sector, such as increasing the efficiency of biogas uptake, can be decisive for achieving the target indicated by the European methane strategy. The increase in the current efficiency of biogas uptake, from 45% to 60% in 2030, if applicable to the national reality, would allow a reduction in methane emissions from landfills of about 47% compared to 2020 levels. This reduction would result in a reduction in total methane emissions of about 23% compared to 2020 and about 33% compared to 2005, a percentage slightly lower than that estimated by the European Commission for the methane strategy.

The analysis of the international context shows that European emissions decrease in all sectors with a faster rate than that recorded for the United States, where for some sectors, such as agriculture, there is a significant increase in methane emissions from 1990 to 2020 (+16.9% in the USA vs -20.5% in EU28). In addition, fugitive emissions for which negative cost reduction measures are available are the dominant source in the US and a minority source in Europe. In Europe these emissions have fallen by 70.9% since 1990, while in the USA they have fallen by 26.7%. Also for the waste sector there is a higher rate of emissions reduction in Europe (-47.9%) than in the United States (-34.1%). The sectoral emission structure in Italy and Europe is comparable and very far from that of the United States.

These data show that the reduction of methane emissions in Europe and the United States starting from the levels recorded in 2020 can have different effectiveness and costs depending on the potential of technological measures that for sectors such as agriculture is very limited and the costs of the measures, as for fugitive emissions, can be very low or even negative (UNEP, 2021).

SOMMARIO (Italiano)

Il metano è un potente gas serra secondo solo all'anidride carbonica in termini di contributo al riscaldamento globale (IPCC, 2021). Il metano ha un impatto climalterante 85 volte quello della CO₂ su un arco di 20 anni, anche se la CO₂ ha un tempo di permanenza in atmosfera per migliaia di anni, mentre il metano scompare in circa 10-15 anni. Il rapido decadimento del metano e il suo elevato impatto sulla temperatura atmosferica lo rendono un obiettivo primario per intervenire in maniera tempestiva ed efficace sui cambiamenti climatici.

Secondo il recente rapporto dell'Agenzia Internazionale per l'Energia (IEA, 2021) la riduzione delle emissioni antropogeniche di metano è una delle strategie più efficaci, anche in termini economici, per ridurre rapidamente il tasso di riscaldamento e contribuire in modo significativo agli sforzi per limitare l'aumento della temperatura globale. Le misure di riduzione attualmente disponibili, insieme a misure aggiuntive (efficienza energetica, sostituzione di combustibili e modifiche comportamentali, come la riduzione degli sprechi alimentari, la modifica della dieta) possono ridurre le emissioni antropogeniche di metano fino al 45% o 180 Mt all'anno entro il 2030. Questo risultato eviterebbe quasi 0.3°C di riscaldamento globale nel decennio dal 2040 ed è ritenuto una condizione indispensabile per rispettare gli accordi di Parigi del 2015 che mirano a limitare il riscaldamento globale a 2°C, possibilmente 1.5°C, rispetto ai livelli preindustriali.

In questo contesto si inserisce l'attenzione rivolta al metano e gli impegni di riduzione delle emissioni come quello annunciato nel settembre 2021 dall'Unione Europea e dagli Stati Uniti (*Global Methane Pledge*) con un impegno politico a ridurre del 30% le emissioni globali di metano in tutti i settori entro il 2030 rispetto ai livelli del 2020. Impegno lanciato alla Conferenza delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (COP 26) nel novembre 2021 a Glasgow e sottoscritto fino al 19 settembre 2022 da 122 Paesi.

La Commissione Europea aveva già nell'ottobre 2020 comunicato la strategia per la riduzione delle emissioni di metano (EC, 2020[a]) con l'obiettivo contenere l'innalzamento della temperatura, migliorare la qualità dell'aria e rafforzare la leadership dell'UE nella lotta ai cambiamenti climatici. La riduzione delle emissioni di metano è essenziale per raggiungere gli obiettivi di riduzione dei gas serra di almeno il 55% al 2030 e la neutralità emissiva nel 2050. La strategia si concentra sulla riduzione delle emissioni di metano nei settori dell'energia, dell'agricoltura e dei rifiuti, poiché queste aree rappresentano la quasi totalità delle emissioni antropogeniche di metano. Tra i vari obiettivi, la strategia sottolinea la necessità di migliorare le misure e la comunicazione delle emissioni di metano agli organismi internazionali.

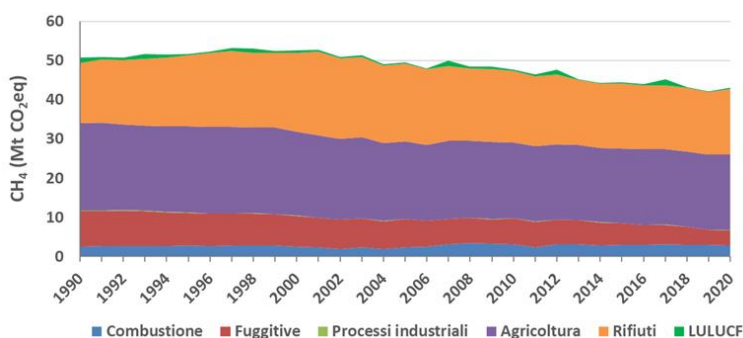
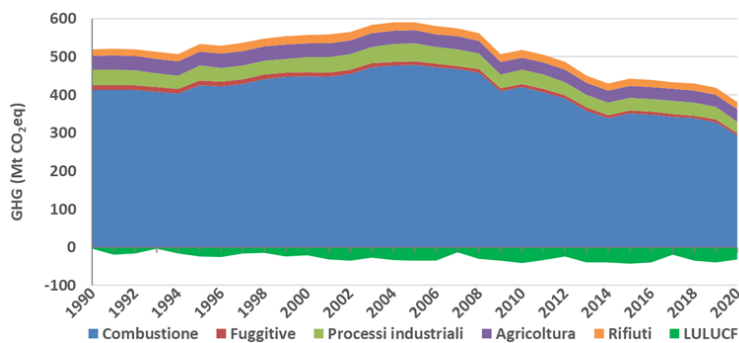
Come messo in evidenza dal recente studio dell'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA, 2022) le emissioni globali di metano nel settore energetico sono circa il 70% più grandi di quanto comunicato a UNFCCC dai governi nazionali, sebbene le differenze tra stime IEA e Inventari nazionali non siano uguali per tutti gli Stati esaminati.

Il presente rapporto analizza le emissioni di metano dalle relative sorgenti emmissive. I dati esaminati sono riportati nell'Inventario nazionale delle emissioni di gas serra trasmesso da ISPRA alle autorità internazionali (UNFCCC). Sarà inoltre esposta una sintetica panoramica internazionale delle emissioni di metano ed un confronto tra le realtà promotrici del *Global Methane Pledge*: Stati Uniti e Unione Europea. La conoscenza dei livelli di emissione di metano dalle rispettive sorgenti è un passaggio ineludibile per la valutazione dell'efficacia delle misure e politiche nazionali da implementare per la mitigazione del metano in tutti i settori al fine di rispettare gli obiettivi climatici europei e internazionali. La maggiore attenzione deve essere rivolta alle sorgenti principali tenendo presente la fattibilità e i costi nel bilancio complessivo delle misure potenzialmente adottabili. Inoltre, la conoscenza della situazione internazionale fornisce un quadro utile alla definizione di eventuali obiettivi per le singole entità statuali al fine di raggiungere l'obiettivo globale stabilito dal *Global Methane Pledge*.

Emissioni nazionali di metano

Le emissioni nazionali di gas serra si riducono da 519.9 Mt CO₂eq nel 1990 a 381.2 Mt CO₂eq nel 2020 con una riduzione del 26.7%. Considerando l'apporto delle sorgenti naturali, ovvero il settore LULUCF, si stima un assorbimento netto di gas serra che va da 3.6 Mt CO₂eq nel 1990 a 32.4 Mt CO₂eq nel 2020.

Le emissioni nazionali di metano, senza il contributo delle sorgenti naturali, rappresentano mediamente il 9.5%±0.7% delle emissioni di CO₂eq dal 1990 al 2020, con un andamento della quota piuttosto variabile ed inferiore alla media europea (EU28) nello stesso periodo è 10.9%±0.9%.



Le emissioni di metano senza il settore LULUCF diminuiscono da 49.4 a 42.8 Mt CO₂eq dal 1990 al 2020 (-13.4%). La riduzione delle emissioni di metano è molto inferiore alla riduzione dei gas serra totali (-26.7%). Inoltre, le emissioni di gas serra al netto del metano si riducono del 28.1% dal 1990 al 2020. Questi tassi di riduzione mostrano la necessità di intervenire sui principali settori responsabili delle emissioni di

metano.

Le sorgenti emmissive contribuiscono in maniera differente alle emissioni di metano. Il settore agricolo rappresenta la sorgente principale, seguito dal settore dei rifiuti. Nell'ultimo anno le emissioni di metano dai due settori menzionati rappresentano rispettivamente il 5.1% e il 4.4% delle emissioni nazionali di gas serra. Inoltre, il metano rappresenta in questi settori il gas prevalente, con il 59% e il 60.2% rispettivamente delle emissioni totali di gas serra nel 2020. Le emissioni fuggitive dal settore energetico rappresentano poco più dell'1% delle emissioni totali di gas serra e per questa sorgente le emissioni di metano rappresentano il 64.6% delle emissioni nel 2020. Le emissioni di metano incombusto dal settore energetico rappresentano meno del 1% delle emissioni totali di gas serra e costituiscono una quota inferiore all'1% delle emissioni di gas serra dal settore energetico. Le emissioni di metano da processi energetici sono marginali, <0.01% delle emissioni totali e 0.1% delle emissioni del settore. Infine, lo 0,6% delle emissioni nazionali di metano proviene da incendi di foreste, pascoli e terreni coltivati, le cui emissioni sono riportate nel settore LULUCF.

Tra le principali sorgenti i rifiuti fanno registrare un sensibile incremento delle emissioni rispetto ai livelli del 1990 (+8.6% nel 2020). Il settore agricolo registra una riduzione delle emissioni del 13.5% e le emissioni fuggitive del 57.3% dal 1990 al 2020. Considerando esclusivamente le emissioni di metano le attività agricole contribuiscono nel 2020 con il 45.1% delle emissioni, mentre il settore dei rifiuti rappresenta il 39.3%. Le emissioni fuggitive costituiscono il 9% delle emissioni di metano e il metano incombusto nel settore energetico rappresenta il 6.5%.

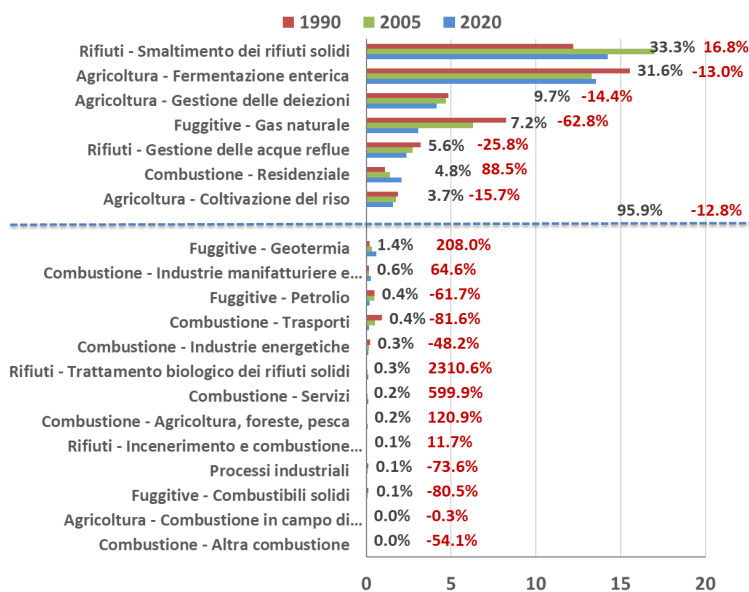
La sorgente di gran lunga più rilevante del settore agricoltura è rappresentata dalla fermentazione enterica, ovvero ai processi digestivi degli animali da allevamento. Tale sorgente rappresenta nel 2020 il 70.2% delle emissioni di metano dal settore agricoltura, seguite dalla gestione delle deiezioni con il 21.5% e dalla coltivazione del riso con l'8.2%. Le emissioni dovute alla combustione in campo di residui agricoli rappresenta un marginale 0.1%.

Nel settore dei rifiuti la sorgente dominante delle emissioni di metano è rappresentata dallo smaltimento dei rifiuti solidi, responsabile nel 2020 di quasi 85% delle emissioni di metano del settore, la successiva sorgente è rappresentata dalla gestione delle acque reflue con il 14.1% delle emissioni di metano. Le

restanti due sorgenti, trattamento biologico dei rifiuti solidi e incenerimento e combustione all'aperto, rappresentano una quota marginale di emissioni poco superiore a 1%.

La gran parte delle emissioni fuggitive di metano sono riconducibili alla filiera del gas naturale (produzione, trasporto e distribuzione) che nel 2020 incide per il 79.5% delle emissioni fuggitive totali di metano con una quota che si è ridotta significativamente dal 1990, quando era 91.2%. Le filiere del petrolio e del gas naturale mostrano riduzioni delle emissioni di metano superiori al 60% dal 1990.

Le emissioni di metano incombusto nel settore energetico sono prevalentemente dovute alla sorgente dominante dei settori civile e agricoltura. Tale sorgente rappresenta l'80% delle emissioni di metano del settore nel 2020, cui fanno seguito le industrie manifatturiere e costruzioni con il 9.8%, i trasporti con il 5.9% e le industrie energetiche con il 4.2%.

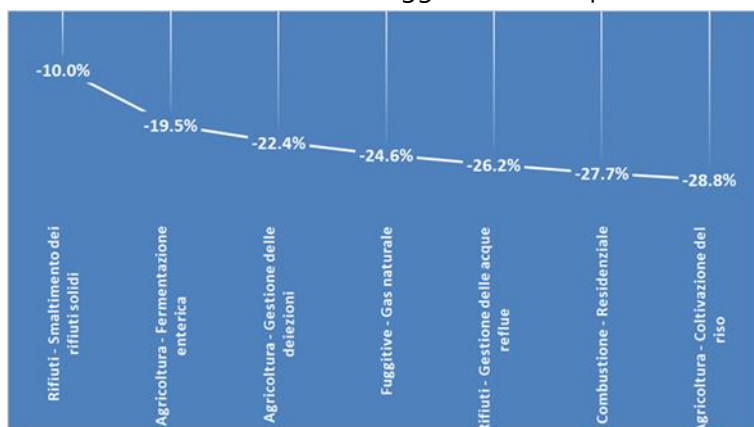


Disponendo in ordine decrescente le emissioni di metano registrate nel 2020 dalle diverse sorgenti si può notare che quasi il 96% delle emissioni di metano nel 2020 proviene da sette sorgenti chiave (95.9%) che emettono 41 Mt CO₂eq. Le emissioni dalle sorgenti chiave si riducono del 12.8% dal 1990. Le sorgenti minori, responsabili cumulativamente del 4.1% delle emissioni nel 2020, fanno registrare livelli inferiori del 25.4% rispetto al 1990. Lo smaltimento dei rifiuti solidi urbani è la prima sorgente chiave con un terzo delle emissioni di metano del 2020, seguita dalla fermentazione enterica degli animali da allevamento con il 31.6%. Queste due sorgenti sono responsabili di quasi due terzi delle

emissioni di metano.

Il settore dei rifiuti annovera due sorgenti chiave (smaltimento RSU e gestione delle acque reflue) con il 38.9% delle emissioni totali di metano, mentre il settore agricoltura ne annovera tre (fermentazione enterica, gestione degli effluenti e coltivazione del riso) con il 45% delle emissioni totali di metano del 2020. Il settore energetico ha una sorgente per le emissioni fuggitive (filiera del gas naturale) e una per la combustione (settore residenziale) che contribuiscono rispettivamente con il 7.2% e 4.8% delle emissioni totali di metano.

Gli interventi mirati alla riduzione delle emissioni di metano non possono prescindere dalla valutazione del peso relativo delle sorgenti e dalla potenzialità di riduzione specifica delle sorgenti. L'individuazione delle sorgenti principali consente di concentrare l'attenzione sui settori maggiormente responsabili delle emissioni e sui parametri che regolano le emissioni da tali sorgenti. In via del tutto teorica è possibile immaginare interventi mirati alla riduzione delle emissioni di metano su ciascuna delle sorgenti chiave a partire dalla più rilevante e valutare l'effetto sulle emissioni totali. L'applicazione dell'obiettivo fissato dal *Global Methane Pledge* sulla prima sorgente (-30% al 2030 rispetto al 2020) comporta la riduzione delle emissioni totali di metano del 10%, un analogo obiettivo per la seconda sorgente determinerebbe la riduzione del 19.5% e così via fino alla settima sorgente, con la riduzione delle



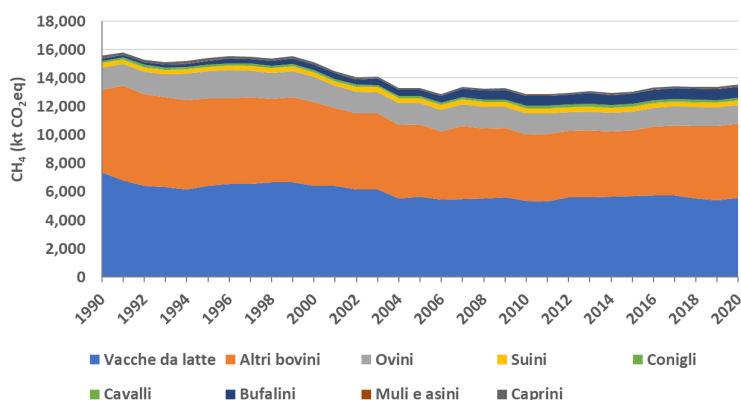
emissioni nazionali di metano del 28.8%. È evidente che gli sforzi di riduzione sulle sorgenti via via meno rilevanti incidono in misura decrescente al raggiungimento degli obiettivi nazionali.

Agricoltura

Le tre sorgenti principali del settore rappresentano il 45% delle emissioni nazionali di metano e il 99,9% delle emissioni di metano dal settore nel 2020.

La prima sorgente di metano è la **fermentazione enterica** degli animali da allevamento che nel 2020 rappresenta il 70.2% delle emissioni di metano dal settore agricolo. La consistenza numerica e la massa degli animali da allevamento costituiscono i principali dati di attività per la stima delle emissioni. A tali parametri si aggiungono per le principali categorie animali parametri quali la produzione di latte unitaria, la percentuale di grasso nel latte, la percentuale di animali al pascolo, l'incremento di peso giornaliero, la quota di femmine che partoriscono, la quantità e qualità della razione e il coefficiente di conversione in metano della razione.

I bovini rappresentano la principale sorgente delle emissioni di metano da fermentazione enterica (79.6% delle emissioni di metano nel 2020), seguiti dagli ovini (9.3%). I bufalini fanno registrare un costante incremento delle emissioni parallelamente all'incremento dei capi di bestiame allevati e nel 2020 determinano il 5.8% delle emissioni di metano dalla sorgente.



Le emissioni di metano da bovini e ovini si riducono dal 1990 al 2020, rispettivamente del 18.1% e 16.2%, mentre per i bufalini si registra un incremento di un fattore circa 4.5. La variazione temporale delle emissioni dipende dalla fluttuazione annuale dei parametri di attività menzionati. Per le vacche da latte, che rappresentano il 41% delle emissioni da fermentazione enterica, i parametri maggiormente determinanti sono la produzione di latte per vacca, la percentuale di digeribilità

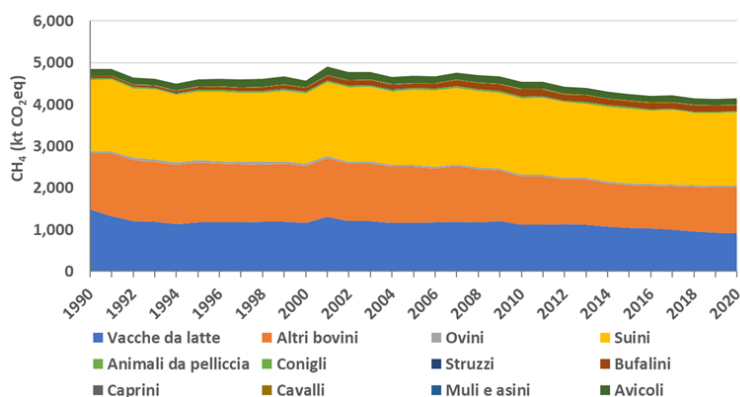
della razione e il coefficiente di conversione in metano della razione assunta. Per quanto riguarda la produzione di latte, dal 1990 si registra l'aumento della produzione di latte per vacca che ha determinato un aumento del fattore di emissione. Invece per quanto riguarda la razione, l'aumento della digeribilità riduce le emissioni di metano.

Una stima della riduzione di emissioni di metano in base alle informazioni contenute nelle linee guida IPCC (IPCC, 2006) è possibile ipotizzando l'incremento della digeribilità della dieta delle vacche da latte da 69% (valore attuale) a 72% e di conseguenza la riduzione della percentuale di conversione di metano da 6% a 5.7%. In tal caso, lasciando invariati gli altri parametri registrati nel 2020, assumendo quindi la stessa produzione di latte e di numero di capi, si avrebbero circa 10% di emissioni di metano in meno da fermentazione enterica delle vacche da latte e intorno a 4% di emissioni in meno per la sorgente rispetto a quanto registrato nel 2020. Nel presente rapporto non si effettuano ipotesi di riduzione delle emissioni da fermentazione enterica per la categoria Altri bovini, poiché è poco probabile che la tipologia di razione somministrata a questa categoria animale subirà delle modifiche (nel caso degli animali da ingrasso si utilizza una dieta più digeribile, mentre nel caso degli animali da riproduzione si utilizza una dieta più ricca di fibre, con percentuali di foraggi complessivamente comprese tra il 30% e l'80%).

La **gestione delle deiezioni** è la seconda fonte di emissioni di metano del settore agricoltura con il 21.5% delle emissioni del settore. Tali emissioni sono generate dalla decomposizione della materia organica in condizioni anaerobiche, durante il trattamento e lo stoccaggio e al pascolo. I fattori che maggiormente determinano le emissioni sono l'ammontare di deiezioni prodotte, che dipendono dal numero di animali e dal tasso di produzione per animale, e la quantità delle stesse decomposte anaerobicamente, che dipende dal tipo di gestione adottata. Lo stoccaggio delle deiezioni non palabili (reflui zootecnici di tipo

liquido), che avviene in ambienti essenzialmente privi di ossigeno, genera una significativa quantità di metano rispetto alla gestione delle deiezioni solide. Anche la temperatura e la durata dello stoccaggio incidono sulla produzione di metano.

I bovini rappresentano la principale sorgente delle emissioni di metano da gestione delle deiezioni, rappresentando nel 2020 quasi il 50% delle emissioni della sorgente, seguiti dai suini, che contribuiscono con una percentuale superiore al 40%. Nel 1990, la quota dei bovini era circa il 60% e quella dei suini 35%. La quota di emissioni derivanti dal pascolo è molto bassa ed è pari, nel 2020, allo 0.7% delle emissioni di metano da gestione delle deiezioni delle vacche da latte e 0.4% delle emissioni sia degli altri bovini che dei bufalini.



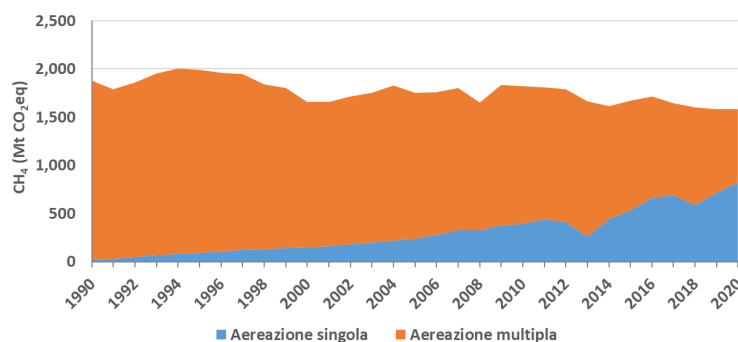
La riduzione delle emissioni dei bovini (-28.9%) è dovuta essenzialmente alla riduzione del numero di capi allevati (-23% nel 2020 rispetto al 1990, che rappresenta un valore medio tra la riduzione del numero di vacche da latte (-38%) e degli altri bovini (-15%)), così come l'aumento complessivo dei capi suini (+2%), dato da una riduzione delle scrofe (-13%) e un incremento dei capi degli altri suini (+3%), ha determinato un aumento complessivo delle emissioni del 2.8%.

Un fattore di rilevante importanza per questa sorgente è la quota di utilizzo di materia organica per la produzione di biogas negli impianti di digestione anaerobica che consente di evitare emissioni di metano direttamente in atmosfera. Le emissioni generate dalla produzione di energia attraverso la combustione del biogas vengono stimate e riportate nel settore energia dell'inventario nazionale delle emissioni. Allo stato attuale le emissioni di metano dovute alle perdite dagli impianti di digestione anaerobica risultano di poco inferiori alle emissioni di metano "evitate". Al fine di ridurre le emissioni di metano da gestione delle deiezioni zootecniche bisognerebbe pertanto aumentare la quantità di reflui avviati a digestione anaerobica, riducendo le altre componenti organiche. Occorre inoltre limitare al massimo le emissioni fuggitive dagli impianti per la produzione di biogas.

La riduzione delle emissioni da questa sorgente è possibile aumentando l'utilizzo delle deiezioni zootecniche per la produzione di biogas a scapito di altre matrici e con l'adozione di misure indirizzate al contenimento delle emissioni fuggitive dalle varie componenti degli impianti, come la copertura delle vasche di stoccaggio del digestato (che possono essere una ulteriore fonte di emissione) prodotto dalla digestione anaerobica (Liebetrau *et al*, 2017). Ipotizzando di utilizzare il 60% dei reflui zootecnici bovini e avicoli e il 10% di quelli suini per gli impianti di produzione di biogas (come riportato in CRPA, 2018) e di adottare la misura di copertura delle vasche di stoccaggio, mantenendo inalterati il numero di capi, la produzione delle deiezioni, le perdite degli impianti, in altre parole considerando invariati i valori assoluti registrati nel 2020, è possibile stimare che le emissioni di metano dovute alla gestione delle deiezioni sarebbero state inferiori del 26% rispetto al dato del 2020.

La **coltivazione del riso** rappresenta la terza fonte di emissione di metano del settore agricoltura con l'8.2% delle emissioni del settore agricoltura. Le emissioni sono generate dalla decomposizione del materiale organico nelle risaie sommerse di acqua da parte di microrganismi metanogeni. Le emissioni dipendono dall'estensione delle colture, dalla durata del periodo di crescita, dai regimi di irrigazione utilizzati e dagli ammendanti organici e inorganici impiegati. Anche il tipo di suolo, la temperatura e la varietà coltivata influenzano le emissioni di metano.

Nel 2020 le emissioni della sorgente sono state circa 64 kt CH₄, con una riduzione del 15% rispetto al 1990. Nonostante la superficie complessiva sia aumentata del 6%, si registra la graduale diffusione della tecnica di coltivazione in cui la superficie è sommersa per meno tempo rispetto alla tecnica tradizionale e pertanto con minore emissione di metano. Il fattore medio pesato di metano dal 1990 al 2020 è diminuito del 20%. Tale riduzione è



dovuta essenzialmente all'aumento della quota di superficie coltivata con singola aereazione e alla variazione della percentuale di paglia incorporata nel suolo (che passa dal 50% al 40% dal 1990 al 2020 e la parte complementare viene bruciata in campo) e dalla modifica del tempo medio di crescita delle varietà (quelle precoci passano da 143 a 140 giorni e quelle non precoci da 155 a 157 giorni, dal 1990 al 2020).

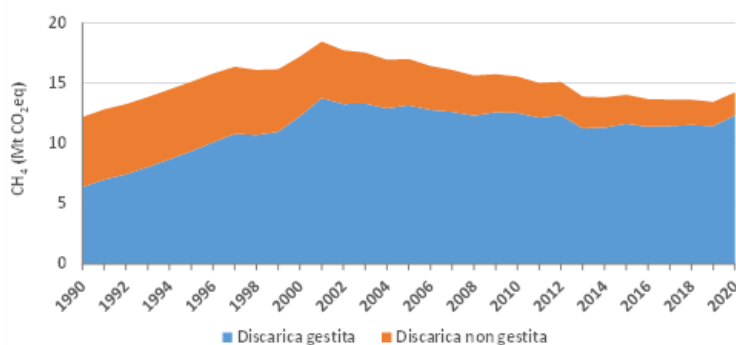
Nell'ipotesi ragionevole, basata sull'evidenza dell'andamento di crescita mediamente positivo nel trentennio considerato, che tutta la superficie del 2020 sia coltivata con la tecnica della semina interrata, con un periodo di crescita medio di 147 giorni, si stima che le emissioni di metano per la coltivazione del riso sarebbero state inferiori del 7%.

Considerando le ipotesi formulate per le tre sorgenti emmissive principali del settore agricoltura e a valori invariati rispetto al 2020 per gli altri dati di attività, si stima che le emissioni di metano del settore sarebbero state inferiori del 9% rispetto a quanto effettivamente registrato nel 2020. L'ipotesi formulata sui digestori anaerobici, secondo la quale si ipotizza un aumento dei reflui zootecnici avviati agli impianti da 15 a 49 milioni di tonnellate, determinerebbe una riduzione anche delle emissioni di protossido di azoto del 3% dal settore agricoltura. Lo stoccaggio dei reflui in condizioni anaerobiche nei digestori abbatte le emissioni di protossido di azoto, secondo le linee guida IPCC (IPCC, 2006), poiché tale gas per formarsi ha bisogno anche di ossigeno. L'implementazione delle ipotesi formulate avrebbe determinato la riduzione del 7% delle emissioni di gas serra dal settore agricoltura rispetto al valore registrato nel 2020.

Rifiuti

Nel settore dei rifiuti la sorgente dominante delle emissioni di metano è rappresentata dallo smaltimento dei rifiuti solidi, responsabile nel 2020 di quasi 85% delle emissioni di metano del settore, la successiva sorgente è rappresentata dalla gestione delle acque reflue con il 14.1% delle emissioni di metano.

Lo **smaltimento di rifiuti solidi in discarica** è una categoria chiave per il metano, sia in termini di quantità che in termini di tendenza. I principali parametri che influenzano la stima delle emissioni delle discariche sono, oltre alla quantità di rifiuti conferiti nelle discariche, la composizione dei rifiuti, la frazione di metano nel biogas e la quantità raccolta e recuperata. Questi parametri sono strettamente dipendenti dalle politiche di gestione dei rifiuti che iniziano dalla produzione e il trasporto dei rifiuti, la raccolta



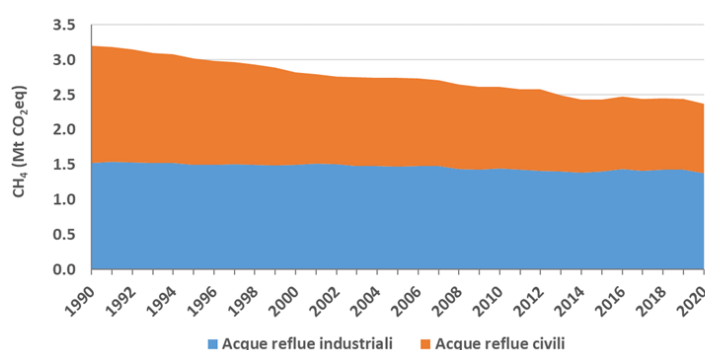
differenziata, il trattamento per la riduzione del volume, la stabilizzazione, il riciclo e il recupero energetico fino alla deposizione dei residui finali in discarica. Lo smaltimento dei rifiuti solidi in discarica nel 2020 contribuisce ad un terzo delle emissioni di metano a livello nazionale (33.3%). Tra il 1990 e il 2020 le emissioni di metano da questa sorgente sono aumentate del 16.8%, da un valore di 12.2 MtCO₂eq a 14.3 MtCO₂eq. Il dettaglio dell'andamento delle emissioni

mostra un incremento dal 1990 al 2001 (+51.1%) seguito da un andamento decrescente fino al 2020 (-22.7%), sebbene nell'ultimo anno si registri un incremento del 6% rispetto all'anno precedente.

L'andamento delle emissioni è condizionato dalla quantità cumulativa di rifiuti depositati nel corso degli anni, nel 2020 quindi si registrano emissioni che dipendono da rifiuti depositati nel corso degli ultimi decenni. La curva della "discarica nazionale" sembra aver già da tempo superato il massimo e va lentamente a decrescere (al di là del valore del 2020 dovuto a un recupero di biogas sensibilmente inferiore a quello degli anni precedenti). L'obiettivo da perseguire per la riduzione delle emissioni è quello individuato dalle misure di riduzione della sostanza organica in discarica attraverso la raccolta differenziata e sistemi di trattamento specifici per particolari tipologie di rifiuto.

In base alle ipotesi conservative formulate e con un'efficienza di captazione del 45% del biogas fino al 2030, la stima di riduzione delle emissioni di metano da discarica al 2030 rispetto al 2020 è di circa il 30%, passando da 14.3Mt a circa 9.9Mt. Una efficienza di captazione del 60%, qualora fattibile, permetterebbe una riduzione di circa il 47%.

Condizioni anaerobiche possono instaurarsi anche all'interno dei sistemi di collettamento dei reflui e nell'impianto di trattamento e interessare la **gestione delle acque reflue**. Inoltre, i fanghi biologici di depurazione e la sostanza organica contenuta nei liquami parzialmente depurati o non trattati, se dispersi nell'ambiente, possono andare incontro a degradazione anaerobica. Possono quindi verificarsi delle emissioni



di metano che sono strettamente connesse alle caratteristiche dei reflui e quindi alla quantità di sostanza organica presente nel liquame, alla modalità con la quale sono gestiti nonché alla temperatura. Le emissioni di metano sono stimate sia per le acque reflue civili che per quelle industriali. A tal proposito è importante specificare che per acque reflue civili si intendono liquami misti civili-industriali derivanti dall'attività strettamente domestica e da utenze di carattere commerciale/industriale, inserite in un contesto urbano. Dal 1990 ad oggi le percentuali di copertura del sistema fognario e depurativo sono arrivate quasi al 100%, pertanto l'andamento delle emissioni è legato alle variazioni della popolazione. Le emissioni di metano da questa sorgente mostrano una notevole riduzione dal 1990 al 2020 (-40.5%) a fronte di un incremento del carico organico totale nelle acque reflue trattate del 30% nello stesso periodo.

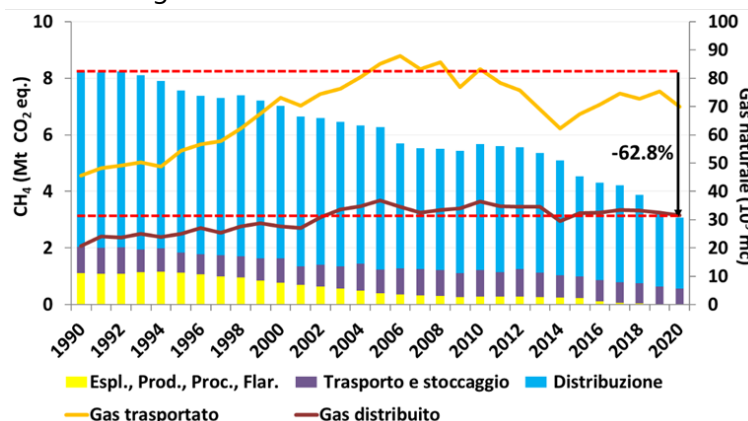
Per quanto riguarda le emissioni di metano dalle acque reflue industriali, né il flusso delle acque reflue né il valore medio del COD cambiano molto nel tempo, pertanto le emissioni sono stabili e principalmente legate ai dati di produzione. Le emissioni di metano di quest'ultima fonte mostrano una lenta ma costante diminuzione dal 1990 al 2020 (-9.5%).

La riduzione stimata delle emissioni di metano per la gestione delle acque reflue (civili e industriali) nel 2030 è di circa l'1.7% rispetto al livello del 2020.

Energia: emissioni fuggitive

La filiera del gas naturale rappresenta nel 2020 il 7.2% delle emissioni nazionali di metano e il 79.5% delle emissioni fuggitive. Si registra una notevole riduzione delle emissioni a quota emissiva della sorgente dal 1990 quando rappresentava il 16.7% delle emissioni nazionali di metano.

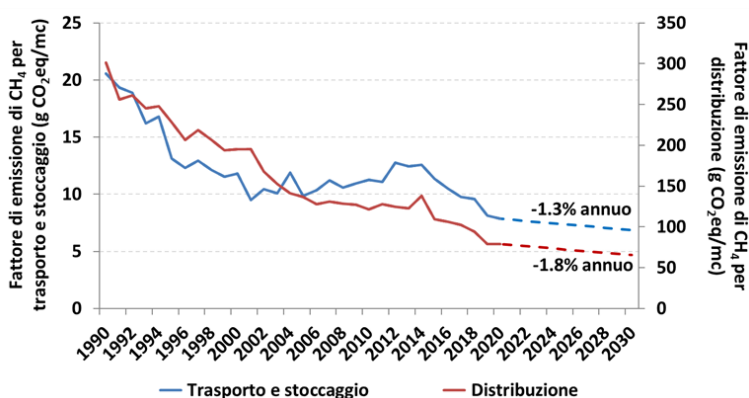
Trasporto, stoccaggio e distribuzione del gas naturale costituiscono le sorgenti principali di emissioni fuggitive con la distribuzione nel ruolo dominante. Le emissioni fuggitive della filiera si sono sensibilmente ridotte dal 1990 in seguito ai numerosi interventi di miglioramento della rete di trasporto e distribuzione. In particolare, fin dagli anni '90 si registra la sostituzione del materiale della rete di distribuzione caratterizzato da elevati fattori di emissione (ghisa grigia con giunti in canapa e piombo) con materiali caratterizzati da minori fughe. Inoltre, è sempre più estesa la rete in acciaio con protezione catodica efficace per la prevenzione della corrosione delle condotte (ARERA, 2020). Tali interventi hanno determinato la riduzione delle emissioni di metano del 62.8% dal 1990 al 2020 a fronte di un incremento del gas trasportato e distribuito di oltre il 53% nello stesso periodo. Il gas naturale distribuito soddisfa la domanda delle utenze del settore civile e della piccola industria, mentre le grandi utenze industriali sono direttamente servite dalla rete di trasporto.



Le principali sorgenti, trasporto-stoccaggio e distribuzione, registrano riduzioni delle emissioni dal 1990 al 2020 rispettivamente del 41.4% e 59.7%. Nella sorgente trasporto-stoccaggio sono considerate le perdite per trasporto, stoccaggio e rigassificazione del gas naturale liquefatto. I fattori di emissione mostrano una continua diminuzione, espressione del miglioramento delle prestazioni della rete di trasporto e di distribuzione. Il fattore di emissione per unità di gas servito nella sorgente trasporto-stoccaggio ha fatto registrare una riduzione del 61.8% dal 1990 al 2020, mentre per la distribuzione si registra una diminuzione del 73.7% nello stesso periodo. Il fattore di emissione nella sorgente trasporto-stoccaggio è circa un ordine di grandezza inferiore rispetto al fattore di emissione nella distribuzione, e dimostra che l'assetto della rete per la soddisfazione della domanda di gas naturale è un fattore di cruciale importanza per la riduzione delle emissioni fuggitive nella filiera del gas naturale. Inoltre, la rilevanza delle emissioni dalla distribuzione fa di questa sorgente il principale obiettivo per futuri interventi di riduzione delle emissioni fuggitive.

Applicando gli obiettivi di riduzione delle emissioni di metano dalla filiera del gas naturale individuati l'obiettivo del -30% rispetto alle emissioni del 2020 alle due principali sorgenti della filiera le emissioni di metano nel 2030 dovranno essere circa 2.2 Mt CO₂eq (-74% rispetto al 1990). La riduzione del 74% delle emissioni di metano dalla filiera del gas naturale nel 2030 rispetto al 1990 è compatibile con l'obiettivo del 72% individuato nel documento *Indirizzi per una Strategia italiana di riduzione delle emissioni di metano dalla filiera del gas naturale* (2021), sottoscritto dai principali attori della filiera del gas naturale e realizzato a valle delle tavole rotonde organizzate dagli Amici della Terra, in collaborazione con EDF (*Environmental Defense Fund*), che hanno coinvolto diversi operatori della filiera *gas & oil* e soggetti istituzionali, tra cui ARERA e ISPRA.

L'obiettivo (-72% al 2030 rispetto al 1990, ovvero -28% rispetto al 2020) è conseguibile con i consumi di gas naturale previsti dallo scenario con misure del PNIEC pubblicato a gennaio 2020 e tassi di riduzione



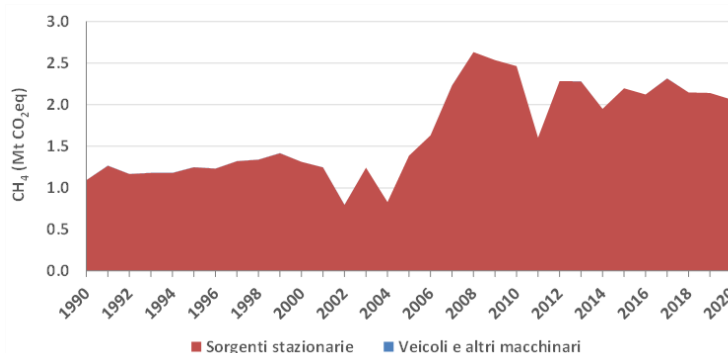
dei fattori di emissione del -1.3% annuo per trasporto-stoccaggio e -1.8% della distribuzione, pari a poco più del 40% dei tassi medi annui registrati dal 1990 per le due sorgenti e molto maggiori dei tassi registrati negli ultimi 5 anni. I consumi di gas naturale previsti dal PNIEC sono ragionevolmente da rivedere al ribasso alla luce dei nuovi obiettivi europei di riduzione delle emissioni serra e delle fonti rinnovabili, definiti con il *Green Deal* e il Piano *REPowerEU*.

Stime preliminari delle emissioni di metano dovute all'importazione di gas naturale in Italia mostrano valori da 2.3 a 4.6 volte maggiori delle emissioni realizzate sul territorio nazionale, mentre le emissioni di anidride carbonica sono circa 50 volte maggiori delle emissioni nazionali nella filiera del gas naturale.

Energia: Combustione

Nel 2020 il settore residenziale è la sorgente principale delle emissioni di metano dal settore della combustione con una quota in crescita dal 1990, quando contribuiva al 44.8% delle emissioni di metano, al 2020 con il 73.7%.

Le emissioni di gas serra nel settore sono originate dall'energia utilizzata direttamente negli edifici, principalmente per il riscaldamento. Le emissioni da sorgenti stazionarie rappresentano la quasi totalità delle emissioni di metano del settore, mentre le emissioni da veicoli e altri macchinari rappresentano una quota marginale che dal 1990 al 2020 è diminuita da 0.2% a 0.01%.



Le emissioni di metano aumentano dal 1990 al 2020 dell'88.5% a fronte di una riduzione del 17.9% delle emissioni di gas

serra totali del settore. Il disaccoppiamento è dovuto all'incremento della quota di energia da biomassa rispetto agli altri combustibili. A fronte di un consumo energetico del settore variabile intorno ad un valore medio senza un particolare andamento, la quota di consumo energetico da biomassa è aumentata, passando dalla media di 14.1% negli anni '90 alla media di 24.1% nell'ultimo decennio. La biomassa si riferisce essenzialmente al consumo di legna per uso termico.

La quota di emissioni di metano da biomassa pur essendo stata sempre prevalente è aumentata da 91% nel 1990 a 97.6% nel 2020. Gli altri combustibili contribuiscono con quote sempre minori. I fattori di emissione di metano e protossido di azoto della biomassa per l'intera serie storica esaminata sono rispettivamente 320 e 14 kg/TJ, decisamente più elevati di quelli registrati per i combustibili fossili. Tuttavia, a differenza dei settori precedentemente esaminati, nel settore residenziale il contributo dell'anidride carbonica è determinante nel quadro complessivo delle emissioni di gas serra e costituisce mediamente circa il 95% delle emissioni di gas serra. I fattori di emissione della biomassa, espressi in CO₂eq, considerando quindi anche il contributo nullo della CO₂, sono inferiori a quelli dei combustibili fossili.

Con le attuali regole di contabilizzazione dei gas serra non sembra pertanto praticabile la variazione del mix di combustibili e riduzione del consumo di biomassa per ridurre le emissioni di metano da questo settore. A parità di consumi energetici la sostituzione della biomassa con i combustibili fossili a minore impatto emissivo, come il gas naturale, comporterebbe da un lato la riduzione delle emissioni di metano e protossido di azoto ma determinerebbe dall'altro lato il rilevante aumento delle emissioni complessive di gas serra.

Una strategia praticabile per ridurre le emissioni di metano del settore può essere l'elettificazione dei consumi energetici, ovvero l'utilizzo di dispositivi alimentati a energia elettrica per soddisfare il bisogno di riscaldamento, come le pompe di calore, in sostituzione del consumo di energia dai combustibili fossili. Nel 2020 la quota di consumi elettrici nel settore residenziale è stata del 18.6%, ben al di sotto della media di EU27 (24.7%) e, dopo Polonia (12.2%) e Romania (14.6%), il valore più basso tra i principali Paesi Europei. Oltre all'elettificazione dei consumi va considerato anche il contributo del teleriscaldamento. L'incremento dei consumi di calore da teleriscaldamento a scapito dell'energia fornita direttamente dai combustibili rappresenta una efficace strategia di riduzione delle emissioni serra. La media europea (EU27) della quota di calore nei consumi finali del settore residenziale nel 2020 è stata dell'8.2% contro il 2.8% nazionale.

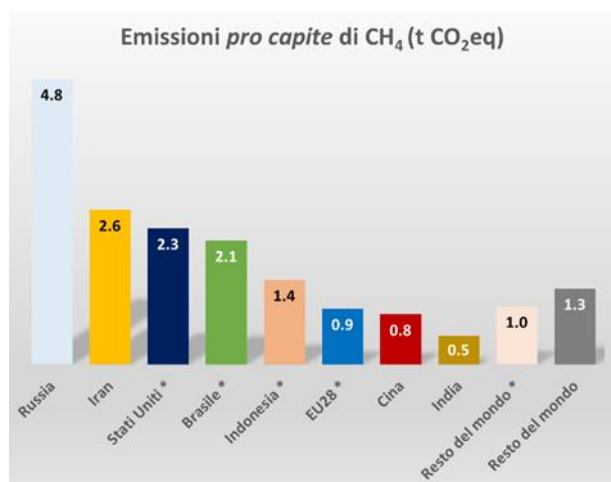
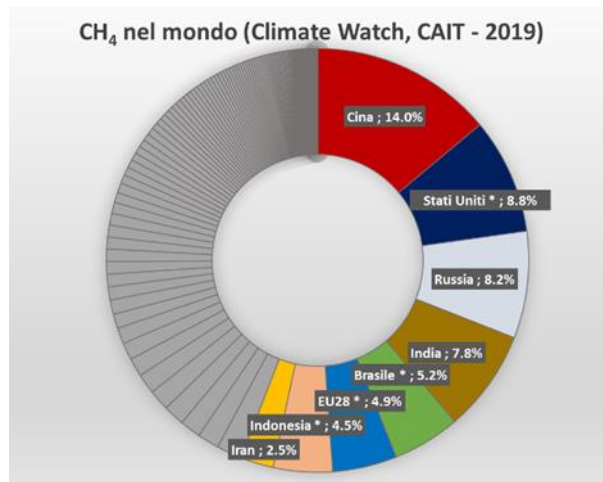
Una stima molto semplificata della riduzione delle emissioni di gas serra è stata elaborata considerando un incremento dei consumi di elettricità e calore nei consumi finali a parità di consumi totali registrati nel 2020. Le quote di elettrificazione e di calore sono state incrementate di un ulteriore 3%, portandole rispettivamente a 21.6% e 5.8%. Per conservare la parità di consumi energetici la quantità addizionale di energia finale di elettricità e calore è stata sottratta interamente ad ognuno dei combustibili utilizzati.

La riduzione maggiore delle emissioni di metano, circa -30% rispetto al 2020, si avrebbe nel caso la quantità addizionale di energia elettrica e termica sostituisse una pari quantità di energia da biomassa. Tuttavia, in tale scenario si registrerebbe la minore riduzione dei gas serra totali (-2% rispetto al 2020). La riduzione maggiore dei gas serra totali si avrebbe nello scenario di sostituzione dei combustibili liquidi (-11.3%), sebbene non si registrerebbe una riduzione importante del metano (-0.3%). La strategia di riduzione delle emissioni serra da adottare in questo settore dovrà quindi considerare la soluzione ottimale in relazione ai diversi obiettivi da rispettare.

Contesto internazionale

Il 17 settembre 2021 l'Unione Europea e gli Stati Uniti d'America hanno annunciato al *Major Economies Forum* il *Global Methane Pledge* (GMP) proposto a novembre alla COP 26 di Glasgow. I partecipanti che aderiscono al GMP accettano di intraprendere azioni volontarie per contribuire all'obiettivo globale di riduzione delle emissioni di metano di almeno il 30% entro il 2030 rispetto ai livelli del 2020.

Fino al 19 settembre 2022 i Paesi partecipanti al GMP sono 122. Secondo le stime del World Resources Institute nel 2019 le emissioni di metano da questi Paesi, comprensive della sorgente LULUCF, rappresentano circa il 50% delle emissioni globali di metano, considerando le emissioni di EU28. Sempre secondo le stime del *World Resources Institute* tra i primi cinque emettitori di metano figurano Cina, Stati Uniti, Russia, India e Brasile che collettivamente hanno contribuito nel 2019 al 43.9% delle emissioni globali di metano. I 28 Stati europei hanno contribuito con quasi il 5%. L'Italia contribuisce a circa il 10% delle emissioni europee. Le emissioni *pro capite* cambiano l'ordine dei Paesi. La Cina ha emissioni *pro capite* inferiori a quelle europee e tra i primi

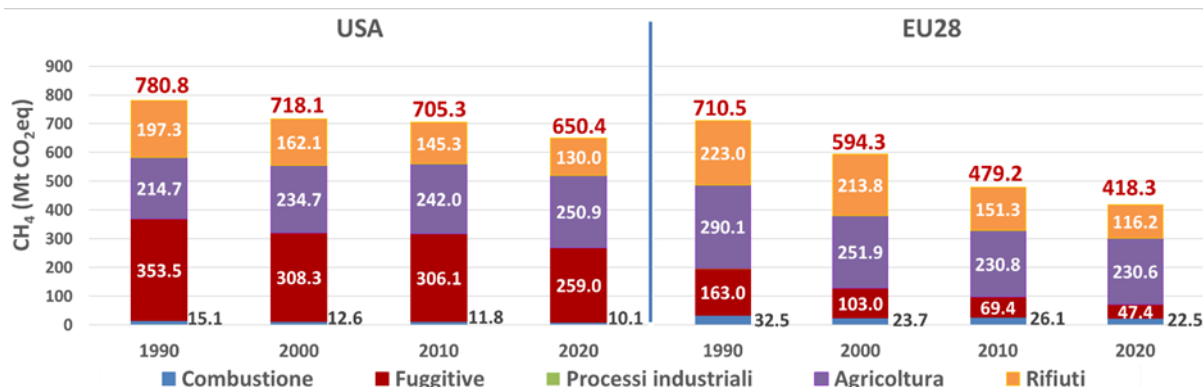


emettitori figurano Russia, Iran e Stati Uniti.

Nel 2020, in base ai dati riportati nei rispettivi inventari dei gas serra inviati a UNFCCC, le emissioni *pro capite* di metano, compreso il contributo delle sorgenti naturali è stato di 2.1 t CO₂eq negli Stati Uniti, 1.0 CO₂eq in EU28 e 0.7 CO₂eq in Italia.

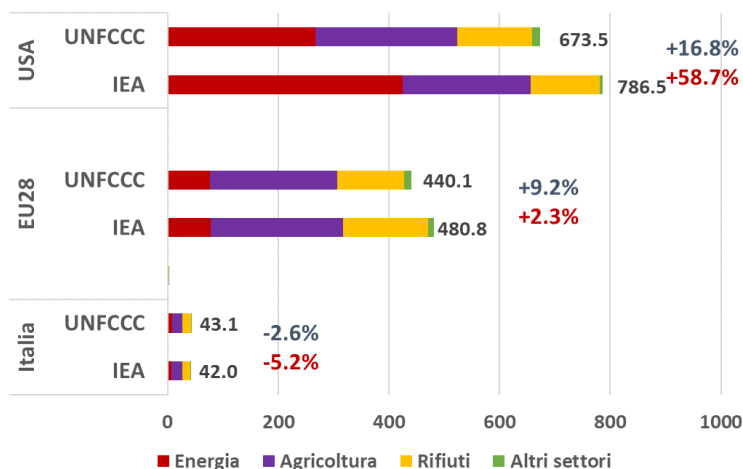
Le emissioni totali di metano, al netto del contributo delle sorgenti naturali, in EU28 nel 2020 sono diminuite del 41,1% rispetto ai livelli del 1990, mentre per gli USA la percentuale di riduzione è 16.7%. Nel 1990 gli USA avevano il 10% di emissioni di metano in più rispetto a EU28, l'intervallo tra le due entità è cresciuto costantemente e nel 2020 le emissioni negli USA sono 55% maggiori rispetto a quelle europee.

Le emissioni europee diminuiscono in tutti i settori con velocità maggiore di quella registrata per gli Stati Uniti, dove per alcuni settori, come l'agricoltura, si registra un sensibile incremento delle emissioni di metano (+16.9% in USA vs -20.5% in EU28).



Le emissioni fuggitive, pur non rappresentando la componente dominante in Europa sono diminuite del 70.9% mentre negli USA, dove invece rappresentano la sorgente dominante, sono diminuite del 26.7%. Anche nel settore dei rifiuti si registra un tasso di riduzione delle emissioni europee più alto (-47.9%) di quello degli Stati Uniti (-34.1%).

Sul fronte delle emissioni di metano dal settore energetico, come le emissioni fuggitive, l'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA) ha recentemente messo in evidenza l'urgenza di migliorare la qualità delle stime. IEA pone particolare attenzione al settore energetico poiché questo settore è responsabile di circa 40% delle emissioni globali di metano, inoltre in questo settore sono disponibili le misure più convenienti per l'abbattimento delle emissioni, in particolare nelle filiere di petrolio e gas. Considerando il recente innalzamento dei prezzi del gas naturale, quasi tutte le opzioni per ridurre le emissioni in queste filiere potrebbero essere implementate senza alcun costo netto (IEA, 2022).



IEA mette in evidenza che ci sono sostanziali differenze tra i dati basati su campagne di monitoraggio e studi scientifici e le emissioni comunicate dagli organismi pubblici ufficiali (UNFCCC), che raramente fanno uso di misure dirette. A livello globale, l'analisi di IEA rileva che le emissioni di metano dal settore energetico sono circa il 70% superiori alla somma delle stime presentate dai governi nazionali. Il quadro generale elaborato da IEA va tuttavia declinato a livello di singole entità statali e le

emissioni totali di metano stimate da IEA per l'Italia sono inferiori al dato riportato nell'Inventario nazionale del 2021, mentre per gli USA il surplus delle stime IEA rispetto all'Inventario è pari a +58.7% e per l'EU28 +2.3%.

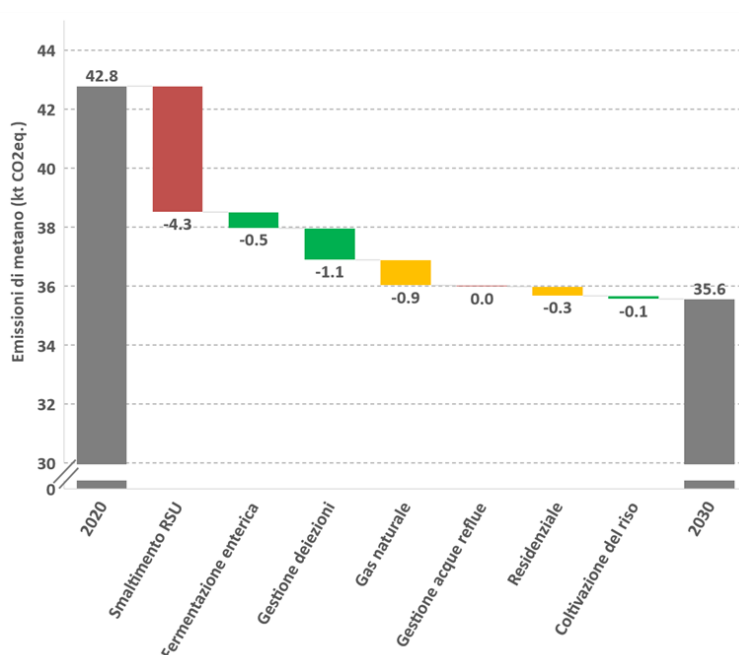
I dati illustrati in questo capitolo forniscono un quadro utile per orientare gli sforzi di riduzione delle emissioni di metano. Il GMP è un obiettivo globale e, sebbene i Paesi partecipanti si impegnino ad adottare azioni volontarie per ridurre le emissioni di metano, è ragionevole che i diversi Paesi contribuiscano agli sforzi per realizzare l'obiettivo considerando l'efficacia delle misure di riduzione in relazione ai costi e gli sforzi di riduzione che Paesi, come quelli Europei, hanno già messo in atto da molti anni.

Conclusioni

Nessuna politica di mitigazione può prescindere dalla conoscenza delle sorgenti e dei livelli di emissione di metano. Sebbene a livello globale siano noti i settori che maggiormente contribuiscono alle emissioni di metano (UNEP, 2021; IEA, 2021), è necessaria la conoscenza della situazione a livello nazionale per supportare il decisore politico nell'adozione di misure che abbiano la massima efficacia possibile. Il principale scopo del presente rapporto è l'analisi delle sorgenti emmissive di metano in Italia con l'obiettivo di individuare le sorgenti chiave, ovvero le sorgenti potenzialmente oggetto di misure mirate alla riduzione delle emissioni di metano.

A livello nazionale si registrano sette sorgenti principali, responsabili di quasi il 96% delle emissioni di metano nel 2020. Il settore dei rifiuti annovera due sorgenti chiave (smaltimento RSU e gestione delle acque reflue) con il 38.9% delle emissioni totali di metano, mentre il settore agricoltura ne annovera tre (fermentazione enterica, gestione degli effluenti e coltivazione del riso) con il 45% delle emissioni totali di metano nel 2020. Il settore energetico ha una sorgente per le emissioni fuggitive nella filiera del gas naturale e una per la combustione nel settore residenziale che contribuiscono rispettivamente con il 7.2% e 4.8% delle emissioni totali di metano. Le sorgenti menzionate, eccetto fermentazione enterica e residenziale, mostrano una tendenziale riduzione delle emissioni dal 2005.

Gli scenari considerati consentono di stimare una riduzione delle emissioni nazionali di metano nel 2030 di circa il 17% rispetto al valore registrato nel 2020, pari a circa 28% rispetto al livello del 2005. Tale percentuale mostra che, date le assunzioni considerate nel presente lavoro, per questo gas serra l'Italia è sotto l'intervallo di valori stimati dalla Commissione Europea nella strategia del metano per rispettare l'obiettivo di riduzione delle emissioni di gas a effetto serra ad almeno il 55% entro il 2030 rispetto al 1990. Secondo la Commissione Europea il conseguimento dell'obiettivo richiede uno sforzo maggiore per ridurre le emissioni di metano dal 35% al 37% entro il 2030 rispetto al 2005. Per realizzare tali obiettivi e renderli realmente



raggiungibili è opportuno che l'Italia predisponga una strategia nazionale allineata a quella europea e agli impegni internazionali sottoscritti dal Paese per ridurre le emissioni di metano dalle principali sorgenti emmissive dei settori dei rifiuti, dell'agricoltura e dell'energia (Gaudio, 2022). A tal proposito è utile sottolineare che, data la rilevanza delle emissioni di metano dalla sorgente dello smaltimento dei rifiuti, l'applicazione di misure mirate in questo settore, quali l'incremento dell'efficienza di captazione del biogas, possono essere decisive per il raggiungimento dell'obiettivo indicato dalla strategia europea. L'incremento dell'attuale efficienza di captazione del biogas, da 45% al 60% nel 2030, qualora applicabile alla realtà nazionale, permetterebbe una riduzione delle emissioni di metano dalle discariche di circa il 47% rispetto ai livelli del 2020. Tale riduzione comporterebbe una riduzione delle emissioni totali di metano di circa il 23% rispetto al 2020 e di circa 33% rispetto al 2005, quota poco inferiore a quella stimata dalla Commissione Europea nella strategia del metano.

L'analisi del contesto internazionale mostra che le emissioni europee diminuiscono in tutti i settori con velocità maggiore di quella registrata per gli Stati Uniti, dove per alcuni settori, come l'agricoltura, si registra un sensibile incremento delle emissioni di metano dal 1990 al 2020 (+16.9% in USA vs -20.5% in EU28). Inoltre, le emissioni fuggitive per le quali sono disponibili misure di riduzione a costi negativi, negli USA rappresentano la sorgente dominante mentre in Europa costituiscono una sorgente minoritaria. In Europa queste emissioni sono diminuite del 70.9% dal 1990, mentre negli USA sono diminuite del 26.7%.

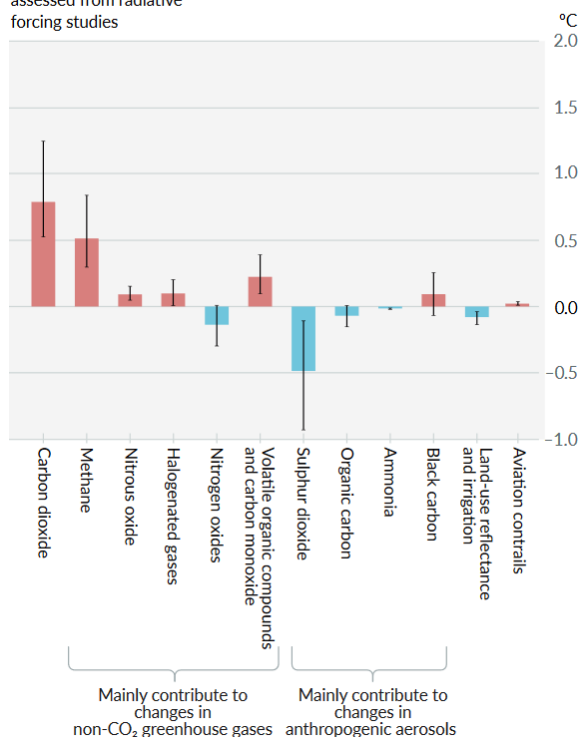
Anche nel settore dei rifiuti si registra un tasso di riduzione delle emissioni europee più alto (-47.9%) di quello degli Stati Uniti (-34.1%). La struttura emissiva settoriale in Italia e in Europa è comparabile e molto lontana da quella statunitense.

Questi dati mostrano che la riduzione delle emissioni di metano in Europa e negli Stati Uniti a partire dai livelli registrati nel 2020 possono avere efficacia e costi differenti in funzione del potenziale delle misure tecnologiche che per settori come l'agricoltura è molto limitato e dei costi delle relative misure che nel caso delle emissioni fuggitive possono essere molto bassi o addirittura negativi (UNEP, 2021).

INTRODUZIONE

Il metano è un potente gas serra secondo solo all'anidride carbonica in termini di contributo al riscaldamento globale (IPCC, 2021). Nel grafico, tratto dall'ultimo *assessment report* di IPCC, è evidente

(c) Contributions to 2010–2019 warming relative to 1850–1900, assessed from radiative forcing studies



che tra i diversi gas serra che determinano l'incremento della temperatura globale il metano contribuisce per circa il 30%.

Il metano ha un impatto climalterante (*Global Warming Potential*) 85 volte quello della CO₂ su un arco di 20 anni, anche se la CO₂ ha un tempo di permanenza in atmosfera per migliaia di anni, mentre il metano scompare in circa 10-15 anni. Il periodo di tempo solitamente utilizzato per il calcolo del GWP è di 100 anni. Il GWP su 100 anni si basa sull'energia assorbita da un gas in 100 anni rispetto all'energia assorbita dalla CO₂, mentre il GWP di 20 anni si basa sull'energia assorbita in 20 anni. Il GWP fornisce una unità di misura comune, che consente di sommare le emissioni di diversi gas e consente ai decisori politici di confrontare le opportunità di riduzione delle emissioni tra settori e gas.

Il GWP a 20 anni è utilizzato per dare la priorità ai gas, come il metano, che hanno una durata più breve in atmosfera, perché non considera gli impatti che si verificano oltre i 20 anni dall'emissione del gas. Poiché i GWP sono calcolati rispetto alla CO₂, i GWP basati su un periodo più breve saranno maggiori per i gas con una durata inferiore a quella della CO₂. Il metano, che ha una

vita breve, ha un GWP di 100 anni di 28-36, mentre il GWP di 20 anni di 84-87¹.

In base alle misurazioni effettuate da NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) la concentrazione di metano in atmosfera nel 2015 ha raggiunto quota 1834 ppbv (parti per miliardo in volume), in assenza di misure di mitigazione, sono destinate a crescere almeno fino al 2040 (UNEP, 2021). Le emissioni antropogeniche di metano costituiscono circa il 60% delle emissioni totali di metano. Secondo il rapporto UNEP (*United Nations Environment Programme*) le emissioni globali di metano di origine antropogenica nel 2017 sono comprese nell'intervallo 364-380 Mt e le principali sorgenti sono i settori della produzione e trasporto dei combustibili fossili (~35%); agricoltura (~40%) e rifiuti (~20%). Le emissioni globali di metano rappresentano circa il 17% delle emissioni di gas serra nel 2018 (Climatewatch, 2022), a livello europeo e in Italia la percentuale nello stesso anno è 10%.

La riduzione delle emissioni antropogeniche di metano è una delle strategie più efficaci, anche in termini economici, per ridurre rapidamente il tasso di riscaldamento e contribuire in modo significativo agli sforzi per limitare l'aumento della temperatura globale (IEA, 2021). Le misure di riduzione attualmente disponibili, insieme a misure aggiuntive (efficienza energetica, sostituzione di combustibili e modifiche comportamentali, come la riduzione degli sprechi alimentari, la modifica della dieta) possono ridurre le emissioni antropogeniche di metano fino al 45% o 180 Mt all'anno entro il 2030. Questo risultato eviterebbe quasi 0.3°C di riscaldamento globale nel decennio dal 2040 ed è ritenuto una condizione indispensabile per rispettare gli accordi di Parigi del 2015 che mirano a limitare il riscaldamento globale a 2°C, possibilmente 1.5°C rispetto ai livelli preindustriali. In termini di costi sanitari e sociali, equivarrebbe a prevenire ogni anno nel mondo 255,000 morti premature, 775,000 visite in ospedale per asma, 73 miliardi di ore di lavoro risparmiate da ondate di calore estremo, salvare 26 Mt di coltivazioni altrimenti perdute (UNEP, 2021). Secondo il Sesto Rapporto di Valutazione dell'IPCC per essere in linea con l'obiettivo di 1.5°C, è necessario ridurre del 34% le emissioni globali di metano dai livelli del 2019 entro il

¹ <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>

2030 e circa il 44% entro il 2040 (IPCC, 2022). Inoltre, il rapporto IPCC, a cura del Gruppo di Lavoro III, riporta in dettaglio le opzioni di mitigazione di gas serra per rispettare gli accordi di Parigi.

UNEP (2021) ha considerato le misure attualmente disponibili e specificamente mirare alla riduzione delle emissioni di metano nei principali settori economici responsabili delle emissioni di questo gas serra. Le misure disponibili nei diversi settori sono le seguenti:

- Petrolio, gas e carbone: si tratta del settore con il maggior potenziale di mitigazione entro il 2030, come conferma anche IEA (2021, 2022). Le misure potrebbero ridurre le emissioni globali di metano del settore petrolifero e del gas di 29-57 Mt/anno e del settore del carbone di 12-25 Mt/anno. Fino all'80% delle misure di petrolio e gas e fino al 98% delle misure sul carbone potrebbero essere implementate a costi molto bassi o addirittura negativi.
- Rifiuti: le misure potrebbero ridurre le emissioni di metano di 29-36 Mt/anno entro il 2030. Il potenziale di riduzione maggiore è nel settore del trattamento e smaltimento dei rifiuti solidi. Fino al 60% delle misure del settore ha un costo basso o negativo.
- Agricoltura: le misure esistenti potrebbero ridurre le emissioni di metano di circa 30 Mt/anno entro il 2030. Le emissioni di metano derivanti dalla coltivazione del riso potrebbero essere ridotte di 6-9 Mt/anno. I potenziali di mitigazione per il bestiame sono meno affidabili e vanno da 4 a 42 Mt/anno con stime dei costi medi caratterizzate da notevole incertezza. Le misure inerenti al cambiamento comportamentale e le politiche innovative sono particolarmente importanti per ridurre le emissioni del settore, dato il limitato potenziale delle misure tecnologiche. Tre cambiamenti comportamentali, la riduzione degli sprechi e delle perdite alimentari, il miglioramento della gestione del bestiame e l'adozione di diete sane (vegetariane o con un contenuto di carne e latticini inferiore) potrebbero ridurre le emissioni di metano di 65-80 Mt/anno nei prossimi decenni.

Il rapporto UNEP ha esaminato inoltre le misure addizionali che possono ridurre le emissioni di metano nei prossimi decenni pur non essendo direttamente indirizzate a questo specifico gas serra:

- Esempi di queste misure includono misure di decarbonizzazione, come una transizione verso le energie rinnovabili e miglioramenti dell'efficienza energetica agendo sulle diverse leve di implementazione. La tariffazione delle emissioni può essere una politica efficace per incentivare l'applicazione di misure di riduzione del metano. Un aumento della tassa globale sulle emissioni di metano a partire da circa 800 dollari per tonnellata potrebbe ridurre le emissioni di metano fino al 75% entro il 2050.
- La conoscenza e il monitoraggio incompleti delle emissioni in alcuni settori limitano il potenziale di innovazione tecnica della mitigazione e il processo decisionale strategico per ridurre in modo efficiente le emissioni di metano. Allo stato attuale sono disponibili informazioni sufficienti per agire immediatamente; tuttavia, è necessaria una maggiore comprensione dei livelli e delle fonti di emissioni di metano per rispettare gli accordi di Parigi del 2015, ovvero limitare il riscaldamento globale a 2°C, possibilmente 1.5°C, rispetto ai livelli preindustriali. È necessario quindi un continuo miglioramento della qualità e trasparenza dei dati delle emissioni al fine di sviluppare e valutare politiche e regolamenti sulla gestione delle emissioni di metano, verificare la rendicontazione della mitigazione e tenere traccia delle riduzioni delle emissioni.
- Un maggiore coordinamento e governance regionali e globali della mitigazione del metano sosterebbe il raggiungimento dei livelli di abbattimento del 2030. Mentre le riduzioni del metano sono sempre più affrontate attraverso leggi locali e nazionali e nell'ambito di programmi volontari, ci sono pochi accordi politici internazionali con obiettivi specifici per il metano.

Nell'ambito degli accordi politici internazionali con programmi volontari di riduzione delle emissioni di metano si inserisce l'iniziativa del *Global Methane Pledge* (GMP) annunciata nel settembre 2021 dall'Unione Europea e dagli Stati Uniti che definisce un impegno per i partecipanti a intraprendere misure volontarie per ridurre del 30% le emissioni globali di metano in tutti i settori entro il 2030 rispetto ai livelli del 2020. Il GMP è stato lanciato alla Conferenza delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (COP 26) nel novembre 2021 a Glasgow e sottoscritto da 122 Paesi².

² Aggiornato al 19 settembre 2022

La Commissione Europea aveva già nell'ottobre 2020 comunicato la strategia per la riduzione delle emissioni di metano (EC, 2020[a]) con l'obiettivo contenere l'innalzamento della temperatura, migliorare la qualità dell'aria e rafforzare la leadership dell'UE nella lotta ai cambiamenti climatici. La riduzione delle emissioni di metano è essenziale per raggiungere gli obiettivi di riduzione dei gas serra di almeno il 55% al 2030 e la neutralità emissiva nel 2050.

La strategia si concentra sulla riduzione delle emissioni di metano nei settori dell'energia, dell'agricoltura e dei rifiuti, poiché queste aree rappresentano la quasi totalità delle emissioni antropogeniche di metano. La strategia delinea un approccio intersettoriale per intraprendere azioni mirate in ciascun settore, utilizzando al contempo sinergie tra i settori, come ad esempio la produzione di biometano. Poiché le emissioni di metano trascendono i confini nazionali, il *Green Deal* europeo sottolinea la necessità di una collaborazione internazionale, anche attraverso l'impegno con i paesi terzi e iniziative multilaterali. Inoltre, la strategia ha l'obiettivo di migliorare le misure e la comunicazione delle emissioni di metano agli organismi internazionali. La qualità del monitoraggio è molto diversa tra i settori e gli Stati membri e nella comunità internazionale. Oltre alle misure a livello europeo indirizzate al miglioramento della qualità dei dati relativi alle emissioni di metano, la Commissione sostiene l'istituzione di un osservatorio internazionale delle emissioni di metano (IMEO, *International Methane Emission Observatory*) in partenariato con UNEP, CCAC (*Climate and Clean Air Coalition*) e IEA (*International Energy Agency*). IMEO raccoglierà e verificherà i dati sulle emissioni di metano per fornire alla comunità internazionale una migliore comprensione delle emissioni globali e delle opzioni di mitigazione al fine di monitorare gli impegni assunti dagli attori statali nel *GMP*.

L'adozione della strategia consente all'UE di svolgere un ruolo di rilievo per garantire la riduzione delle emissioni di metano a livello globale. Sebbene l'UE contribuisca solo al 5% delle emissioni globali di metano (EC, 2020[a]), può utilizzare la sua posizione di maggiore importatore mondiale di combustibili fossili e di forte attore nel settore agricolo per sostenere azioni analoghe da parte degli altri partner. L'UE è inoltre un leader nell'acquisizione di immagini satellitari e nel rilevamento delle perdite di emissioni di metano attraverso il programma *Copernicus* e può guidare la collaborazione internazionale per migliorare il monitoraggio e la mitigazione delle emissioni globali di metano.

Per ridurre le emissioni di metano nel settore energetico la strategia ha pianificato le azioni legislative quali la proposta di Regolamento per ridurre le emissioni nella filiera dei combustibili fossili, soprattutto il gas naturale (EC, 2021). La Commissione ha inoltre promosso l'implementazione su larga scala delle iniziative già attive su base volontaria nella filiera *oil & gas* per la misura e il contenimento delle emissioni di metano, quali OGMP (*Oil and Gas Methane Partnership*). Il quadro OGMP è il miglior veicolo attualmente esistente per migliorare il monitoraggio delle emissioni fuggitive nel settore energetico. Inoltre, con la strategia la Commissione ha invitato le imprese dei settori petrolifero, del gas e del carbone a istituire programmi più solidi di rilevamento e riparazione delle perdite (LDAR) per preparare le successive proposte legislative che renderebbero obbligatori tali programmi.

La Commissione si propone inoltre il miglioramento della qualità dei dati delle emissioni provenienti dall'agricoltura e promuove la riduzione delle emissioni attraverso la politica agricola comune. In questo settore l'attenzione principale è rivolta alla condivisione delle migliori pratiche agricole e alle tecnologie innovative di riduzione del metano, alle diete animali e gestione dell'allevamento. Un ambito di particolare interesse del settore è ovviamente l'utilizzo dei rifiuti agricoli non riciclabili per produrre bioenergia (biogas, biometano, ecc.).

Nel settore dei rifiuti, la Commissione prende in considerazione ulteriori azioni per migliorare la gestione del gas di discarica, sfruttandone il potenziale energetico riducendo allo stesso tempo le emissioni. Ridurre al minimo lo smaltimento dei rifiuti biodegradabili nelle discariche è fondamentale per evitare la formazione di metano. Anche in questo settore assume rilevante importanza la ricerca sulle tecnologie di conversione dei rifiuti in biometano.

Come già riportato, a livello globale le emissioni di metano dai settori agricoltura, rifiuti ed energia rappresentano fino al 95% delle emissioni antropogeniche di metano: 40% dall'agricoltura, 20% dai rifiuti e 35% dal settore energetico (UNEP, 2021). A livello europeo la quota del metano da attività umane è anche più elevata con il 53% dall'agricoltura, 26% dai rifiuti e 19% dall'energia. A livello nazionale le

percentuali nel 2020 sono rispettivamente 45%, 39% e 16%. Per ognuno dei tre settori sono state intraprese in Europa azioni mirate all'abbattimento delle emissioni di metano.

Nella proposta di Regolamento per la riduzione delle emissioni di metano nel settore energetico la Commissione riporta una disamina delle principali normative europee indirizzate al contenimento delle emissioni di metano in altri settori. Nel settore agricolo è di particolare rilevanza la strategia *Farm to Fork* (EC, 2020[b]). La Commissione ha istituito un gruppo di esperti per mettere a punto strumenti analitici delle emissioni di metano secondo l'approccio del ciclo di vita. In collaborazione con esperti settoriali e Stati membri, la Commissione sta elaborando un inventario delle migliori pratiche e delle tecnologie disponibili per esplorare e promuovere la diffusione delle azioni di mitigazione innovative. Per incoraggiare l'elaborazione dei bilanci di carbonio a livello aziendale, entro il 2022 la Commissione fornirà uno strumento informatico e linee guida per il calcolo delle emissioni e degli assorbimenti di gas a effetto serra. La Commissione promuoverà l'adozione delle tecnologie di mitigazione attraverso una più ampia diffusione del cosiddetto *carbon farming*, ovvero schemi di remunerazione per le pratiche di sequestro del carbonio nel suolo su base volontaria. Nel piano strategico europeo *Horizon 2021-2024*, la Commissione ha proposto una ricerca mirata sui diversi fattori che portano alla riduzione delle emissioni di gas a effetto serra, concentrandosi sulla tecnologia e sulle soluzioni *nature-based*, nonché sui fattori che portano al cambiamento delle abitudini alimentari. Inoltre, è stata formalizzata la proposta di inserimento di revisione della Direttiva sulle emissioni industriali (IED) che, tra le altre cose, prevede l'inserimento dell'allevamento dei bovini, oltre ai suini e avicoli già contemplati, nell'ambito di applicazione, che potrebbe contribuire a ridurre le emissioni di metano del settore zootecnico.

Nel settore dei rifiuti le emissioni di metano sono affrontate nella legislazione ambientale esistente e in quella pianificata. La direttiva sulle discariche (UE) 2018/850 impone ai gestori delle discariche l'utilizzo del gas di discarica per generare energia o, qualora ciò sia impossibile, bruciandolo. Nella revisione della direttiva sulle discariche prevista per il 2024, la Commissione prenderà in considerazione ulteriori azioni per migliorare la gestione del gas di discarica al fine di ridurre al minimo gli effetti climatici nocivi e sfruttare i potenziali benefici energetici. Inoltre, nella revisione in corso dell'IED si sta valutando l'adozione di conclusioni nelle BAT per lo smaltimento dei rifiuti in discarica che riguarderebbero, tra l'altro, le emissioni di metano. La legislazione europea sui rifiuti è stata recentemente modificata (2018) per introdurre l'obbligo di raccolta separata dei rifiuti biodegradabili entro il 2024 e fissare un nuovo obiettivo di smaltimento in discarica dei rifiuti non oltre il 10% entro il 2035. Per quanto riguarda la gestione e l'uso delle acque reflue e dei fanghi di depurazione nell'ambito dell'attuale quadro normativo - direttive sul trattamento delle acque reflue urbane (91/271/EEC) e sui fanghi di depurazione 86/278/EEC - le emissioni di gas a effetto serra non sono affrontate in modo specifico. L'attuazione della direttiva 91/271/EEC, attualmente in fase di revisione, ha tuttavia contribuito a prevenire significative emissioni di metano. La direttiva 86/278/EEC disciplina l'uso dei fanghi di depurazione per proteggere l'ambiente, e in particolare il suolo, dagli effetti nocivi dei fanghi contaminati utilizzati in agricoltura.

Le emissioni di gas serra di origine energetica, data la rilevanza delle sorgenti, sono oggetto di attenzione di un quadro normativo piuttosto articolato. Tuttavia, per ammissione della stessa Commissione Europea, le emissioni di metano che si verificano a livello di esplorazione e produzione di petrolio e gas naturale, raccolta e trattamento di gas naturale, trasporto, distribuzione, stoccaggio e dai terminali di gas naturale liquido (GNL), nonché dalle miniere di carbone operative, chiuse o abbandonate non sono specificamente regolamentate a livello dell'Unione. Per coprire tale settore la Commissione ha adottato nel dicembre 2021 la proposta di Regolamento già citata. Sebbene la proposta non introduca obiettivi vincolanti sulle emissioni di metano entro il 2030, come aveva richiesto il 28 settembre la Commissione Ambiente del Parlamento Europeo, rappresenta un atto normativo concreto per la riduzione delle emissioni di metano. Tra gli obiettivi del Regolamento c'è il miglioramento della qualità dei dati relativi alle perdite di metano, sia in termini di affidabilità dei dati che in termini di tempestività delle comunicazioni da parte degli operatori del settore alle Autorità Competenti. La proposta di Regolamento introduce il divieto delle pratiche di *flaring* e *venting* di routine e l'obbligo di rilevamento e riparazione delle perdite (LDAR) per tutte le infrastrutture coinvolte nella filiera del gas naturale dalla produzione alla distribuzione, come era stato anticipato dalla strategia. La proposta di Regolamento prevede inoltre la realizzazione di strumenti di trasparenza per le emissioni di metano che si verificano fuori dall'Unione. Viene introdotto per gli operatori che importano combustibili fossili nell'Unione l'obbligo di fornire informazioni circa le società e i paesi che esportano energia fossile, sui relativi obblighi internazionali di comunicazione delle emissioni

di metano e sulle attività volontarie di mitigazione delle emissioni. La Commissione introdurrà inoltre uno strumento di monitoraggio globale basato su dati satellitari e rilevati a terra per comunicare l'entità, la ricorrenza e localizzazione delle emissioni di metano a livello globale. Qualora lo strumento individui una nuova fonte di emissioni, la Commissione avvisa il paese interessato al fine di promuovere azioni di sensibilizzazione e di riparazione.

Secondo il recente studio dell'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA, 2021) la riduzione delle emissioni di metano che avvengono lungo la filiera *oil & gas* è tra le azioni più convenienti e di maggiore efficacia che i governi possano intraprendere per raggiungere gli obiettivi climatici globali. Uno dei primi obiettivi per qualsiasi nuovo sforzo di riduzione dovrebbe essere quello di migliorare la qualità dei dati sulle emissioni, che a loro volta possono portare a interventi normativi più efficienti. Tuttavia, come ribadito da IEA, l'attuale stato delle informazioni sulle emissioni non ostacola azioni tempestive per ridurre le emissioni di metano. IEA nel 2022 ha inoltre pubblicato il *Global methane tracker* con nuove stime delle emissioni di metano dal settore energetico. Le stime elaborate da IEA in base agli studi più recenti e ai dati satellitari, mostrano che il settore energetico è responsabile del 40% delle emissioni globali di metano dalle attività umane, secondo solo alle attività agricole. Inoltre, i confronti tra diverse fonti di dati, resi pubblicamente disponibili da IEA, mostrano che le emissioni globali di metano stimate da IEA nel settore energetico sono circa il 70% più grandi di quanto comunicato a UNFCCC dai governi nazionali, sebbene le differenze tra stime IEA e Inventari nazionali non siano uguali per tutti gli Stati esaminati.

Nel contesto nazionale è stato avviato già da qualche anno un confronto tra le associazioni ambientaliste, operatori del settore energetico e diversi enti istituzionali con l'obiettivo di promuovere un maggiore scambio di informazioni sulle azioni di misura e contenimento delle emissioni di metano. L'iniziativa organizzata dagli Amici della Terra, in collaborazione con EDF (*Environmental Defense Fund*), ha coinvolto diversi operatori della filiera *gas & oil* e soggetti istituzionali, tra cui ARERA e ISPRA. A valle dell'iniziativa e nell'ambito degli eventi preparatori verso la COP26 selezionati dal Ministero della Transizione Ecologica, è stato presentato, nel settembre 2021, il documento *Indirizzi per una Strategia italiana di riduzione delle emissioni di metano dalla filiera del gas naturale*. La strategia propone obiettivi di riduzione delle emissioni nazionali di metano nella filiera del gas naturale del 72% nel 2030 rispetto al 1990. Gli obiettivi sono declinati per le diverse fasi di trasporto (-65%) e distribuzione (-70%). L'iniziativa degli Amici della Terra continua la sua attività con un confronto tra gli operatori del settore sulle sfide che la proposta di Regolamento della Commissione nel settore energetico pone in termini di costi-benefici.

Il recente rapporto elaborato dal *Greenhouse Gas Management Institute* per conto del WWF (Gaudioso, 2022) fornisce un quadro nazionale delle emissioni di metano dai diversi settori fino al 2019 ed esamina le opzioni disponibili nei vari settori per ridurre le emissioni di metano. In base all'adozione delle misure considerate il rapporto fornisce una stima delle emissioni di metano al 2030 lontana dal rispetto degli obiettivi del 2030 individuati dalla Strategia europea sul metano e dal *Global Methane Pledge*. Il rapporto mette quindi in evidenza la necessità dell'Italia di dotarsi di una strategia italiana sul metano integrata con il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC: AA.VV., 2019).

Il presente rapporto analizza le emissioni di metano dalle relative sorgenti emmissive. I dati esaminati sono riportati nell'Inventario nazionale delle emissioni di gas serra trasmesso da ISPRA alle autorità internazionali (UNFCCC). Un capitolo sarà inoltre dedicato a una sintetica panoramica internazionale delle emissioni di metano ed al confronto tra le realtà promotrici del *GMP*: Stati Uniti e Unione Europea. La conoscenza dei livelli di emissione di metano dalle rispettive sorgenti emmissive è un passaggio ineludibile per la valutazione dell'efficacia delle misure e politiche nazionali da implementare per la mitigazione del metano in tutti i settori al fine di rispettare gli obiettivi climatici europei e internazionali. La maggiore attenzione deve essere rivolta alle sorgenti principali tenendo presente la fattibilità e i costi nel bilancio complessivo delle misure potenzialmente adottabili. Inoltre, la conoscenza della situazione internazionale fornisce un quadro utile alla definizione di eventuali obiettivi per le singole entità statuali al fine di raggiungere l'obiettivo globale stabilito dal *GMP*.

1 EMISSIONI NAZIONALI DI METANO

Il presente studio si concentra sulle emissioni nazionali di metano riportate nell'Inventario Nazionale delle emissioni di gas serra che ISPRA aggiorna e comunica annualmente alle autorità competenti in sede nazionale e internazionale (ISPRA, 2022[a]). Le emissioni sono espresse in CO_{2eq}, pertanto le emissioni di metano sono moltiplicate per il GWP (*Global Warming Potential*) attualmente in uso per gli inventari nazionali secondo la metodologia definita nell'ambito della convenzione quadro UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*). Il GWP per il metano è 25, in accordo con il *IV Assessment Report IPCC (2007)*.

La metodologia di stima delle emissioni e i fattori di emissione per ogni settore e relative sorgenti sono esposti in dettaglio nell'Inventario Nazionale delle emissioni di gas serra. Le emissioni esaminate nel presente rapporto seguono la stessa nomenclatura settoriale utilizzata in sede internazionale per la comunicazione delle stime emissive. Le tabelle sono organizzate secondo un formato comune: Common Reporting Format (CRF). In tale formato trovano collocazione le emissioni di origine energetica e le emissioni da processo.

Le emissioni energetiche di gas serra sono dovute alla combustione di combustibili di diversa natura. Inoltre, sono comprese in tale categoria le emissioni fuggitive, ovvero le emissioni che avvengono lungo la filiera che va dalla produzione all'uso finale dei combustibili fossili e le emissioni da fonte geotermica. Le emissioni da processo di gas serra avvengono in seguito a reazioni di ossidazione diverse dalla combustione o altre reazioni ossidoriduttive, quali la fermentazione. In particolare, le emissioni di metano sono dovute a quest'ultimo tipo di reazioni.

Le emissioni energetiche sono ripartite secondo le categorie di sorgenti riportate nella seguente tabella.

Tabella 1.1 – Categorie di sorgenti delle emissioni da combustione e fuggitive nel settore energia.

1. Energia
A. Combustione
1. Industrie energetiche
2. Industrie manifatturiere e costruzioni
3. Trasporto
4. Altri settori
5. Altro
B. Emissioni fuggitive da combustibili
1. Combustibili solidi
2. Petrolio e gas naturale e altre emissioni da produzione di energia

La categoria 1.A comprende le emissioni dovute al processo di combustione e, per quanto riguarda le emissioni di metano, le emissioni incombuste. La categoria 1.B comprende le emissioni fuggitive lungo la filiera dall'estrazione all'utilizzo finale dei combustibili fossili e le emissioni da fonte geotermica.

Ognuna delle suddette categorie rappresenta un insieme di sorgenti passibile di ulteriore dettaglio, secondo le voci riportate nella seguente tabella:

Tabella 1.2 – Categorie di sorgenti delle emissioni da combustione e fuggitive nel settore energia.

1. Energia
A. Combustione
1. Industrie energetiche
a. Produzione di elettricità e calore
b. Raffinazione del petrolio
c. Manifattura di combustibili solidi e alter industrie energetiche
2. Industrie manifatturiere e costruzioni
a. Siderurgico
b. Metalli non-ferrosi
c. Chimica
d. Polpa, carta e stampa
e. Industria alimentare
f. Minerali non-metallici
g. Altro
3. Trasporto
a. Aviazione domestica
b. Trasporto su strada
c. Ferrovie
d. Navigazione domestica
e. Altro trasporto
4. Altri settori
a. Servizi
b. Residenziale
c. Agricolture/foresta/pesca
5. Altro
a. Stazionarie
b. Mobili
B. Emissioni fuggitive da combustibili
1. Combustibili solidi
a. Estrazione e gestione miniere di carbone
b. Trasformazione di combustibili solidi
c. Altro
2. Petrolio e gas naturale e alter emissioni da produzione di energia
a. Petrolio
b. Gas naturale
c. Venting e flaring
d. Altro

Le emissioni da processo sono ripartite secondo le categorie di seguito riportate. Per i rispettivi settori di appartenenza sono considerate le diverse sorgenti emmissive.

Tabella 1.3 – Categorie di sorgenti delle emissioni da altri settori.

2. Processi industriali
A. Minerali
B. Chimica
C. Metalli
D. Prodotti non-energetici da combustibili e uso di solventi
E. Elettronica
F. Sostituti di sostanze dannose per l'ozono
G. Manifatture e uso di altri prodotti
H. Altro
3. Agricoltura
A. Fermentazione enterica
B. Gestione delle deiezioni zootecniche
C. Coltivazione del riso
D. Suoli agricoli
E. Incendi prescritti della savana
F. Combustione in campo di residui agricoli
G. Calcitazione
H. Applicazione di urea
I. Altri fertilizzanti contenenti carbonio
J. Altro
4. LULUCF
A. Foreste
B. Terre agricole
C. Prati e pascoli, altre terre boscate
D. Zone umide
E. Insediamenti urbani
F. Altri suoli
G. Prodotti legnosi (HWP)
H. Altro
5. Rifiuti
A. Smaltimento dei rifiuti solidi
B. Trattamento biologico dei rifiuti solidi
C. Incenerimento e combustione all'aperto dei rifiuti
D. Gestione delle acque reflue
E. Altro

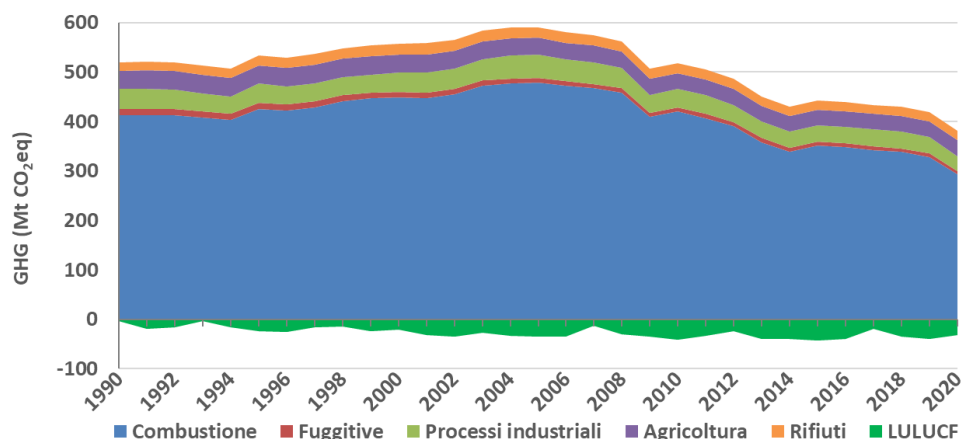
Ognuna delle sorgenti menzionate, sia per le emissioni da combustione nel settore energia che per le emissioni da processo dagli altri settori, è passibile di ulteriore dettaglio. Nel settore energia le sorgenti della categoria 1.A sono ripartite per i diversi combustibili utilizzati, le sorgenti della categoria 1.B sono ripartite per le diverse fasi dall'estrazione alla distribuzione degli idrocarburi.

Le emissioni da processo sono ripartite secondo voci specifiche del settore. Ad esempio, nel settore dell'agricoltura le sorgenti sono ripartite per le diverse pratiche agricole, tipologie di animali da allevamento o pratiche di gestione delle deiezioni zootecniche. Nel settore dei rifiuti le sorgenti sono suddivise per le diverse tipologie di rifiuti e relativa gestione. Le sottocategorie per tutte le voci non sono riportate in questa sede ma nelle successive pagine saranno analizzate le voci pertinenti alle principali sorgenti di metano.

1.1 Il metano nell'Inventario nazionale delle emissioni di gas serra

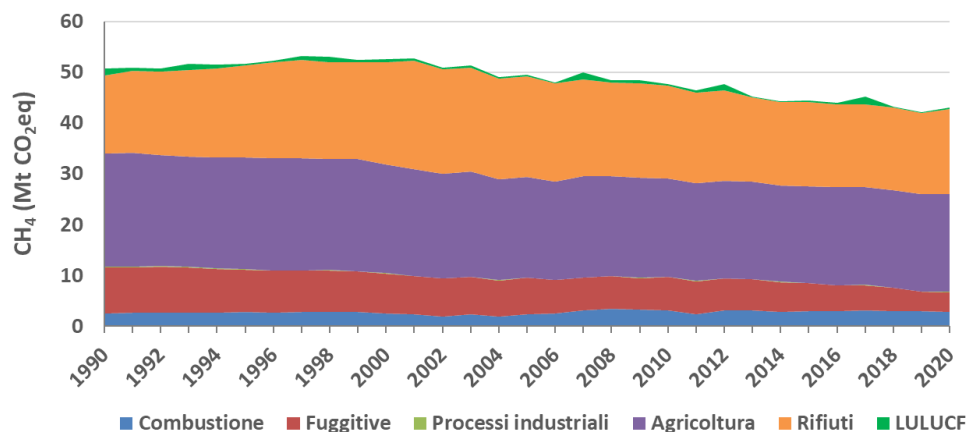
Nel seguente grafico sono riportate le emissioni nazionali di gas a effetto serra (Figura 1.1). Le emissioni diminuiscono da 519.9 Mt CO₂eq nel 1990 a 381.2 Mt CO₂eq nel 2020 con una riduzione del 26.7%. Considerando l'apporto delle sorgenti naturali, ovvero il settore LULUCF, si stima un assorbimento netto di gas serra che va da 3.6 Mt CO₂eq nel 1990 a 32.4 Mt CO₂eq nel 2020.

Figura 1.1 – Andamento delle emissioni di gas serra per settore dal 1990.



Le emissioni nazionali di metano, senza il contributo delle sorgenti naturali, rappresentano mediamente il $9.5\pm 0.7\%$ delle emissioni di CO₂eq dal 1990 al 2020 con un andamento della quota piuttosto variabile ed inferiore alla media europea (EU28) nello stesso periodo è $10.9\pm 0.9\%$.

Figura 1.2 – Andamento delle emissioni di metano per settore dal 1990.



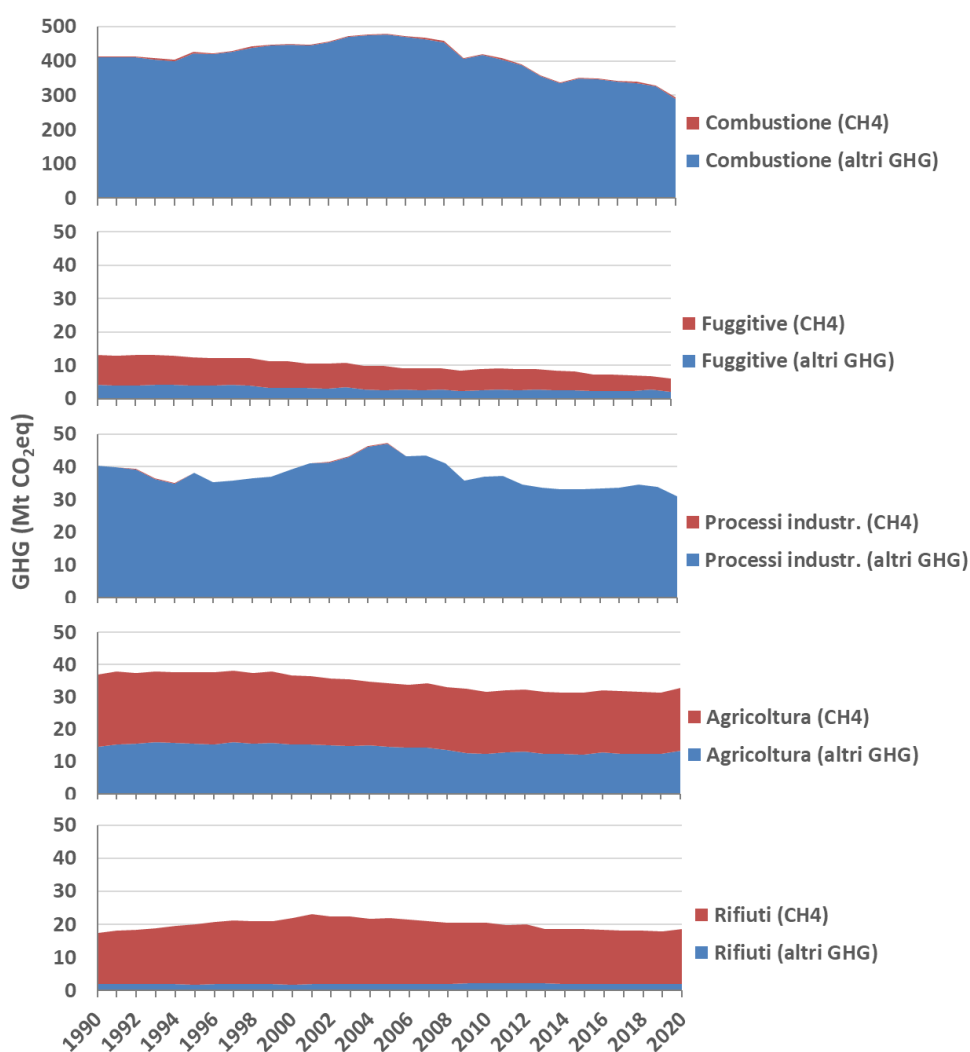
La Figura 1.2 illustra l'andamento delle emissioni di metano per settore e rende evidente la netta diminuzione delle emissioni al netto del contributo del settore LULUCF: da 49.4 a 42.8 Mt CO₂eq dal 1990 al 2020 (-13.4%). La riduzione delle emissioni di metano nel periodo considerato è molto inferiore alla riduzione dei gas serra totali (-26.7%). Inoltre, le emissioni di gas serra al netto del metano si riducono del 28.1% dal 1990 al 2020. Questi tassi di riduzione mostrano la necessità di intervenire sui principali settori responsabili delle emissioni di metano in un'ottica di contenimento dei cambiamenti climatici e di raggiungimento degli obiettivi di neutralità emissiva di cui si discute in Europa per l'orizzonte temporale del 2050. Le emissioni di metano di origine naturale forniscono un contributo marginale alle emissioni totali del gas con un valore medio di 0.6 Mt CO₂eq annuo dal 1990 al 2020. Considerando che la sorgente naturale è caratterizzata da un assorbimento netto delle emissioni di gas serra di gran lunga superiore alle emissioni di metano tale sorgente non sarà considerata nelle analisi successive. Si sottolinea inoltre la marginalità delle emissioni di metano da tale sorgente rispetto alle emissioni di origine antropica.

Nel 2020 la quota relativa di emissioni di metano ha raggiunto il picco della serie storica dal 1990 con 11.2% delle emissioni totali. Il settore agricolo rappresenta la principale sorgente di metano, seguito dal settore dei rifiuti. Nell'ultimo anno le emissioni di metano dai due settori menzionati rappresentano rispettivamente il 5.1% e il 4.4% delle emissioni nazionali di gas serra. La quota relativa alle emissioni fuggitive del settore energetico è poco più del 1% delle emissioni totali di gas serra e mostra una sensibile

riduzione rispetto al 1990. Le emissioni di metano incombusto dal settore energetico rappresentano meno dell'1% delle emissioni totali di gas serra.

Come si vede nella Figura 1.3 le emissioni di metano rappresentano quote differenti nei diversi settori. Il metano incombusto nel settore energetico e le emissioni da processi industriali rappresentano quote marginali delle emissioni di gas serra dai rispettivi settori. Il metano incombusto dal 1990 al 2020 ha rappresentato una quota variabile dal 0.4% al 1% delle emissioni di gas serra del settore. L'intervallo della quota di metano da processi industriali va da 0.1% a 0.4%. Gli altri settori hanno d'altra parte quote rilevanti di metano. Le emissioni del settore dei rifiuti sono prevalentemente costituite da metano che nel 2020 rappresenta il 90.2% delle emissioni di gas serra del settore, con un intervallo nel periodo considerato che va da 88.8% a 92.3%. Nel settore agricolo le emissioni di metano rappresentano dal 56.9% al 61% delle emissioni (59% nel 2020). La quota di metano da emissioni fuggitive ha avuto un intervallo variabile da 58.2% a 73.7% (64.6% nel 2020).

Figura 1.3 – Andamento delle emissioni di metano e di altri gas serra nei diversi settori.



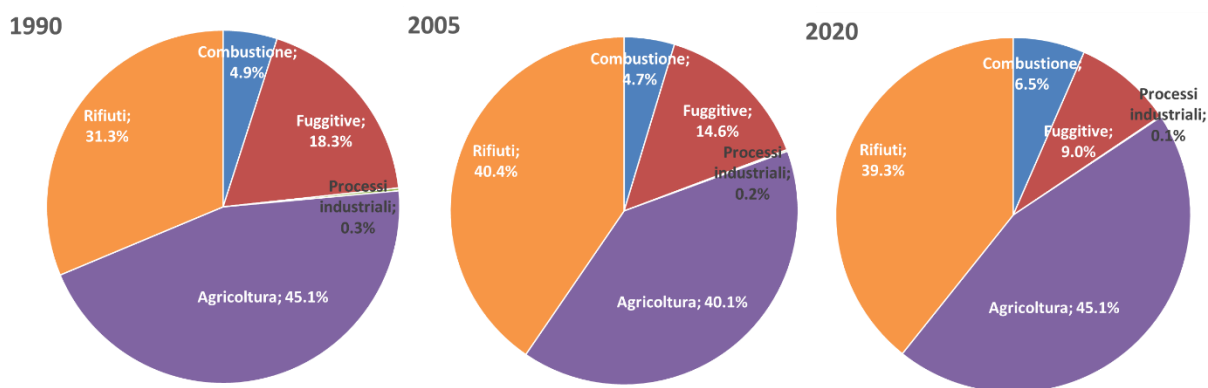
In Tabella 1.4 sono riportate in dettaglio le emissioni di metano dalle diverse sorgenti con le rispettive percentuali di variazione rispetto al 1990. Nel 2020 il settore dei rifiuti fa registrare un sensibile incremento delle emissioni rispetto ai livelli del 1990 (+8.6%), insieme al metano incombusto nel settore energetico (+14.6%), sebbene quest'ultima sorgente sia di entità nettamente inferiore rispetto alla prima. Il settore agricolo registra una riduzione delle emissioni del 13.5% e le emissioni fuggitive nel settore energetico si riducono del 57.3% dal 1990 al 2020. Le emissioni di metano da processi industriali, sia pure marginali, fanno registrare una riduzione del 73.6%.

Tabella 1.4 – Emissioni di metano per settore (Mt CO₂eq).

Sorgente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	% 1990- 2020
Combustione	2.4	2.7	2.5	2.3	3.2	3.0	2.9	3.1	2.9	2.9	2.8	14.6%
Fuggitive	9.1	8.4	7.9	7.2	6.5	5.4	5.1	5.0	4.6	3.8	3.9	-57.3%
Processi industriali	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-73.6%
Agricoltura	22.3	22.0	21.4	19.7	19.3	19.0	19.3	19.3	19.1	19.1	19.3	-13.5%
Rifiuti	15.5	18.2	20.1	19.9	18.3	16.6	16.3	16.3	16.3	16.1	16.8	8.6%
Totale	49.4	51.4	51.9	49.2	47.3	44.1	43.7	43.7	43.0	42.0	42.8	-13.4%

Di seguito è illustrata la quota relativa delle emissioni di metano per settore. Nel 2020 il 45.1% delle emissioni di metano proviene da attività agricole, mentre il 39.3% proviene dal settore dei rifiuti. Le emissioni fuggitive costituiscono il 9% delle emissioni di metano e il metano incombusto nel settore energetico rappresenta il 6.5%. La sorgente delle emissioni fuggitive è la sola che fa registrare una rilevante riduzione della quota che nel 1990 era del 18.3%.

Figura 1.4 – Quota delle emissioni nazionali di metano per settore negli anni indicati.



Di seguito sono considerate in maggiore dettaglio le sorgenti dei settori con le quote più elevate di emissioni di metano. Sono esclusi da questo dettaglio i processi industriali che contribuiscono mediamente allo 0.2% delle emissioni totali di metano dal 1990 al 2020 (0.1% nel 2020).

1.1.1 Agricoltura

La sorgente di gran lunga più rilevante del settore agricoltura è rappresentata dalla fermentazione enterica, ovvero dai processi digestivi degli animali da allevamento. Tale sorgente rappresenta nel 2020 il 70.2% delle emissioni di metano del settore agricoltura, seguite dalla gestione delle deiezioni con il 21.5% e dalla coltivazione del riso con l'8.2%. Le emissioni dovute alla combustione in campo di residui agricoli rappresentano un marginale 0.1%.

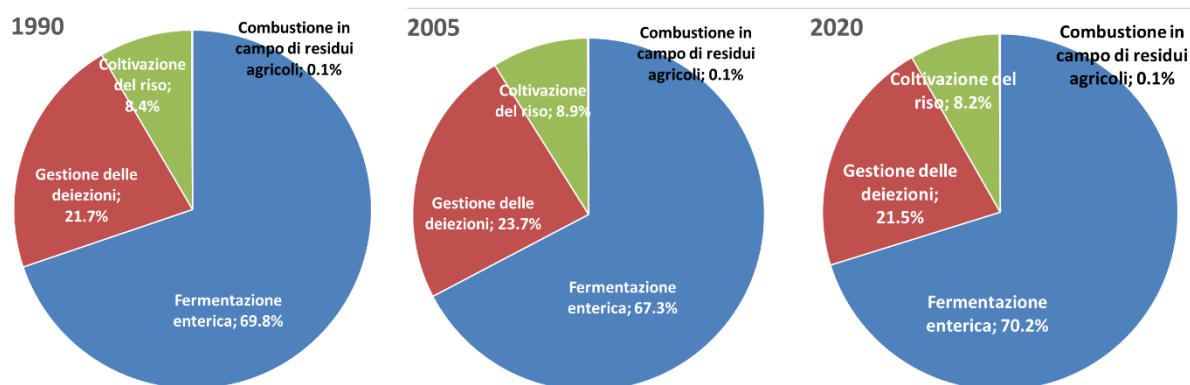
Le tre principali sorgenti del settore agricolo riducono le emissioni dal 1990 in misura percentuale comparabile, dal 13% per la fermentazione enterica al 15.7% per la coltivazione di riso.

Tabella 1.5 – Emissioni di metano per sorgente del settore agricoltura (Mt CO₂eq).

Sorgente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	% 1990-2020
Ferm. enterica	15.6	15.4	15.1	13.3	12.9	13.0	13.3	13.4	13.4	13.4	13.5	-13.0%
Gestione deiezioni	4.8	4.6	4.6	4.7	4.5	4.3	4.2	4.2	4.1	4.1	4.1	-14.4%
Coltivazione del riso	1.9	2.0	1.7	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	-15.7%
Comb. in campo di residui agricoli	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	-0.3%
Totale	22.3	22.0	21.4	19.7	19.3	19.0	19.3	19.3	19.1	19.1	19.3	-13.5%

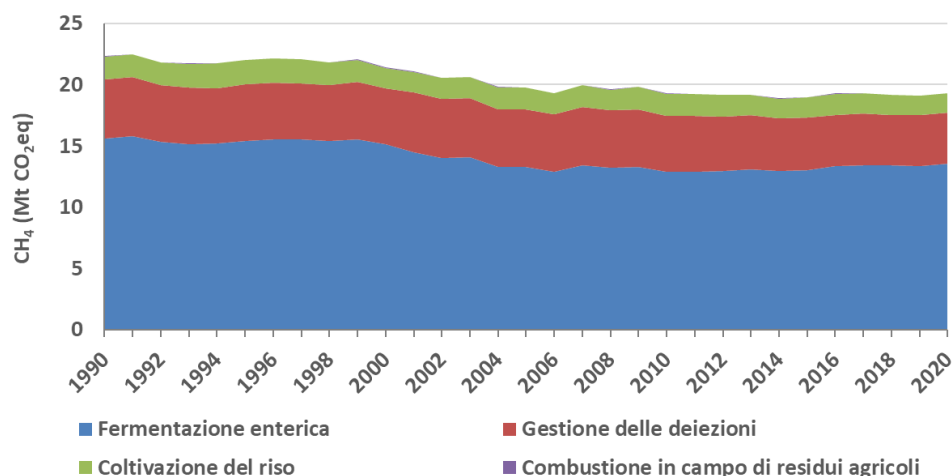
La Figura 1.5 illustra le quote delle emissioni di metano nel settore agricolo dalle diverse sorgenti. Non si osservano variazioni di rilievo nella struttura emissiva delle sorgenti del settore dal 1990.

Figura 1.5 – Quota di emissioni di metano del settore agricoltura per sorgente negli anni indicati.



La Figura 1.6 illustra l'andamento delle emissioni di metano dal settore agricolo per le diverse sorgenti. L'andamento mostra un decremento piuttosto costante fino al 2011 (-13.7% rispetto al 1990), mentre successivamente non si notano variazioni di rilievo (+0.2% nel 2020 rispetto al 2011). L'andamento delle emissioni del settore è chiaramente determinato dalla sua sorgente dominante. Nel dettaglio si nota che la gestione degli effluenti mostra una costante riduzione delle emissioni a partire dal 2001. Lo stesso può dirsi per la coltivazione di riso, sebbene con un andamento decisamente più variabile e il tendenziale decremento iniziò dal 1994.

Figura 1.6 – Andamento delle emissioni di metano per sorgente del settore agricoltura dal 1990.



1.1.2 Rifiuti

Nel settore dei rifiuti la sorgente dominante delle emissioni di metano è rappresentata dallo smaltimento dei rifiuti solidi, responsabile nel 2020 di quasi 85% delle emissioni di metano del settore, la successiva sorgente è rappresentata dalla gestione delle acque reflue con il 14.1% delle emissioni di metano. Le restanti due sorgenti, trattamento biologico dei rifiuti solidi e incenerimento e combustione all'aperto, rappresentano una quota marginale di emissioni poco superiore a 1%.

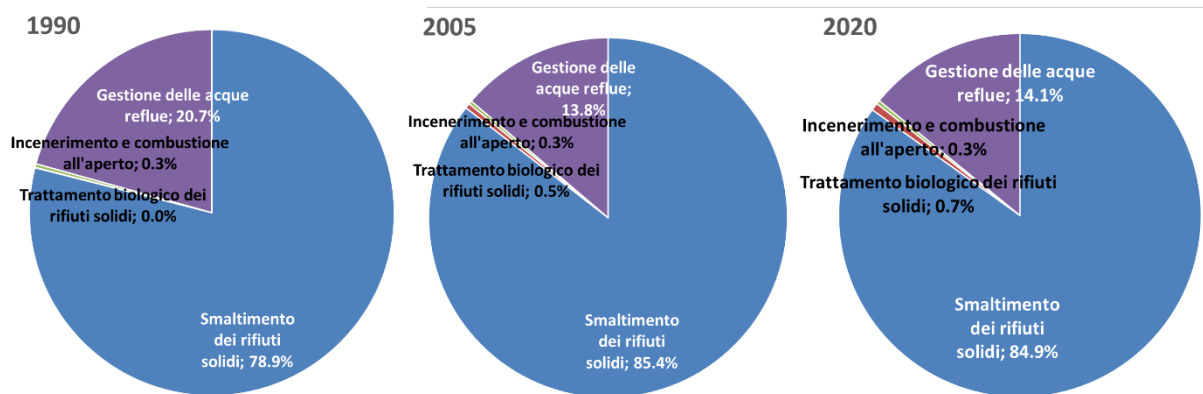
Le emissioni di metano del settore nel 2020 sono più elevate di quelle registrate nel 1990 (+8.6% nel 2020). Le emissioni da smaltimento dei rifiuti solidi sono superiori a quelle del 1990 (+16.8%) sebbene da inizio 2000 la tendenza sia decrescente, essendo legata alla curva di produzione del metano che, avendo ridotto progressivamente la quota di sostanza organica in discarica, si trova ormai nella sua fase declinante. La gestione delle acque reflue registra una costante riduzione delle emissioni del 25.8%. Le restanti sorgenti fanno registrare un sensibile incremento, dovuto essenzialmente al trattamento biologico dei rifiuti solidi, ma il loro contributo all'andamento delle emissioni dell'intero settore è marginale.

Tabella 1.6 – Emissioni di metano per sorgente del settore rifiuti (Mt CO₂eq).

Sorgente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	% 1990-2020
Smaltimento RS	12.2	15.1	17.2	17.0	15.6	14.0	13.7	13.6	13.6	13.4	14.3	16.8%
Trattamento biologico RS	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	2310.6%
Incenerimento e combustione all'aperto	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	11.7%
Gestione delle acque reflue	3.2	3.0	2.8	2.7	2.6	2.4	2.5	2.4	2.5	2.4	2.4	-25.8%
Totale	15.5	18.2	20.1	19.9	18.3	16.6	16.3	16.3	16.3	16.1	16.8	8.6%

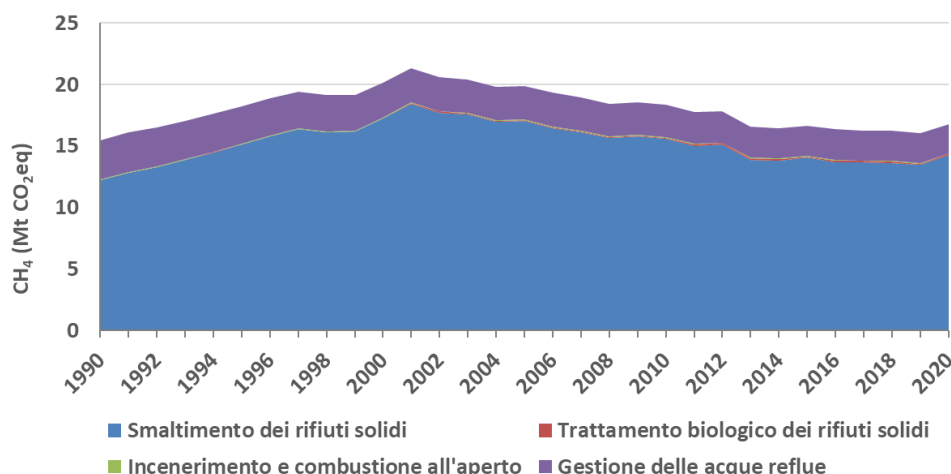
Il grafico con le quote relative di emissioni per sorgente mostra che la struttura emissiva del settore è cambiata dal 1990 con un incremento significativo del contributo da smaltimento dei rifiuti solidi e una diminuzione del contributo da gestione delle acque reflue.

Figura 1.7 – Quota di emissioni di metano del settore rifiuti per sorgente negli anni indicati.



Di seguito è illustrato l’andamento delle emissioni di metano per sorgenti nel settore dei rifiuti. Dopo un incremento delle emissioni del settore dal 1990 al 2001 (+38.1%) si registra un andamento decrescente (-21.3% nel 2020 rispetto al 2001).

Figura 1.8 – Andamento delle emissioni di metano per sorgente del settore rifiuti dal 1990.



1.1.3 Energia: emissioni fuggitive

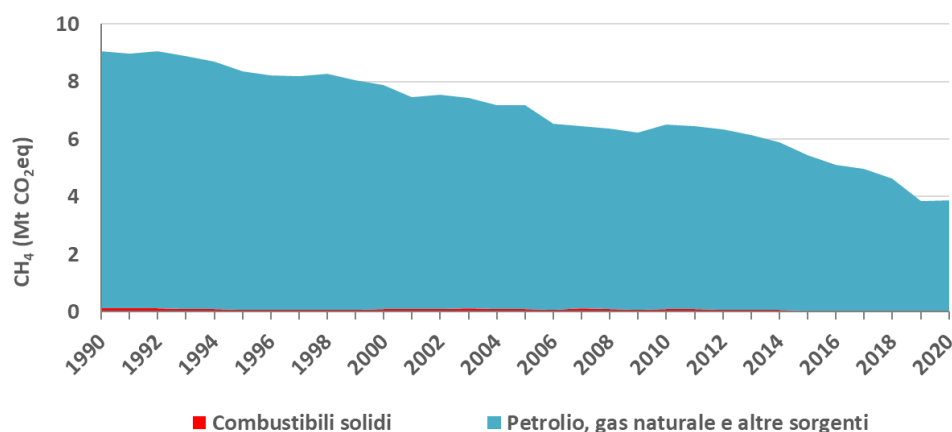
Come già riportato le emissioni fuggitive rappresentano nel 2020 il 9% delle emissioni di metano e l’1% delle emissioni di gas serra a livello nazionale. Le emissioni fuggitive di metano del settore energetico sono quasi totalmente rappresentate dalla sorgente, piuttosto eterogenea, che annovera le perdite dalla filiera di produzione, trasmissione e distribuzione di petrolio e gas naturale, nonché le altre sorgenti di produzione energetica quali la geotermia. Questo gruppo di sorgenti rappresenta mediamente il 99% delle emissioni del settore dal 1990 (99.3% nel 2020) e riduce le emissioni del 56.9% nel 2020 rispetto al 1990. Le emissioni dalla sorgente dei combustibili solidi diventano sempre meno rilevanti con emissioni che diminuiscono del 80.5%. Complessivamente le emissioni fuggitive di metano diminuiscono del 57.3% dal 1990 al 2020.

Tabella 1.7 – Emissioni fuggitive di metano per sorgente nel settore energetico (Mt CO₂eq).

Sorgente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	% 1990- 2020
Combustibili solidi	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-80.5%
Petrolio, gas naturale e altre sorgenti	8.9	8.3	7.8	7.1	6.4	5.4	5.0	4.9	4.6	3.8	3.8	-56.9%
Totale	9.1	8.4	7.9	7.2	6.5	5.4	5.1	5.0	4.6	3.8	3.9	-57.3%

Nella Figura 1.9 risulta evidente il costante decremento delle emissioni fuggitive di metano.

Figura 1.9 – Andamento delle emissioni fuggitive di metano per sorgente del settore energetico dal 1990.



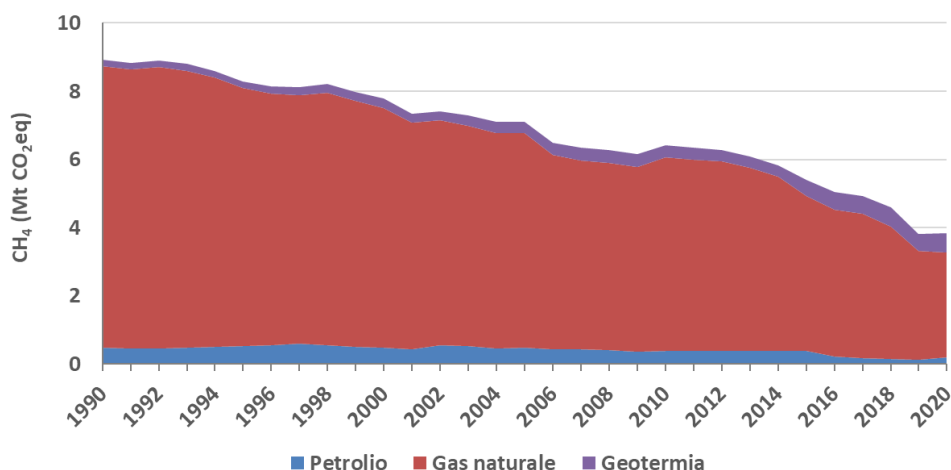
Le emissioni fuggitive dalla sorgente dominante meritano un ulteriore dettaglio. La tabella e il grafico di seguito riportati illustrano la disaggregazione delle filiere del petrolio, gas naturale e geotermia. Le emissioni da *venting* e *flaring*, così come il *flaring* dalle raffinerie, sono state accorpate nelle rispettive filiere del petrolio e del gas naturale.

La gran parte delle emissioni fuggitive di metano sono riconducibili alla filiera del gas naturale (produzione, trasporto e distribuzione) che nel 2020 incide per il 79,5% delle emissioni fuggitive totali di metano con una quota che si è ridotta significativamente dal 1990, quando era 91,2%. Le filiere del petrolio e del gas naturale mostrano riduzioni delle emissioni di metano superiori al 60% dal 1990.

Tabella 1.8 – Emissioni fuggitive di metano dalle sorgenti petrolio, gas naturale e geotermia (Mt CO₂eq).

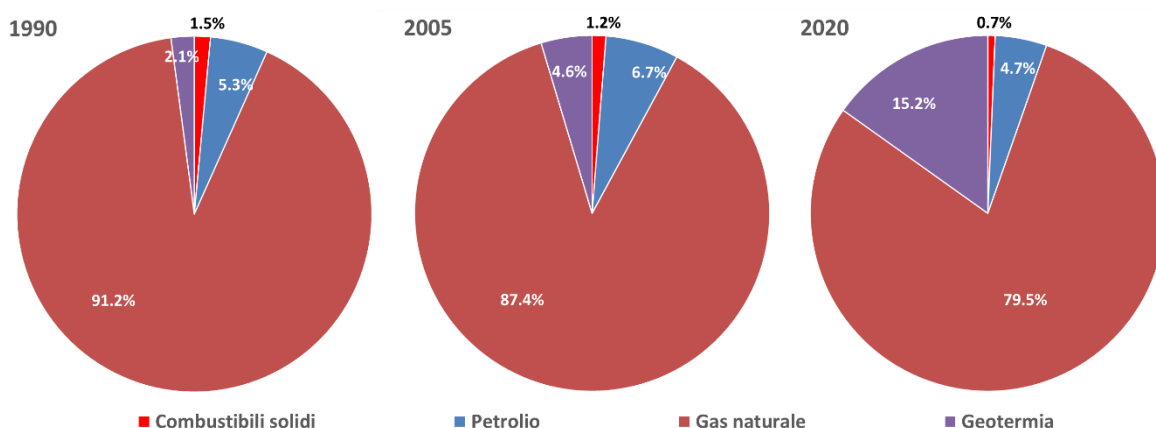
Sorgente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	% 1990- 2020
Petrolio	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	-61.7%
Gas naturale	8.3	7.6	7.0	6.3	5.7	4.5	4.3	4.2	3.9	3.2	3.1	-62.8%
Geotermia	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.6	208.0%
Totale	8.9	8.3	7.8	7.1	6.4	5.4	5.0	4.9	4.6	3.8	3.8	-56.9%

Figura 1.10 – Andamento delle emissioni fuggitive di metano dalle sorgenti petrolio, gas naturale e altre sorgenti del settore energetico dal 1990.



Di seguito è riportata la distribuzione delle emissioni di metano da tutte le sorgenti di emissioni fuggitive negli anni 1990, 2005 e 2020. La geotermia mostra un sensibile incremento della quota di emissioni di metano dal 1990, dovuto sia all'effettivo aumento delle emissioni sia alla contrazione della quota emissiva delle filiere del petrolio e gas naturale.

Figura 1.11 – Quota di emissioni fuggitive di metano da tutte le sorgenti negli anni indicati.



1.1.4 Energia: combustione

Le emissioni di metano incombusto nel settore energetico sono prevalentemente dovute alla sorgente dominante dei settori civile e agricoltura. Tale sorgente rappresenta una quota delle emissioni di metano dell'80% nel 2020, cui fanno seguito le industrie manifatturiere e costruzioni con il 9.8%, i trasporti con il 5.9% e le industrie energetiche con il 4.2%.

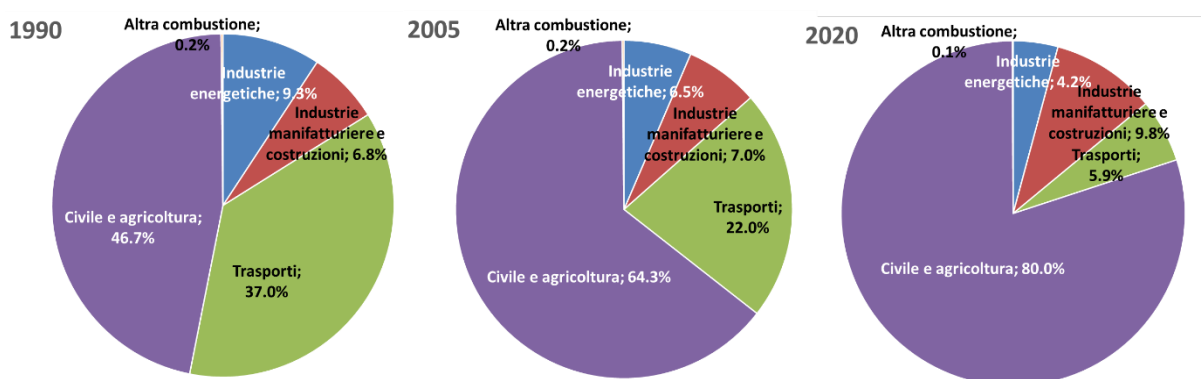
Le emissioni di metano del settore aumentano dal 1990 (+14.6% nel 2020), prevalentemente dovuto al contributo della sorgente dominante dei settori civile e agricoltura le cui emissioni sono vicine al raddoppio (+96.1%). L'incremento delle emissioni si registra soprattutto dal 2004 al 2007. Le altre sorgenti con un incremento delle emissioni sono le industrie manifatturiere e costruzioni (+64.6%), anche per questa sorgente si registra un rapido incremento delle emissioni di metano dal 2009 al 2014. Le altre sorgenti fanno registrare una costante riduzione delle emissioni, da -48.2% delle industrie energetiche a -81.6% per i trasporti.

Tabella 1.9 – Emissioni di metano per sorgente del settore energetico – combustione (Mt CO₂eq).

Sorgente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	% 1990-2020
Ind. energetiche	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-48.2%
Ind. manifat. e costruzioni	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	64.6%
Trasporti	0.9	1.0	0.8	0.5	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	-81.6%
Civile e agricoltura	1.1	1.3	1.4	1.5	2.6	2.4	2.3	2.5	2.3	2.3	2.2	96.1%
Altra combustione	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-54.1%
Totale	2.4	2.7	2.5	2.3	3.2	3.0	2.9	3.1	2.9	2.9	2.8	14.6%

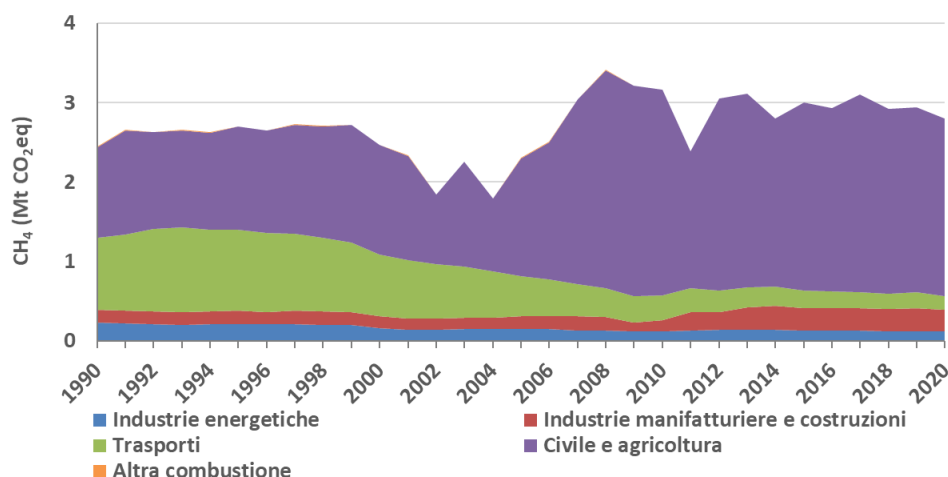
La Figura 1.12 mostra le quote di emissioni per sorgente. La struttura emissiva del settore nel 2020 è notevolmente diversa da quella del 1990. Si nota il notevole incremento della quota emissiva dai settori civile e agricoltura che diventano la componente prevalente delle emissioni. Altro dato rilevante è la concomitante riduzione della quota emissiva dai trasporti che nel 1990 rappresentava il 37% e nel 2020 rappresenta poco meno del 6%.

Figura 1.12 – Quota di emissioni di metano del settore energetico per sorgente negli anni indicati.



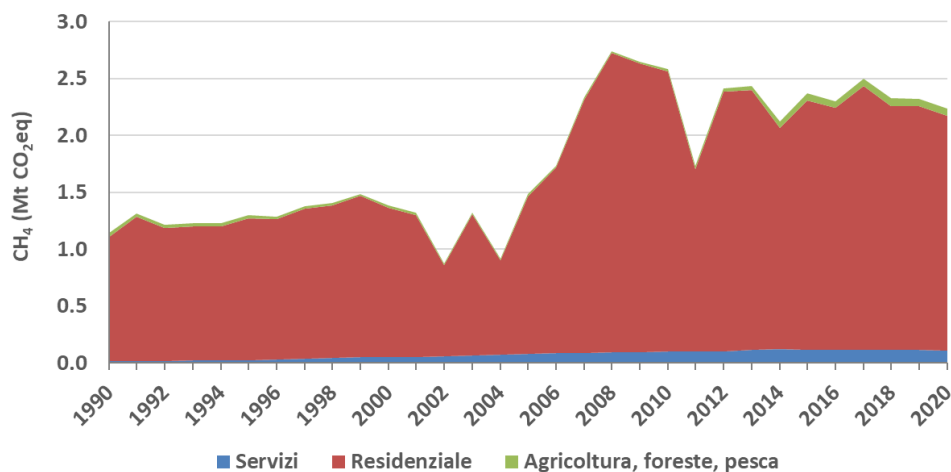
Di seguito è illustrato l'andamento delle emissioni di metano incombusto per sorgenti da cui appare evidente l'estrema variabilità delle emissioni dalla sorgente costituita dai settori civile e agricoltura.

Figura 1.13 – Andamento delle emissioni di metano incombusto per sorgente del settore energetico dal 1990.



La sorgente inerente al settore civile e agricoltura può essere ulteriormente disaggregata nelle sue componenti mettendo in luce la rilevanza della sorgente residenziale (92.2% delle emissioni di metano della sorgente nel 2020), mentre le restanti sorgenti hanno un contributo emissivo marginale, sebbene crescente dal 1990.

Figura 1.14 – Andamento delle emissioni di metano dalle sorgenti servizi, residenziale e agricoltura dal 1990.



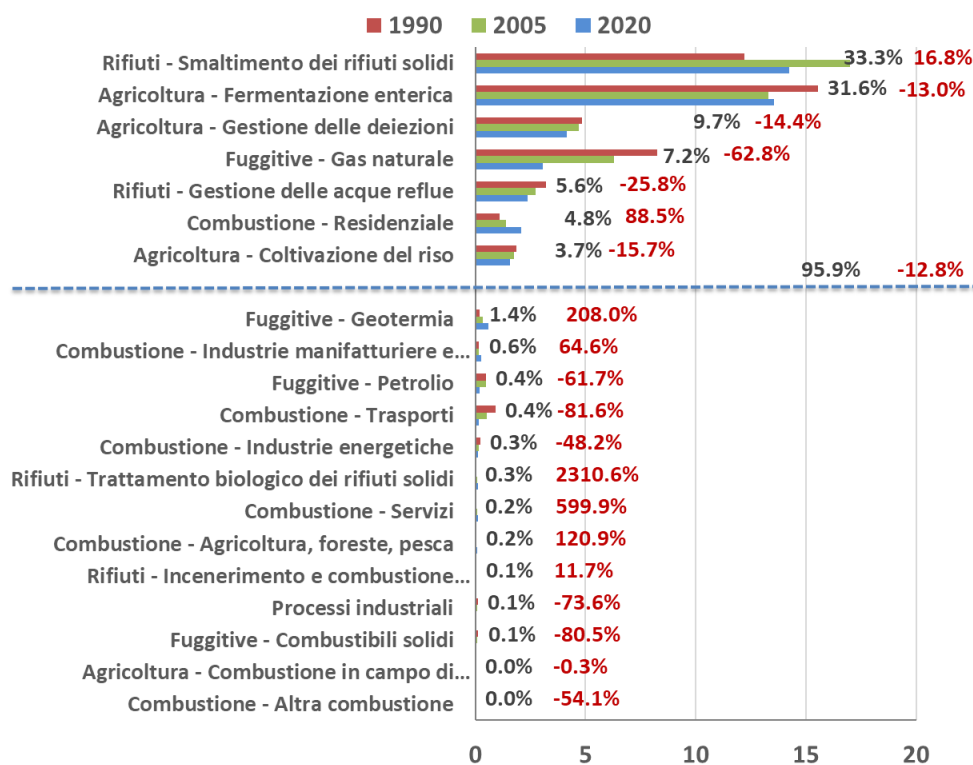
1.1.5 Principali sorgenti emissive

In sintesi, disponendo in ordine decrescente le emissioni di metano registrate nel 2020 dalle diverse sorgenti si può notare che quasi il 96% delle emissioni di metano nel 2020 proviene da sette sorgenti chiave (95.9%) che emettono 41 Mt CO₂eq. Le emissioni dalle sorgenti chiave si riducono del 12.8% dal 1990. Le sorgenti minori, responsabili cumulativamente del 4.1% delle emissioni nel 2020, fanno registrare livelli inferiori del 25.4% rispetto al 1990.

Il settore dei rifiuti annovera due sorgenti chiave (smaltimento RSU e gestione delle acque reflue) con il 38.9% delle emissioni totali di metano, mentre il settore agricoltura ne annovera tre (fermentazione enterica, gestione degli effluenti e coltivazione del riso) con il 45% delle emissioni totali di metano del 2020. Il settore energetico ha una sorgente per le emissioni fuggitive (filiera del gas naturale) e una per la combustione (settore residenziale) che contribuiscono rispettivamente con il 7.2% e 4.8% delle emissioni totali di metano. Le sorgenti menzionate, eccetto fermentazione enterica e residenziale, mostrano una tendenziale riduzione delle emissioni dal 2005.

Lo smaltimento dei rifiuti solidi urbani è la prima sorgente chiave con un terzo delle emissioni di metano del 2020, seguita dalla fermentazione enterica degli animali da allevamento con il 31.6%. Le prime due sorgenti sono quindi responsabili di quasi due terzi delle emissioni di metano con livelli simili a quelli registrati nel 1990 ma inferiori a quelli del 2005 (-8.3%).

Figura 1.15 – Emissioni di metano per sorgente nel 1990, 2005 e 2020 (Mt CO₂eq). Dati in ordine decrescente del 2020. L’etichetta prossima alle barre rappresenta la quota di emissioni nel 2020, l’etichetta più distante (in rosso) rappresenta la variazione percentuale dal 1990 al 2020. Gli stessi valori sono riportati in termini cumulati per le sorgenti chiave.



Gli interventi mirati alla riduzione delle emissioni di metano non possono prescindere dalla valutazione del peso relativo delle sorgenti e dalla potenzialità di riduzione specifica delle sorgenti. Tali elementi costituiscono fattori necessari per una valutazione dei costi e dei benefici delle eventuali misure da adottare. Una ipotetica misura indirizzata alla riduzione del 100% delle emissioni di metano da una sorgente con una quota emissiva marginale si riflette in maniera trascurabile sugli obiettivi di riduzione delle emissioni totali. Poiché l’obiettivo al 2050 è la neutralità emissiva è chiaro che anche le sorgenti minori saranno potenzialmente soggette a misure di riduzione ma l’implementazione di tali misure non può prescindere da una valutazione dell’efficacia di riduzione in rapporto ai costi.

L’individuazione delle sorgenti principali consente di concentrare l’attenzione sui settori maggiormente responsabili delle emissioni e sui parametri che regolano le emissioni da tali sorgenti. In via del tutto teorica è possibile immaginare interventi mirati alla riduzione delle emissioni di metano su ciascuna delle sorgenti chiave a partire dalla più rilevante e valutare l’effetto sulle emissioni totali. L’applicazione dell’obiettivo fissato dal *GMP* sulla prima sorgente (-30% al 2030 rispetto al 2020) comporta la riduzione delle emissioni totali di metano del 10%, un analogo obiettivo per la seconda sorgente determinerebbe la riduzione del 19.5% e così via fino alla settima sorgente, con la riduzione delle emissioni nazionali di metano del 28.8%. Il grafico mostra che gli sforzi di riduzione sulle sorgenti via via meno rilevanti incidono in misura decrescente al raggiungimento degli obiettivi nazionali. Questo tipo di analisi estremamente semplificata non prende in considerazione i costi e l’efficacia delle misure di mitigazione nei diversi settori.

Figura 1.16 – Riduzione cumulata delle emissioni totali di metano con riduzione in ogni sorgente chiave del 30% al 2030 rispetto al 2020.

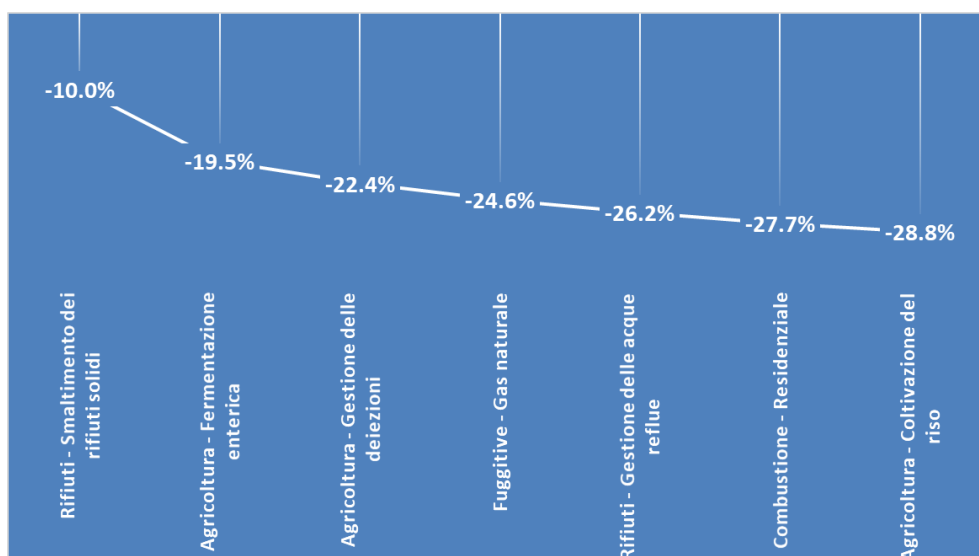


Tabella 1.10 – Sorgenti chiave delle emissioni di metano e categorie secondo la nomenclatura CRF (Common Reporting Format) utilizzata nell'Inventario nazionale delle emissioni di gas serra.

Settore	Sorgente	CRF
Agricoltura	Fermentazione enterica	3.A
	Gestione delle deiezioni	3.B
	Coltivazione del riso	3.C
Rifiuti	Smaltimento dei rifiuti solidi	5.A
	Gestione delle acque reflue	5.D
Energia: emissioni fuggitive	Gas naturale	1.B.2.b
		1.B.2.c Flaring
Energia: combustione	Residenziale	1.A.4.b

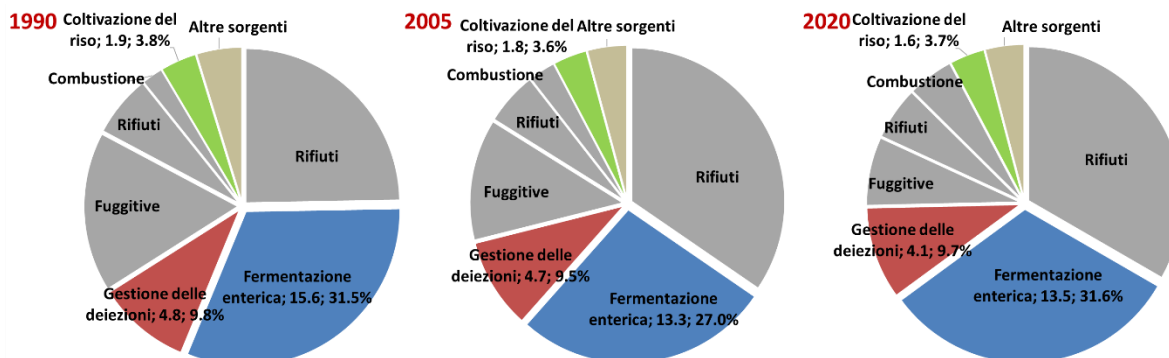
Nei seguenti capitoli saranno analizzate in dettaglio le sorgenti chiave e i relativi fattori determinanti le emissioni, mentre di seguito sono riportati sinteticamente alcune note relative ai settori che contribuiscono marginalmente alle emissioni di metano:

- Le emissioni di metano da combustione sono quasi totalmente ascrivibili all'industria alimentare che dal 1990 ha incrementato le emissioni di metano di quasi 80 volte a fronte di una riduzione delle emissioni di gas serra totali del 4.5%.
- Il settore dei trasporti ha ridotto le emissioni di metano dell'82% dal 1990 al 2020, una riduzione molto maggiore della riduzione di gas serra totali (-16.4%).
- Il settore dei servizi ha incrementato le emissioni di metano di 7 volte a fronte di un raddoppio delle emissioni di gas serra.
- Nel settore A.1.a della produzione di energia elettrica e calore le emissioni di metano sono aumentate del 6.6% dal 1990 al 2020, contro una riduzione di emissioni totali di gas serra del 44.8%.
- Le emissioni fuggitive di metano dalla sorgente geotermica sono aumentate di un fattore 3 dal 1990.
- I processi industriali fanno registrare una riduzione delle emissioni di metano dal 1990 del 73.6%.
- Il trattamento biologico dei rifiuti solidi mostra un incremento delle emissioni di metano di un fattore 24.
- Il metano emesso dall'incenerimento all'aperto dei rifiuti è aumentato del 11.7% dal 1990 a fronte di una riduzione delle emissioni di gas serra del 71.9%.

2 AGRICOLTURA

La Figura 2.1 illustra le quote emissive dalle rispettive sorgenti del settore agricoltura. Sono riportate in dettaglio le principali sorgenti con le relative emissioni di metano. Le tre sorgenti rappresentano il 45% delle emissioni nazionali di metano e il 99,9% delle emissioni di metano dal settore nel 2020.

Figura 2.1 – Quota di emissioni di metano (Mt CO₂eq) delle principali sorgenti del settore agricoltura negli anni indicati.



Di seguito sono riportate in dettaglio le categorie delle sorgenti principali con le relative emissioni negli anni 1990, 2005 e 2020.

Tabella 2.1 – Categorie di sorgenti principali ed emissioni di metano nel settore agricoltura (kt CO₂eq).

Settore/sorgente	1990	2005	2020
3. Agricoltura	22299	19747	19279
Animali da allevamento	20407	17979	17682
A. Fermentazione enterica	15564	13293	13535
1. Bovini	13164	10756	10780
Vacche da latte	7339	5639	5557
Altri bovini	5825	5116	5223
2. Ovini	1572	1467	1317
3. Suini	315	345	320
4. Altro bestiame	513	725	1117
Bufalini	176	434	779
Caprini	157	118	133
Cavalli	130	125	165
Muli e asini	21	8	18
Altro	29	40	21
Conigli	29	40	21
B. Gestione delle deiezioni	4843	4686	4147
1. Bovini	2836	2502	2017
Vacche da latte	1489	1164	920
Altri bovini	1347	1338	1097
2. Ovini	52	47	43
3. Suini	1703	1800	1752
4. Altro bestiame	252	337	335
Bufalini	44	107	144
Caprini	5	4	5
Cavalli	13	12	16
Muli e asini	2	1	2
Avicoli	152	165	144
Altro	35	48	25
Conigli	30	41	22
Struzzi	0	4	0
Animali da pelliccia	6	3	2

Settore/sorgente	1990	2005	2020
C. Coltivazione del riso	1876	1752	1582
1. Irrigato	1876	1752	1582
Inondazione intermittente – Aerazione singola	15	234	821
Inondazione intermittente - Aerazione multipla	1861	1518	761

2.1 Fermentazione enterica

La principale sorgente di metano nel settore è la fermentazione enterica degli animali da allevamento che nel 2020 rappresenta il 70.2% delle emissioni di metano dal settore agricolo. La fermentazione enterica è il processo digestivo che, con l'ausilio di microrganismi, scinde i carboidrati in molecole semplici producendo energia e sottoprodotti quali il metano. La formazione di questo gas è particolarmente elevata nei ruminanti per la peculiarità dell'apparato digerente ed è invece di minore entità nelle altre tipologie animali. Nell'Inventario nazionale delle emissioni di gas serra sono state stimate tutte le categorie di bestiame ad eccezione di cammelli e lama, che sono presenti in Italia in quantità trascurabili.

Le emissioni di metano derivanti dalla fermentazione enterica sono stimate definendo un fattore di emissione per ogni categoria di bestiame, che viene moltiplicato per la popolazione della stessa categoria. Il fattore di emissione dipende a sua volta da diversi parametri descritti in dettaglio nell'Inventario Nazionale delle emissioni di gas serra (ISPRA, 2022[a]).

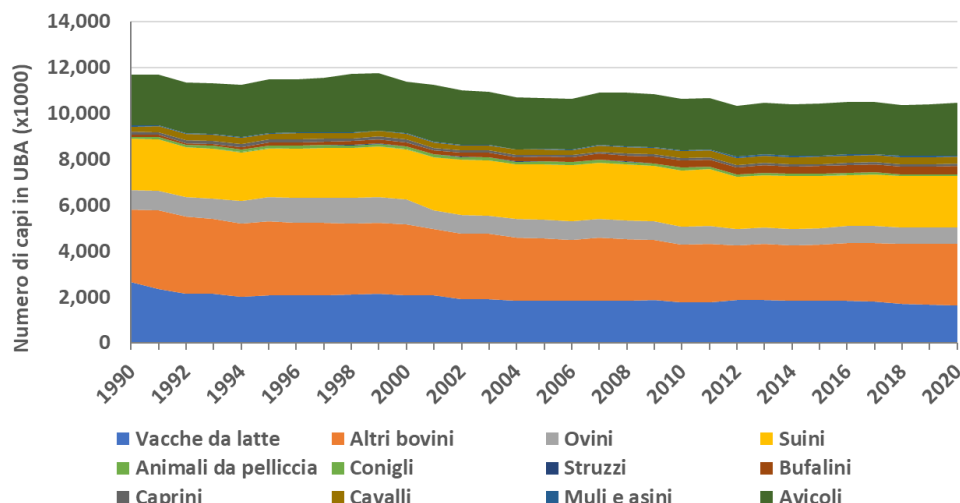
Nella seguente tabella è riportato il numero di capi da allevamento, mentre nella Figura 2.2 è riportato il numero di capi espresso in UBA (Unità di bestiame adulto³). Tali dati costituiscono il principale dato di attività per la stima delle emissioni. Il pollame è numericamente la categoria di gran lunga prevalente, mentre in termini di UBA sono i bovini, da latte e da riproduzione o macello, a rappresentare la categoria dominante, con circa il 40% della consistenza totale, seguiti da avicoli e suini, con più del 20% della consistenza totale per ciascuna categoria.

Tabella 2.2 – Numero di capi da allevamento (x 1000).

Sorgente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	% 1990-2020
Vacche da latte	2,642	2,080	2,065	1,842	1,746	1,826	1,822	1,791	1,693	1,643	1,638	-38.0%
Altri bovini	5,110	5,189	4,988	4,410	4,086	3,955	4,108	4,158	4,230	4,332	4,355	-14.8%
Ovini	8,739	10,668	11,089	7,954	7,900	7,149	7,285	7,215	7,179	7,001	7,034	-19.5%
Suini	8,407	8,061	8,307	9,200	9,321	8,675	8,478	8,571	8,492	8,510	8,543	1.6%
Bufalini	95	148	192	205	365	374	385	401	401	402	407	330.7%
Caprini	1,259	1,373	1,375	946	983	962	1,026	992	986	1,059	1,066	-15.3%
Cavalli	288	315	280	278	373	385	388	368	368	368	368	27.7%
Muli e asini	84	38	33	30	46	71	74	72	72	72	72	-13.6%
Avicoli	173,342	184,202	176,722	174,667	175,912	177,392	178,690	178,635	175,022	175,520	178,907	3.2%
Conigli	14,894	17,111	17,874	20,504	17,957	15,761	15,207	14,001	12,090	11,756	11,010	-26.1%
Struzzi	0	5	38	28	5	4	3	3	3	3	3	1479.5%
Animali da pelliccia	325	220	230	200	125	180	160	180	145	145	145	-55.4%

³ Unità di misura della consistenza degli allevamenti che permette di confrontare categorie animali diverse. Si usano specifici coefficienti per categoria animale e per età che vengono moltiplicati per il numero di capi. Tali coefficienti sono riportati in diverse normative nazionali ed europee del settore allevamenti (per esempio, il Regolamento (CE) N. 1974/2006, il Decreto MIPAAF del 25 Febbraio 2016, etc.). Nella Figura 2.2 sono stati utilizzati i valori di UBA calcolati sulla base dei dati del Censimento Agricoltura 2010 dell'ISTAT, ottenuti rapportando le consistenze espresse in unità di bestiame adulto e il numero di capi delle diverse categorie animali (dati disponibili al link <http://dati-censimentoagricoltura.istat.it/Index.aspx?lang=it>).

Figura 2.2 – Numero di animali da allevamento in UBA (unità di bestiame adulto).



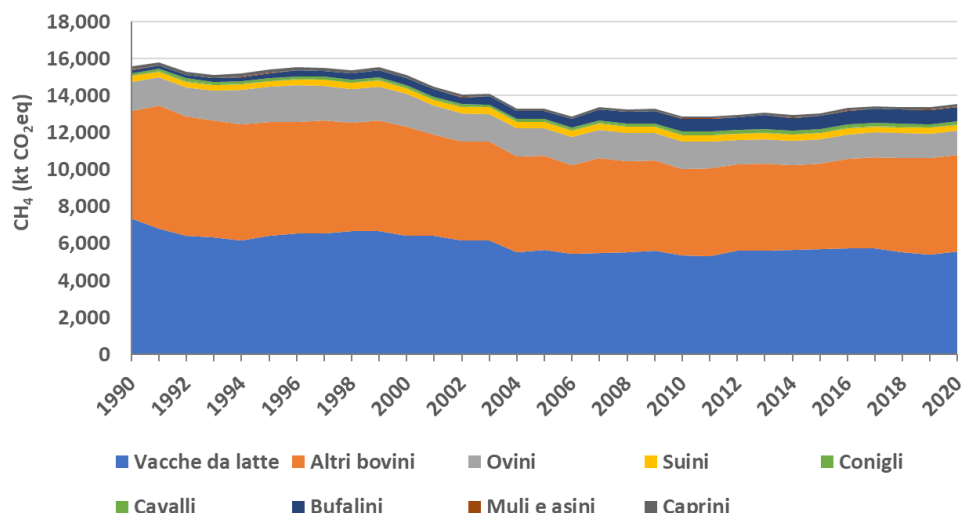
La Tabella 2.3 riporta le emissioni di metano, espresse in CO₂eq, dalle diverse categorie di animali da allevamento. I bovini rappresentano la principale sorgente delle emissioni di metano da fermentazione enterica (79.6% delle emissioni di metano dalla sorgente nel 2020), seguiti dagli ovini (9.3%). I bufalini fanno registrare un costante incremento delle emissioni parallelamente all'incremento dei capi di bestiame allevati e nel 2020 determinano il 5.8% delle emissioni di metano dalla sorgente.

Tabella 2.3 – Emissioni di metano da fermentazione enterica (kt CO₂eq).

Sorgente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	% 1990-2020
Vacche da latte	7,339	6,425	6,434	5,639	5,350	5,698	5,732	5,744	5,537	5,417	5,557	-24.3%
Altri bovini	5,825	6,156	5,862	5,116	4,687	4,639	4,833	4,921	5,090	5,204	5,223	-10.3%
Ovini	1,572	1,879	1,805	1,467	1,460	1,309	1,342	1,334	1,338	1,319	1,317	-16.2%
Suini	315	302	312	345	350	325	318	321	318	319	320	1.6%
Bufalini	176	281	376	434	700	722	739	774	767	767	779	343.0%
Caprini	157	172	172	118	123	120	128	124	123	132	133	-15.3%
Cavalli	130	142	126	125	168	173	175	165	165	165	165	27.7%
Muli e asini	21	9	8	8	12	18	19	18	18	18	18	-13.6%
Conigli	29	33	35	40	35	31	30	27	23	23	21	-26.1%
Totale	15,564	15,399	15,128	13,293	12,884	13,035	13,315	13,429	13,381	13,364	13,535	-13.0%

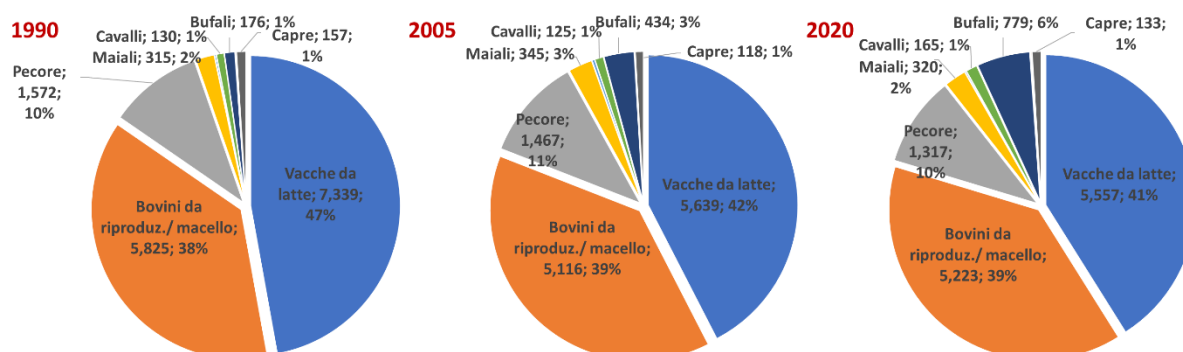
La Figura 2.3 mostra che la maggior parte delle emissioni di metano della sorgente sono prodotte dalle prime tre categorie: vacche da latte, altri bovini e ovini (89.4% nel 2020). Le emissioni di metano da queste categorie si riducono dal 1990 al 2020, rispettivamente del 24.3%, 10.3% e 16.2%.

Figura 2.3 – Emissioni di metano da fermentazione enterica (kt CO₂eq).



La Figura 2.4 pone l'attenzione sulla frequenza relativa delle emissioni dalle categorie di animali da allevamento e rende evidente la contrazione della quota di emissioni da vacche da latte e l'incremento della quota da bufalini rispetto al 1990.

Figura 2.4 – Quota di emissioni di metano da fermentazione enterica nelle categorie di animali da allevamento negli anni indicati. Sono riportate le etichette delle categorie che contribuiscono a più dello 0,5% delle emissioni.



Per valutare le emissioni di metano dalle diverse categorie animali, è necessario osservare l'andamento del numero dei capi e il fattore di emissione specifico per ogni categoria animale. Per quelle più importanti, come le vacche da latte, gli altri bovini, gli ovini e i bufalini, i fattori di emissione sono stimati utilizzando una metodologia più dettagliata, descritta nelle linee guida IPCC (IPCC, 2006). La metodologia prevede la raccolta di dati inerenti diversi parametri, quali la produzione di latte unitaria, la percentuale di grasso nel latte, la percentuale di animali al pascolo, il peso medio, l'incremento di peso giornaliero, la quota di vacche che partoriscono, la quantità e qualità della razione e il coefficiente di conversione in metano della razione assunta. La metodologia prevede la stima dell'energia necessaria che l'animale deve assumere annualmente, positivamente correlata alle dimensioni dell'animale, al tasso di crescita e a parametri inerenti la produzione (ad esempio, produzione di latte, crescita della lana o gravidanza). I valori dei parametri descritti possono avere una variabilità annuale. Per le altre categorie animali si usa invece il fattore di emissione di default per tutta la serie storica, disponibile nelle linee guida IPCC per ciascuna categoria animale (IPCC, 2006). Nelle tabelle seguenti sono riportati i fattori di emissione per categoria animale e si osserva come le vacche da latte abbiano il peso maggiore sia in termini di capi sia per unità di massa. Nelle tabelle 2.3 e 2.4 sono riportati i fattori di emissione per categoria animale e si osserva come le vacche da latte abbiano il peso maggiore. I dati della tabella 2.4 rappresentano i fattori di emissione espressi secondo il peso medio degli animali. Questa informazione integra quella fornita dal dato per capo, e consente una immediata comparazione anche tra animali di stazza diversa.

Tabella 2.4 – Fattori di emissione di metano da fermentazione enterica pro capite (kg CH₄ / capo).

Sorgente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	% 1990-2020
Vacche da latte	111.1	123.6	124.6	122.5	122.6	124.8	125.9	128.3	130.8	131.9	135.7	22.1%
Altri bovini	45.6	47.4	47.0	46.4	45.9	46.9	47.1	47.3	48.1	48.1	48.0	5.2%
Ovini	7.2	7.0	6.5	7.4	7.4	7.3	7.4	7.4	7.5	7.5	7.5	4.1%
Suini	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.0%
Bufalini	74.4	75.8	78.2	84.6	76.7	77.2	76.7	77.3	76.5	76.2	76.6	2.9%
Caprini	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	0.0%
Cavalli	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	0.0%
Muli e asini	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	0.0%
Conigli	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0%

Tabella 2.5 – Fattori di emissione di metano da fermentazione enterica per unità di massa (g CH₄ / kg).

Sorgente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	% 1990-2020
Vacche da latte	184.4	205.0	206.8	203.2	203.4	207.0	208.8	212.8	217.0	218.8	225.1	22,1%
Altri bovini	121.1	121.7	122.6	120.9	120.5	123.0	123.3	123.6	124.1	124.0	124.0	2,4%
Ovini	154.0	156.7	149.5	155.5	154.1	155.7	156.7	157.0	159.0	159.9	159.0	3,3%
Suini	18.9	18.8	19.0	19.4	19.4	18.5	18.4	18.4	18.6	18.6	18.6	-1,5%
Bufalini	142.4	147.1	154.3	160.5	145.5	151.2	149.9	150.8	150.0	152.8	154.0	8,1%
Caprini	100.7	105.6	103.8	108.7	105.2	110.4	111.0	111.4	111.7	110.3	110.9	10,1%
Cavalli	32.7	32.7	32.7	32.7	32.7	32.7	32.7	32.7	32.7	32.7	32.7	0,0%
Muli e asini	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	0,0%
Conigli	47.2	47.2	47.2	47.2	47.2	47.2	47.2	47.2	47.2	47.2	47.2	0,0%

Secondo quanto detto precedentemente, la variazione temporale dei fattori di emissione dipende dalla fluttuazione annuale dei parametri descritti. Per le vacche da latte, che rappresentano il 41% delle emissioni da fermentazione enterica, i parametri maggiormente determinanti sono la produzione unitaria di latte per vacca, la percentuale di digeribilità della razione e il coefficiente di conversione in metano della razione assunta. Per quanto riguarda la produzione di latte, dal 1990 si registra l'aumento della produzione di latte per vacca che ha determinato un aumento del fattore di emissione. Tale parametro tende a crescere poiché negli anni si è ridotto il numero dei capi a fronte di una maggiore produzione di latte annua. Invece per quanto riguarda la razione, aumentandone la digeribilità, per esempio sostituendo una parte dei foraggi, ricchi di carboidrati strutturali, cioè fibra, con i concentrati (poveri di fibra e dove prevalgono i carboidrati non strutturali, cioè amido - granelle di cereali e semi di proteaginose, e residui delle loro lavorazioni industriali), si riducono le emissioni di metano, poiché la quota di fibra della razione è minore, e così l'azione dei microorganismi metanogeni attivi soprattutto nel rumine. La fermentazione della fibra, comparata con quella degli amidi, comporta una maggiore produzione di acetati, con un aumento della disponibilità di idrogeno e conseguentemente di metano. La fermentazione degli amidi riduce il pH ruminale e mentre cresce la produzione di acido propionico viene sottratto molto idrogeno (Hatew *et al*, 2015; Gison *et al*, 2018; CRPA, 2022).

La pratica della riduzione del rapporto foraggi/concentrati della razione come elemento di contenimento delle fermentazioni enteriche trova però un limite severo nel rispetto della fisiologia digestiva della vacca da latte, la cui compromissione può indurre peggioramento dello stato di salute e così del livello produttivo, a discapito dell'efficienza alimentare (kg di sostanza secca ingerita/kg di latte prodotto) (CRPA, 2022).

La riduzione delle emissioni di metano da fermentazione enterica può anche essere ottenuta attraverso altri interventi, che a livello di razionamento riguardano la somministrazione di additivi alimentari atti a contrastare l'attività dei microorganismi metanogeni (Pirondini *et al*, 2015[a]; Pirondini *et al*, 2015[b]; Sun *et al*, 2021; Hegarty *et al*, 2021; CRPA, 2022).

Una stima della riduzione di emissioni di metano in base alle informazioni contenute nelle linee guida IPCC (IPCC, 2006) è possibile ipotizzando l'incremento della digeribilità della dieta delle vacche da latte da 69% (valore attuale) a 72% (Colombini *et al*, 2012; Fredin *et al*, 2015; Hatew *et al*, 2015; Colucci *et al*, 1982) e di conseguenza la riduzione della percentuale di conversione di metano da 6% a 5.7% (IPCC, 2019). In tal caso, lasciando invariati gli altri parametri registrati nel 2020, assumendo quindi la stessa produzione di latte e di numero di capi, si avrebbero circa 10% di emissioni di metano in meno da fermentazione enterica delle vacche da latte e intorno a 4% di emissioni in meno per la sorgente rispetto a quanto registrato nel 2020. Nel presente rapporto non si effettuano ipotesi di riduzione delle emissioni da fermentazione enterica per la categoria Altri bovini, poiché è poco probabile che la tipologia di razione somministrata a questa categoria animale subirà delle modifiche (nel caso degli animali da ingrasso si utilizza una dieta più digeribile, mentre nel caso degli animali da riproduzione si utilizza una dieta più ricca di fibre, con percentuali di foraggi complessivamente comprese tra il 30% e l'80%).

2.2 Gestione delle deiezioni

La gestione delle deiezioni è la seconda fonte di emissioni di metano del settore agricoltura con il 21.5% delle emissioni del settore. Tali emissioni sono generate dalla decomposizione della materia organica in condizioni anaerobiche, durante il trattamento e lo stoccaggio e al pascolo. I fattori che maggiormente determinano le emissioni sono l'ammontare di deiezioni prodotte, che dipendono dal numero di animali e dal tasso di produzione per animale, e la quantità delle stesse decomposte anaerobicamente, che dipende dal tipo di gestione adottata. Lo stoccaggio delle deiezioni non palabili (reflui zootecnici di tipo liquido), che avviene in ambienti essenzialmente privi di ossigeno, genera una significativa quantità di metano rispetto alla gestione delle deiezioni solide. Anche la temperatura e la durata dello stoccaggio incidono sulla produzione di metano.

La Tabella 2.6 riporta le emissioni di metano, espresse in CO₂eq, dalle diverse categorie di animali da allevamento. I bovini rappresentano la principale sorgente delle emissioni di metano da gestione delle deiezioni, rappresentando nel 2020 quasi il 50% delle emissioni della sorgente, seguiti dai suini, che contribuiscono con una percentuale superiore al 40%. Nel 1990, la quota dei bovini era circa il 60% e quella dei suini 35%. La quota di emissioni derivanti dal pascolo è molto bassa ed è pari, nel 2020, allo 0.7% delle emissioni di metano da gestione delle deiezioni delle vacche da latte e 0.4% delle emissioni sia degli altri bovini che dei bufalini.

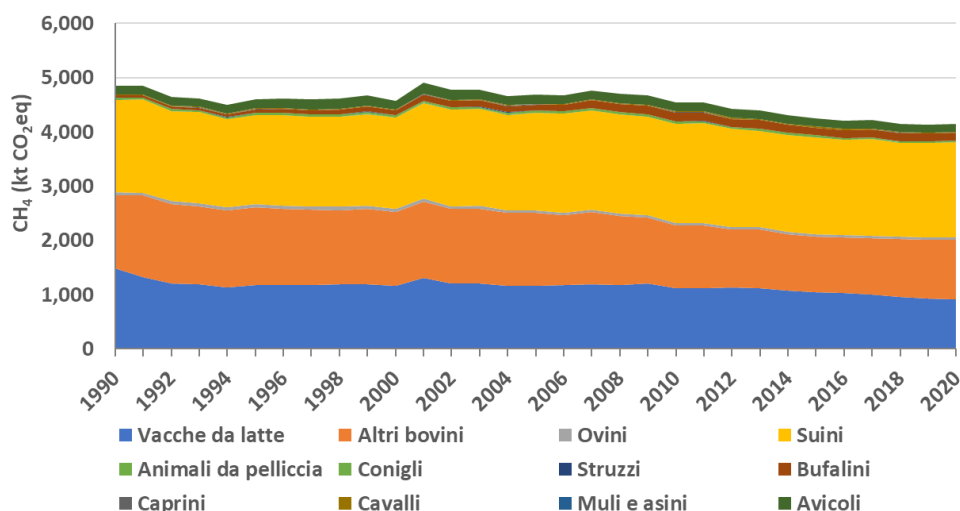
Tabella 2.6 – Emissioni di metano da gestione delle deiezioni (kt CO₂eq).

Sorgente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	% 1990-2020
Vacche da latte	1,489	1,174	1,165	1,164	1,112	1,052	1,026	1,006	951	923	920	-38.2%
Altri bovini	1,347	1,433	1,356	1,338	1,157	1,015	1,029	1,041	1,070	1,093	1,097	-18.6%
Ovini	52	63	65	47	48	42	43	43	43	43	43	-16.9%
Suini	1,703	1,640	1,676	1,800	1,834	1,791	1,759	1,773	1,740	1,743	1,752	2.8%
Bufalini	44	68	85	107	169	141	140	146	146	143	144	224.7%
Caprini	5	6	6	4	4	4	4	4	4	4	5	-15.7%
Cavalli	13	14	12	12	16	17	17	16	16	16	16	31.1%
Muli e asini	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	-19.1%
Avicoli	152	171	162	165	163	156	158	152	147	145	144	-5.7%
Conigli	30	34	36	41	36	32	30	28	24	24	22	-26.1%
Struzzi	0	1	5	4	1	1	0	0	0	0	0	1479.5%
Animali da pelliccia	6	4	4	3	2	3	3	3	2	2	2	-55.4%
Totale	4,843	4,608	4,573	4,686	4,542	4,256	4,212	4,214	4,145	4,138	4,147	-14.4%

La Figura 2.5 mostra l'andamento emissivo delle categorie animali che maggiormente contribuiscono alla produzione di metano. La riduzione delle emissioni dei bovini (-28.9%) è dovuta essenzialmente alla riduzione del numero di capi allevati (-23% nel 2020 rispetto al 1990, che rappresenta un valore medio tra la riduzione del numero di vacche da latte (-38%) e degli altri bovini (-15%), così come l'aumento

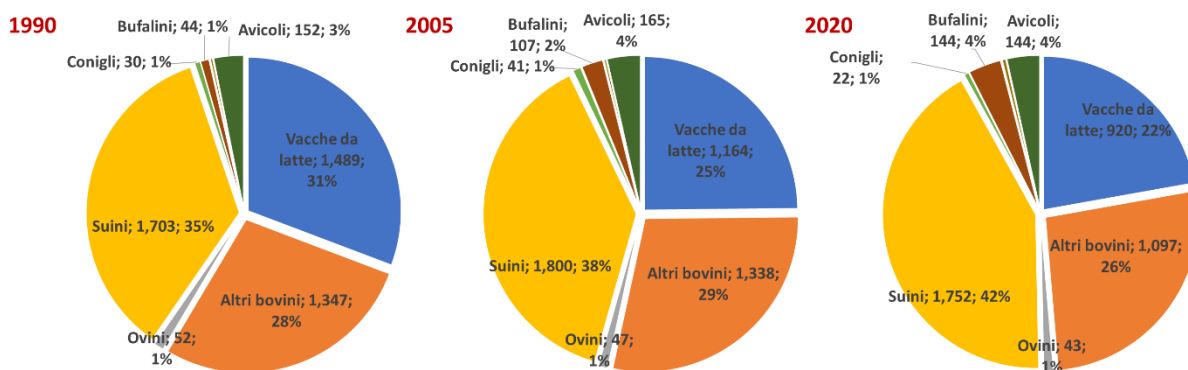
complessivo dei capi suini (+2%), dato da una riduzione delle scrofe (-13%) e un incremento dei capi degli altri suini (+3%), ha determinato un aumento complessivo delle emissioni del 2.8%.

Figura 2.5 – Emissioni di metano da gestione delle deiezioni (kt CO₂eq).



La Figura 2.6 mostra la frequenza relativa delle emissioni dalle categorie di animali da allevamento e rende evidente la contrazione della quota di emissioni dovute alle vacche da latte e l'incremento della quota dovuta ai suini e ai bufalini rispetto al 1990.

Figura 2.6 – Quota di emissioni di metano da gestione delle deiezioni nelle categorie di animali da allevamento negli anni indicati. Sono riportate le etichette delle categorie che contribuiscono a più dello 0,5% delle emissioni.



Come per la fermentazione enterica anche per la gestione delle deiezioni i fattori di emissione pro capite (Tabella 2.7) mostrano che le vacche da latte rappresentano la categoria animale con il più elevato potenziale emissivo, seguite da bufalini, altri bovini, suini e struzzi. I fattori di emissione pro capite delle categorie menzionate nell'ultimo anno vanno da 22.4 a 5.7 kg CH₄ / capo. I fattori di emissione per unità di massa (Tabella 2.8) mostrano d'altra parte che gli animali da pelliccia sono di gran lunga la categoria con il potenziale emissivo maggiore, seguiti da suini, conigli, struzzi e vacche da latte. Le categorie menzionate hanno fattori di emissione per unità di massa da 715.8 a 37.3 g CH₄ / kg nel 2020. Come già detto in precedenza, i fattori di emissione espressi per unità di massa permettono una comparazione tra categorie animali che hanno pesi medi diversi.

Tabella 2.7 – Fattori di emissione di metano da gestione delle deiezioni pro capite (kg CH₄ / capo).

Sorgente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	% 1990-2020
Vacche da latte	22.4	22.4	22.4	25.0	25.1	22.8	22.4	22.4	22.4	22.4	22.4	-0.1%
Altri bovini	10.5	11.0	10.8	12.1	11.2	10.2	10.0	10.0	10.1	10.1	10.1	-4.4%
Ovini	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	3.2%
Suini	8.1	8.1	8.1	7.9	7.9	8.4	8.5	8.4	8.4	8.4	8.4	3.2%
Bufalini	18.7	18.2	17.7	20.7	18.4	15.0	14.5	14.5	14.5	14.1	14.1	-24.5%
Caprini	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	-0.4%
Cavalli	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8	2.7%
Muli e asini	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	-6.3%
Avicoli	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	1.2%
Conigli	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0%
Struzzi	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	0.0%
Animali da pelliccia	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.0%

Tabella 2.8 – Fattori di emissione di metano da gestione delle deiezioni per unità di massa (g CH₄ / kg).

Sorgente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	% 1990-2020
Vacche da latte	37.1	37.1	37.1	41.5	41.6	37.8	37.1	37.1	37.1	37.1	37.1	-0.1%
Altri bovini	27.9	28.2	28.3	31.4	29.4	26.7	26.1	26.1	26.0	26.0	26.0	-7.0%
Ovini	5.1	5.3	5.4	5.0	5.0	5.1	5.1	5.0	5.1	5.2	5.2	2.4%
Suini	102.0	102.2	102.3	102.1	102.8	103.7	103.6	103.6	103.6	103.6	103.7	1.6%
Bufalini	35.7	35.3	34.9	39.3	34.9	29.4	28.4	28.4	28.4	28.3	28.3	-20.7%
Caprini	3.4	3.6	3.5	3.7	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	9.6%
Cavalli	3.2	3.2	3.2	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	2.7%
Muli e asini	3.0	3.0	2.9	2.9	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	-6.3%
Avicoli	20.3	20.8	20.6	21.5	21.2	19.9	19.3	19.2	19.2	19.2	19.2	-5.7%
Conigli	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	0.0%
Struzzi	37.8	37.8	37.8	37.8	37.8	37.8	37.8	37.8	37.8	37.8	37.8	0.0%
Animali da pelliccia	715.8	715.8	715.8	715.8	715.8	715.8	715.8	715.8	715.8	715.8	715.8	0.0%

Una volta stimate le emissioni di metano, a partire dal prodotto tra il numero dei capi e il relativo fattore di emissione, si detrae dal risultato ottenuto la quota di emissioni "evitate" e cioè quelle generate dalle deiezioni stoccate nei digestori anaerobici, nei quali si produce biogas (miscela gassosa composta principalmente da metano e anidride carbonica), che non finisce in atmosfera e viene recuperato per usi energetici. Nel caso di digestione anaerobica, le emissioni dovute alla fase di stoccaggio dei reflui zootecnici risultano annullate poiché negli impianti afferiscono gli effluenti "freschi", appena rimossi dai ricoveri.

Le emissioni generate dalla produzione di energia attraverso la combustione del biogas vengono stimate e riportate nel settore energia dell'inventario nazionale delle emissioni.

Secondo i dati TERNA, i digestori anaerobici alimentati con deiezioni animali e con prodotti da attività agricole e forestali sono circa 1700 con una potenza media installata di circa 1 MW e sono presenti per lo più nelle regioni della pianura padana dove è concentrata la maggiore produzione zootecnica del paese. Secondo un'indagine condotta dal Consorzio Italiano Biogas nel 2018 (CRPA, 2018) su un campione di impianti associati, la matrice più comunemente utilizzata è composta da effluenti zootecnici bovini e da colture energetiche (silomais).

La quantità di reflui zootecnici di bovini, suini e avicoli avviati a digestione anaerobica è stimata pari a circa 15 milioni di tonnellate a fronte di circa 106 milioni di tonnellate totali prodotte nel 2020, pari quindi al 14% della produzione totale di reflui zootecnici. Tale percentuale è un valore medio delle deiezioni di bovini e avicoli, entrambi pari a 18%, e suini pari al 3%. Gli effluenti avicoli hanno un elevato tenore di sostanza secca e quindi possono essere impiegati anche in impianti distanti dall'allevamento, a differenza degli effluenti suini che hanno un basso tenore di sostanza secca, che comporta elevati costi di trasporto nel caso in cui l'impianto non sia vicino all'allevamento e che comunque rende tecnicamente ed economicamente meno conveniente l'utilizzo di questa biomassa per produrre biogas/biometano (CRPA,

2018). Considerando la matrice che alimenta tali impianti, si stima inoltre il contributo di circa 33 milioni le tonnellate di prodotto tal quale di colture energetiche, residui colturali e scarti agro-industriali che alimentano i digestori anaerobici, insieme agli effluenti zootecnici.

Nella stima delle emissioni di metano da gestione delle deiezioni vengono anche considerate le perdite di metano fuggitive degli impianti che sono pari all'1% della produzione complessiva di biogas. Questa percentuale viene calcolata su tutto il biogas prodotto che deriva, come già detto, non solo dai reflui zootecnici, ma anche da tutte le altre componenti organiche che alimentano il digestore.

Sulla base di quanto riportato, le emissioni di metano dovute alle perdite dagli impianti di digestione anaerobica risultano di poco inferiori alle emissioni di metano "evitate". Al fine di ridurre le emissioni di metano da gestione delle deiezioni zootecniche bisognerebbe pertanto aumentare la quantità di reflui avviati a digestione anaerobica, riducendo le altre componenti organiche. Occorre inoltre limitare al massimo le emissioni fuggitive dagli impianti per la produzione di biogas.

La riduzione delle emissioni dalla sorgente esaminata è possibile aumentando l'utilizzo delle deiezioni zootecniche per la produzione di biogas a scapito di altre matrici e con l'adozione di misure indirizzate al contenimento delle emissioni fuggitive dalle varie componenti degli impianti, come la copertura delle vasche di stoccaggio del digestato (che possono essere una ulteriore fonte di emissione) prodotto dalla digestione anaerobica (Liebetrau *et al*, 2017). Ipotizzando di utilizzare il 60% dei reflui zootecnici bovini e avicoli e il 10% di quelli suini per gli impianti di produzione di biogas (come riportato in CRPA, 2018) e di adottare la misura di copertura delle vasche di stoccaggio, mantenendo inalterati il numero di capi, la produzione delle deiezioni, le perdite degli impianti, in altre parole considerando invariati i valori assoluti registrati nel 2020, è possibile stimare che le emissioni di metano dovute alla gestione delle deiezioni sarebbero state inferiori del 26% rispetto al dato del 2020.

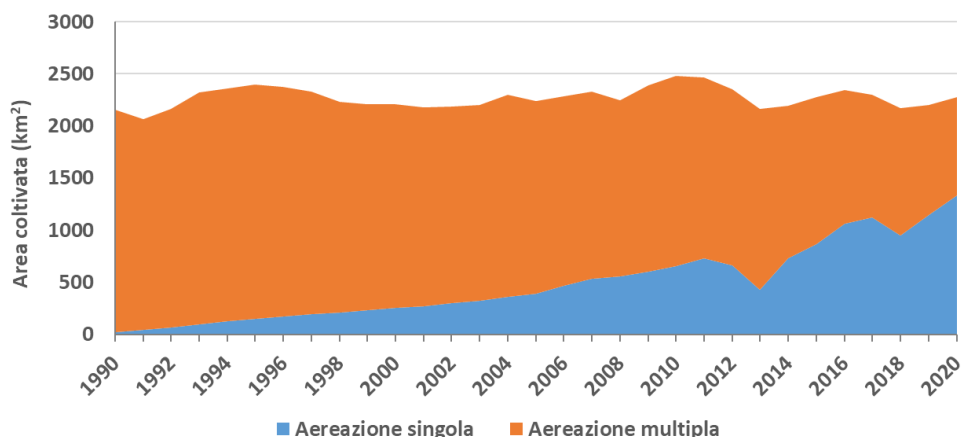
2.3 Coltivazione di riso

La coltivazione del riso rappresenta la terza fonte di emissione di metano del settore agricoltura con l'8.2% delle emissioni del settore agricoltura. Le emissioni sono generate dalla decomposizione del materiale organico nelle risaie sommerse di acqua da parte di microrganismi metanogeni. Le emissioni dipendono dall'estensione delle colture, dalla durata del periodo di crescita, dai regimi di irrigazione utilizzati e dagli ammendanti organici e inorganici impiegati. Anche il tipo di suolo, la temperatura e la varietà coltivata influenzano le emissioni di metano.

Nella Figura 2.7 è riportata la serie storica della superficie coltivata a riso (quasi 230 mila ettari nel 2020), distinta tra l'area coltivata secondo il metodo tradizionale in sommersione e l'area sottoposta a semina interrata, in cui la semina avviene su terreno asciutto e la sommersione è effettuata dopo 20-35 giorni dalla semina. Nel primo caso durante il ciclo produttivo, che va da aprile a settembre/ottobre, avvengono 2/3 aerazioni (cioè viene tolta l'acqua dalla risaia), oltre allo svuotamento finale della risaia per il raccolto; mentre nel secondo caso viene effettuata solo una aerazione. Queste pratiche di aerazione sono necessarie per il trattamento con erbicidi e per l'applicazione dei fertilizzanti ed ammendanti.

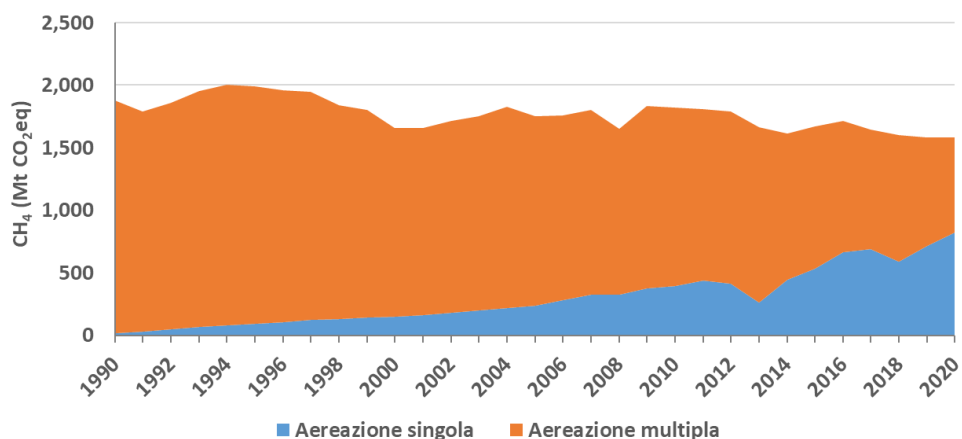
Dagli anni '90 è aumentata la coltivazione del riso con la tecnica della semina interrata: la percentuale di superficie con aerazione singola è aumentata dall'1,0% nel 1990 al 58,6% nel 2020. La semina a secco (singola aerazione) si è diffusa grazie alla semplificazione delle operazioni colturali e della gestione idrica in particolare. Inoltre, la semina a secco consente di ottenere prestazioni produttive migliori rispetto alla semina in acqua nelle aree con terreni molto sciolti (terreni a grana grossolana molto permeabili all'acqua, con un'alta percentuale di sabbia e bassa di argilla) (Enterisi, 2022).

Figura 2.7 – Superficie coltivata a riso secondo la tecnica di coltivazione.



La Figura 2.8 illustra le emissioni di metano dovute alla coltivazione del riso. Nel 2020 le emissioni sono state circa 64 kt CH₄, con una riduzione del 15% rispetto al 1990. Nonostante la superficie coltivata totale sia aumentata del 6%, si registra, come già riportato, la graduale diffusione della tecnica di coltivazione in cui la superficie è sommersa per meno tempo rispetto alla tecnica tradizionale e pertanto con minore emissione di metano.

Figura 2.8 – Emissioni di metano dalla coltivazione di riso secondo la tecnica di coltivazione.



Il fattore medio pesato di metano dal 1990 al 2020 è diminuito del 20% ed è essenzialmente dovuta all'incremento della quota di superficie coltivata con singola aereazione.

I fattori di emissione sono stimati secondo la metodologia IPCC (IPCC, 2006) che richiede la moltiplicazione di un fattore di emissione di base (relativo alla fase di sommersione, senza l'applicazione di ammendanti) e dei parametri relativi al regime idrico adottato prima e durante il periodo di coltivazione e agli ammendanti organici utilizzati. La riduzione dei fattori di emissione negli anni deriva da una variazione della percentuale di paglia incorporata nel suolo (che passa dal 50% al 40% dal 1990 al 2020 e la parte complementare viene bruciata in campo) e dalla modifica del tempo medio di crescita delle varietà (quelle precoci passano da 143 a 140 giorni e quelle non precoci da 155 a 157 giorni, dal 1990 al 2020).

Tabella 2.9 – Fattori di emissione di metano per la coltivazione del riso (g CH₄ / m²).

Sorgente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	% 1990-2020
Aereazione singola	26.8	24.7	23.0	24.1	24.0	24.5	25.0	24.7	25.0	24.9	24.7	-8.1%
Aereazione multipla	34.9	33.8	31.0	32.8	31.4	32.4	32.9	32.4	33.0	33.0	32.3	-7.4%

Nell'ipotesi ragionevole, basata sull'evidenza dell'andamento di crescita nel trentennio considerato, che tutta la superficie del 2020 sia coltivata con la tecnica della semina interrata, con un periodo di crescita medio di 147 giorni, si stima che le emissioni di metano per la coltivazione del riso sarebbero state inferiori del 7%.

Considerando le ipotesi formulate per le tre sorgenti emmissive principali del settore agricoltura e a valori invariati rispetto al 2020 per gli altri dati di attività, si stima una riduzione potenziale delle emissioni di metano del settore pari al 9% rispetto a quanto effettivamente registrato nel 2020. L'ipotesi formulata sui digestori anaerobici, secondo la quale si ipotizza un aumento dei reflui zootecnici avviati agli impianti da 15 a 49 milioni di tonnellate, determinerebbe una riduzione anche delle emissioni di protossido di azoto del 3% dal settore agricoltura. Lo stoccaggio dei reflui in condizioni anaerobiche nei digestori abbatte le emissioni di protossido di azoto, secondo le linee guida IPCC (IPCC, 2006), poiché la produzione di tale gas richiede ossigeno.

L'implementazione delle ipotesi formulate determinerebbe la riduzione del 7% delle emissioni di gas serra dal settore agricoltura rispetto al valore registrato nel 2020.

Il processo di definizione degli scenari di riduzione, come pure la stima annuale delle emissioni, necessita di un continuo flusso di dati e informazioni sui sistemi di gestione degli allevamenti e delle coltivazioni. Infatti, solo un costante flusso di dati di alta qualità consente di avere una completa rappresentazione della diffusione dei sistemi di gestione sul territorio nazionale, che sono inoltre necessari per una corretta implementazione degli scenari emissivi.

3 RIFIUTI

La Figura 3.1 illustra le quote emissive dalle rispettive sorgenti. Le due principali sorgenti rappresentano il 38.9% delle emissioni nazionali di metano e il 99% delle emissioni di metano dal settore nel 2020.

Figura 3.1 – Quota di emissioni di metano (Mt CO₂eq) nelle principali sorgenti del settore rifiuti negli anni indicati.

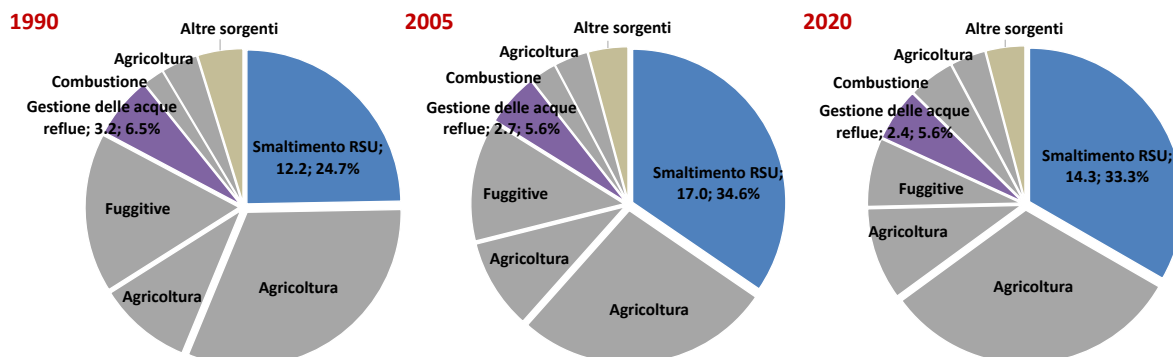
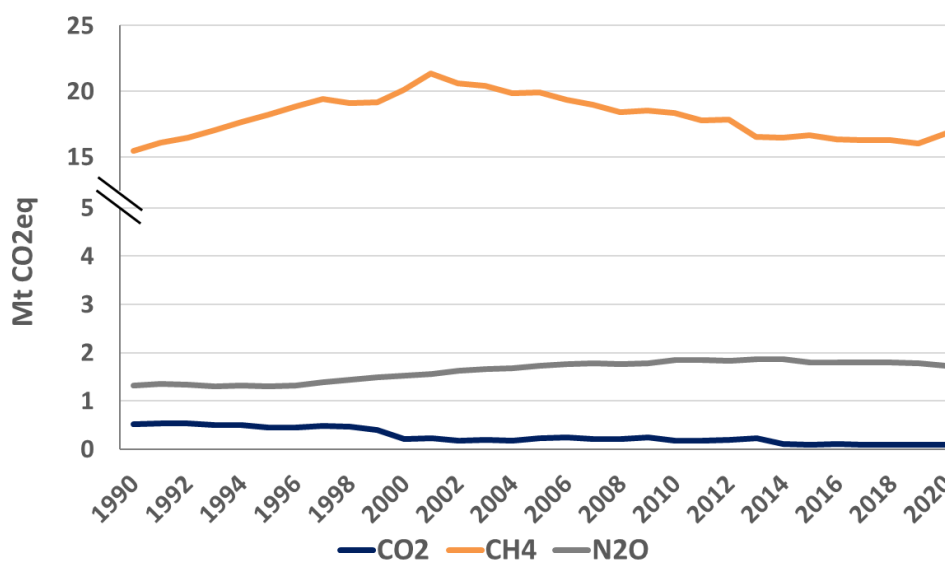


Tabella 3.1 – Categorie di sorgenti principali ed emissioni di metano nel settore dei rifiuti (kt CO₂eq).

Settore/sorgente (emissioni)	1990	2005	2020
5. Rifiuti	15461	19898	16797
A. Smaltimento dei rifiuti solidi	12206	17002	14253
1. Siti gestiti di smaltimento dei rifiuti solidi	6386	13168	12339
a. Anaerobico	6386	13168	12339
2. Siti non gestiti di smaltimento dei rifiuti solidi	5820	3834	1914
D. Gestione delle acque reflue	3200	2743	2375
1. Acque reflue domestiche	1680	1271	999
2. Acque reflue industriali	1520	1472	1375

Il metano è il gas climalterante maggiormente prodotto dal settore dei rifiuti (Figura 3.2) e contribuisce alle emissioni di gas serra del settore per oltre il 90% dal 1990. Le emissioni di metano del settore sono aumentate dell'8.6% dal 1990 al 2020, da 15.5 MtCO₂eq (618 kt CH₄) a 16.8 MtCO₂eq (672 kt CH₄).

Figura 3.2 – Emissioni di gas serra nel settore dei rifiuti.



Il settore dei rifiuti nell'Inventario Nazionale dei Gas Serra (*GHG National Inventory Report, NIR*) comprende le emissioni dei siti di smaltimento dei rifiuti solidi (discariche), dell'incenerimento senza recupero di energia, del trattamento biologico (compostaggio e digestione anaerobica) e della gestione delle acque reflue. Le emissioni degli impianti di incenerimento con recupero di energia e le emissioni di metano recuperato ai fini energetici dalle discariche e dagli impianti di trattamento delle acque reflue (Tabella 3.2) sono riportate nel NIR nel settore "Energia" sotto la voce 1A4a "Attività di combustione, settore commerciale / istituzionale" (secondo le linee guida IPCC).

Il metano recuperato non viene interamente utilizzato per fini energetici, a causa della necessità di trattamenti prima dell'utilizzo del gas recuperato, venendo in buona parte bruciato (*flaring*, Tabella 3.2). Nell'inventario nazionale delle emissioni in atmosfera si stima che nel 2020 circa il 45% del biogas prodotto dalle discariche di rifiuti urbani possa essere intercettato e che circa il 70% di questa aliquota è recuperato con fini energetici, nel caso delle acque reflue si stima che oltre il 90% del metano prodotto sia recuperato ma di questo, solo circa il 7% a fini energetici. Da segnalare che per il recupero ai fini energetici di biogas da discarica si registra una decisa contrazione negli ultimi 10 anni.

Tabella 3.2 – Categorie di sorgenti principali ed emissioni di metano nel settore rifiuti (kt CO₂eq).

Flared	1990	2005	2020
A. Smaltimento dei rifiuti solidi	2686	2712	2358
1. Siti gestiti di smaltimento dei rifiuti solidi	2686	2712	2358
<i>a. Anaerobico</i>	2686	2712	2358
2. Siti non gestiti di smaltimento dei rifiuti solidi	-	-	-
D. Gestione delle acque reflue	2575	5145	7551
1. Acque reflue domestiche	2575	5145	7551
2. Acque reflue industriali	-	-	-
Recupero di energia	1990	2005	2020
A. Smaltimento dei rifiuti solidi	-	5276	5502
1. Siti gestiti di smaltimento dei rifiuti solidi	-	5276	5502
<i>a. Anaerobico</i>	-	5276	5502
2. Siti non gestiti di smaltimento dei rifiuti solidi	-	-	-
D. Gestione delle acque reflue	-	16	543
1. Acque reflue domestiche	-	16	543
2. Acque reflue industriali	-	-	-

Le principali sorgenti di emissione del metano dal settore sono lo smaltimento dei rifiuti solidi e la gestione delle acque reflue.

3.1 Smaltimento dei rifiuti solidi

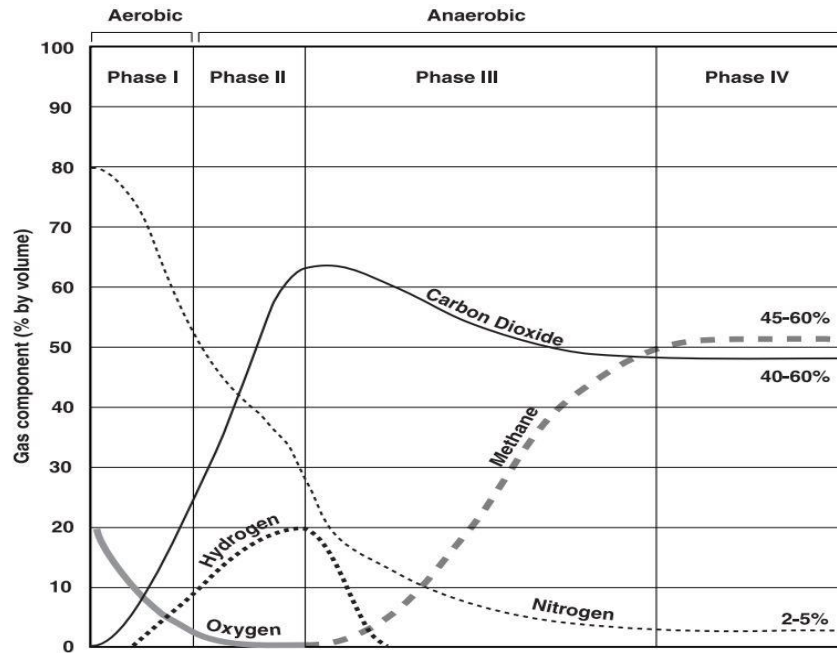
Lo smaltimento di rifiuti solidi in discarica è una categoria chiave per il metano, sia in termini di quantità che in termini di tendenza. La quota di emissioni di CH₄ costituisce attualmente il 33.3% (era circa il 24.7% nel 1990) del totale nazionale di CH₄. Il metano viene emesso dalla degradazione dei rifiuti smaltiti nelle discariche di rifiuti urbani, gestite e non gestite. I principali parametri che influenzano la stima delle emissioni delle discariche sono, oltre alla quantità di rifiuti conferiti nelle discariche, la composizione dei rifiuti, la frazione di metano nel biogas e la quantità raccolta e recuperata. Questi parametri sono strettamente dipendenti dalle politiche di gestione dei rifiuti che iniziano dalla produzione e il trasporto dei rifiuti, la raccolta differenziata, il trattamento per la riduzione del volume, la stabilizzazione, il riciclo e il recupero energetico fino alla deposizione dei residui finali in discarica. Lo smaltimento dei rifiuti urbani in discarica è ancora una delle principali pratiche di smaltimento, ma la percentuale di rifiuti smaltiti con tale pratica è scesa dal 91.1% nel 1990 al 30.1% nel 2020. Questa tendenza è strettamente dipendente dalle politiche adottate negli ultimi 20 anni per la gestione dei rifiuti. Nel 2020 le discariche dei rifiuti solidi in Italia hanno smaltito 5,817 kt di RSU (Rifiuti Solidi Urbani) e 2,910 kt di rifiuti speciali assimilabili agli urbani, oltre a 162 kt di fanghi provenienti da impianti di gestione delle acque reflue urbane. Dal 1999 il numero delle discariche di RSU è diminuito da oltre 500 impianti a 127 nel 2020, nonostante la diminuzione della quantità di rifiuti smaltiti sia meno pronunciata. Questo perché sia le discariche non

controllate che le piccole discariche controllate sono state progressivamente chiuse, soprattutto nel sud del Paese, dove si è optato per l'utilizzo di impianti moderni e più grandi al fine di servire grandi aree territoriali. Per quanto riguarda la composizione dei rifiuti conferiti, questa è cambiata nel corso degli anni soprattutto a causa del mutamento degli stili di vita.

La degradazione anaerobica della sostanza organica dei rifiuti ad opera di ceppi batterici che si sviluppano nel corpo dei rifiuti produce biogas, ovvero una miscela costituita principalmente da metano e biossido di carbonio e da piccole percentuali di altre sostanze allo stato gassoso (idrogeno, ossigeno, azoto, vapore acqueo e altri composti in tracce). Discariche di inerti caratterizzate da valori di carbonio residuo minimi non producono di regola quantità apprezzabili di biogas perché la sostanza organica presente non è sufficiente a sostenere il metabolismo di una popolazione batterica. La decomposizione dei rifiuti può essere schematizzata in quattro fasi durante le quali la composizione del gas prodotto cambia. Dato che le discariche spesso accettano rifiuti in un periodo da 20 a 30 anni, i rifiuti in discarica possono subire diverse fasi di decomposizione contemporaneamente. Ciò significa che i rifiuti più vecchi in un'area potrebbero trovarsi in una fase di decomposizione diversa rispetto ai rifiuti interrati più recentemente in un'altra area:

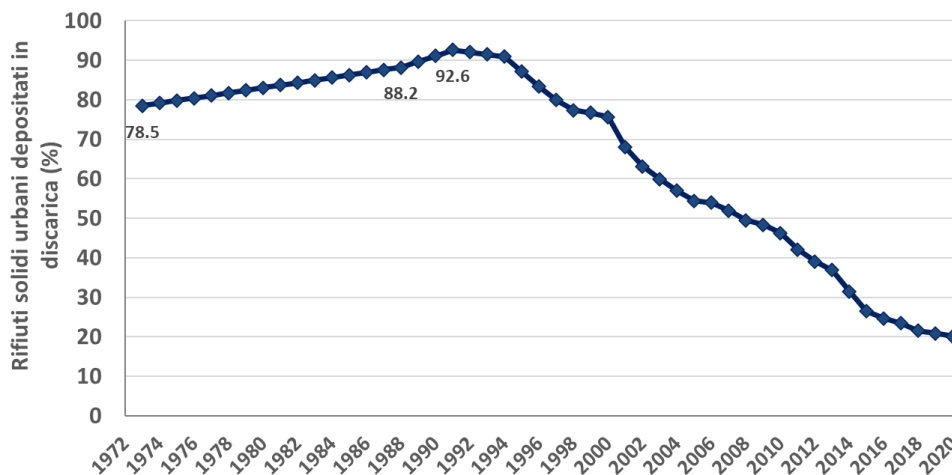
- Durante la prima fase di decomposizione i batteri aerobici consumano ossigeno mentre scompongono le molecole di carboidrati complessi, proteine e lipidi che compongono i rifiuti organici. Il principale sottoprodotto di questo processo è l'anidride carbonica. Il contenuto di azoto è elevato all'inizio di questa fase, ma diminuisce con le fasi successive di decomposizione. La fase I continua fino all'esaurimento dell'ossigeno disponibile. La fase I può durare giorni o mesi, a seconda della quantità di ossigeno presente quando i rifiuti vengono smaltiti in discarica, e la durata dipende dalle condizioni del sito oltre che dei rifiuti stessi;
- La decomposizione della fase II inizia dopo che l'ossigeno nella discarica è stato esaurito. Utilizzando un processo anaerobico i batteri convertono i composti creati dai batteri aerobi in acido acetico, lattico e formico e alcoli, come metanolo ed etanolo. La discarica diventa altamente acida. Quando gli acidi si mescolano con l'umidità presente nella discarica, provocano la dissoluzione di alcuni nutrienti, rendendo l'azoto e il fosforo disponibili per specie sempre più diverse di batteri nella discarica. I sottoprodotti gassosi di questi processi sono anidride carbonica e idrogeno. Se la discarica è disturbata o se l'ossigeno viene in qualche modo introdotto nella discarica, i processi microbici torneranno alla Fase I;
- La decomposizione della fase III inizia quando alcuni tipi di batteri anaerobici consumano gli acidi organici prodotti nella fase II e formano acetato, un sale organico. Questo processo fa sì che la discarica diventi un ambiente più neutro in cui i batteri produttori di metano iniziano a insediarsi stabilmente. I batteri produttori di metano e di acetato hanno una relazione simbiotica: i batteri produttori di acetato creano composti che i batteri metanogeni possono consumare mentre i batteri metanogeni consumano l'anidride carbonica e l'acetato che in eccesso sarebbe tossico per gli stessi batteri produttori di acetato.
- La decomposizione della fase IV inizia quando sia la composizione che i tassi di produzione del gas di discarica rimangono relativamente costanti. Il gas di discarica di fase IV di solito contiene dal 45% al 60% circa di metano in volume, dal 40% al 60% di anidride carbonica e dal 2% al 9% di altri gas, come i solfuri. La quantità di gas prodotto è stabile nella Fase IV, tipicamente per circa 20 anni; tuttavia, il gas può continuare a essere emesso per 50 o più anni dopo che i rifiuti sono stati collocati nella discarica. La produzione di gas potrebbe durare più a lungo se nei rifiuti sono presenti quantità maggiori di sostanze organiche, ad esempio in una discarica che riceve quantità superiori alla media di rifiuti animali domestici. Successivamente, quando non ci sarà più sostanza organica da degradare, ci sarà una fase di "esaurimento" durante la quale la produzione di biogas e la concentrazione del percolato diminuiscono progressivamente.

Figura 3.3 – Diagramma del processo di formazione del biogas (ATSDR, 2001).



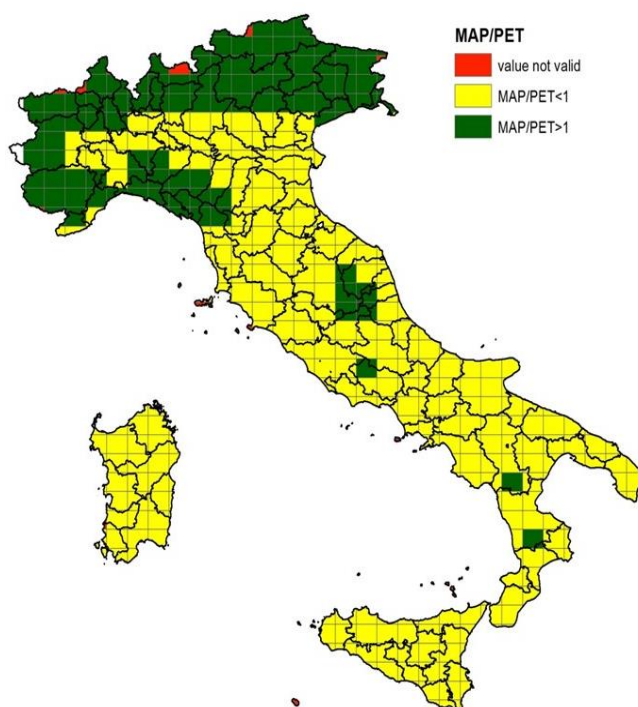
Per stimare le emissioni di metano dalle discariche di rifiuti solidi urbani è stato messo a punto un modello che simula le diverse fasi della degradazione organica e considera le tecnologie di trattamento dei rifiuti, come l'estrazione del biogas per il recupero energetico o il *flaring*. È necessario quindi poter caratterizzare il sito di discarica dal punto di vista delle condizioni climatiche, delle tecnologie e dei rifiuti depositati. Il modello cinetico utilizzato richiede dati sulle quantità di rifiuti prodotti e in discarica a partire dal 1950 per cui è stato necessario fare delle ipotesi per ricostruire la serie storica dei dati. In particolare, la serie di dati sulla produzione dei rifiuti è stata ricostruita dal 1975 indietro fino al 1950 in base al PIL (Prodotto Interno Lordo) attraverso una funzione di correlazione tra PIL e produzione di rifiuti. In seguito, è stata stimata la quantità di rifiuti conferiti in discarica, ipotizzando che dal 1975 la percentuale di rifiuti conferiti in discarica fosse costante e pari all'80% in base all'analisi dei dati disponibili. A partire dagli anni '70 fino al 1991 lo smaltimento dei rifiuti in discarica è diventato la pratica predominante, poiché risultava la più diffusa nella gestione dei rifiuti; mentre dai primi anni '90, grazie a un cambiamento delle politiche nazionali, lo smaltimento dei rifiuti in discarica ha iniziato a diminuire, a favore di altri sistemi per il trattamento dei rifiuti. In Figura 3.4 è possibile osservare l'andamento della quota di RSU depositati in discarica.

Figura 3.4 - Andamento della quota di rifiuti solidi urbani depositati in discarica.



Per quanto riguarda le caratteristiche del sito, le linee guida IPCC del 2006 propongono un metodo semplificato per valutare il contenuto di umidità di una discarica supponendo che sia proporzionale al rapporto tra precipitazione media annua (MAP) ed evapotraspirazione potenziale (PET). In particolare, l'Italia ha indagato più a fondo le condizioni specifiche del Paese e rivisto i valori dei parametri che influenzano la formazione del biogas considerando la suddivisione del territorio nazionale in zone asciutte o umide sulla base di dati georeferenziati (griglia 30 km) costituiti dalle medie mensili (periodo 1986-2015) di precipitazioni ed evapotraspirazione fornite dal Centro Ricerche Agricoltura e Ambienti CREA-AA (CREA, 2017). Successivamente è stato calcolato il rapporto tra precipitazione (MAP) ed evapotraspirazione (PET) e le zone secche e umide sono state distinte secondo le linee guida IPCC (Figura 3.5).

Figura 3.5 – Suddivisione del territorio nazionale in base al rapporto MAP/PET (ISPRA, 2018).



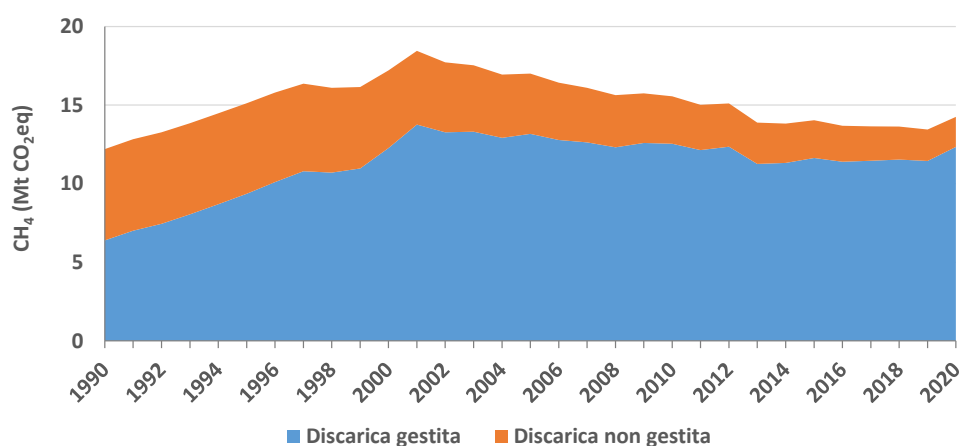
L'elaborazione e la definizione di queste banche dati, insieme ai dati sul biogas recuperato a fini energetici forniti da Terna, permette di utilizzare la metodologia IPCC Tier 2 attraverso l'applicazione del *First Order Decay Model* (Modello di Decadimento del Primo Ordine) con inizio della reazione di decadimento il 1° gennaio dell'anno successivo allo smaltimento. I principali parametri utilizzati nel modello delle emissioni in discarica sono:

- quantità totale di rifiuti smaltiti: livelli di attività dei siti di smaltimento dei rifiuti solidi;
- frazione di Carbonio Organico Degradabile (DOC): carbonio organico presente nei rifiuti che è accessibile alla decomposizione biochimica, stimato in base alla composizione dei rifiuti da una media ponderata del contenuto di carbonio degradabile delle varie tipologie dei rifiuti;
- fattore di correzione del metano (MCF): fattore che considera la minore produzione di CH₄ per unità di rifiuto nei siti non gestiti rispetto a quelli gestiti;
- costante di velocità di generazione di metano (k): costante correlata al tempo necessario affinché il DOC nei rifiuti decada fino alla metà della sua massa iniziale (emivita), dipende dalle caratteristiche del rifiuto e da quelle del sito.

Le emissioni di gas serra dalle discariche in Italia rappresentano di gran lunga il contributo principale alle emissioni totali da rifiuti durante tutto l'arco di tempo considerato. Tra il 1990 e il 2020 le emissioni di metano da questa sorgente sono aumentate del 16.8%, da un valore di 12.2 MtCO₂eq a 14.3 MtCO₂eq. Il dettaglio dell'andamento delle emissioni (Figura 3.6) mostra un incremento dal 1990 al 2001 (+51.1%) seguito da un andamento decrescente dal 2001 al 2020 (-22.7%), sebbene nell'ultimo anno si registri un incremento del 6% rispetto all'anno precedente.

In particolare, le emissioni dei siti gestiti per lo smaltimento dei rifiuti sono aumentate del 93.2% dal 1990 al 2020 (da 6.4 a 12.3 MtCO₂eq), mentre quelle dei siti non gestiti hanno avuto un andamento inverso, con una diminuzione del 67.1% (da 5.8 a 1.9 MtCO₂eq).

Figura 3.6 – Emissioni di metano da smaltimento dei rifiuti solidi.



I fattori di emissione, espressi come rapporto tra le emissioni di metano e la quantità di rifiuti smaltiti in discarica nell'anno di riferimento, fanno registrare un costante aumento per i siti di smaltimento gestiti, da 15.6 kg CH₄/t rifiuti nel 1990 a 55.5 kg CH₄/t rifiuti nel 2020 (+255.6%). Analogamente i fattori di emissione dei siti non gestiti mostrano un forte aumento, 36.7 kg CH₄/t rifiuti nel 1990 a 298.5 kg CH₄/t rifiuti nel 1999 (+714.4%), ultimo anno utile per la valutazione poiché i livelli di attività, ossia i rifiuti conferiti in siti non gestiti, vengono considerati pari a zero rendendo quindi non valutabile il fattore di emissione. Ciò è dovuto al fatto che le emissioni annuali dipendono da tutte le quantità di rifiuti depositate nel corso degli anni precedenti, mentre al denominatore del fattore di emissione così calcolato viene considerata solo la quantità di rifiuti dell'anno preso in considerazione. La curva della "discarica nazionale" sembra aver già da tempo superato il massimo delle emissioni e va lentamente a decrescere al di là del valore del 2020 dovuto a un recupero di biogas sensibilmente inferiore a quello degli anni precedenti e non a un incremento nella produzione di biogas. L'obiettivo da perseguire per la riduzione delle emissioni è quello previsto dalle misure di riduzione della sostanza organica in discarica attraverso la raccolta differenziata e sistemi di trattamento specifici per particolari tipologie di rifiuto. Dall'analisi dei dati MUD (Modello Unico di Dichiarazione ambientale) condotte da ISPRA e derivanti da diverse indagini regionali sulla gestione dei rifiuti, le frazioni di residui alimentari (-6%) e materiali cellulosici (-8%) risultano in riduzione in seguito alla migliore penetrazione ed efficacia della raccolta differenziata che riesce a intercettare meglio tali frazioni e sottrarle allo smaltimento in discarica. Risulta invece in aumento la frazione definita come sottovaglio e legata all'aumento dei trattamenti TMB (Trattamenti Meccanico Biologici) dei rifiuti poi depositati in discarica che ha determinato un incremento dei residui di trattamento. Inoltre, da diversi studi e ipotesi riportati nei PRGR si è notato l'incremento della frazione organica nel sottovaglio che è stata assunta pari al 70%.

Per considerare le tendenze future, in mancanza di scenari ufficiali sulle strategie di gestione dei rifiuti, occorre analizzare lo stato dell'arte e valutare le possibili ipotesi di evoluzione. Dal 2005 al 2020 la quantità di rifiuti in discarica si è notevolmente ridotta (da circa 20 mln di tonnellate a meno di 9 mln). Inoltre i rifiuti hanno subito una sensibile variazione delle caratteristiche merceologiche con una riduzione stimata

della frazione organica di almeno il 50% e quindi un'importante riduzione della materia prima in grado di generare metano se in condizioni anaerobiche. Le stime sono state costruite in base a ipotesi conservative o ritenute in linea con gli andamenti attuali per cui la composizione merceologica dei rifiuti in discarica è uguale a quella applicata per gli ultimi 5 anni della serie storica in base ai dati più recenti e può essere ritenuta un'ipotesi conservativa in quanto l'andamento mostra chiaramente una ulteriore riduzione della sostanza organica nel materiale depositato. Analogamente, la frazione organica in discarica è stimata in base alla quantità pro capite dei rifiuti organici nel 2020 e la quantità di rifiuti speciali stimata per il 2030 è la media degli ultimi 10 anni (2010-2020). Altre ipotesi relative al ciclo dei rifiuti vedono la frazione secca da processi di selezione interamente a recupero energetico; la riduzione dei rifiuti da TMB (Trattamento Meccanico Biologico) che vanno direttamente in discarica per l'incremento della raccolta differenziata e per la riduzione dei rifiuti in discarica, mentre la raccolta differenziata nel 2030 è prevista all'80% dei rifiuti prodotti seguendo l'attuale tendenza di crescita. Infine, per la captazione del biogas si prevede il mantenimento dei livelli del 2020 con un'efficienza di captazione del 45% fino al 2030. Secondo queste ipotesi si stima una riduzione delle emissioni di metano da discarica al 2030 rispetto al 2020 di circa il 30%, passando da 14.3Mt a circa 9.9Mt. Una efficienza di captazione del 60% permetterebbe una riduzione delle emissioni di metano dalle discariche di circa il 47%. L'effettivo conseguimento dell'efficienza di captazione del 60%, sebbene compresa nell'intervallo riportato da Magnano (2010) che riferisce valori massimi nell'ordine del 70%, è tuttavia da verificare alla luce della fattibilità tecnica ed economica di questa opzione nella realtà nazionale.

3.2 Gestione acque reflue

In condizioni anossiche i batteri presenti nei reflui (strettamente anaerobi e/o anaerobi facoltativi) utilizzano l'ossigeno legato alle molecole dei composti organici disponibili nel mezzo liquido. Tali molecole sono attaccate e degradate (digestione anaerobica) dando luogo alla produzione di biogas e quindi di metano. Le condizioni anaerobiche possono instaurarsi sia all'interno dei sistemi di collettamento dei reflui che nell'impianto di trattamento. Inoltre, i fanghi biologici di depurazione e la sostanza organica contenuta nei liquami parzialmente depurati o non trattati, se dispersi nell'ambiente, possono andare incontro a degradazione anaerobica.

Le emissioni di metano sono strettamente connesse alle caratteristiche dei reflui e quindi alla quantità di sostanza organica presente nel liquame, alla modalità con la quale sono raccolti, trattati e scaricati nell'ambiente nonché alla temperatura che, se scende sotto i 15 °C, rende impossibile la metanogenesi da parte dei microrganismi dedicati.

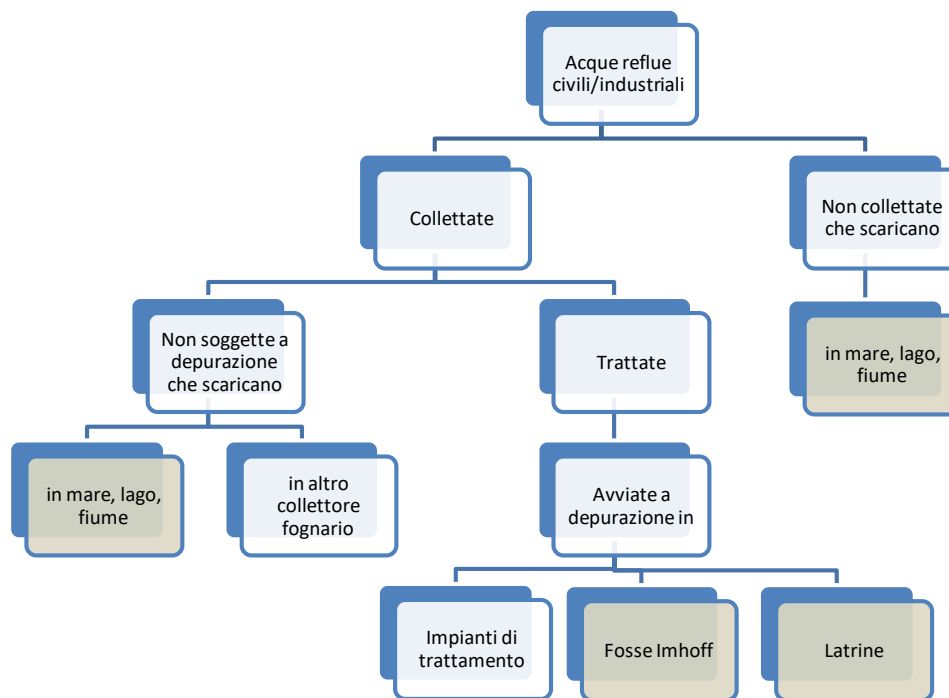
Le emissioni di metano sono stimate sia per le acque reflue civili che per quelle industriali. A tal proposito è importante specificare che per acque reflue civili si intendono liquami misti civili-industriali derivanti dall'attività strettamente domestica e da utenze di carattere commerciale/industriale, inserite in un contesto urbano. Le acque reflue derivanti da attività industriali hanno caratteristiche molto variabili e le grandi industrie in genere sono dotate di impianti propri di depurazione oppure sono organizzate in consorzi con impianti di depurazione che trattano prevalentemente i liquami derivanti da una specifica produzione in cui possono essere convogliate anche acque reflue civili, come nel caso degli impianti consortili nei distretti conciarci.

3.2.1 Emissioni di metano dai reflui civili

Nel 2020 il 99,9% della popolazione italiana risulta allacciata alla fognatura, mentre la quota di popolazione i cui reflui vengono, oltre che collettati in fognatura anche trattati in impianti di depurazione, si attesta sull'88%. Nel 1990 solo il 57% della popolazione era allacciata in fogna e il 52% trattata in impianti di depurazione (BLUE BOOK, anni vari; COVIRI, anni vari; ISTAT [d], [e], anni vari).

In Figura 3.7 è riportato lo schema di flusso delle acque reflue civili, evidenziando con il colore marrone il processo dove si hanno emissioni di CH₄.

Figura 3.7 – Schema di flusso della gestione delle acque reflue civili



I trattamenti depurativi ai quali vengono sottoposte le acque reflue possono essere distinti in trattamenti preliminari e primari che hanno lo scopo di eliminare parti grossolane, abrasive, oleose nonché i solidi sospesi totali, prevalentemente di natura organica, che comprometterebbero i trattamenti successivi (grigliatura, dissabbiatura, sedimentazione); trattamenti secondari, finalizzati all’abbattimento della sostanza organica, presente nei liquami in forma disciolta e colloidale, attraverso l’ossidazione da parte di microrganismi (trattamenti biologici); e infine, trattamenti terziari che hanno lo scopo di spingere ulteriormente la depurazione di un liquame rimuovendo nutrienti quali azoto e fosforo e altre sostanze poco biodegradabili che non sono state eliminate attraverso il metabolismo batterico.

Ai fini della stima delle emissioni di metano dal trattamento delle acque reflue civili si è assunto che nelle aree urbanizzate i reflui civili sono soggetti a trattamenti secondari, in impianti a fanghi attivi: la linea fanghi prevede la stabilizzazione del fango in digestori anaerobici, in impianti dotati di copertura fissa e recupero del biogas. Questo d’altronde è lo schema di processo più diffuso nel nostro Paese.

Nelle zone rurali, per piccole e isolate comunità, invece, le acque reflue vengono trattate in impianti caratterizzati da una notevole semplicità di funzionamento come le fosse settiche e le fosse Imhoff.

Le emissioni di CH₄ dal trattamento dei reflui civili vengono stimate a partire dalla popolazione, secondo la metodologia di stima indicata nelle Linee Guida 2006 dell’IPCC (IPCC, 2006). Per ogni categoria di urbanizzazione (grandi centri abitati o case sparse) e per tipologia di collettamento e trattamento (trattamento in impianto di depurazione o scarico diretto), le emissioni di metano si calcolano come differenza tra il carico organico totale presente nelle acque e il carico organico totale presente nei fanghi, che seguono poi un percorso di smaltimento proprio. A queste si sottrae il metano recuperato ed avviato a recupero energetico o bruciato in torcia. Per la metodologia dettagliata e le formule applicate si rimanda a quanto riportato nel National Inventory Report (NIR, 2022).

A partire dal1990 è stata stimata la popolazione secondo il seguente schema in modo da calcolare per ciascuna voce il corrispondente carico organico totale. La popolazione è stimata a partire da dati ISTAT (ISTAT, 1984; ISTAT, 1987; ISTAT, 1991; ISTAT, 1993; ISTAT [a], [b], 1998; ISTAT [d], [e], anni vari) ed è riportata, insieme agli altri parametri utili per le stime in Tabella 3.3.

Tabella 3.3 – Popolazione per categoria di urbanizzazione, copertura rete fognaria e copertura depurazione

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Popolazione residente totale	56,778,031	56,844,197	56,960,692	58,288,996	59,948,497	60,163,712	59,236,213
Copertura rete fognaria	57.0%	69.8%	86.0%	83.0%	90.1%	99.4%	99.5%
Copertura depurazione	51.9%	58.0%	60.0%	69.0%	76.1%	82.2%	88.2%
Popolazione in centri abitati	52,946,606	53,133,963	53,371,649	54,866,926	56,601,836	56,938,242	56,131,934
<i>non allacciata in fogna</i>	22,760,508	16,041,952	7,472,031	9,327,377	5,588,444	341,629	266,627
<i>allacciata alla fognatura:</i>	30,186,098	37,092,011	45,899,618	45,539,549	51,013,392	56,596,613	55,865,308
<i>agli impianti di depurazione</i>	15,678,370	21,507,269	27,539,771	31,422,289	38,829,926	46,500,707	49,276,645
<i>non soggetta a depurazione che sversa in mare/lago/fiume</i>	8,704,637	9,350,845	11,015,908	8,470,356	7,310,079	6,057,543	3,953,198
<i>non soggetta a depurazione che sversa altro collettore fognario</i>	5,803,091	6,233,897	7,343,939	5,646,904	4,873,386	4,038,362	2,635,465
Popolazione in case sparse	3,831,425	3,710,234	3,589,043	3,422,070	3,346,661	3,225,470	3,104,279
<i>non allacciata in fogna</i>	1,647,040	1,120,176	502,466	581,752	330,424	19,353	14,745
<i>allacciata alla fognatura:</i>	2,184,385	2,590,058	3,086,577	2,840,318	3,016,237	3,206,117	3,089,533
<i>dotata di fosse Imhoff</i>	421,363	646,771	844,908	467,531	634,796	966,830	1,174,169
<i>dotata di altri sistemi on-site</i>	1,763,023	1,943,287	2,241,669	2,372,787	2,381,441	2,239,287	1,915,365

La componente organica nei fanghi (S) è stata stimata pari alla metà del carico organico totale dei reflui trattati negli impianti a fanghi attivi, in accordo con la letteratura internazionale (Metcalf and Eddy, 1991) che riporta un range di riduzione dei solidi volatili nella digestione anaerobica di fanghi misti, primari e secondari, dal 45 al 60%.

In Tabella 3.4 è riportato il carico organico totale per categoria di urbanizzazione, tipologia di scarico e trattamento di depurazione.

Tabella 3.4 – Carico organico totale per categoria di urbanizzazione, tipologia di scarico e trattamento di depurazione (kg BOD/anno)

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Zone Urbanizzate							
Carico organico totale reflui non collettati	623,068,893	439,148,430	204,546,845	255,336,957	152,983,656	9,352,106	7,298,906
Carico organico totale reflui trattati in impianti a fanghi attivi	429,195,379	588,761,492	753,901,227	860,185,148	1,062,969,238	1,272,956,864	1,348,948,156
Carico organico totale fanghi (S)	214,597,690	294,380,746	376,950,614	430,092,574	531,484,619	636,478,432	674,474,078
Carico organico totale reflui non trattati sversati in mare/lago/fiume	238,289,438	255,979,387	301,560,491	231,875,996	200,113,421	165,825,245	108,218,782
Carico organico totale reflui non trattati sversati altro collettore fognario	158,859,625	170,652,925	201,040,327	154,583,998	133,408,947	110,550,164	72,145,855
Zone rurali							
Carico organico totale reflui non collettati	45,087,722	30,664,821	13,755,007	15,925,458	9,045,368	529,783	403,653
Carico organico totale reflui trattati in fosse Imhoff	11,534,800	17,705,346	23,129,348	12,798,671	17,377,535	26,466,960	32,142,872
Carico organico totale reflui trattati in fosse settiche/latrine	48,262,742	53,197,491	61,365,698	64,955,037	65,191,940	61,300,494	52,433,107

Il fattore di emissione EF_j per una determinata tipologia di trattamento o tipo di scarico è funzione del potenziale massimo di produzione di CH_4 moltiplicato per un fattore di correzione MCF (Methane Correction Factor):

$$EF_j = B_0 * MCF_j$$

dove B_0 è fissato dalle Linee Guida 2006 pari a 0.6 kg CH_4 /kg BOD e MCF dipende dal tipo di trattamento o scarico.

La quantità di metano recuperato (R) viene stimata sulla base della quantità di metano prodotto e successivamente captato, distinguendo tra metano avviato a recupero energetico e metano bruciato in torcia.

In Tabella 3.5 sono riportate le emissioni di CH_4 dalle acque reflue civili, in tonnellate, per gli anni di riferimento. Le emissioni mostrano una notevole riduzione dal 1990 al 2020 (-40.5%) a fronte di un incremento del carico organico totale nelle acque reflue trattate del 30% nello stesso periodo.

Tabella 3.5 – Emissioni di CH₄ dal trattamento delle acque reflue civili (t/anno)

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Zone Urbanizzate							
CH ₄ da reflui non collettati	37,384	26,349	12,273	15,320	9,179	561	438
CH ₄ da reflui trattati in impianti a fanghi attivi	6,438	8,831	11,309	12,903	15,945	19,094	20,234
CH ₄ da stabilizzazione fanghi	103,007	141,303	180,936	206,444	255,113	305,510	323,748
CH ₄ da reflui non trattati sversati in mare/lago/fiume	14,297	15,359	18,094	13,913	12,007	9,950	6,493
CH ₄ da reflui non trattati sversati altro collettore fognario	-	-	-	-	-	-	-
Zone rurali							
CH ₄ da reflui non collettati	2,705	1,840	825	956	543	32	24
CH ₄ da reflui trattati in fosse Imhoff	3,460	5,312	6,939	3,840	5,213	7,940	9,643
CH ₄ da reflui trattati in fosse settiche/latrine	2,896	3,192	3,682	3,897	3,912	3,678	3,146
CH₄ totale prodotto	170,187	202,186	234,058	257,273	301,912	346,765	363,726
CH ₄ recuperato	103,007	141,303	180,936	206,444	255,113	305,510	323,748
CH ₄ bruciato in torcia	103,007	140,583	179,473	205,802	250,613	285,108	302,042
CH ₄ avviato a recupero energetico	0	719	1,463	643	4,500	20,401	21,706
Emissioni totali di CH₄	67,180	60,883	53,122	50,829	46,799	41,255	39,978

I parametri che determinano l'andamento delle emissioni, tralasciando i fattori di default che potrebbero essere aggiornati in seguito a eventuali studi specifici nazionali sui parametri coinvolti nella stima (BOD, MCF, I, % di abbattimento carico organico nei fanghi), sono la popolazione, la copertura fognaria e quella di depurazione. Dal 1990 ad oggi le percentuali di copertura del sistema fognario e depurativo sono arrivate quasi al 100%, pertanto l'andamento delle emissioni è legato alle variazioni della popolazione ed un'ulteriore riduzione si potrebbe avere qualora, anche nelle zone a bassa densità abitativa si rinunciassero ai trattamenti depurativi semplificati, come le fosse settiche e le fosse Imhoff, verso altre forme di depurazione se tecnicamente fattibili.

Per quanto riguarda le proiezioni delle emissioni di metano provenienti dalla gestione delle acque reflue civili le emissioni di metano al 2030 sono stimate intorno a 36,400 tonnellate, con una riduzione del 9% circa rispetto al 2020. Tale diminuzione deriva, oltre che da uno scenario di decrescita della popolazione, anche dal raggiungimento di totale copertura del sistema fognario e depurativo sul territorio nazionale.

3.2.2 Emissioni di metano dai reflui industriali

Le emissioni di metano dai reflui industriali si attestano nel 2020 a 55,009 tonnellate. Si tratta delle emissioni derivanti dal trattamento anaerobico *in situ* delle acque reflue prodotte dall'industria che non sono assimilabili a quelle civili e data la variabilità delle caratteristiche necessitano di trattamenti *ad hoc* in impianti dedicati.

Ai fini della stima, a livello nazionale, si assume che l'85% delle acque reflue industriali siano trattate in sistemi aerobici e il restante 15% in sistemi anaerobici.

La metodologia usata per la stima delle emissioni di CH₄ è riportata nelle Linee Guida IPCC (2006) che si basa sulla stima del carico organico totale, espresso in kg COD/anno, per ciascuna tipologia di industria (j), moltiplicato per il fattore di emissione $EF_j = B_0 * MCF_j$, dove B_0 è fissato dalle Linee Guida ed è pari a 0.25 kg CH₄/kg COD e MCF è stato assunto pari a 1, per tutta la serie storica.

Per i settori industriali che generano cospicui volumi di acque reflue vengono raccolti annualmente i dati di produzione o, laddove mancante, il dato è stimato con l'indice ISTAT di produzione industriale (ISTAT [a], [b] e [c], anni vari; UP, anni vari; Assobirra, anni vari; Assocarta, anni vari; UNIC, anni vari). Il carico organico totale per ciascun settore industriale è calcolato moltiplicando la produzione annua (t/anno) per il quantitativo di acqua reflua generata per unità di prodotto (m³/t) e per il quantitativo di COD presente nelle acque di scarico (kg COD/m³). I dati sul quantitativo di refluo generato per tonnellata di prodotto e sulla concentrazione di COD allo scarico sono comunicati dalle associazioni industriali in pochi casi,

oppure sono valori di default indicati nelle Linee Guida IPCC (ANPA-FLORYS, 2000; ANPA-FLORYS, 2001; ANPA-ONR, 2001; Assobirra, anni vari; Assocarta, anni vari; IPCC, 1995 e 2006; UNIC, anni vari).

Nelle Tabelle 3.6-3.7 sono riportate le produzioni industriali annue e le relative emissioni di CH₄ dal trattamento dei reflui prodotti. Le emissioni di questa sorgente nel 2020 diminuiscono del 9.5% rispetto al livello registrato nel 1990, in linea con l'analoga diminuzione del carico organico totale nei reflui industriali.

Tabella 3.6 – Produzione industriale annua (kt/anno)

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Industria acciaio							
Produzione coke	6,356	5,185	4,504	4,574	4,110	1,977	1,444
Industria petrolifera							
Raffinerie	93,711	91,014	98,003	106,542	94,900	79,148	65,517
Industria chimica							
Chimica organica	9,000	9,000	9,000	9,000	9,000	9,000	9,000
Vernici	697	747	901	965	892	851	887
Materie plastiche e resine	3,052	3,450	3,875	3,143	2,850	2,506	2,303
Saponi e detergenti	1,424	1,712	2,257	2,181	2,167	2,204	2,136
Industria alimentare							
Frutta e ortaggi	1,624	1,378	1,573	1,683	1,877	1,912	1,793
Zucchero	1,682	1,483	1,552	1,622	444	252	218
Olio e grassi vegetali	3,551	3,601	3,903	4,098	5,044	4,014	4,262
Latte	10,341	11,158	11,558	12,090	12,154	12,194	13,643
Vino	5,521	5,620	5,409	5,057	4,673	4,470	4,880
Birra	1,215	1,199	1,258	1,280	1,281	1,429	1,700
Etanolo	268	232	206	161	115	103	151
Confezionamento carni	3,503	3,657	3,687	3,773	4,037	3,652	3,941
Confezionamento pesce	571	515	462	378	374	380	388
Industria cartaria							
Carta	6,180	7,485	9,131	9,999	9,087	8,800	8,500
Paste per carta	677	614	599	766	395	411	175
Industria tessile							
Tessuti (colorazione)	225	200	210	178	152	116	71
Filati (sbiancamento)	271	260	254	185	158	120	73
Industria conciaria							
Pelli conciate	m ² 173,700	183,839	200,115	157,891	136,982	123,643	97,284

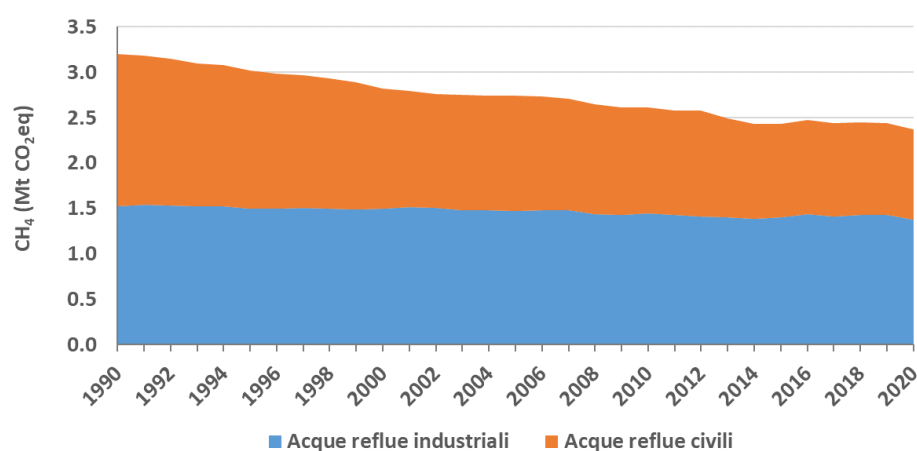
Tabella 3.7 – Emissioni di CH₄ per settore industriale (kt)

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Industria acciaio							
Produzione coke	0.036	0.029	0.025	0.026	0.023	0.011	0.008
Industria petrolifera							
Raffinerie	5.850	5.625	4.250	4.750	4.750	4.750	4.750
Industria chimica							
Chimica organica	22.613	22.613	22.613	22.613	22.613	22.613	22.613
Vernici	0.791	0.848	1.022	1.094	1.012	0.966	1.006
Materie plastiche e resine	0.254	0.287	0.323	0.262	0.237	0.209	0.192
Saponi e detergenti	0.136	0.164	0.216	0.209	0.207	0.211	0.204
Industria alimentare							
Frutta e ortaggi	6.335	5.372	6.135	6.565	7.320	7.459	6.991
Zucchero	0.631	0.556	0.582	0.608	0.167	0.095	0.082
Olio e grassi vegetali	0.495	0.502	0.544	0.572	0.704	0.560	0.595
Latte	4.052	4.372	4.529	4.737	4.763	4.778	5.346
Vino	0.157	0.160	0.154	0.144	0.133	0.127	0.139
Birra	0.925	0.913	0.957	0.974	0.697	0.777	0.723
Etanolo	2.654	2.299	2.035	1.594	1.140	1.017	1.491
Confezionamento carni	7.001	7.310	7.370	7.542	8.069	7.299	6.897
Confezionamento pesce	0.696	0.627	0.563	0.461	0.455	0.464	0.473

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Industria cartaria							
Carta	0.832	0.911	0.990	0.926	0.521	0.527	0.579
Paste per carta	0.091	0.075	0.065	0.071	0.023	0.025	0.012
Industria tessile							
Tessuti (colorazione)	0.506	0.451	0.473	0.401	0.342	0.260	0.159
Filati (sbiancamento)	3.561	3.414	3.336	2.430	2.071	1.574	0.963
Industria conciaria							
Pelli conciate	3.192	3.378	3.677	2.901	2.517	2.272	1.788
Emissioni Totali	60.81	59.91	59.86	58.88	57.76	55.99	55.01

La seguente figura illustra l'andamento delle emissioni di metano dal 1990 per le acque reflue civili e industriali. Il livello totale di emissioni si riduce dal 1990 al 2020 del 25.8% con il determinante contributo dei reflui civili.

Figura 3.8 – Emissioni di metano da gestione delle acque reflue.



In merito alle proiezioni al 2030 è possibile affermare che le emissioni di CH₄ da trattamento dei reflui industriali restano sostanzialmente costanti. Al 2030 è atteso un valore prossimo alla media registrata dal 2016 al 2019, derivante da un aumento della produzione industriale controbilanciata però da rendimenti depurativi con standard più elevati e minor consumo di acqua per i processi stessi e di conseguenza una minore produzione di acque reflue.

La riduzione stimata delle emissioni di metano per la gestione delle acque reflue (civili e industriali) nel 2030 è di circa l' 1.7% rispetto al livello del 2020.

4 ENERGIA: EMISSIONI FUGGITIVE

La Figura 4.1 illustra la quota di emissioni di metano dalle diverse sorgenti. È evidenziata la principale sorgente del settore energia per le emissioni fuggitive. Nel 2020 la filiera del gas naturale ha rappresentato il 7.2% delle emissioni nazionali di metano e il 79.5% delle emissioni fuggitive. È evidente la riduzione della quota emissiva della sorgente dal 1990 quando rappresentava il 16.7% delle emissioni nazionali di metano.

Figura 4.1 – Quota di emissioni di metano (Mt CO₂eq e %) nelle principali sorgenti del settore energia per le emissioni fuggitive negli anni indicati.

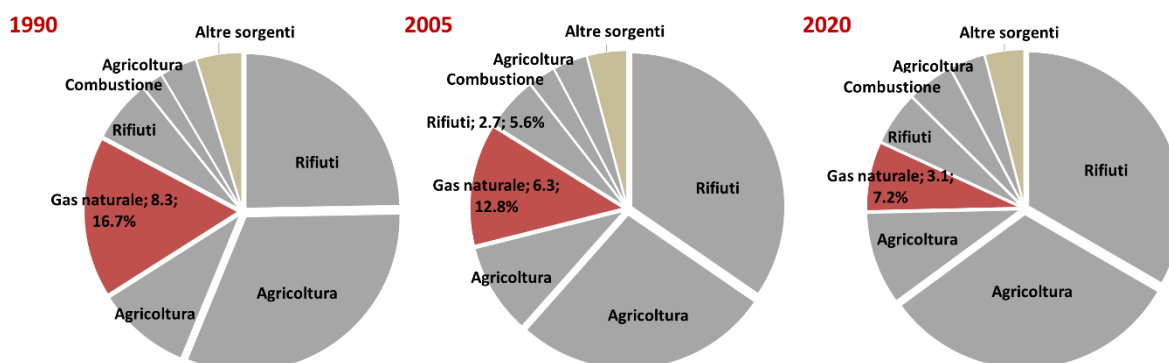


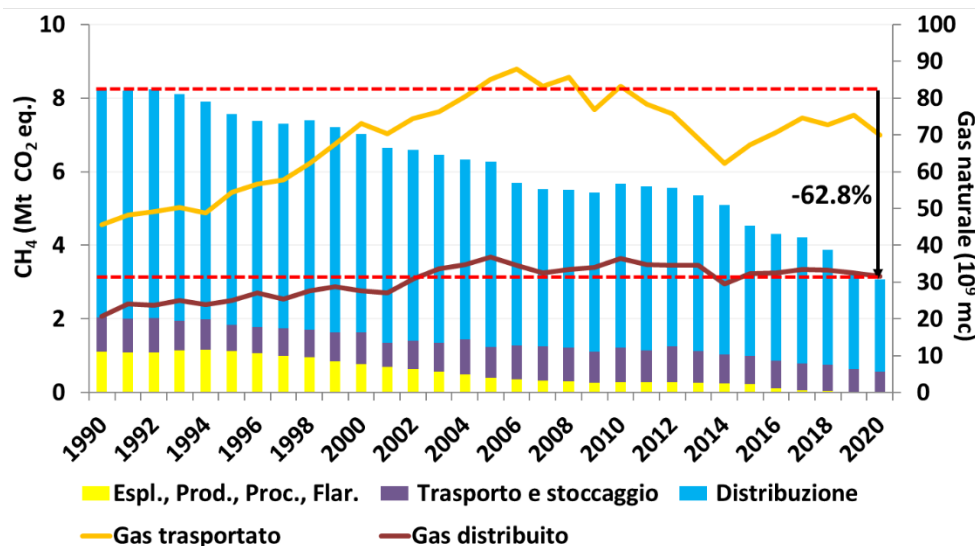
Tabella 4.1 – Emissioni di metano (kt CO₂eq) nelle sorgenti della filiera del gas naturale negli anni indicati.

Settore/sorgente	1990	2005	2020
1.B Emissioni fuggitive da combustibili	9058	7185	3871
1.B.2.b. Gas naturale	8236	6271	3073
1. Esplorazione	0	0	-
2. Produzione	746	271	13
3. Processing	334	121	6
4. Trasporto e stoccaggio	939	840	550
5. Distribuzione	6216	5039	2505
1.B.2.c. Flaring (gas naturale)	23	11	3

Il maggior dettaglio per le sorgenti della filiera del gas naturale mette in evidenza il ruolo prevalente del trasporto, stoccaggio e distribuzione. Quest'ultima sorgente è a sua volta il fattore chiave per le emissioni fuggitive della filiera. Le emissioni fuggitive della filiera si sono sensibilmente ridotte dal 1990 in seguito ai numerosi interventi di miglioramento della rete di trasporto e distribuzione. In particolare, fin dagli anni '90 si registra la sostituzione del materiale della rete di distribuzione caratterizzato da elevati fattori di emissione (ghisa grigia con giunti in canapa e piombo) con materiali caratterizzati da minori fughe. Inoltre, è sempre più estesa la rete in acciaio con protezione catodica efficace per la prevenzione della corrosione delle condotte (ARERA, 2020). Molti operatori della distribuzione hanno completamente sostituito i tratti di rete più vecchi con materiali altamente performanti quali acciaio e polietilene. Decisivo in tal senso è stato il ruolo dell'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA) che interviene sugli aspetti relativi alla sicurezza del trasporto e distribuzione di gas con evidenti benefici anche per gli aspetti ambientali in merito alle perdite in atmosfera di gas naturale. Va inoltre sottolineato l'interesse economico degli operatori a contenere le fughe di gas naturale. L'azione dei fattori menzionati ha comportato la riduzione delle emissioni di metano del 62.8% dal 1990 al 2020 nella filiera del gas naturale. Le emissioni passano da 8.3 Mt CO₂eq a 3.1 Mt CO₂eq a fronte di un incremento del gas trasportato e distribuito di oltre il 53% nello stesso periodo. Il gas distribuito è circa il 45% del gas totale immesso in rete. Il gas naturale distribuito soddisfa la domanda delle utenze del settore civile e della piccola industria, mentre le grandi utenze industriali sono direttamente servite dalla rete di trasporto. L'organizzazione della rete per la soddisfazione delle relative domande rappresenta un fattore di notevole importanza per la riduzione delle emissioni per unità di gas consumato complessivamente, come si vedrà in seguito.

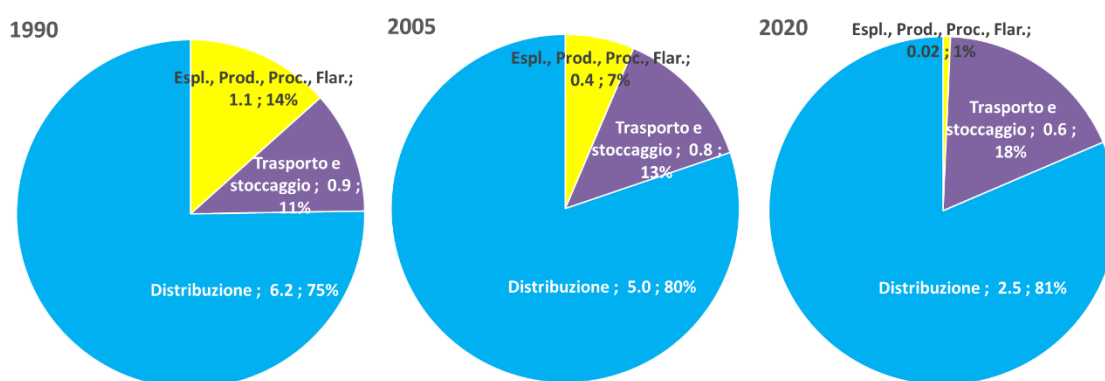
La Figura 4.2 mostra che le fasi della filiera inerenti all'estrazione del gas naturale riducono in maniera significativa la loro quota emissiva fino a divenire trascurabili negli ultimi anni (-98.1% dal 1990), in concomitanza con l'arresto delle attività di esplorazione e la forte contrazione delle attività di produzione. Le principali sorgenti, trasporto-stoccaggio e distribuzione, registrano riduzioni delle emissioni dal 1990 al 2020 rispettivamente del 41.4% e 59.7%. Nella sorgente trasporto-stoccaggio sono considerate le perdite per trasporto, stoccaggio e rigassificazione.

Figura 4.2 – Andamento delle emissioni di metano (Mt CO₂eq) nelle sorgenti della filiera del gas naturale e quantità di gas naturale trasportato e distribuito. Le linee rosse rappresentano le emissioni del 1990 e 2020.



La consistente riduzione delle emissioni dalle sorgenti relative alle fasi di produzione del gas naturale ha lasciato la quasi totalità delle emissioni della filiera nel 2020 a carico del trasporto-stoccaggio (17.9%) e della distribuzione (81.4%). La rilevanza emissiva della distribuzione fa di questa sorgente il principale obiettivo per futuri interventi di riduzione delle emissioni fuggitive.

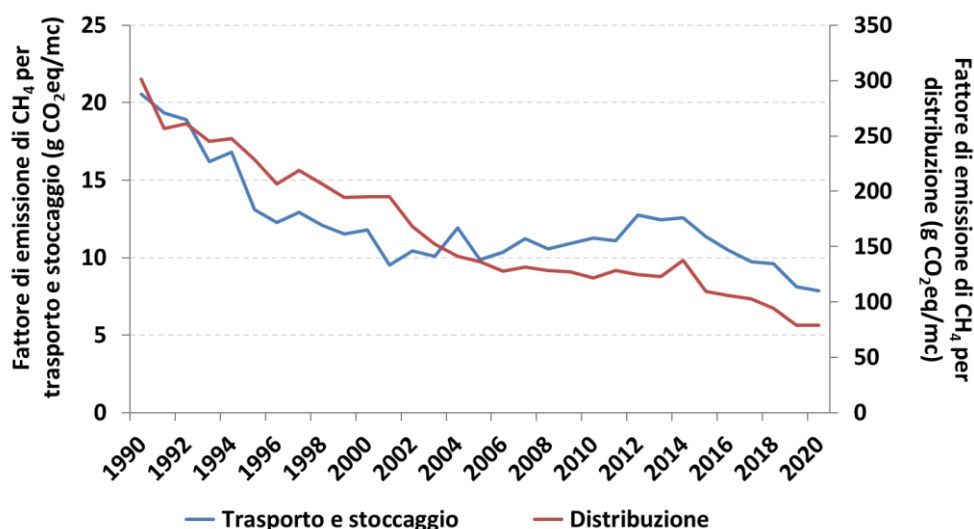
Figura 4.3 – Quota di emissioni fuggitive di metano (Mt CO₂eq e %) nelle sorgenti della filiera del gas naturale per gli anni indicati.



Di seguito è illustrato l'andamento dei fattori di emissione di metano, espressi in CO₂eq per unità di gas naturale movimentato dalle rispettive reti (Figura 4.4). I fattori di emissione mostrano una continua diminuzione, espressione del miglioramento delle prestazioni della rete di trasporto e di distribuzione. Il fattore di emissione per unità di gas servito nella sorgente trasporto-stoccaggio ha fatto registrare una riduzione del 61.8% dal 1990 al 2020, mentre per la distribuzione si registra una diminuzione del 73.7% nello stesso periodo. È inoltre importante notare che il fattore di emissione nella sorgente trasporto-

stoccaggio è circa un ordine di grandezza inferiore rispetto al fattore di emissione nella distribuzione, pertanto, come anticipato, l'assetto della rete per la soddisfazione delle domande di gas naturale è un fattore di cruciale importanza per la riduzione delle emissioni fuggitive nazionali nella filiera del gas naturale.

Figura 4.4 – Andamento dei fattori di emissioni di metano per unità di gas naturale (g CO₂eq/mc) nelle sorgenti di trasporto e stoccaggio (gas immesso in rete) e distribuzione (gas consumato dalla rete di distribuzione).

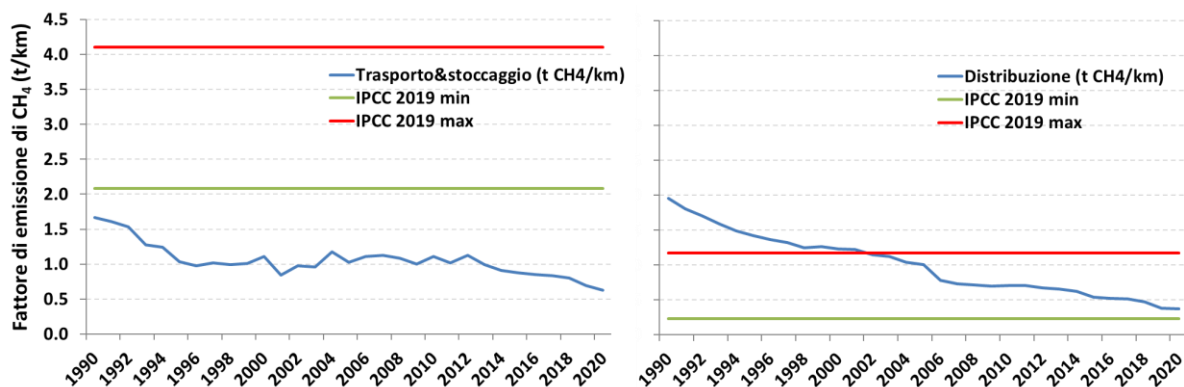


Nella Figura 4.5 sono illustrati gli andamenti dei fattori di emissione nazionali per unità di lunghezza della rete (Tabella 4.2). Nel grafico a sinistra il fattore di emissione di default delle linee guida IPCC 2019 riguarda solo il trasporto di gas naturale, mentre nel calcolo delle emissioni nazionali sono considerate anche le perdite dovute allo stoccaggio. La Figura 4.5 mostra che i fattori di emissione per trasporto e stoccaggio sono decisamente inferiori al valore minimo riportato nelle ultime linee guida di IPCC. Inoltre, va ricordato che nella filiera del trasporto e stoccaggio sono considerate le perdite da trasporto, stoccaggio e dai rigassificatori, mentre i fattori di emissione delle linee guida IPCC riportati sono relativi al solo trasporto. Per la distribuzione il fattore di emissione nazionale diventa inferiore al valore massimo delle linee guida dal 2002 e si avvicina costantemente al valore minimo. Nel 2020 il fattore di emissione nazionale per la distribuzione è circa il 60% maggiore rispetto al valore minimo delle linee guida IPCC.

Tabella 4.2 – Lunghezza della rete di trasmissione e distribuzione (km).

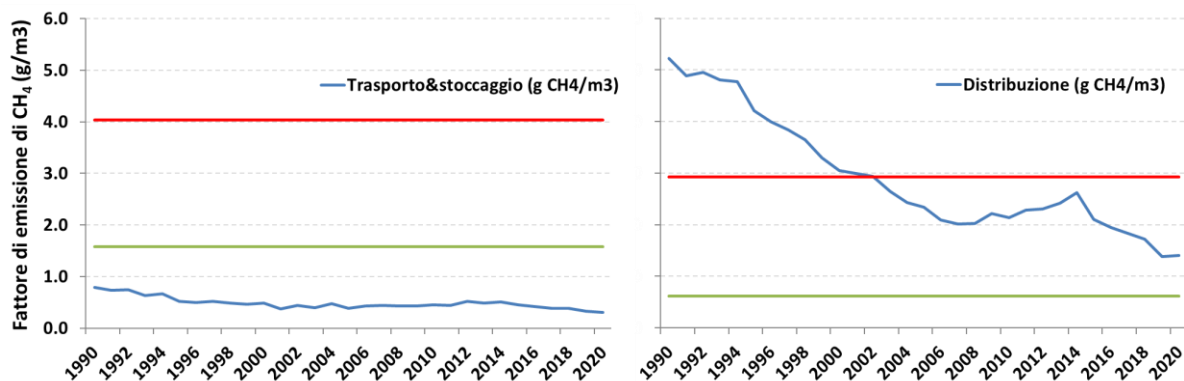
	1990	2000	2010	2020
Trasmissione	22,500	31,104	33,768	35,103
Distribuzione	127,000	175,712	253,027	269,959

Figura 4.5 – Andamento dei fattori di emissioni di metano per unità di lunghezza della rete (t/km) nelle sorgenti di trasporto e stoccaggio e distribuzione. I fattori nazionali sono confrontati con i fattori di emissione di default riportati nelle linee guida IPCC 2019.



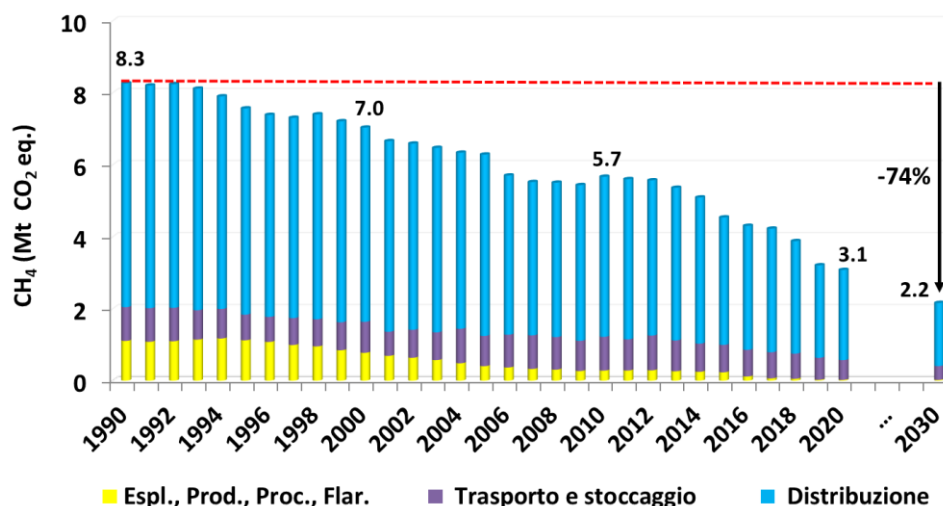
Il confronto dei fattori di emissione nazionali con le linee guida IPCC può essere effettuato anche per unità di gas naturale. Per tale fattore va tenuto presente che il volume di gas naturale cui fanno riferimento le linee guida non è quello in circolazione nelle rispettive reti bensì il gas naturale consumato a livello nazionale, ovvero il consumo interno lordo di gas naturale. Anche questo fattore di emissione mette in evidenza margini di miglioramento non trascurabili per la rete di distribuzione. Il fattore di emissione nazionale nel 2020, sebbene molto inferiore al livello massimo, è ancora 2.3 volte maggiore del livello minimo delle linee guida IPCC.

Figura 4.6 – Andamento dei fattori di emissioni di metano per unità di gas naturale consumato (g CH₄/m³) nelle sorgenti di trasporto e stoccaggio e distribuzione.



Applicando l'obiettivo del -30% rispetto al 2020 alle due principali sorgenti della filiera le emissioni di metano nel 2030 dovranno essere circa 2.2 Mt CO₂eq (-74% rispetto al 1990).

Figura 4.7 – Stima delle emissioni di metano per il 2030 (Mt CO₂eq) nella filiera del gas naturale applicando l'obiettivo del -30% rispetto ai livelli del 2030 alle sorgenti trasporto-stoccaggio e distribuzione.



La riduzione del 74% delle emissioni di metano dalla filiera del gas naturale nel 2030 rispetto al 1990 è compatibile con gli obiettivi individuati nel contesto delle tavole rotonde organizzate dagli Amici della Terra (AdT), in collaborazione con EDF (*Environmental Defense Fund*), che hanno coinvolto diversi operatori della filiera *gas & oil* e soggetti istituzionali, tra cui ARERA e ISPRA. A valle dell'iniziativa e nell'ambito degli eventi preparatori verso la COP26 selezionati dal Ministero della Transizione Ecologica, è stato presentato, nel settembre 2021, il documento *Indirizzi per una Strategia italiana di riduzione delle emissioni di metano dalla filiera del gas naturale* (di seguito "*Strategia AdT*"). La strategia, sottoscritta dai principali attori della filiera del gas naturale, propone obiettivi di riduzione delle emissioni fuggitive di metano dalla filiera del 72% nel 2030 rispetto al 1990 con obiettivi di riduzione del 65% nel trasporto e del 70% nella distribuzione. Tali obiettivi si traducono in una riduzione delle emissioni di metano dalla filiera del gas naturale nel 2030 pari al 28% rispetto al 2020, considerando le emissioni dalle altre sorgenti della filiera invariate rispetto al 2020. L'obiettivo considerato raggiungibile dagli operatori del settore è poco inferiore al -30% previsto dal *Global Methane Pledge* per le emissioni globali di metano.

Per fornire un elemento di stima dei consumi di gas naturale al 2030 è possibile fare riferimento al Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (AA.VV., 2019). Il Piano, redatto a fine 2019 e pubblicato a gennaio 2020, contiene proiezioni dei consumi nel 2020 inferiori a quelli successivamente consuntivati. Inoltre, dal momento dell'elaborazione del Piano gli obiettivi europei sono stati rivisti al rialzo con il Green Deal (l'obiettivo di riduzione delle emissioni serra a livello europeo per il 2030 è passato da -40% a -55%) e lo scenario energetico e geopolitico ha subito notevoli impatti, con la pandemia di SARS-CoV-2 nel 2020 e la guerra Russo-Ucraina nel 2022. I nuovi obiettivi stabiliti dal Green Deal sono da conseguire con una maggiore ambizione sul fronte delle energie rinnovabili e dell'efficienza energetica rispetto a quanto previsto dal PNIEC. Le azioni necessarie a valle del Green Deal sono state considerate nel Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza, inviato alla Commissione Europea nel 2021, che stabilisce un incremento della quota di consumi da fonti rinnovabili rispetto al PNIEC. La guerra Russo-Ucraina ha inoltre innescato a livello Europeo la volontà di una accelerazione sul fronte dei consumi energetici da fonti rinnovabili con il Piano REPowerEU (EC, 2022). A luglio 2021 la Commissione Europea ha proposto di innalzare l'obiettivo dei consumi finali da energia rinnovabile al 2030 dal precedente 32% al 40%. Attualmente la Commissione sta valutando di portare l'obiettivo al 45%.

Le proiezioni dei consumi energetici al 2030 previste dal PNIEC necessitano quindi di una revisione per tenere conto dei recenti eventi e delle misure intraprese a livello europeo per accelerare la transizione energetica che presumibilmente dovrebbe accelerare anche la riduzione dei consumi di gas naturale.

Tabella 4.3 – Consumo interno lordo di energia (ktep) per tipologia di combustibile. È riportato il consuntivo per il 2020 e, in azzurro, sono riportati i consumi previsti dal Piano Nazionale Integrato per l’Energia e il Clima per il 2020 e per il 2030 nello scenario con politiche correnti al momento della stesura del documento (Base) e con politiche aggiuntive (PNIEC).

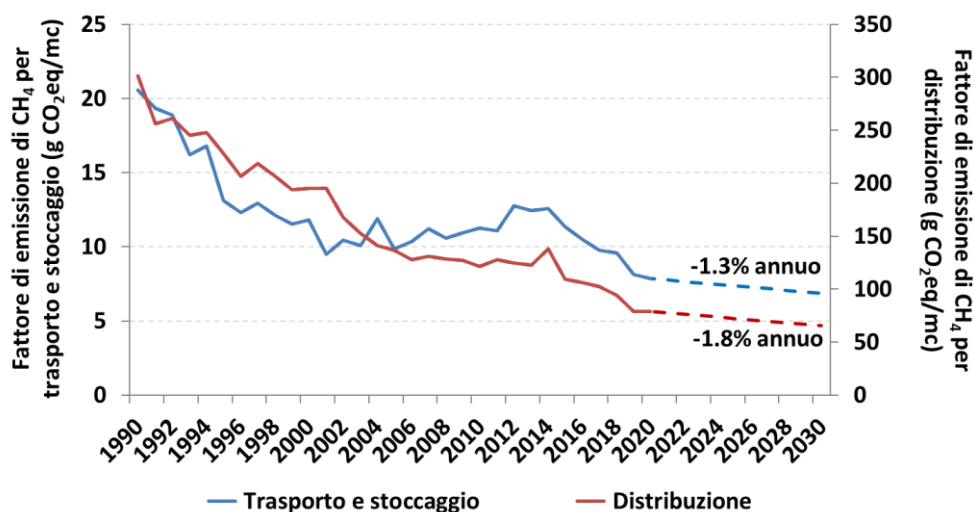
Consumo interno lordo	2020	2020 ^a	2030 BASE	2030 PNIEC
Solidi	5,095	11,640	8,390	2,812
Prodotti petroliferi	46,102 ^b	50,711	46,001	40,546
Gas Naturale	58,286	55,838	55,829	48,913
Energia elettrica	2,769	3,162	2,667	2,451
Rinnovabili	29,345	27,760	29,765	36,918
Totale	141,595	149,111	142,652	131,640

^a proiezioni per il 2020 al momento della stesura del Piano Nazionale Integrato per l’Energia e il Clima (dicembre 2019).

^b sono conteggiati anche i rifiuti non rinnovabili.

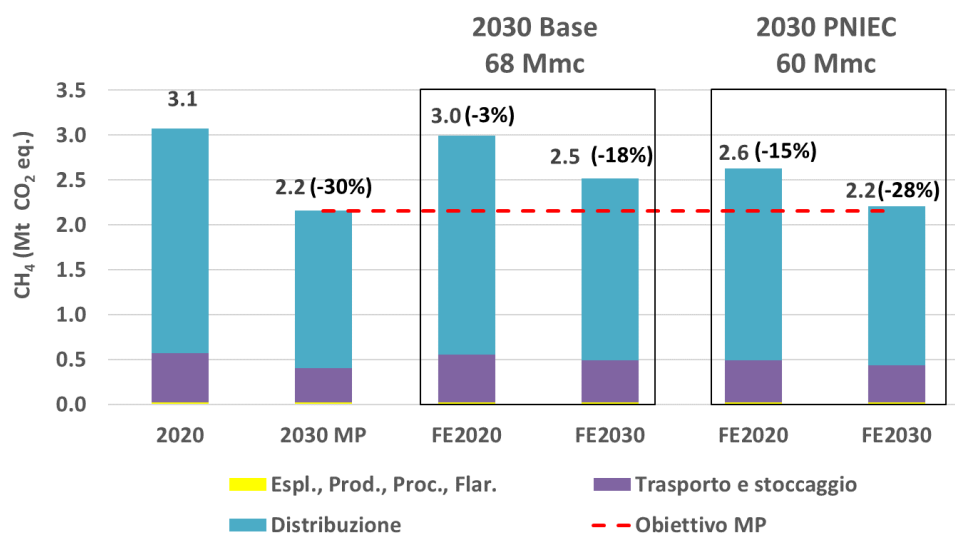
L’obiettivo stabilito nella strategia AdT (-28% delle emissioni di metano dalla filiera del gas naturale dal 2020 al 2030), dati i consumi di gas naturale previsti nello scenario PNIEC, è raggiungibile con la riduzione del fattore di emissione per volume di gas naturale ad un tasso annuo pari al 42% di quanto registrato dal 1990 per trasporto e stoccaggio (-1.3% annuo) e per la distribuzione (-1.8% annuo). Dal 1990 il fattore di emissione per unità di gas naturale nel trasporto e stoccaggio è diminuito con un tasso medio annuo di -3.2%, mentre per la distribuzione il tasso medio annuo è stato -4.4%. Negli ultimi 5 anni i tassi annui sono stati -7.1% per il trasporto e stoccaggio e -6.3% per la distribuzione.

Figura 4.8 – Tasso di riduzione del fattore di emissione stimato fino al 2030 per avere una riduzione del 30% rispetto al 2020 delle emissioni dalla filiera del gas naturale nello scenario di fattori invariati per la trasmissione e livelli di emissione invariati per le altre sorgenti.



Il seguente grafico riporta le emissioni fuggitive di metano al 2020 e nel 2030 secondo diversi scenari. Nei riquadri sono riportate le emissioni fuggitive stimate in relazione ai consumi di gas naturale previsti dagli scenari Base e PNIEC del Piano Nazionale Integrato per l’Energia e il Clima. Per ogni scenario sono state stimate le emissioni fuggitive di metano da trasporto-stoccaggio e distribuzione con i fattori di emissione del 2020 e con i fattori di emissione risultanti dalle proiezioni illustrate in Figura 4.8. Se i fattori di emissione restano invariati rispetto al 2020 l’obiettivo di riduzione non potrà essere raggiunto neanche nello scenario con misure (PNIEC), avendo una riduzione delle emissioni non inferiore a -15%. La riduzione delle emissioni fuggitive dalla filiera del gas naturale nell’ordine di grandezza previsto dal GMP è compatibile con una riduzione dei consumi di gas naturale e un ulteriore miglioramento delle prestazioni della rete nazionale di trasporto e distribuzione.

Figura 4.9 – Emissioni di metano al 2020 e secondo quanto previsto dal GMP al 2030 (-30%). Per il 2030 nei riquadri è riportata la stima delle emissioni di metano con i consumi di gas naturale previsti dal Piano Nazionale Integrato per l’Energia e il Clima negli scenari Base e PNIEC. Per ciascun scenario le emissioni per trasporto e distribuzione sono stimate con fattori di emissione del 2020 e con fattore di emissione al 2030 stimato secondo quanto riportato in Figura 4.8. Le emissioni dalle altre sorgenti sono uguali al 2020.



2020: emissioni al 2020;

2030 MP: emissioni al 2030 con -30% delle emissioni di metano rispetto al 2020;

FE 2020: consumi di GN al 2030 - scenario Base e PNIEC con fattori di emissione del 2020;

FE 2030: consumi di GN al 2030 - scenario Base e PNIEC con fattori di emissione stimati per raggiungere il -28% con consumi dello scenario PNIEC.

Quanto riportato finora si riferisce alle emissioni di gas serra sul territorio nazionale, come richiesto nel contesto della Convenzione quadro per i cambiamenti climatici (UNFCCC) e dalle linee guida per la redazione degli inventari nazionali dei gas serra. La proposta di Regolamento della Commissione Europea (EC, 2021) per ridurre le emissioni nella filiera dei combustibili fossili nel capitolo 5 pone attenzione alle emissioni di metano che avvengono al di fuori dell’Unione in relazione alle risorse energetiche importate. La proposta introduce un obbligo di informazione da parte degli importatori di combustibili fossili per quanto riguarda le emissioni di metano, un elenco di trasparenza delle società e dei paesi dell’Unione e delle società che esportano energia fossile nell’Unione, comprese informazioni sui loro obblighi internazionali di comunicazione per quanto riguarda le emissioni di metano e uno strumento di monitoraggio globale per divulgare l’entità, la ricorrenza e l’ubicazione degli emettitori di metano a livello globale.

L’elevata dipendenza energetica dell’Italia determina emissioni di metano fuori dal contesto nazionale che possono essere stimate con l’ausilio di dati disponibili in letteratura. Le stime fornite nel presente lavoro sono state elaborate sulla base della quantità di metano importata nel 2020, via gasdotto e dai terminali di rigassificazione del GNL, e sulla base dei fattori di emissione disponibili per le diverse fasi, dalla produzione all’ingresso sul territorio nazionale. La lunghezza dei gasdotti che arrivano in Italia è stata ricavata dai siti web delle diverse compagnie.

Tabella 4.4 – Lunghezza dei gasdotti e relativi punti di ingresso in Italia.

Ingresso	km	Gasdotti
Mazara del Vallo	6603	Trans-Saharan gas pipeline + Trans mediterranean
Gela	520	Greenstream
Tarvisio/Gorizia	4880	Gasdotto Russo-Ucraino + Trans Austria Gasleitung (TAG)
Passo Gries	793	Trans Europa Naturgas Pipeline + Transitgas
Melendugno	3402	Gasdotto sudcaucasico (SCP) + Gasdotto Trans-Anatolico (TANAP) + Trans Adriatic Pipeline (TAP)

I fattori di emissione per il gas importato via gasdotti sono di fonte IPCC (2019) per le fasi di produzione, processing e trasporto del gas naturale. Per il gas naturale liquefatto sono stati utilizzati i fattori di emissione desunti dal recente articolo di Roman-White *et al.* 2021, che riporta una dettagliata analisi delle emissioni di metano lungo la filiera del gas naturale liquefatto, dall'estrazione alla combustione in centrale. Ai fini del presente lavoro sono considerate le fasi fino al trasporto navale e consegna ai terminali di rigassificazione.

Di seguito sono riportati i fattori di emissione utilizzati per la stima delle emissioni di metano fuori dai confini nazionali per il gas naturale importato.

Tabella 4.5 – Fattori di emissione di metano per fase dalla produzione alla trasmissione fino all'ingresso in Italia e per il gas naturale liquefatto lungo le fasi dalla produzione alla consegna presso i terminali di rigassificazione.

Fase	Intervallo	Unità di misura
Produzione	2.54 – 4.09	t CH ₄ / Mm ³ GN prodotto onshore
	1.45 – 3.60	t CO ₂ / Mm ³ GN prodotto onshore
Processing	0.57 – 1.65	t CH ₄ / Mm ³ GN prodotto
	0.11 – 7.21	t CO ₂ / Mm ³ GN prodotto
Trasmissione	2.08 – 4.10	t CH ₄ / km gasdotto
	0.25 – 0.28	t CO ₂ / km gasdotto
	1.29 – 3.36	t CH ₄ / Mm ³ GN consumato
	0.15 – 0.23	t CO ₂ / Mm ³ GN consumato
LNG	6.48	t CH ₄ / Mm ³ LNG consegnato
	749.52	t CO ₂ / Mm ³ LNG consegnato

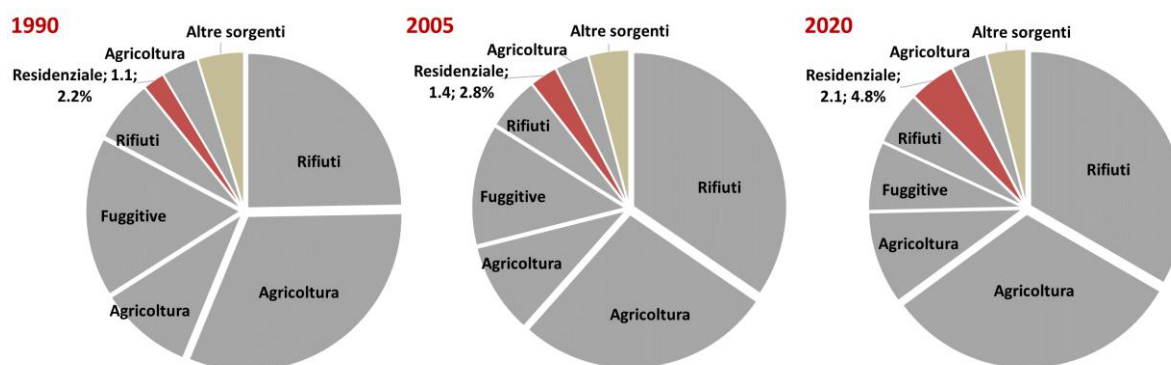
Una stima approssimativa delle emissioni di metano fuori dal territorio nazionale per il gas naturale importato nel 2020 va da 282 kt a 569 kt di CH₄, da 2.3 a 4.6 volte maggiore delle emissioni realizzate sul territorio nazionale. Le stime elaborate nel quadro metodologico descritto forniscono un ordine di grandezza delle emissioni extraterritoriali pur nella consapevolezza che la stima è suscettibile di grande incertezza. Tuttavia, con questo livello di analisi appare interessante la stima di emissioni di anidride carbonica perché di entità paragonabile alla stima delle emissioni di metano in termini di CO₂ equivalente con un GWP di 25 per il metano. Se le emissioni di metano stimate per il gas importato sono pari a 10,155±3,299 kt CO₂eq quelle di CO₂ sono pari a 9,831±285 kt CO₂eq, circa 50 volte maggiori delle emissioni nazionali nella filiera del gas naturale. Questa analisi preliminare delle emissioni extraterritoriali legate all'importazione di gas naturale mette in evidenza che le emissioni di CO₂ sono tutt'altro che trascurabili e che la valutazione dell'impatto emissivo dovuto all'utilizzo del gas naturale non può trascurare cosa avviene fuori dai confini nazionali.

Inoltre, il vantaggio emissivo del gas naturale rispetto agli altri combustibili fossili dipende fortemente dall'orizzonte temporale con cui si calcola il potenziale di riscaldamento dei gas serra. Considerando l'orizzonte temporale di 20 anni, per tenere conto del maggiore assorbimento di energia nel breve termine del metano, e considerando il ciclo di vita completo dei combustibili per la produzione termoelettrica le emissioni derivanti dall'uso di gas naturale possono essere superiori, dal 55% al 66%, a quelle dovute all'uso del carbone (ISSI, 2005; Gaudioso, 2022).

5 ENERGIA: COMBUSTIONE

La Figura 5.1 illustra le quote emissive dalle rispettive sorgenti. Sono evidenziate le principali sorgenti del settore energia per le emissioni da combustione. La sorgente relativa al settore residenziale rappresenta il 2.1% delle emissioni nazionali di metano e il 73.7% delle emissioni di metano dal settore 1A nel 2020.

Figura 5.1 – Quota di emissioni di metano (Mt CO₂eq) nelle principali sorgenti del settore energia per le emissioni da combustione negli anni indicati.



Nel 2020 il settore residenziale è la sorgente principale delle emissioni di metano dal settore della combustione con una quota in crescita dal 1990, quando contribuiva al 44.8% delle emissioni di metano, al 2020 con il 73.7%. Nel 1990 il settore dei trasporti contribuiva in maniera significativa (37% delle emissioni di metano) ma negli anni successivi il contributo di questa sorgente è diminuito costantemente fino ad arrivare al 5.9% nel 2020.

Le emissioni di gas serra nel settore residenziale sono originate dall'energia utilizzata direttamente negli edifici, principalmente per il riscaldamento. Nell'Inventario nazionale delle emissioni di gas serra tali emissioni sono riportate nelle sorgenti stazionarie. Il settore residenziale include anche le emissioni da veicoli e altri macchinari per usi domestici, come ad esempio i mezzi da giardinaggio.

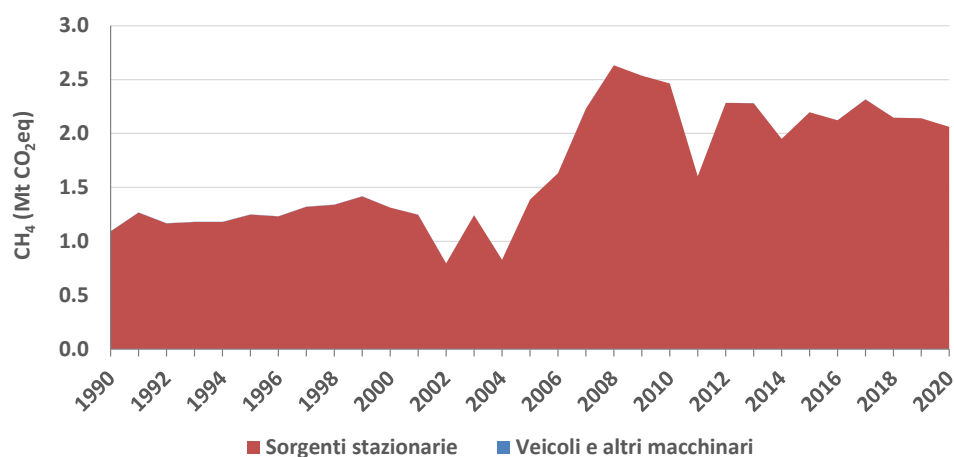
In Tabella 5.1 sono riportate le emissioni di metano per tipologia di combustibile. Le emissioni da sorgenti stazionarie rappresentano la quasi totalità delle emissioni di metano del settore, mentre le emissioni da veicoli e altri macchinari rappresentano una quota marginale che dal 1990 al 2020 è diminuita da 0.2% a 0.01%.

Tabella 5.1 – Emissioni di metano (kt CO₂eq) nelle sorgenti del settore residenziale per tipologia di combustibile negli anni indicati.

Sorgenti	1990	2005	2020
1.A. Combustione	2444	2301	2799
1.A.4 Altri settori	1141	1479	2238
b. Residenziale	1095	1388	2063
Liquidi	59	29	7
Solidi	10	1	-
Gas	30	49	42
Biomasse	996	1308	2014
1.A.4.b.i Sorgenti stazionarie	1092	1387	2063
Liquidi	57	28	7
Solidi	10	1	-
Gas	30	49	42
Biomasse	996	1308	2014
1.A.4.b.ii Veicoli e altri macchinari	2.2	0.7	0.2
Liquidi	2.2	0.7	0.2

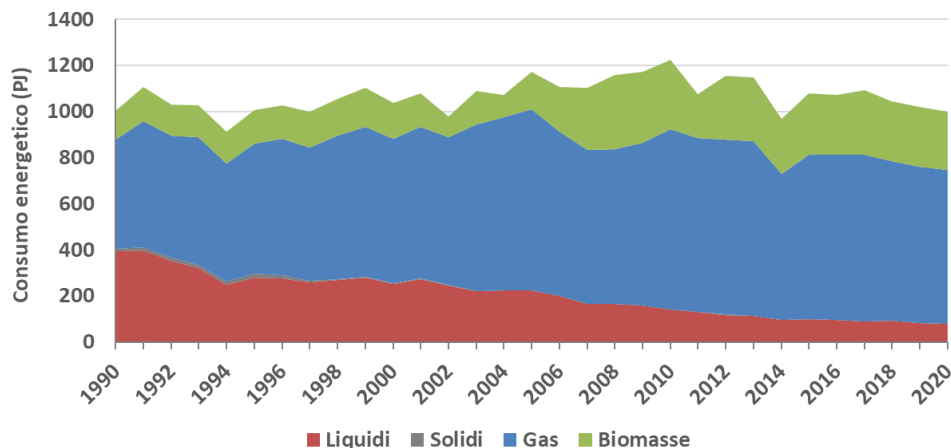
Nella Figura 5.2 è illustrato l'andamento delle emissioni di metano nel settore residenziale dal 1990 al 2020 che fanno registrare un incremento dell'88.5% a fronte di una riduzione del 17.9% delle emissioni di gas serra totali del settore. L'andamento delle emissioni segue la serie storica dei consumi di biomassa solida come stimati tra gli anni dal 1990 al 2020. I consumi di legna però non sono facilmente valutabili in quanto possono seguire diversi canali di approvvigionamento e anche perché non si tratta di un combustibile "misurabile" secondo metodologie *standard* stabilite per altri combustibili. Nel 2014 l'Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT) ha svolto un'indagine sui consumi energetici finali delle famiglie per il riscaldamento residenziale che comprendono i consumi di combustibili da biomasse solide, come legna e pellet (ISTAT, 2014). A questo proposito l'indagine ha prodotto una statistica ufficiale per il 2013 del consumo di legna e pellet a livello nazionale e regionale. Per la ricostruzione dei consumi degli anni precedenti è stato sviluppato un modello per stimare la quantità annua di legna per il riscaldamento sulla base della domanda annua di biomassa totale delle famiglie stimata considerando le serie storiche dei gradi giorno, il numero di famiglie, l'efficienza energetica delle apparecchiature e le statistiche sui consumi di combustibili per gli altri combustibili. La consistenza di tale serie storica potrà essere assicurata solo con il mantenimento della suddetta indagine con una frequenza minima di 3 anni ma al momento sono stati pubblicati i risultati preliminari dell'indagine relativa ai consumi del 2021.

Figura 5.2 – Emissioni di metano nel settore residenziale.



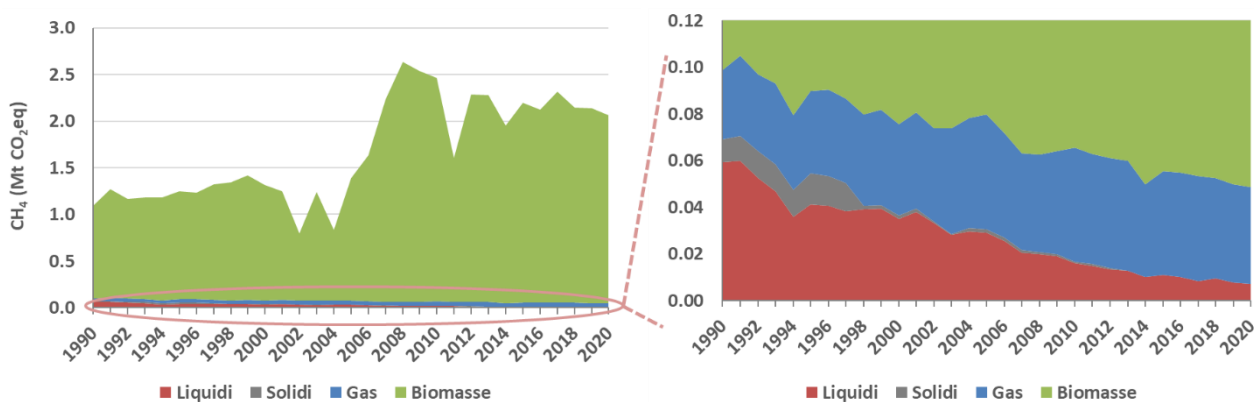
Il disaccoppiamento tra emissioni di metano ed emissioni degli altri gas serra è dovuto all'incremento della quota di energia da biomassa rispetto agli altri combustibili (Figura 5.3). A fronte di un consumo energetico del settore variabile intorno ad un valore medio senza un particolare andamento, la quota di consumo energetico da biomassa è aumentata, passando dalla media di 14.1% negli anni '90 alla media di 24.1% nell'ultimo decennio. La biomassa si riferisce essenzialmente al consumo di legna per uso termico le cui emissioni di anidride carbonica non vengono conteggiate poiché fanno parte di un ciclo chiuso, tra accumulo di carbonio dall'atmosfera per fotosintesi ed emissione per combustione, con bilancio emissivo nullo. La stessa cosa non vale per gli altri gas serra, come metano e protossido di azoto, le cui emissioni vengono conteggiate per tutti i combustibili.

Figura 5.3 – Consumo di energia per combustibile nel settore residenziale.



In Figura 5.4 sono mostrate le emissioni di metano per tipologia di combustibile ed è evidente che la quota emissiva dovuta alla biomassa pur essendo stata sempre prevalente è aumentata da 91% nel 1990 a 97.6% nel 2020. Gli altri combustibili contribuiscono con quote sempre minori. In particolare, dal 2013 le emissioni di metano da combustibili solidi non sono più presenti e la quota di emissioni di metano da combustibili liquidi mostra una costante diminuzione fino a rappresentare lo 0.3% nel 2020. Tra i combustibili fossili il gas naturale è il solo a mostrare una quota poco superiore al 2% sebbene inferiore nel 2020 (2%) rispetto al 1990 (2.7%).

Tabella 5.4 – Emissioni di metano per tipologia di combustibile nel settore residenziale (a sinistra). Nel grafico a destra è riportato l'ingrandimento dell'area contenuta nell'ellisse del precedente grafico.



I fattori di emissione di metano e protossido di azoto della biomassa per l'intera serie storica esaminata sono rispettivamente 320 e 14 kg/TJ, decisamente più elevati di quelli registrati per i combustibili fossili. Tuttavia, a differenza dei settori precedentemente esaminati, nel settore residenziale il contributo dell'anidride carbonica è determinante nel quadro complessivo delle emissioni di gas serra e costituisce mediamente circa il 95% delle emissioni di gas serra. Come emerge dai dati riportati in Tabella 5.2, i fattori di emissione della biomassa, espressi in CO₂eq, considerando quindi anche il contributo nullo della CO₂, sono inferiori a quelli dei combustibili fossili. Si sottolinea che il fattore di emissione della biomassa rimarrebbe inferiore a quello dei combustibili fossili se per il metano si usasse il GWP 85, invece di 25, per considerare gli effetti climateranti del metano nel periodo di 20 anni. Con il GWP a 20 anni il fattore di emissione della biomassa sarebbe 31.4 tCO₂eq/TJ.

Tabella 5.2 – Fattori di emissione medi ($\mu \pm \sigma$) dei gas serra per combustibile dal 1990 al 2020 nel settore residenziale.

Combustibili	CO ₂ (t / TJ)	CH ₄ (kg / TJ)	N ₂ O (kg / TJ)	CO ₂ eq (t / TJ)
Liquidi	71.2±1.1	5.1±0.8	2.0±0.0	72.0±1.1
Solidi	90.6±13.7	97.6±85.0	1.4±0.2	93.4±15.9
Gas	56.8±0.8	2.5±0.0	1.0±0.0	57.2±0.8
Biomasse	94.6±0.0*	320.0±0.0	14.0±0.0	12.2±0.0
Media del settore	49.2±4.3	62.3±18.4	3.6±0.7	51.9±5.0

* Le emissioni di CO₂ da biomassa non sono contabilizzate negli Inventari Nazionali delle emissioni di gas serra.

Con le attuali regole di contabilizzazione dei gas serra non sembra pertanto praticabile la variazione del mix di combustibili e riduzione del consumo di biomassa per ridurre le emissioni di metano da questo settore. A parità di consumi energetici la sostituzione della biomassa con i combustibili fossili a minore impatto emissivo, come il gas naturale, comporterebbe da un lato la riduzione delle emissioni di metano e protossido di azoto ma determinerebbe dall'altro lato il rilevante aumento delle emissioni complessive di gas serra.

Una strategia praticabile per ridurre le emissioni di metano del settore può essere l'elettificazione dei consumi energetici, ovvero l'utilizzo di dispositivi alimentati a energia elettrica per soddisfare il bisogno di riscaldamento, come le pompe di calore, in sostituzione del consumo di energia dai combustibili fossili. Nel 2020 la quota di consumi elettrici nel settore residenziale è stata del 18.6%, ben al di sotto della media di EU27 (24.7%) e, dopo Polonia (12.2%) e Romania (14.6%), il valore più basso tra i principali Paesi Europei (ISPRA, 2022[b]). L'incremento della quota di energia elettrica da fonti rinnovabili, nonché l'aumento dell'efficienza degli impianti di produzione elettrica, ha ridotto significativamente le emissioni di gas serra dal settore elettrico. Tale beneficio emissivo può riflettersi su altri settori solo attraverso l'adozione di misure indirizzate alla sostituzione dei combustibili con il vettore elettrico. Oltre all'elettificazione dei consumi va considerato anche il contributo del teleriscaldamento. L'incremento dei consumi di calore da teleriscaldamento a scapito dell'energia fornita direttamente dai combustibili rappresenta una efficace strategia di riduzione delle emissioni serra. La media europea (EU27) della quota di calore nei consumi finali del settore residenziale nel 2020 è stata dell'8.2% contro il 2.8% nazionale.

A scopo puramente dimostrativo è stata elaborata una stima molto semplificata della riduzione delle emissioni di gas serra con un incremento dei consumi di elettricità e calore nei consumi finali a parità di consumi totali registrati nel 2020. Le quote di elettificazione e di calore sono state incrementate di un ulteriore 3%, portandole rispettivamente a 21.6% e 5.8%. Per conservare la parità di consumi energetici la quantità addizionale di energia finale di elettricità e calore è stata sottratta interamente ad ognuno dei combustibili utilizzati. Si ricorda che dal 2013 non risultano consumi energetici da combustibili solidi nel settore.

La Tabella 5.3 mostra che la riduzione maggiore delle emissioni di metano, circa -30% rispetto al 2020, si avrebbe nel caso la quantità addizionale di energia elettrica e termica sostituisse una pari quantità di energia da biomassa. Tuttavia, in tale scenario si registrerebbe la minore riduzione dei gas serra totali (-2% rispetto al 2020). La riduzione maggiore dei gas serra totali si avrebbe nello scenario di sostituzione dei combustibili liquidi (-11.3%), sebbene non si registrerebbe una riduzione importante del metano (-0.3%).

Tabella 5.3 – Riduzione stimata delle emissioni di gas serra a parità di consumi energetici del 2020 con incremento della quota di consumi elettrici e di calore (21.6% e 5.8% rispettivamente dei consumi totali) negli scenari di sostituzione del 100% dei consumi per i rispettivi combustibili utilizzati nel 2020.

Gas serra	Combustibile sostituito		
	Liquidi (-100%)	Gas (-100%)	Biomasse (-100%)
CO ₂	-12.1%	-10.1%	0%
CH ₄	-0.3%	-0.2%	-29.8%
N ₂ O	-3.5%	-1.8%	-24.8%
CO ₂ eq	-11.3%	-9.4%	-2.0%

Il settore residenziale pone quindi un problema di ottimizzazione delle strategie di sostituzione dei combustibili per ottenere il migliore risultato in relazione ai diversi obiettivi di riduzione delle emissioni di gas serra da perseguire.

Nell'ipotesi di incremento della quota di consumi elettrici e consumi termici da teleriscaldamento in sostituzione del 50% dei consumi di biomassa e 50% dei consumi da prodotti petroliferi del 2020 la riduzione delle emissioni di metano sarebbe del 15.1%, mentre le emissioni totali di gas serra della sorgente si ridurrebbero del 6.7%.

6 CONTESTO INTERNAZIONALE

Il 17 settembre 2021 l'Unione Europea e gli Stati Uniti d'America hanno annunciato al *Major Economies Forum* il *Global Methane Pledge* (GMP) proposto a novembre alla COP 26 di Glasgow.

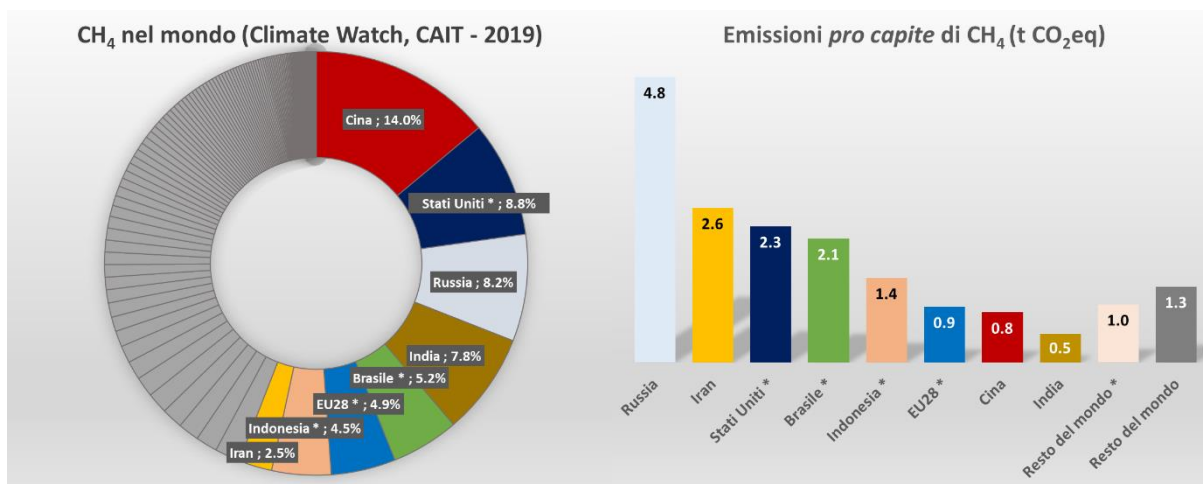
I partecipanti che aderiscono al GMP accettano di intraprendere azioni volontarie per contribuire alla riduzione delle emissioni globali di metano di almeno il 30% entro il 2030 rispetto ai livelli del 2020, il che potrebbe evitare il riscaldamento di oltre 0.2°C entro il 2050⁴. Si tratta di un obiettivo di riduzione globale, non nazionale, e i partecipanti si impegnano a procedere verso l'utilizzo delle metodologie di più elevato livello stabilite da IPCC per la redazione dell'inventario delle emissioni di gas serra, nonché a lavorare per migliorare continuamente l'accuratezza, la trasparenza, la coerenza, la comparabilità e la completezza delle relazioni sull'inventario nazionale dei gas a effetto serra ai sensi dell'UNFCCC e dell'accordo di Parigi e per fornire maggiore trasparenza nei settori chiave.

Fino al 19 settembre 2022 i Paesi partecipanti al GMP sono 122. Secondo le stime del *World Resources Institute*⁵ nel 2019 le emissioni di metano da questi Paesi, comprensive della sorgente LULUCF, rappresentano circa il 50% delle emissioni globali di metano, considerando le emissioni di EU28, sebbene diversi Stati europei non abbiano aderito alla proposta alla data indicata (Austria, Repubblica Ceca, Ungheria, Lettonia, Lituania, Polonia, Romania, Slovacchia).

Sempre secondo le stime del *World Resources Institute* tra i primi cinque emettitori di metano figurano Cina, Stati Uniti, Russia, India e Brasile che collettivamente hanno contribuito nel 2019 al 43.9% delle emissioni globali di metano. I 28 Stati europei hanno contribuito con quasi il 5%. L'Italia contribuisce a circa il 10% delle emissioni europee. I Paesi indicati nella seguente figura rappresentano il 55.9% delle emissioni globali di metano. Cina, Russia, India e Iran, con il 32.4% delle emissioni globali, non figurano tra i partecipanti al GMP.

Le emissioni *pro capite* cambiano l'ordine dei Paesi. La Cina ha emissioni pro capite inferiori a quelle europee e tra i primi emettitori figurano Russia, Iran e Stati Uniti.

Figura 6.1 – Emissioni totali e pro capite di metano dai principali Paesi con dati aggiornati al 2019. Il numero di abitanti è tratto dal database della Banca mondiale (anno 2019). * Hanno aderito al GMP a fine giugno 2022.



Nel 2020, in base ai dati riportati nei rispettivi inventari dei gas serra inviati a UNFCCC, le emissioni pro capite di metano, compreso il contributo delle sorgenti naturali è stato di 2.1 t CO₂eq negli Stati Uniti, 1.0 CO₂eq in EU28 e 0.7 CO₂eq in Italia.

⁴ <https://www.globalmethanepledge.org/>

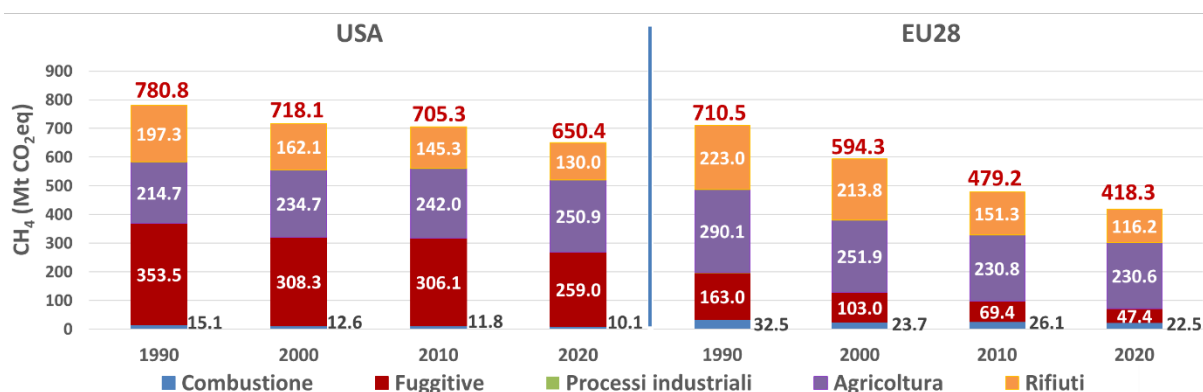
⁵ <https://www.climatewatchdata.org/>

Come già riportato i proponenti del GMP sono l'Unione Europea e gli Stati Uniti, è quindi opportuno concentrare l'attenzione sulle rispettive emissioni di metano fino al 2020 e sulla riduzione di tali emissioni per i diversi settori dal 1990.

Le emissioni totali di metano, al netto del contributo delle sorgenti naturali, in EU28 nel 2020 sono diminuite del 41,1% rispetto ai livelli del 1990, mentre per gli USA la percentuale di riduzione è 16,7%. Nel 1990 gli USA avevano il 10% di emissioni di metano in più rispetto a EU28, l'intervallo tra le due entità è cresciuto costantemente e nel 2020 le emissioni negli USA sono del 55% maggiori rispetto a quelle europee.

Nel 2020 la quota relativa delle diverse sorgenti in Europa è sovrapponibile a quella precedentemente vista per l'Italia, con l'agricoltura settore dominante (55,1%) seguito dai rifiuti (27,8%) e dalle fuggitive (11,3%). Negli USA le emissioni fuggitive rappresentano la sorgente dominante (39,8%), seguita dall'agricoltura (38,6%) e dal settore dei rifiuti (20%). La maggiore importanza delle emissioni fuggitive in USA è dovuta alla rilevanza delle attività estrattive di idrocarburi e alla riduzione delle emissioni rispetto ai livelli del 1990 molto inferiore rispetto a quella registrata in EU28 (-26,7% vs -70,9%)

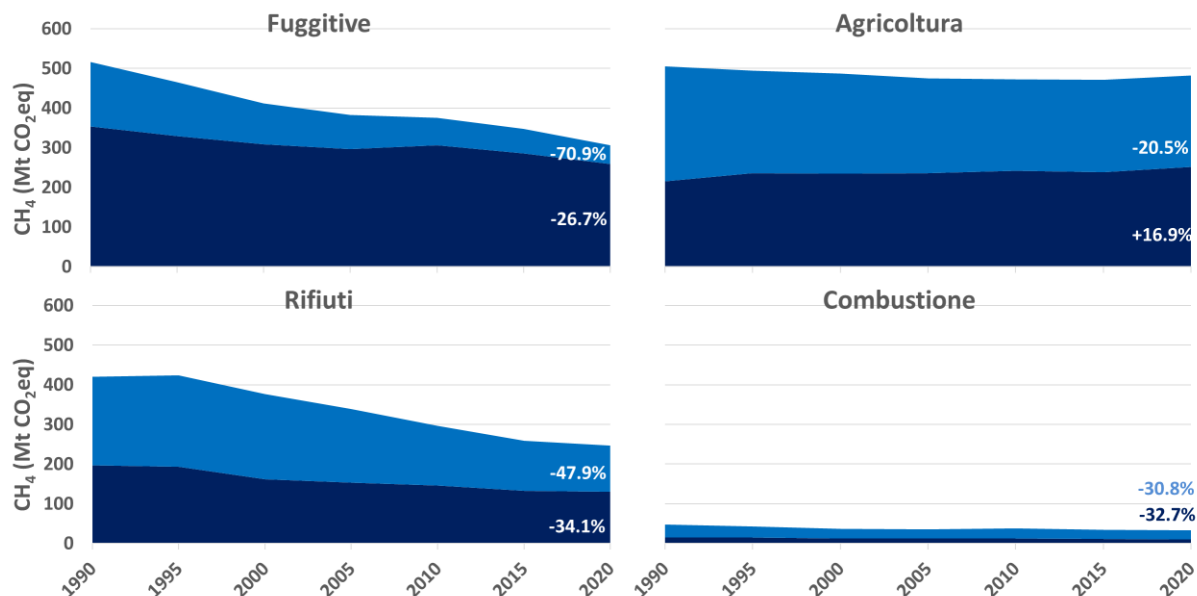
Figura 6.2 – Emissioni settoriali di metano in USA e EU28.



Nella Figura 6.3 è illustrato il confronto delle emissioni USA e EU28 per ognuno dei principali settori. Sono riportate le percentuali della variazione delle emissioni del 2020 rispetto al 1990. Le emissioni europee diminuiscono in tutti i settori con velocità maggiore di quella registrata per gli Stati Uniti, dove per alcuni settori, come l'agricoltura, si registra un sensibile incremento delle emissioni di metano (+16,9% in USA vs -20,5% in EU28). Come già menzionato le emissioni fuggitive, pur non rappresentando la componente dominante in Europa sono diminuite del 70,9% mentre negli USA, dove invece rappresentano la sorgente dominante, diminuiscono del 26,7%. Anche nel settore dei rifiuti si registra un tasso di riduzione delle emissioni europee più alto (-47,9%) di quello degli Stati Uniti (-34,1%). Le emissioni di metano incombusto hanno un ruolo di gran lunga inferiore ai settori menzionati e le percentuali di riduzione dal 1990 sono simili tra USA e EU28, rispettivamente 32,7% e 30,8%, sebbene i livelli emissivi in Europa siano approssimativamente il doppio di quelli statunitensi.

È importante notare che nel 1990 le emissioni europee di metano dai settori agricoltura e rifiuti avevano livelli superiori a quelli degli USA. Dopo il 2010 i livelli emissivi europei per questi settori diventano inferiori a quelli registrati negli USA.

Figura 6.3 – Emissioni settoriali di metano in USA e EU28.



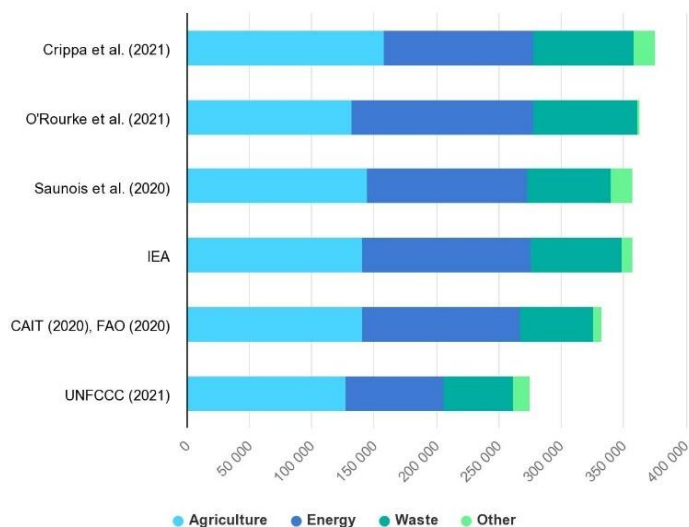
Come già riportato le emissioni considerate in questo rapporto sono quelle ufficialmente comunicate dai diversi Stati al segretariato delle Nazioni Unite per la Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC). Tuttavia, è necessario considerare che sul fronte delle emissioni di metano dal settore energetico l’Agenzia Internazionale dell’Energia (IEA) ha recentemente messo in evidenza l’urgenza di migliorare la qualità delle stime. Le stime di IEA per il settore energetico e per gli altri settori, pubblicate nel febbraio 2022 (*Global Methane Tracker 2022*), si basano sui più recenti studi scientifici disponibili e sulle campagne di misurazione, anche con l’ausilio dei dati satellitari.

IEA ha realizzato uno strumento informatico disponibile in rete (*Methane Tracker Data Explorer*) che consente di confrontare le emissioni di metano stimate per ogni Stato con le altre fonti di dati utilizzate, tra cui quelli comunicati a UNFCCC per gli inventari nazionali delle emissioni di gas serra. IEA pone particolare attenzione al settore energetico poiché questo settore è responsabile di circa 40% delle emissioni globali di metano, inoltre in questo settore sono disponibili le misure più convenienti per l’abbattimento delle emissioni, in particolare nelle filiere di petrolio e gas. Considerando il recente innalzamento dei prezzi del gas naturale, quasi tutte le opzioni per ridurre le emissioni in queste filiere potrebbero essere implementate senza alcun costo netto (IEA, 2022).

IEA mette in evidenza che ci sono sostanziali differenze tra i dati basati su campagne di monitoraggio e studi scientifici e le emissioni comunicate dagli organismi pubblici ufficiali (UNFCCC), che raramente fanno uso di misure dirette. I risultati del confronto tra emissioni riportate negli inventari nazionali trasmessi a UNFCCC e le stime IEA mostrano che questo squilibrio esiste sia a livello globale che nazionale e per tutte le fonti di emissioni. Con la maggiore disponibilità dei dati da monitoraggio diventa sempre più chiaro che quasi tutti gli inventari nazionali hanno sottostimato le emissioni di metano. Molti inventari, soprattutto dei Paesi non Annex I, non sono ancora abbastanza accurati da fornire un quadro chiaro delle emissioni. Anche le emissioni dichiarate per i singoli bacini, campi e impianti di produzione sono in genere inferiori a quelle osservate una volta che sono stati messi in atto campagne di monitoraggio e misurazione.

A livello globale, l’analisi di IEA rileva che le emissioni di metano dal settore energetico sono circa il 70% superiori alla somma delle stime presentate dai governi nazionali (Figura 6.4).

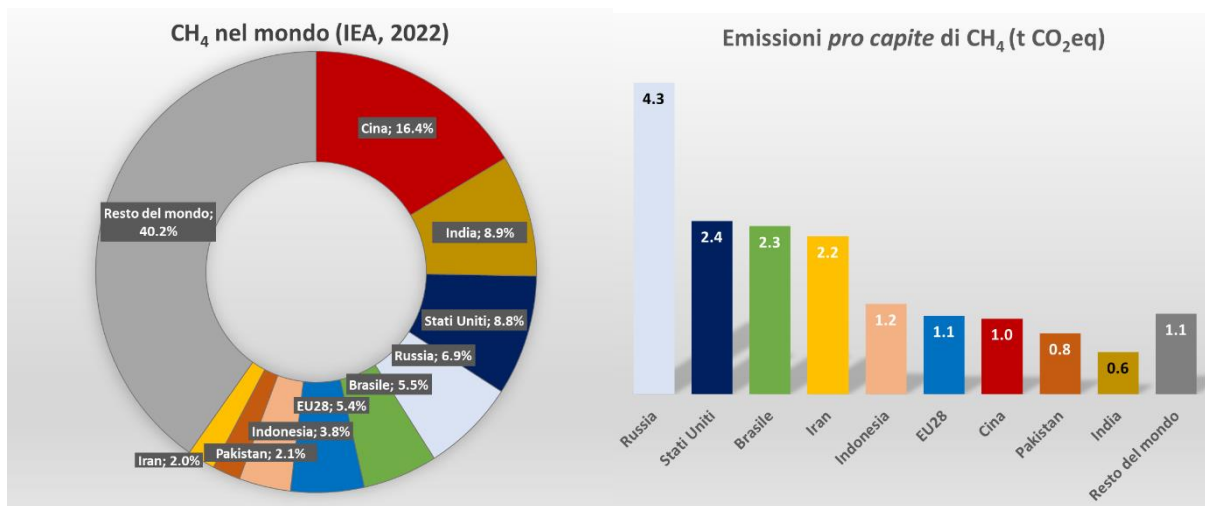
Figura 6.4 – Emissioni globali di metano (kt) per settore secondo diverse fonti (IEA, 2022).



Fonte: Agenzia Internazionale dell'Energia, 2022

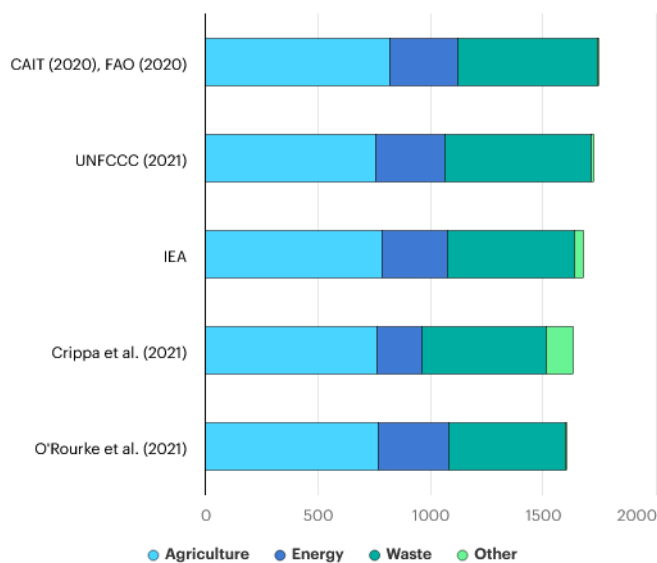
Il grafico già visto con i dati CAIT (Figura 6.1) è stato elaborato con i dati IEA (2022). I Paesi riportati in Figura 6.5 emettono il 59.8% delle emissioni globali di metano e rispetto al precedente grafico si notano variazioni importanti delle quote emissive dei diversi Paesi, senza modificare in maniera rilevante il numero di Paesi con maggiori emissioni.

Figura 6.5 – Emissioni totali e pro capite di metano dai principali Paesi (dati IEA, 2022). Il numero di abitanti è tratto dal database della Banca mondiale (anno 2020).



Il quadro generale elaborato da IEA va tuttavia declinato a livello di singole entità statali e nel seguente grafico si nota che le emissioni totali di metano stimate da IEA per l'Italia sono inferiori al dato riportato nell'Inventario nazionale del 2021 (Figura 6.6).

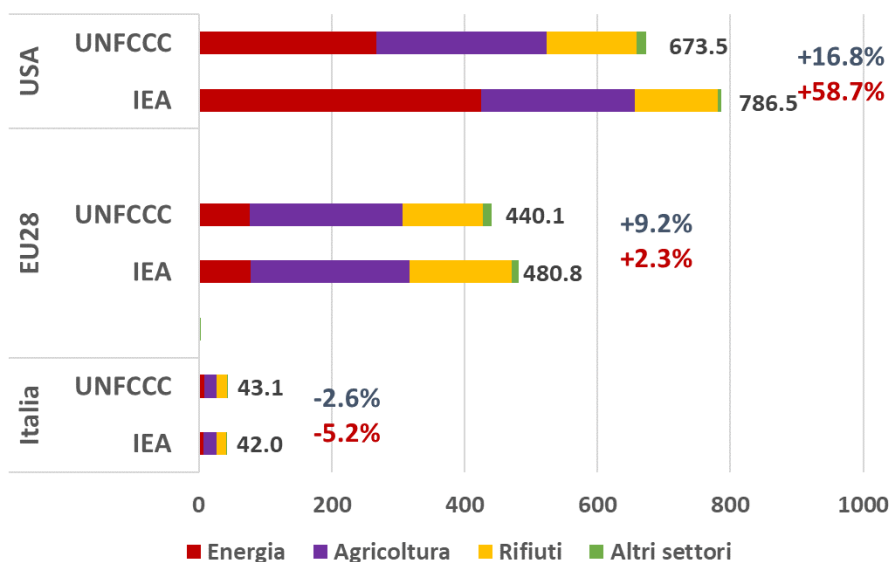
Figura 6.6 – Emissioni di metano (kt) per settore in Italia secondo diverse fonti (IEA, 2022). Le emissioni nazionali per la fonte UNFCCC sono relative all'anno 2019, trasmesse a UNFCCC nel 2021.



Fonte: Agenzia Internazionale dell'Energia, 2022

La Figura 6.7 riportata i confronti tra le stime di IEA e i rispettivi inventari per USA, EU28 e Italia per le emissioni settoriali di metano.

Figura 6.7 – Confronto tra le emissioni settoriali di metano stimate da IEA (2022) e negli inventari nazionali (UNFCCC, 2021; emissioni del 2019) negli USA, EU28 e Italia. È stato utilizzato il livello di aggregazione dei Paesi disponibile nel Methane Tracker Data Explorer di IEA. Le percentuali si riferiscono al surplus (+) o al deficit (-) delle stime IEA rispetto ai dati UNFCCC. In grigio sono riportate le percentuali delle emissioni totali e in rosso le percentuali delle emissioni dal settore energetico.

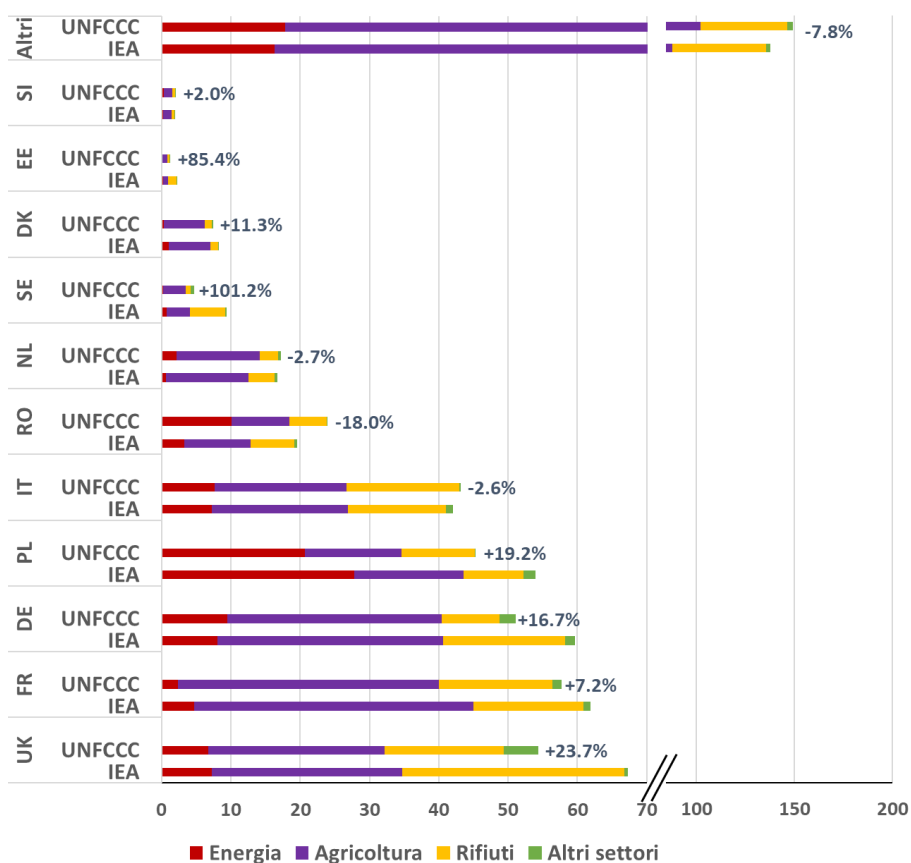


Le emissioni da UNFCCC utilizzate da IEA per i confronti sono relative all'anno 2019, trasmesse a UNFCCC nel 2021. Il grafico mostra che la differenza relativa delle emissioni totali di metano stimate per USA è più elevata di quella registrata per EU28 (+16.8% vs +9.2%). Per l'Italia si registra una sostanziale uguaglianza

tra le emissioni riportate nell'inventario nazionale e le stime IEA, con un deficit emissivo delle stime IEA di -2.6%. Nel settore energetico si registra per gli USA un notevole surplus emissivo tra stime IEA e inventario delle emissioni di gas serra (+58.7%) decisamente maggiore di quello registrato per EU28 (+2.3%). Per l'Italia il settore energetico il deficit emissivo delle stime IEA è -5.2%.

La Figura 6.8 illustra i dati visti per EU28 entrando nel dettaglio dei diversi Stati Europei. Sono state esaminate le entità territoriali disponibili nel *Methane Tracker Data Explorer* di IEA. Lo Stato con il maggiore surplus assoluto di emissioni rispetto all'Inventario nazionale è il Regno Unito (12.9 Mt CO₂eq; +23.7%), seguito da Polonia (8.7 Mt CO₂eq; +19.2%), Germania (8.6 Mt CO₂eq; +16.7%) e Svezia (4.7 Mt CO₂eq; +101.2%). I Paesi menzionati incidono per circa il 48% delle emissioni di metano a livello europeo, sono pertanto determinanti nel surplus emissivo registrato in EU28 da IEA rispetto all'inventario delle emissioni di gas serra.

Figura 6.8 – Confronto tra le emissioni settoriali di metano stimate da IEA (2022) e negli inventari nazionali (UNFCCC, 2021; emissioni del 2019) negli Stati Europei. È stato utilizzato il livello di aggregazione dei Paesi disponibile nel *Methane Tracker Data Explorer* di IEA. Le percentuali si riferiscono al surplus (+) o al deficit (-) delle stime IEA rispetto alle stime UNFCCC.



I dati illustrati in questo capitolo forniscono un quadro utile per orientare gli sforzi di riduzione delle emissioni di metano. Il GMP è un obiettivo globale e, sebbene i Paesi partecipanti si impegnino ad adottare azioni volontarie per ridurre le emissioni di metano, è ragionevole che i diversi Paesi contribuiscano agli sforzi per realizzare l'obiettivo considerando l'efficacia delle misure di riduzione in relazione ai costi e gli sforzi di riduzione che Paesi, come quelli Europei, hanno già messo in atto da molti anni.

CONCLUSIONI

L'attenzione degli organismi internazionali (UNEP, IPCC, IEA, EC) si è recentemente rivolta verso il metano in considerazione della necessità di adottare misure di contenimento delle emissioni che siano efficaci a breve termine per contenere l'innalzamento della temperatura globale.

Il metano è un potente gas serra secondo solo all'anidride carbonica in termini di contributo al riscaldamento globale (IPCC, 2021). Inoltre, ha un impatto climalterante 85 volte quello della CO₂ su un arco di 20 anni, con un tempo di permanenza in atmosfera di circa 10-15 anni. Questi dati forniscono fondamento alle misure di riduzione delle emissioni di metano da intraprendere nel breve termine per contrastare il riscaldamento globale.

In questo contesto si inserisce l'iniziativa del *Global Methane Pledge* (GMP), lanciata dall'Unione Europea e dagli Stati Uniti, che definisce un impegno per i partecipanti a intraprendere misure volontarie per ridurre del 30% le emissioni globali di metano in tutti i settori entro il 2030 rispetto ai livelli del 2020. Il GMP è stato lanciato alla Conferenza delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (COP 26) nel novembre 2021 a Glasgow e sottoscritto fino al 19 settembre 2022 da 122 Paesi.

Nessuna politica di mitigazione può prescindere dalla conoscenza delle sorgenti e dei livelli di emissione di metano. Sebbene a livello globale siano noti i settori che maggiormente contribuiscono alle emissioni di metano (UNEP, 2021; IEA, 2021), è necessaria la conoscenza della situazione a livello nazionale per supportare il decisore politico nell'adozione di misure che abbiano la massima efficacia possibile. Il principale scopo del presente rapporto è l'analisi delle sorgenti emissive di metano in Italia con l'obiettivo di individuare le sorgenti chiave, ovvero le sorgenti potenzialmente oggetto di misure mirate alla riduzione delle emissioni di metano.

I settori dell'agricoltura, dei rifiuti e dell'energia rappresentano le principali fonti di metano sia a livello globale che a livello nazionale, sebbene con quote decisamente differenti. A livello globale l'agricoltura rappresenta il 40%, i rifiuti il 20% e il settore energetico il 35% (UNEP, 2021). A livello europeo la quota di metano da agricoltura è più elevata, con il 53%, dai rifiuti si registra il 26% delle emissioni di metano e dall'energia il 19%. A livello nazionale le percentuali nel 2020 sono 45%, 39% e 16% rispettivamente per agricoltura, rifiuti ed energia. Il peso relativo delle emissioni dei settori orienta le misure di riduzione e la conoscenza delle singole sorgenti dei diversi settori consente di indirizzare in maniera ottimale gli interventi di mitigazione. L'individuazione delle principali sorgenti emissive per ciascun settore consente di concentrare l'attenzione sui parametri che regolano le emissioni da tali sorgenti. A tale scopo per ogni sorgente chiave è stato analizzato l'andamento delle emissioni dal 1990 al 2020 e i dati di attività che determinano le emissioni ed è stato stimato il potenziale di riduzione delle emissioni di metano al 2030.

A livello nazionale si registrano sette sorgenti principali, responsabili di quasi il 96% delle emissioni di metano nel 2020. Il settore dei rifiuti annovera due sorgenti chiave (smaltimento RSU e gestione delle acque reflue) con il 38.9% delle emissioni totali di metano, mentre il settore agricoltura ne annovera tre (fermentazione enterica, gestione degli effluenti e coltivazione del riso) con il 45% delle emissioni totali di metano nel 2020. Il settore energetico ha una sorgente per le emissioni fuggitive nella filiera del gas naturale e una per la combustione nel settore residenziale che contribuiscono rispettivamente con il 7.2% e 4.8% delle emissioni totali di metano. Le sorgenti menzionate, eccetto fermentazione enterica e residenziale, mostrano una tendenziale riduzione delle emissioni dal 2005.

Lo smaltimento dei rifiuti solidi urbani è la prima sorgente chiave con un terzo delle emissioni di metano del 2020, seguita dalla fermentazione enterica degli animali da allevamento con il 31.6%. Le prime due sorgenti sono quindi responsabili di quasi due terzi delle emissioni di metano con livelli simili a quelli registrati nel 1990 ma inferiori a quelli del 2005 (-8.3%).

In merito al potenziale di riduzione delle emissioni al 2030, nel comparto zootecnico del settore agricoltura si assume il miglioramento dei parametri relativi alla digeribilità della dieta delle vacche da latte, l'incremento delle deiezioni zootecniche negli impianti per la produzione di biogas e l'adozione di misure di contenimento delle emissioni fuggitive dalle varie componenti degli impianti. Per la coltivazione di riso si assume l'incremento della quota di superficie coltivata con la tecnica con il fattore di emissione inferiore. Tutti i restanti dati di attività del settore agricoltura si assumono invariati rispetto al 2020.

Per lo smaltimento dei rifiuti è stata elaborata la proiezione delle emissioni di metano al 2030 attraverso il modello di decadimento delle emissioni dalle discariche ipotizzando una quota di captazione del biogas invariata e la riduzione della quantità di rifiuti depositati. Per le acque reflue domestiche l'andamento è determinato dalla popolazione prevista in diminuzione, mentre per le acque reflue industriali la stima dipende dai livelli produttivi e dai consumi specifici di acqua.

Per le emissioni fuggitive è stato considerato l'obiettivo di riduzione del documento *Indirizzi per una Strategia italiana di riduzione delle emissioni di metano dalla filiera del gas naturale*, redatto a valle dell'iniziativa organizzata dagli Amici della Terra, in collaborazione con EDF (*Environmental Defense Fund*), che ha coinvolto diversi operatori della filiera gas & oil e soggetti istituzionali.

Per il settore residenziale nello scenario di consumi energetici totali invariati del 2020 è stato ipotizzato l'incremento della quota di consumi elettrici e consumi termici da teleriscaldamento in sostituzione del 50% dei consumi di biomassa e 50% dei consumi da prodotti petroliferi del 2020.

Le percentuali di riduzione stimate per ciascuna sorgente nel 2030 (Tabella 1) rappresentano il contributo al contenimento delle emissioni di metano nei rispettivi settori. Gli scenari considerati consentono di stimare una riduzione delle emissioni nazionali di metano di circa il 17% rispetto al valore registrato nel 2020, pari a circa 28% rispetto al livello del 2005.

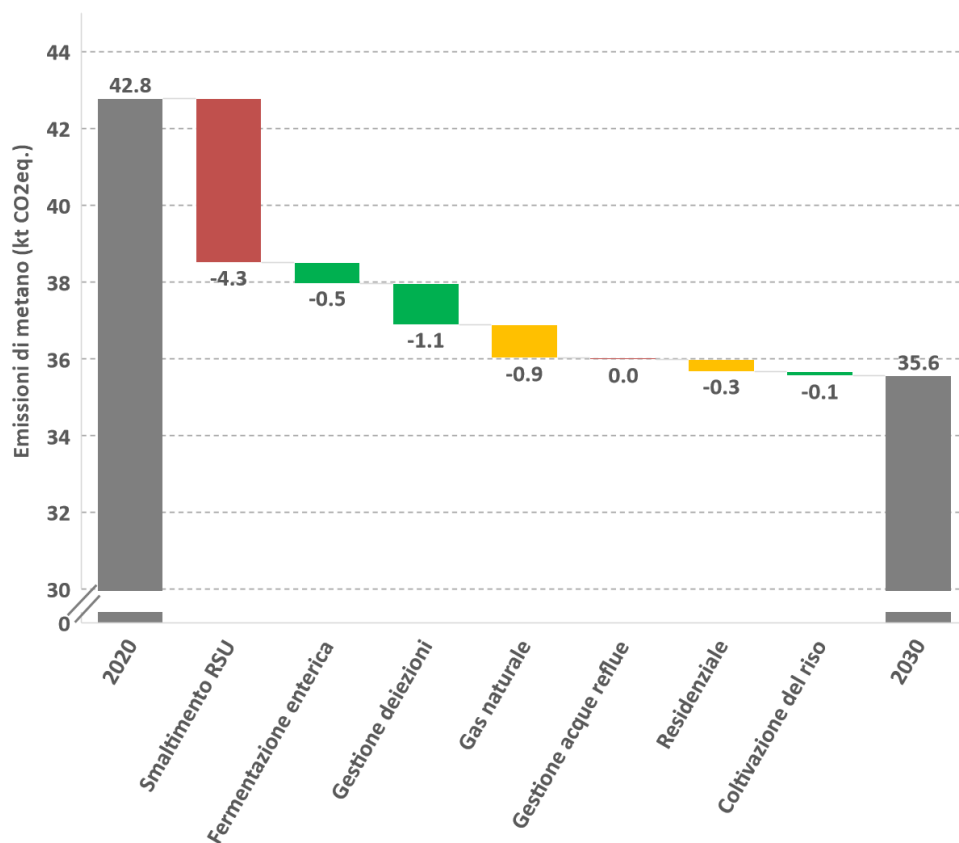
Tabella 1 – Schema riassuntivo della stima delle riduzioni di metano e di gas serra per sorgente e settore, percentuale di riduzione al 2030 rispetto al 2020. In parentesi è riportata la riduzione rispetto al 2005.

Settore	Sorgente	CH ₄ sorgente	CH ₄ settore
Agricoltura	Fermentazione enterica	≈ -4% (-2%)	≈ -9% (-11%)
	Gestione delle deiezioni	≈ -26% (-35%)	
	Coltivazione del riso	≈ -7% (-16%)	
Rifiuti	Smaltimento dei rifiuti solidi	≈ -30% (-41%)	≈ -26% (-37%)
	Gestione delle acque reflue	≈ -2% (-15%)	
Energia: emissioni fuggitive	Gas naturale	≈ -28% (-65%)	≈ -22% (-58%)
Energia: combustione	Residenziale	≈ -15% (+26%)	≈ -11% (+8%)
Altre sorgenti		0%	
Totale		≈ -17% (-28%)	

Tabella 2 – Schema riassuntivo della stima delle emissioni di metano nel 2005, 2020 e stime 2030 per sorgente.

Settore	Sorgente	kt CH ₄ (2005)	kt CH ₄ (2020)	kt CH ₄ (stima 2030)
Agricoltura	Fermentazione enterica	13.3	13.5	13.0
	Gestione delle deiezioni	4.7	4.1	3.1
	Coltivazione del riso	1.8	1.6	1.5
Rifiuti	Smaltimento dei rifiuti solidi	17	14.3	10.0
	Gestione delle acque reflue	2.7	2.4	2.3
Energia: emissioni fuggitive	Gas naturale	6.3	3.1	2.2
Energia: combustione	Residenziale	1.4	2.1	1.8
Altre sorgenti		2.1	1.7	1.7
Totale		49.2	42.8	35.6

Figura 1 – Rappresentazione grafica delle riduzioni stimate delle emissioni di metano per sorgente nel 2030 rispetto al 2020 (Rosso=rifiuti; verde=agricoltura; giallo=energia).



Le proiezioni disponibili con le politiche correnti al momento della stesura della Strategia Europea per la riduzione del metano (EC, 2020[a]) prevedevano una riduzione delle emissioni di metano a livello europeo del 29% entro il 2030 rispetto ai livelli del 2005.

Il documento di valutazione d'impatto del piano energia e clima 2030 rileva che il metano continuerà a essere dominante tra i gas serra diversi dalla CO₂. La riduzione delle emissioni di gas a effetto serra ad almeno il 55% entro il 2030 rispetto al 1990 richiederebbe quindi uno sforzo maggiore anche per ridurre le emissioni di metano, con proiezioni che indicano riduzioni che vanno dal 35% al 37% entro il 2030 rispetto al 2005. Le proiezioni del Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (AA.VV., 2019) con gli scenari a politiche correnti al momento della redazione del Piano e con misure aggiuntive permettono di stimare riduzioni delle emissioni di metano dal 21% al 23% entro il 2030 rispetto al 2005, e dal 11% al 14% rispetto al 2020 (dati 2020 aggiornati rispetto alle proiezioni del PNIEC), valori decisamente insufficienti per essere in linea con gli obiettivi europei e con gli obiettivi globali previsti dal *Global Methane Pledge*.

La stima della riduzione delle emissioni di metano al 2030 del 28% rispetto al 2005 mostra che, date le assunzioni considerate nel presente lavoro, per questo gas serra l'Italia è sotto l'intervallo di valori stimati dalla Commissione Europea nella strategia del metano (riduzioni di metano dal 35% al 37% entro il 2030 rispetto al 2005) per rispettare l'obiettivo del 55%. Per realizzare tali obiettivi e renderli realmente raggiungibili è opportuno che l'Italia predisponga una strategia nazionale allineata a quella europea e agli impegni internazionali sottoscritti dal Paese per ridurre le emissioni di metano dalle principali sorgenti emissive dei settori dei rifiuti, dell'agricoltura e dell'energia (Gaudioso, 2022). A tal proposito è utile sottolineare che, data la rilevanza delle emissioni di metano dalla sorgente dello smaltimento dei rifiuti, l'applicazione di misure mirate in questo settore, quali l'incremento dell'efficienza di captazione del biogas, possono essere decisive per il raggiungimento dell'obiettivo indicato dalla strategia europea. L'incremento dell'attuale efficienza di captazione del biogas, da 45% al 60% nel 2030, qualora applicabile alla realtà nazionale, permetterebbe una riduzione delle emissioni di metano dalle discariche di circa il 47% rispetto ai livelli del 2020. Tale riduzione comporterebbe una riduzione delle emissioni totali di

metano di circa il 23% rispetto al 2020 e di circa 33% rispetto al 2005, quota poco inferiore a quella stimata dalla Commissione Europea nella strategia del metano.

L'analisi del contesto internazionale mostra che le emissioni europee diminuiscono in tutti i settori con velocità maggiore di quella registrata per gli Stati Uniti, dove per alcuni settori, come l'agricoltura, si registra un sensibile incremento delle emissioni di metano dal 1990 al 2020 (+16.9% in USA vs -20.5% in EU28). Inoltre, le emissioni fuggitive per le quali sono disponibili misure di riduzione a costi negativi, negli USA rappresentano la sorgente dominante mentre in Europa costituiscono una sorgente minoritaria. In Europa queste emissioni sono diminuite del 70.9% dal 1990, mentre negli USA sono diminuite del 26.7%. Anche nel settore dei rifiuti si registra un tasso di riduzione delle emissioni europee più alto (-47.9%) di quello degli Stati Uniti (-34.1%). La struttura emissiva settoriale in Italia e in Europa è comparabile e molto lontana da quella statunitense.

Questi dati mostrano che la riduzione delle emissioni di metano in Europa e negli Stati Uniti, a partire dai livelli registrati nel 2020, possono avere efficacia e costi differenti in funzione del potenziale delle misure tecnologiche, che per settori come l'agricoltura è molto limitato, e dei costi delle misure, che per le emissioni fuggitive possono essere molto bassi o addirittura negativi (UNEP, 2021).

BIBLIOGRAFIA

AA.VV., 2019. Piano nazionale integrato per l'energia e il clima. Ministero dello Sviluppo Economico, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, dicembre 2019.

https://www.mise.gov.it/images/stories/documenti/PNIEC_finale_17012020.pdf (ultimo accesso 01/09/2022).

Amici della Terra, 2021. Indirizzi per una Strategia italiana di riduzione delle emissioni di metano dalla filiera del gas naturale. https://amicidellaterra.it/images/all4climate2021/Strategia_CH4.pdf (ultimo accesso (01/09/2022).

ANPA-FLORYS, 2000. Industria conciaria, Studio di settore. Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente.

ANPA-FLORYS, 2001. Industria della carta e cartone, Studio di settore. Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente.

ANPA-ONR, 2001. I rifiuti del comparto agro-alimentare, Studio di settore. Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente. Rapporto n. 11/2001.

Assobirra, anni vari. Rapporti Annuali e Dati Statistici. <http://www.assobirra.it>.

Assocarta, anni vari. Rapporto Ambientale dell'industria cartaria italiana. <http://www.assocarta.it>.

ATSDR, 2001. Landfill Gas Primer - An Overview for Environmental Health Professionals. Department of Health and Human Services Agency for Toxic Substances and Disease Registry Division of Health Assessment and Consultation. November 2001.

BLUE BOOK, anni vari. I dati sul Servizio Idrico Integrato in Italia. Utilitatis, Anea.

Climatewatch, 2022. Historical emissions. <https://www.climatewatchdata.org/> (ultimo accesso 23/03/2022).

Colombini S., Galassi G., Crovetto G. M., Rapetti L., 2012. Milk production, nitrogen balance, and fiber digestibility prediction of corn, whole plant grain sorghum, and forage sorghum silages in the dairy cow. *Journal of Dairy Science*, 95(8), 4457-4467.

Colucci P. E., Chase L. E., Van Soest P. J., 1982. Feed intake, apparent diet digestibility, and rate of particulate passage in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 65(8), 1445-1456.

COVIRI, anni vari. Relazione annuale al parlamento sullo stato dei servizi idrici. Autorità di vigilanza sulle risorse idriche e sui rifiuti.

CREA, 2017. Fornitura dati meteo-climatici georeferenziati nell'ambito della collaborazione CREA-AA/ISPRA. CREA - Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria Centro di ricerca Agricoltura e Ambiente (CREA-AA), delivery data mail 19/10/2017.

CRPA, 2018. Studio per la valutazione degli effetti sulle emissioni delle trasformazioni in corso nel settore degli allevamenti. Report. Reggio Emilia – Italy.

CRPA, 2022. Comunicazione personale, esperta di alimentazione animale del Centro Ricerche Produzioni Animali (CRPA), Maria Teresa Pacchioli.

EC, 2020[a]. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European economic and social Committee and the Committee of the regions on an EU strategy to reduce methane emissions. COM(2020) 663 final.

EC, 2020[b]. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European economic and social Committee and the Committee of the regions. A Farm to Fork Strategy for a fair, healthy and environmentally-friendly food system. COM(2020) 381 final.

-
- EC, 2021. Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on methane emissions reduction in the energy sector and amending Regulation (EU) 2019/942. COM(2021) 805 final.
- EC, 2022. REPowerEU: A plan to rapidly reduce dependence on Russian fossil fuels and fast forward the green transition. 18 May 2022.
- Enterisi, 2022. Comunicazione personale, responsabile del settore di agronomia e servizio assistenza tecnica Ente Nazionale Risi, Centro Ricerche sul Riso, Marco Romani.
- Fredin S. M., Akins M. S., Ferraretto L. F., Shaver R. D., 2015. Effects of corn-based diet starch content and neutral detergent fiber source on lactation performance, digestibility, and bacterial protein flow in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 98(1), 554-565.
- Gaudio D., 2022. Le emissioni di metano in Italia - Stime di emissione e priorità di intervento per la loro riduzione – giugno 2022. <https://www.wwf.it/cosa-facciamo/pubblicazioni/le-emissioni-di-metano-in-italia/> (ultimo accesso 01/09/2022).
- Gislon G., Bava L., Borreani G., Dal Prà A., Pacchioli M.T., Tabacco E., Sandrucci A., 2018. Greenhouse gas emissions associated to cattle milk production in northern Italy. *Italian Journal of Animal Science* 2018, Vol.18:s1, p.95.
- Hatew B., Podesta S. C., Van Laar H., Pellikaan W. F., Ellis J. L., Dijkstra J., Bannink A., 2015. Effects of dietary starch content and rate of fermentation on methane production in lactating dairy cows. *Journal of dairy science*, 98(1), 486-499.
- Hegarty RS, Cortez Passetti RA, Dittmer KM, Wang Y, Shelton S, Emmet-Booth J, Wollenberg E, McAllister T, Leahy S, Beauchemin K, Gurwick N., 2021. An evaluation of emerging feed additives to reduce methane emissions from livestock. Edition 1. A report coordinated by Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS) and the New Zealand Agricultural Greenhouse Gas Research Centre (NZAGRC) initiative of the Global Research Alliance (GRA).
- Global Methane Pledge, 2021. <https://www.globalmethanepledge.org/> (ultimo accesso, 01/09/2022).
- IEA, 2021. Driving Down Methane Leaks from the Oil and Gas Industry. A regulatory roadmap and toolkit. France. <https://www.iea.org/reports/driving-down-methane-leaks-from-the-oil-and-gas-industry> (ultimo accesso 01/09/2022).
- IEA, 2022. Global methane tracker 2022. France. <https://www.iea.org/reports/global-methane-tracker-2022> (ultimo accesso 01/09/2022).
- IPCC, 1995. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Emission Inventories. Three volumes: Reference Manual, Reporting Manual, Reporting Workbook. IPCC/OECD/IEA. IPCC WG1 Technical Support Unit, Hadley Centre, Meteorological Centre, Meteorological Office, Bracknell, UK.
- IPCC, 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngariza T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.
- IPCC, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- IPCC, 2019. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). Published: IPCC, Switzerland.
- IPCC, 2021. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- IPCC, 2022. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A.

Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.

ISPRA, 2018. Update of CH₄ emission from landfills. Technical note n.1/2018.

ISPRA, 2022[a]. Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2020. National Inventory Report 2022. Rapporti 360/2022.

ISPRA, 2022[b]. Efficiency and decarbonization indicators for total energy consumption and power sector. Comparison among Italy and the biggest European countries. Rapporti 366/2022.

ISSI, 2005. Rapporto Gas - Aspetti ambientali del ciclo del gas naturale, "Riprendere la strada per Kyoto: il ruolo del gas naturale", Seminario nazionale - Roma 6 luglio 2005, Revisione dicembre 2005. https://www.qualenergia.it/sites/default/files/articolo-doc/Fo_Gas_05_ISSI_Aspetti_ambientali2005.pdf (ultimo accesso 01/09/2022).

ISTAT, 1984. Statistiche ambientali 1984. Istituto nazionale di statistica.

ISTAT, 1987. Approvvigionamento idrico, fognature e impianti di depurazione in Italia – anno 1987. Collana d'informazione n. 20, ed. 1991.

ISTAT, 1991. Statistiche ambientali 1991. Istituto nazionale di statistica.

ISTAT, 1993. Statistiche ambientali 1993. Istituto nazionale di statistica.

ISTAT, 1998 [a]. Il processo di depurazione e la qualità delle acque reflue urbane. Indagine sugli impianti di depurazione delle acque reflue urbane, anno 1993. Istituto nazionale di statistica.

ISTAT, 1998 [b]. Caratteristiche strutturali degli impianti di depurazione delle acque reflue urbane. Indagine sugli impianti di depurazione delle acque reflue urbane, anno 1993. Istituto nazionale di statistica.

ISTAT, anni vari [a]. Annuario Statistico. Istituto Nazionale di Statistica.

ISTAT, anni vari [b]. Bollettino mensile di statistica. Istituto Nazionale di Statistica.

ISTAT, anni vari [c]. Banche dati ISTAT, <http://www.istat.it/it/prodotti/banche-dati>.

ISTAT, anni vsri [d]. Sistema di Indagini sulle Acque, SIA. Istituto nazionale di statistica.

ISTAT, anni vari [e]. Censimento delle acque per uso civile. Istituto nazionale di statistica.

ISTAT, 2014. I consumi energetici delle famiglie, 2013. Nota metodologica. Istituto Nazionale di Statistica.

Liebetrau J., Reinelt T., Agostini A., Linke B., Murphy J. D., 2017. Methane emissions from biogas plants. Golden, CO, USA: IEA bioenergy.

Magnano E., 2010. Biogas da discarica. Manuale di progettazione, gestione, e monitoraggio degli impianti. Ed. EPC.

Metcalf and Eddy, 1991. Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse. Mc Graw Hill, third edition.

Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza, #NextGenerationItalia, 2021. <https://www.governo.it/sites/governo.it/files/PNRR.pdf> (ultimo accesso 18/07/2022).

Pirondini M., Colombini S., Mele M., Malagutti L., Rapetti L., Galassi G., & Crovetto G. M., 2015[a]. Effect of dietary starch concentration and fish oil supplementation on milk yield and composition, diet digestibility, and methane emissions in lactating dairy cows. Journal of dairy science, 98(1), 357-372.

Pirondini M., Colombini S., Malagutti L., Rapetti L., Galassi G., Zanchi R., & Crovetto G. M., 2015[b]. Effects of a selection of additives on in vitro ruminal methanogenesis and in situ and in vivo NDF digestibility. *Animal Science Journal*, 86(1), 59-68.

Roman-White S.A., Littlefield J.A., Fleury K.G., Allen D.T., Balcombe P., Konschnik K.E., Ewing J., Ross G.B. e George F., 2021. LNG Supply Chains: A Supplier-Specific Life-Cycle Assessment for Improved Emission Accounting. *ACS Sustainable Chem. Eng.* 2021, 9, 10857–10867.

Sun K., Liu H., Fan H., Liu T., Zheng C., 2021. Research progress on the application of feed additives in ruminal methane emission reduction: a review. *PeerJ*, 9, e11151.

UNEP, 2021. Global Methane Assessment: Benefits and Costs of Mitigating Methane Emissions. Nairobi: United Nations Environment Programme. <https://www.unep.org/resources/report/global-methane-assessment-benefits-and-costs-mitigating-methane-emissions> (ultimo accesso 01/09/2022).

UNIC, anni vari. Rapporto Ambientale. Unione Nazionale Industria Conciaria.

UP, anni vari. Statistiche economiche, energetiche e petrolifere. Unione Petrolifera.

