

LA STRATEGIA ITALIANA DI LUNGO TERMINE SULLA RIDUZIONE DELLE EMISSIONI DI GAS SERRA: SCENARI EMISSIVI E TREND STORICI

Emanuele Peschi^{1*}, Antonio Caputo¹, Eleonora Di Cristofaro¹, Marina Colaiezzi¹,
Monica Pantaleoni¹, Marina Vitullo¹, Maria Gaeta²

¹ ISPRA, Dipartimento per la valutazione, i controlli e la sostenibilità ambientale, Roma.

² Ricerca sul Sistema Energetico – RSE S.p.A.

Sommario – Nel gennaio 2021, l'allora Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, ha pubblicato la strategia italiana di lungo termine sulla riduzione delle emissioni di gas a effetto serra. Il documento è il frutto della collaborazione, avviata nel 2019, tra diversi Ministeri ed è largamente fondato sugli studi ed analisi di un gruppo di lavoro tecnico cui hanno partecipato ISPRA, RSE, GSE, Politecnico di Milano, ENEA e CMCC. Ognuno dei soggetti coinvolti ha contribuito con i propri strumenti e le proprie competenze al fine di analizzare lo spettro più ampio possibile delle implicazioni di una visione strategica di tale ampiezza. Particolare importanza assume l'analisi degli andamenti attesi delle emissioni dei principali settori emissivi alla luce di quanto osservato lungo tutta la serie storica dei dati disponibili a partire dal 1990. In questo modo è possibile mettere in luce le tendenze già in atto, individuare i principali driver che guidano le emissioni e, conseguentemente, avere un'idea di quali saranno le emissioni più difficili da ridurre al fine di raggiungere la neutralità emissiva entro il 2050, obiettivo finale della strategia. Dall'analisi emerge che quelli che oggi sono i settori più emissivi, sono anche quelli per i quali spesso già sono evidenti forti riduzioni grazie alle politiche fin qui adottate e agli sviluppi tecnologici, mentre altri settori oggi di minor importanza potrebbero rivelarsi maggiormente problematici negli anni a venire. Allo stato attuale delle conoscenze risulta inoltre che per raggiungere la neutralità sarà difficile fare a meno di sistemi di cattura e stoccaggio della CO₂, anche se molto dipenderà dalle capacità degli assorbimenti naturali e dall'evoluzione dell'intero sistema economico.

Parole chiave: emissioni, assorbimenti, serie storica, scenari, neutralità, decarbonizzazione.

THE ITALIAN LONG-TERM STRATEGY ON REDUCING GREENHOUSE GAS EMISSIONS: THE EMISSION SCENARIOS AND OBSERVED HISTORICAL TRENDS

Abstract – In January 2021, the Italian Ministry of the Environment Land and Sea published the Italian Long-term Strategy on Reducing Greenhouse Gas Emissions. The document is the result of the collaboration among different Ministries, launched in 2019, and it is largely based on the studies and analyses of a technical working group composed by ISPRA, RSE, GSE, Politecnico di Milano, ENEA and CMCC. Each subject contributed with its own tools and skills in order to analyse the

broadest possible spectrum of the implications of the Strategy. The analysis of the expected emission trends is particularly important in connection with what has been observed throughout the historical time series of data available since 1990. In this way, it is possible to highlight the trends already underway, identify the main drivers of emissions and, consequently, have a better understanding on the emissions that will be the most difficult to be reduced in the future in order to reach emission neutrality by 2050, the final goal of the Italian Strategy. The analysis highlights that those sectors that are the most emissive today are also those for which strong reductions are often already happening and may also be expected in the forthcoming years thanks to the policies adopted so far (e.g. heat and electricity generation) and technological developments (e.g. transport and buildings). This does not mean that no challenges have to be expected for these sectors, but that with adequate policies supporting the deployment of technologies that are already available, there is real possibilities to neutralize the emissions. Other sectors, which today are responsible for a smaller amount of emissions, could prove to be more problematic over the years to come (e.g. industrial processes, f-gas, and agriculture), because there are intrinsic limits and no strong policies in place yet. Emission intensity of industrial processes and f-gases does not show a clear descending trend in past years and this is not supposed to change in the future, without moving towards a more circular economy and major technological advancements those emissions may not be reduced. Emissions from agriculture only account for 7% at present in Italy, but there seems to be limited room for improvements given that most of them came from biological processes of livestock. Some policies can be implemented especially with regards to animal dietary change and manure management, also considering the biogas potential production. At the current state of knowledge, it also appears that some amount of CO₂ capture and storage systems will be needed to achieve net-zero GHG emissions, although much will depend on the capacity of natural sinks and the evolution of the entire economic system. The Land use, Land-Use Change, and Forestry sector emissions and sinks could be heavily affected by climate change in the forthcoming years. Since this sector is going to play a critical role in the achievement of climate neutrality, it is crucial to adopt policies that can improve carbon sequestration; in order to do so, utmost efforts should be paid to limit wild fires.

Keywords: emissions, sinks, time-series, scenarios, neutrality.

Ricevuto il 28-6-2021. Modifiche sostanziali richieste il 2-8-2021. Accettazione il 20-9-2021.

* Per contatti: Via Vitaliano Brancati 48, 00144 Roma. Tel. 06.50072628, e-mail: emanuele.peschi@isprambiente.it

1. INTRODUZIONE

Le politiche su clima ed energia stanno attraversando una fase di profonda revisione a seguito della sottoscrizione dell'Accordo di Parigi, il cui obiettivo è il contenimento dell'aumento della temperatura media globale al di sotto dei 2°C, cercando di limitare l'aumento a 1,5°C rispetto ai livelli preindustriali. L'Accordo prevede che tutte le "Parti" presentino un Contributo Determinato a livello Nazionale (*Nationally Determined Contribution*, NDC), che identifichi l'impegno di ciascuno per la riduzione delle emissioni e il raggiungimento degli obiettivi di contenimento delle temperature, e che comunichino entro il 2020 Strategie di sviluppo a basse emissioni di gas serra con orizzonte temporale al 2050. Nell'ambito dell'Accordo di Parigi, l'Unione Europea (UE) ha presentato a marzo 2015 alla Conferenza sui Cambiamenti Climatici delle Nazioni Unite (UNFCCC) il suo primo NDC contenente una riduzione delle emissioni di gas serra di almeno il 40% rispetto al 1990, entro il 2030. Al fine di raggiungere tale obiettivo l'UE ha quindi adottato un pacchetto di provvedimenti, il cosiddetto "Pacchetto clima-energia 2030", volto a ottenere, oltre alla riduzione di almeno il 40% delle emissioni, il raggiungimento di una quota di energie rinnovabili sui consumi complessivi al 2030 pari ad almeno il 32% e la riduzione dei consumi di energia primaria del 32,5% rispetto all'andamento tendenziale stabilito nello scenario PRIMES 2007 (lo scenario energetico adottato dalla Commissione europea come riferimento per la valutazione delle politiche di efficienza), da conseguire attraverso l'aumento dell'efficienza energetica.

Una parte dell'obiettivo di riduzione delle emissioni è ripartito tra i settori soggetti all'Emissions Trading System (ETS), per i quali è richiesta a livello europeo una riduzione del 43% rispetto ai livelli del 2005. Per la quota rimanente, non soggetta ad ETS, è invece richiesta una riduzione complessiva del 30% rispetto ai livelli del 2005, ai sensi del Regolamento (UE) 2018/842 (noto come *Effort Sharing*) che ha stabilito specifici obiettivi di riduzione per ciascuno Stato Membro. In tale quadro va anche ricordato il Regolamento (UE) 2018/841 che definisce gli impegni per il settore *Land use, Land-Use Change, and Forestry* (LULUCF).

Per conciliare i temi della riduzione delle emissioni climalteranti con quelli della sicurezza energetica e dello sviluppo del mercato interno dell'energia, l'UE ha adottato il Regolamento (UE) 2018/1999 (di seguito Regolamento *Governance*)

che istituisce un sistema di *Governance* dell'Unione dell'Energia e mira a pianificare e tracciare le politiche e misure messe in atto dagli Stati membri. Il principale obiettivo del Regolamento *Governance* (Art. 1) consiste nell'"attuare strategie e misure volte a conseguire gli obiettivi e traguardi dell'Unione dell'energia e gli obiettivi a lungo termine dell'Unione relativi alle emissioni dei gas a effetto serra conformemente all'accordo di Parigi, e in particolare, per il primo decennio compreso tra il 2021 e il 2030, i traguardi dell'Unione per il 2030 in materia di energia e di clima".

In tale contesto l'Italia ha definito il proprio Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC) (MISE, 2020), con il quale vengono stabiliti gli obiettivi nazionali al 2030 sull'efficienza energetica, sulle fonti rinnovabili e sulla riduzione delle emissioni di gas serra.

Nell'ambito del Green Deal europeo, nel settembre 2020 la Commissione ha proposto di elevare l'obiettivo di riduzione delle emissioni al 2030 ad almeno il 55% rispetto ai livelli del 1990, includendo anche gli assorbimenti del settore LULUCF, nell'ottica di raggiungere la neutralità emissiva entro il 2050 come stabilito nella recente *Long Term Strategy* della Commissione Europea (2018a, 2018b). Il nuovo obiettivo al 2030 è stato riportato anche nell'aggiornamento dell'NDC inviato dall'UE all'UNFCCC nel dicembre 2020. In tale contesto si collocano anche le Strategie nazionali di decarbonizzazione al 2050 che gli Stati membri devono adottare ai sensi dell'articolo 15 del Regolamento *Governance*.

L'Italia ha adottato la propria Strategia nazionale di lungo termine sulla riduzione delle emissioni dei gas a effetto serra (LTS) nel gennaio 2021 (AA.VV., 2021) individuando i possibili percorsi che potrebbero consentire di raggiungere entro il 2050 una condizione di neutralità emissiva, ossia l'equilibrio tra le emissioni di gas serra e gli assorbimenti di CO₂, con l'eventuale ricorso a sistemi di cattura e stoccaggio geologico o riutilizzo della stessa. Successivamente la Commissione europea, al fine di conseguire il nuovo NDC, ha presentato il pacchetto di proposte legislative noto come "*fit for 55*" che si pone l'obiettivo di riformare profondamente l'insieme di direttive e regolamenti che a tutt'oggi stabiliscono gli obiettivi in materia di ETS, ESR, LULUCF, efficienza energetica e rinnovabili per gli Stati Membri.

Sul piano operativo la Strategia italiana è stata elaborata in continuità con il PNIEC, sotto il coordinamento dei Ministeri della Transizione Ecologica (già dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e

del Mare), dello Sviluppo Economico, delle Infrastrutture e della mobilità sostenibili (già delle Infrastrutture e Trasporti), nonché di quello delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali. Inoltre, è stato istituito un gruppo di lavoro tecnico cui hanno partecipato gli esperti di ISPRA, RSE, GSE, Politecnico di Milano, ENEA e CMCC. In particolare, gli scenari dei settori energetici sono il frutto della stretta collaborazione tra RSE ed ISPRA.

Il presente lavoro si concentrerà sugli scenari delle emissioni e degli assorbimenti di gas a effetto serra e verranno illustrate la metodologia, le assunzioni e i risultati ottenuti nell'ambito del gruppo di lavoro che ha collaborato alla realizzazione della LTS, presentati in relazione all'analisi dell'andamento storico osservato nell'ultimo trentennio.

L'elaborazione degli scenari si è conclusa ad inizio 2020, quando i dati storici consolidati più recenti erano relativi all'anno 2017 e in parte al 2018 e prima dello scoppio della pandemia di COVID-19. Le ricadute dell'emergenza sanitaria sul processo di decarbonizzazione varieranno in funzione di una molteplicità di fattori come, ad esempio, l'implementazione del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza, trasmesso a Bruxelles il 30 aprile scorso, o il possibile cambio strutturale delle abitudini e modalità di lavoro dei cittadini (si pensi, ad esempio, al massiccio ricorso allo *smart-working*).

2. MATERIALI E METODI

2.1. Assunzioni di carattere generale

Uno scenario è una descrizione internamente coerente e plausibile della possibile evoluzione di un insieme di parametri, date le condizioni iniziali e una serie di ipotesi. Uno scenario serve a fornire una risposta ragionevole e coerente alla domanda "cosa succede se...?". Nell'ambito della LTS è stato preliminarmente prodotto uno scenario di riferimento, caratterizzato da tre elementi essenziali:

- raggiungimento degli obiettivi previsti dal PNIEC, e prosecuzione fino al 2050 delle tendenze così determinate;
- aggiornamento dei principali *driver* con i dati più recenti al 2019;
- integrazione degli effetti dei cambiamenti climatici, in termini di variazioni potenziali dei gradi giorno, di resa delle colture e di frequenza degli incendi.

Successivamente sono stati elaborati diversi scenari di decarbonizzazione caratterizzati dalla ridu-

zione delle emissioni fino al raggiungimento della neutralità climatica al 2050. Dato che lo scopo degli scenari oggetto del presente lavoro è quantificare le emissioni prodotte dalle attività antropiche, è fondamentale formulare delle ipotesi sulla loro evoluzione attesa. Per questo motivo le principali assunzioni riguardano gli andamenti demografici ed economici, dato che questi sono i principali driver delle domande finali di beni e servizi. Per quanto riguarda la popolazione italiana, sulla base delle proiezioni elaborate da EUROSTAT è stata assunta una graduale riduzione che dal 2040 porterebbe il totale degli abitanti sotto quota 60 milioni, mentre il numero delle famiglie, riducendosi il numero di componenti per nucleo, registrerebbe un lieve aumento nel periodo di proiezione 2018-50, in linea con quanto osservato negli ultimi anni. In particolare, è stato assunto che la tendenza alla riduzione delle dimensioni delle famiglie continui, raggiungendo una media di 2,2 abitanti per famiglia nel 2050. Ai fini dell'elaborazione degli scenari è stato ipotizzato che ad ogni famiglia corrisponda una abitazione. Per quanto riguarda il contesto economico si è fatto riferimento alle ipotesi alla base del *Central Scenario* POTEnCIA prodotto dal Joint Research Center della Commissione europea (Mantzou et al., 2019). Le proiezioni a breve termine (2017-19) per il PIL, il Valore Aggiunto (VA) settoriale e le spese per consumi privati sono desunte dalle previsioni pubblicate nella banca dati della DG ECFIN AMECO (versione primavera 2018). Le proiezioni del PIL dal 2020 in poi si basano sulle ipotesi di crescita del PIL pro capite del "2018 Ageing Report" (DG ECFIN, 2018). In particolare quindi si è assunta una crescita del PIL, a livello aggregato nazionale, con un tasso medio annuo di 0,70% nel periodo di proiezione 2018-2050. Anche l'evoluzione dei prezzi internazionali dei vettori energetici primari gioca un ruolo determinante nella definizione dei livelli di consumo e delle emissioni. I prezzi internazionali dei combustibili e della CO₂ sono tratti dallo scenario di riferimento dell'UE 2016 (Commissione Europea, 2016) con alcuni aggiornamenti per tenere conto dell'evoluzione osservata negli ultimi anni. Le proiezioni del prezzo delle *commodity* energetiche sui mercati internazionali dello scenario di riferimento UE 2016 sono il risultato di simulazioni effettuate col modello di equilibrio parziale del sistema energetico globale PROMETHEUS, sviluppato dall'Università di Atene nell'ambito del programma E3MLab (Capros, 2017). In tale quadro, i prezzi internazionali dei principa-

Tabella 1 – Evoluzione dei principali driver per l'Italia: dati 2018-2020 e ipotesi per il periodo 2020-2050

		18-20	20-25	25-30	30-50
PIL	tasso medio annuo %	1,05	0,69	0,38	0,69
V.A. Agricoltura	tasso medio annuo %	-0,89	0,28	0,29	0,63
V.A. Servizi	tasso medio annuo %	0,49	0,72	0,4	0,71
V.A. Industria	tasso medio annuo %	0,97	0,64	0,31	0,56
		2020	2025	2030	2050
Popolazione	milioni di abitanti	60,5	60,3	60,2	58,8
Numero di famiglie	milioni	26,2	26,4	26,5	26,6
Petrolio	€2016/bep	80,6	91,5	100,8	116,5
Gas naturale	€2016/bep	51,9	56,1	61,1	69,9
Carbone	€2016/bep	15,4	18,4	22,0	25,9
CO ₂ ETS	€2016/tCO ₂	15,5	23,3	34,7	91,0

li combustibili fossili sono stimati al rialzo, così come la quotazione della CO₂ collegata al sistema EU-ETS che al 2050 supererebbe i 90 €/t.

Nella costruzione degli scenari sono stati utilizzati approcci diversi per ogni settore, come descritto nei paragrafi seguenti. Per tutti i settori è stata effettuata l'analisi delle serie storiche disponibili per individuare le dinamiche in corso e i principali fattori che le determinano. I dati ottenuti costituiscono la base informativa dei modelli utilizzati per ciascun settore.

2.2. Settori energetici

L'analisi degli scenari del sistema energetico nazionale è stata condotta con il modello TIMES (The Integrated MARKAL-EFOM1 System / EFOM Energy Flow Optimization Model) sviluppato dalla IEA (*International Energy Agency*) nell'ambito del programma ETSAP (*Energy Technology Systems Analysis Program*) e riconosciuto dalla IPCC (*International Panel on Climate Change*). TIMES è un generatore di modelli ad equilibrio parziale per sistemi economici locali, nazionali o multiregionali finalizzato all'analisi di interi sistemi energetici o di singoli settori (elettrico, distribuzione di calore, trasporti, etc.). Il modello appartiene alla famiglia dei modelli MARKAL (*MARKet ALlocation*) e dei cosiddetti *3e models* (*energy, economy, environment*). Il modello TIMES adotta un approccio *bottom-up* in cui ogni tecnologia è identificata da parametri di input, output, costi unitari e altri parametri tecnici ed economici. Ogni settore è costituito da una serie di tecnologie legate dai rispettivi input e output (*commodities*) che possono essere vettori energetici, materiali, emissioni o domande finali di beni e servizi. I da-

ti di input al modello devono quindi fornire un quadro rappresentativo del sistema energetico studiato e riguardano sia i parametri tecnologici legati alle tecnologie disponibili, sia i parametri esogeni al modello (come il PIL, i valori aggiunti settoriali, la popolazione, il numero degli edifici, i costi dei combustibili, ecc.) provenienti da altri modelli o altre fonti accreditate. Partendo da questi parametri esogeni si definiscono le domande finali di beni e servizi e TIMES individua la soluzione ottimale per soddisfare tali domande al minor costo, realizzando simultaneamente investimenti in nuove tecnologie o utilizzando in maniera più intensiva le tecnologie disponibili. TIMES è quindi definito come modello *demand driven*. L'insieme di questi elementi costituisce il sistema energetico di riferimento, ovvero la rappresentazione schematica dei flussi di energia e materiali che dalle materie prime raggiungono la domanda di usi finali attraverso le varie fasi di trasformazione.

2.2.1. Industrie energetiche

Nell'ambito delle industrie energetiche, il settore della generazione elettrica ha un ruolo preponderante. Negli ultimi venti anni tale settore ha assorbito in media circa un terzo del consumo interno lordo di energia. Nel 2019 le emissioni di gas serra del settore elettrico ammontano al 22,6% delle emissioni nazionali. In particolare le emissioni per la produzione di energia elettrica e calore sono state 94,5 MtCO₂eq, di cui circa il 90% per la sola produzione elettrica. Circa il 20% di tale quantità è dovuto alle attività di autoproduzione degli impianti industriali che, secondo la classificazione IPCC, rientrano nel settore delle industrie manifatturiere. I consumi energetici del settore elettrico ed i consumi di energia elettrica aumentano con tassi maggiori di

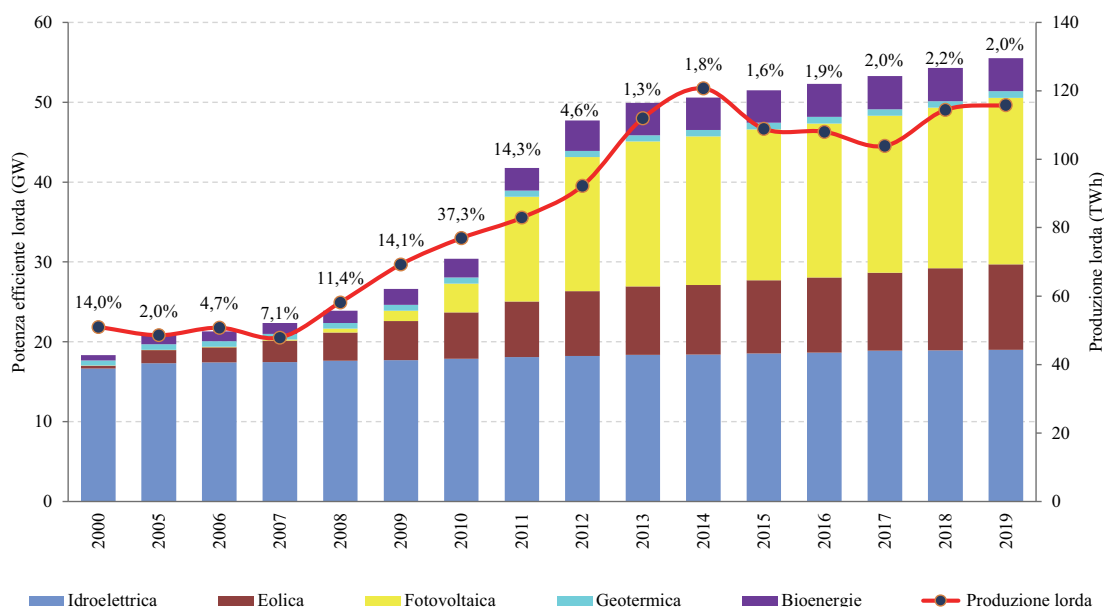


Figura 1 – Potenza efficiente lorda degli impianti da fonti rinnovabili e produzione lorda. È inoltre riportato l'incremento percentuale interannuale della potenza efficiente lorda

quelli osservati per il consumo interno lordo, indice di una progressiva elettrificazione dei consumi finali. Il mix energetico alla base della generazione elettrica è notevolmente cambiato dal 1990. I prodotti petroliferi sono stati sostituiti dal gas naturale, inoltre dal 2007 si registra un notevole sviluppo delle fonti rinnovabili che nel 2019 hanno raggiunto il 39,5% della produzione totale con un picco del 43,1% nel 2014. La produzione da combustibili solidi mostra un declino molto rapido negli ultimi anni ed è destinata a scomparire con il *phase out* del carbone dal settore che secondo il PNIEC dovrebbe avvenire entro il 2025. La produzione di energia elettrica negli ultimi quindici anni è oscillata tra l'85% e il 90% dell'energia richiesta, integrata da importazione netta, con una continua riduzione dell'apporto da pompaggio. Sia la quota importata che le perdite di rete si riducono dal 2005. Lo sviluppo delle fonti rinnovabili e l'incremento dell'utilizzo di gas naturale hanno determinato la riduzione dei fattori di emissione di gas serra per la produzione di energia elettrica del 42,8% dal 2005 al 2019. Per le fonti rinnovabili è stato registrato un notevole sviluppo della potenza installata con un tasso medio annuo del 7,2% dal 2005 al 2019. In particolare le fonti eolica e fotovoltaica nel 2019 raggiungono 10,7 GW e 20,9 GW rispettivamente (Figura 1).

La principale assunzione per il sistema elettrico nello scenario di riferimento è costituita dal mantenimento dei tassi medi annui di nuova potenza installata intorno al 3,1% fino al 2050. Tali tassi sono inferiori alla metà di quelli registrati dal 2005

al 2019, ma sembrano essere più realistici considerato il rallentamento registrato a partire dal 2012. Altre assunzioni riguardano una produzione idroelettrica simile a quella attuale e una progressiva riduzione della quota dell'importazione netta e delle perdite di rete in continuità con le dinamiche registrate finora. Negli scenari di decarbonizzazione non si è assunto alcun vincolo alla crescita del fotovoltaico, se non quelli strettamente connessi alla disponibilità di aree idonee. Il fotovoltaico ha quindi la possibilità di saturare il proprio potenziale tecnico-economico. Discorso analogo è stato fatto per l'eolico. Per quanto riguarda le efficienze elettriche attese si è fatto riferimento ai risultati dello studio ASSET sulle tecnologie di decarbonizzazione (De Vita et al., 2020). In base alla classificazione IPCC, anche la raffinazione di petrolio e la produzione di coke di carbone rientrano tra le industrie energetiche. In particolare per quanto riguarda le raffinerie l'analisi della serie storica mostra un accoppiamento molto stretto tra i consumi energetici e le emissioni degli impianti, come si evince dalla Figura 2, in sostanza dall'analisi dei dati storici non emergono miglioramenti in termini di riduzione delle emissioni di gas serra. Dato che le emissioni della raffinazione incidono, nel 2019, per il 6% del totale settoriale e che, negli anni a venire è attesa una marcata contrazione del livello di attività del comparto dovuta alla minore domanda di prodotti petroliferi da parte del settore dei trasporti, è stato adottato un approccio conservativo per il settore e non sono state fatte ipotesi particolari rispetto al-

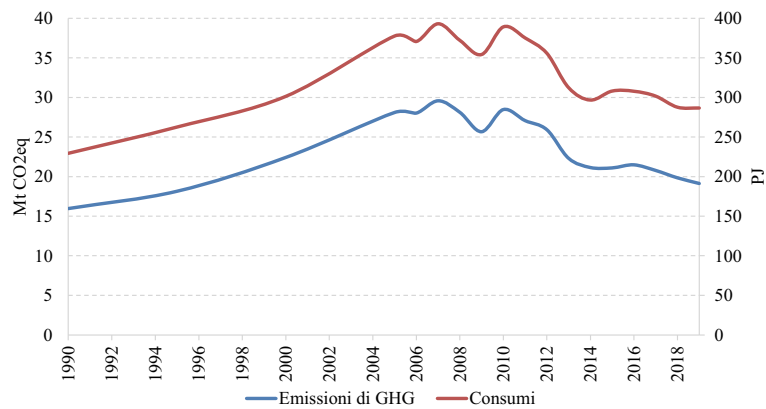


Figura 2 – Emissioni di gas serra e consumi energetici delle raffinerie, secondo le categorie IPCC

l'evoluzione tecnologica, se non quelle legate al tempo di vita degli impianti e al conseguente rinnovo degli stessi con tecnologie più efficienti già disponibili sul mercato. Discorso analogo può essere fatto per le cokerie, le cui emissioni, ammontavano nel 2019 a circa il 2% delle emissioni totali dei settori energetici.

2.2.2. Industrie manifatturiere

Analizzando i bilanci energetici nazionali disponibili nelle banche dati EUROSTAT, la contrazione dei consumi del settore industriale è ben visibile a partire dal 2008, quando la crisi economica ha provocato un drammatico ridimensionamento del settore. Questo calo significativo dei consumi, che si inserisce comunque in un *trend* discendente di più lungo termine, ha interessato praticamente tutte le fonti energetiche sebbene in modalità diverse, determinando un cambiamento molto rilevante nel *mix* energetico settoriale. Nel periodo 2007-2009 si osserva una contrazione di circa il 20% dei consumi finali, che ha portato i prodotti petroliferi ed i combustibili solidi a livelli sempre più marginali, confermando di contro il ruolo chiave di gas naturale, elettricità e calore derivato. Va notato in par-

ticolare che, secondo EUROSTAT, nel 2019 i consumi di elettricità e calore costituiscono oltre il 53% dei consumi finali settoriali, mentre nel 2004, primo anno in cui è stato contabilizzato l'uso del calore derivato, rappresentavano circa il 40%. In merito al *mix* energetico si sottolinea la differenza piuttosto importante tra la classificazione adottata per la produzione delle statistiche energetiche da EUROSTAT e quella IPCC per la definizione dei settori emissivi. Se infatti, secondo i dati forniti da EUROSTAT, tutti i consumi primari per la produzione di elettricità e calore sono allocati nel settore "trasformazioni", secondo le linee guida IPCC i consumi e le emissioni degli impianti di produzione di elettricità e calore asserviti alle produzioni industriali sono allocati nel settore "industrie manifatturiere e costruzioni". Altre differenze meno rilevanti sono riconducibili alle diverse distribuzioni nei settori della raffinazione e del siderurgico tra "consumi finali" e "trasformazioni". In Figura 3 viene mostrato un confronto, relativo al 2019, tra i consumi di combustibili calcolati secondo i due diversi approcci.

Le emissioni del settore industriale non dipendono però solo dai consumi energetici. Analizzando la

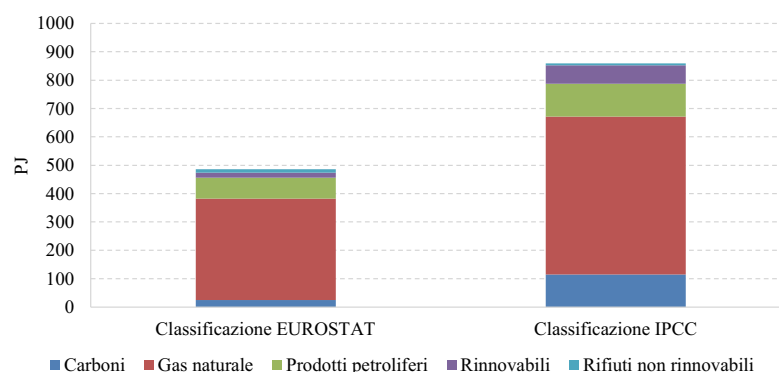


Figura 3 – Confronto relativo ai consumi energetici finali di combustibili per fonte (PJ) del 2019 nel settore industria, secondo le classificazioni adottate in ambito EUROSTAT e IPCC

serie storica è evidente che col passare degli anni le emissioni prodotte dai processi produttivi, quali ad esempio quelle legate ai processi di decarbonazione dei minerali nella produzione di cemento, e dall'utilizzo di gas fluorurati stanno assumendo un peso relativo crescente. Sebbene tali emissioni non siano di fonte energetica, al fine di dare una descrizione d'insieme del settore industriale, verranno trattate congiuntamente. Anche nell'industria, in analogia a quanto successo per la generazione elettrica, i consumi energetici si sono spostati verso vettori a minor contenuto di carbonio, mentre i miglioramenti sul fronte dei processi sono stati molto più contenuti. La Figura 4 illustra l'andamento dell'intensità emissiva del settore, suddivisa nelle due componenti. Nel complesso nel 2019 l'industria ha contribuito a circa il 20% delle emissioni nazionali con circa 50 MtCO₂eq dai consumi energetici (-46% rispetto al 1990) e circa 30 MtCO₂eq dai processi (-16% rispetto al 1990). Circa la metà delle emissioni da processi è in realtà costituita da gas fluorurati, le cui emissioni hanno visto una crescita molto rilevante a partire dai primi anni novanta, mentre le emissioni più strettamente legate alle principali produzioni hanno visto una progressiva riduzione legata sostanzialmente al declino dei livelli delle attività industriali. Nel 2019 le emissioni di CO₂ dalle industrie dei minerali non metalliferi, dalla chimica e dalla metallurgia, costituivano meno del 45% del totale delle emissioni di gas serra dal settore dei processi industriali.

Nell'elaborazione degli scenari per i settori più rilevanti sul piano emissivo e per i quali è identificabile una produzione specifica (es. cemento, acciaio, ecc.), è stata costruita la proiezione di quest'ultima analizzandone la correlazione negli anni

storici con il VA settoriale. Per tutti gli altri settori (come ad esempio quello agroalimentare), i tassi di variazione del VA sono stati utilizzati per proiettare specifici indici di produzione industriale. Per il calcolo dei consumi energetici e delle emissioni ad essi associate si è utilizzato il modello TIMES, mentre per le emissioni da processi sono stati calcolati gli andamenti per ogni tipo di gas emesso, a partire dall'evoluzione attesa delle produzioni, attraverso i fattori di emissione utilizzati nell'inventario nazionale delle emissioni (ISPRA, 2021). I dati sull'evoluzione tecnologica sono stati desunti sia dallo studio ASSET (De Vita et al., 2020) che dai "BAT reference documents" prodotti dall'European IPPC Bureau di Siviglia.

2.2.3. Trasporti

Il settore dei trasporti è responsabile del 25,2% del totale nazionale delle emissioni di gas serra (nel 2019 circa 105 MtCO₂eq costituite per il 99% da CO₂). L'andamento è risultato crescente tra il 1990 e il 2007 e decrescente negli anni successivi, in conseguenza soprattutto della crisi economica e della progressiva diffusione di veicoli più performanti. I consumi energetici mostrano nel tempo un andamento simile a quello delle emissioni, con un mix energetico pressoché costante ed il contributo prevalente dei prodotti petroliferi pari a circa il 94% del totale dei consumi del settore. Per tutto il periodo storico analizzato, oltre il 90% del trasporto passeggeri è avvenuto su strada, con una forte predominanza del trasporto individuale (autovetture e motocicli) rispetto a quello pubblico, come conseguenza circa il 92% delle emissioni di CO₂ del 2019 sono state prodotte dal trasporto su strada. Il peso delle emissioni di gas serra delle automobili è pari

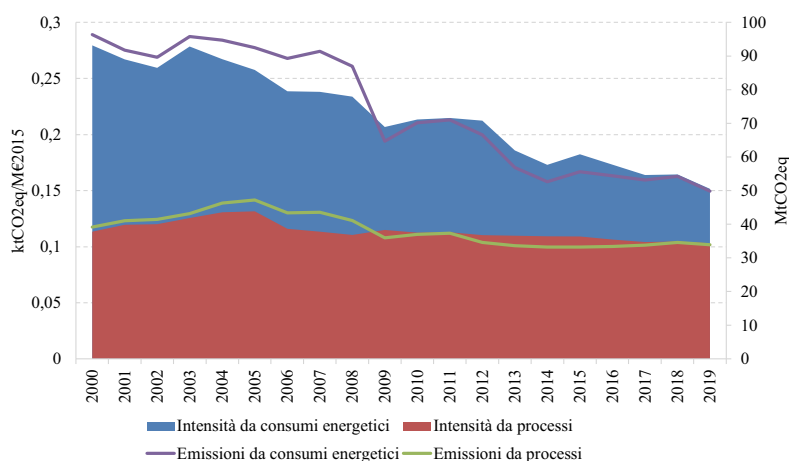


Figura 4 – Scomposizione dell'evoluzione storica delle emissioni e dell'intensità emissiva del settore "industrie manifatturiere e costruzioni"

a circa il 68% del totale emesso su strada, seguito da camion e veicoli commerciali leggeri (insieme circa il 25%); dagli autobus e dai veicoli a due ruote si originano rispettivamente circa il 3% ed il 2% dei gas serra emessi su strada. Dal 1990 la domanda di trasporto passeggeri ha registrato, seppure con ampie oscillazioni, una significativa crescita e nel 2019 è risultata più alta di circa il 32% rispetto al 1990. Per il trasporto di merci emerge un profilo ciclico con un recupero parziale nell'ultimo quinquennio, dopo gli effetti della crisi economica. Tuttavia, rispetto al picco del 2005 il traffico merci risulta oggi più basso di circa il 15%.

In termini di ripartizione modale, emerge che nel periodo considerato il trasporto merci si è realizzato per circa metà su strada e metà su vie d'acqua e treni come rappresentato nella Figura 5. Negli scenari per la LTS come input per il settore dei trasporti, è stata utilizzata la proiezione della domanda passeggeri e merci, espressa rispettivamente in passeggeri-chilometro (p-km) e tonnellate-chilometro (t-km) e suddivisa per ciascuna tipologia di trasporto ricavata dalle proiezioni dei driver riportati in Tabella 1. Per quanto riguarda le tecnologie, si sono ipotizzati tassi di sostituzione dei veicoli in

linea con quelli registrati nell'ultimo decennio e la progressiva penetrazione di mezzi di trasporto sempre più efficienti in linea con gli attuali regolamenti in materia di standard emissivi dei veicoli di nuova immatricolazione. Al riguardo va notato che, a causa dell'attuale composizione del mercato dell'auto a livello europeo, per l'Italia il fattore di emissione medio di CO₂ delle auto di nuova immatricolazione risulta superiore a quello medio europeo fissato dal regolamento per il 2020. Per quanto riguarda i veicoli elettrici sono state mantenute le stesse previsioni contenute nel PNIEC, ossia il raggiungimento al 2030 di una quota pari a circa 6 milioni di veicoli tra Battery Electric Vehicle (BEV) e Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV).

2.2.4. Civile

Il settore civile ha contribuito per il 19% alle emissioni nazionali di gas serra del 2019, in particolare le emissioni del settore sono state pari a 81,5 MtCO₂eq di cui quasi 50 MtCO₂eq dal residenziale, 25,4 MtCO₂eq dal settore terziario e poco più di 8 MtCO₂eq dall'agricoltura (le emissioni contabilizzate per l'agricoltura in questo settore sono quel-

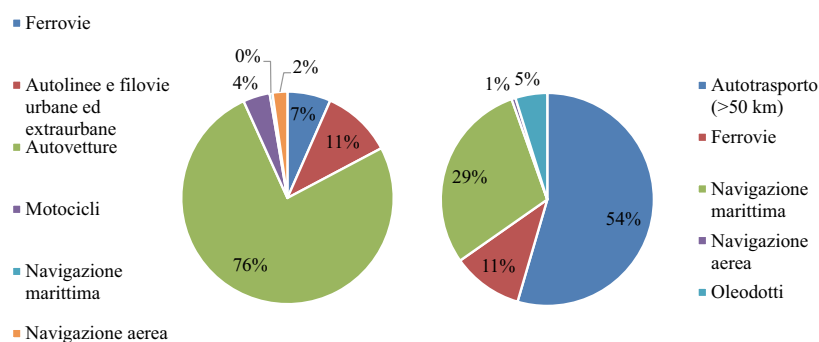


Figura 5 – Composizione percentuale del traffico passeggeri e merci nel 2019, elaborazione ISPRA su dati MIT – Fonte: Conto Nazionale delle Infrastrutture e dei Trasporti, Anni 2019-2020 disponibile su: www.mit.gov.it/comunicazione/pubblicazioni

Tabella 2 – Emissioni di GHG, consumi e domanda del settore dei trasporti

		1990	2000	2005	2007	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Emissioni di GHG*	MtCO ₂ eq	102,2	123,8	128,3	129,6	115,6	106,3	104,8	100,9	104,3	105,5
Consumi**	PJ	1369,1	1662,2	1750,1	1771,0	1616,1	1524,0	1498,9	1444,4	1490,5	1503,1
Domanda Passeggeri***	Gp-km	727,9	919,8	900,5	1023,2	916,6	901,1	929,2	970,1	946,4	966,9
Domanda Merci***	Gt-km	191,3	215,9	237,5	226,9	216,9	177,4	182,6	192,6	196,4	204,7

*Fonte NIR (ISPRA, 2021)

**Fonte: EUROSTAT

***Fonte: Conto Nazionale delle Infrastrutture e dei Trasporti

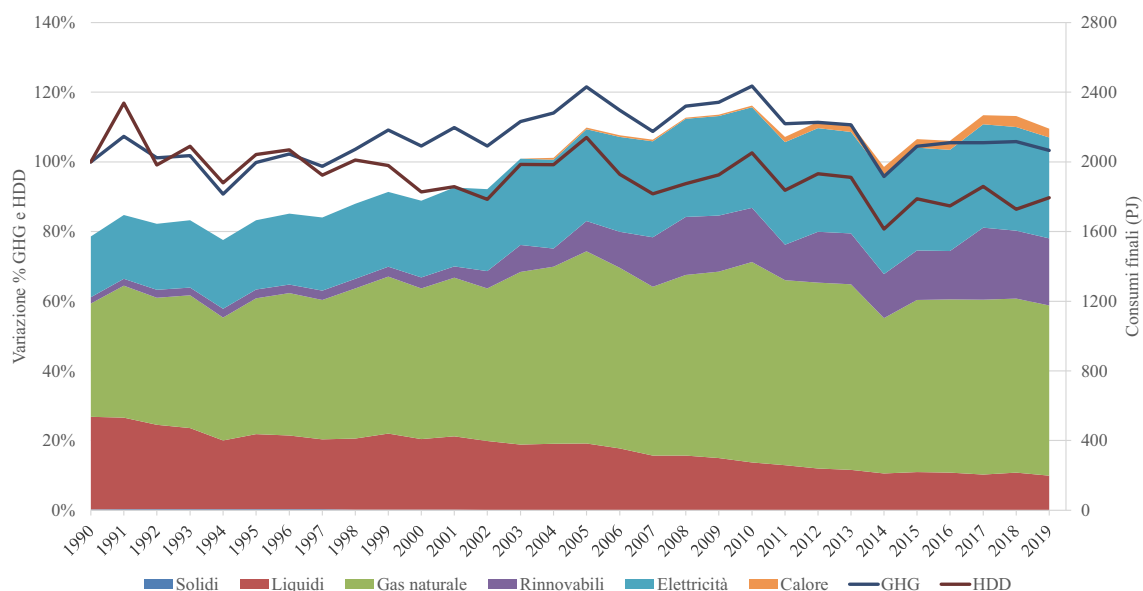


Figura 6 – Evoluzione dei consumi energetici finali per fonte e delle variazioni % rispetto al 1990 delle emissioni di GHG e degli HDD nel settore civile

le derivanti dai consumi energetici). Come si può notare dalla Figura 6, gli andamenti delle emissioni e dei consumi del settore sono strettamente correlati all’andamento dei gradi giorno di riscaldamento (*heating degree day*, HDD). In particolare i picchi di consumo, e quindi di emissione, sono osservabili negli anni più freddi ovvero con HDD più elevati. In Figura 6 non sono riportati i consumi di combustibili solidi fossili che nel 1990 pesavano per lo 0,3% sul totale e il cui impiego si è annullato a partire dal 2014.

Nel complesso si può osservare una crescita dei consumi totali del settore civile dal 2000: per il residenziale tale incremento è dovuto essenzialmente all’aumento della popolazione e alla modifica delle abitudini delle famiglie, mentre per il settore terziario, la crescita dei consumi è dovuta principalmente all’aumento delle attività legate ai servizi vendibili. Il settore agricolo ha mostrato un andamento

dei consumi piuttosto stabile. Anche nel settore civile si registra una modifica del *mix* energetico. Il gas ha progressivamente sostituito l’utilizzo dei combustibili liquidi e ad oggi questa rimane la fonte energetica più utilizzata nel settore nonostante una penetrazione crescente delle fonti rinnovabili, guidata dalla biomassa, dal 2005. Il teleriscaldamento, rappresentato dal consumo di calore, ha avuto un’espansione soprattutto nelle regioni del centro-nord. Negli ultimi anni si è assistito ad una crescente elettrificazione dei consumi, dettata principalmente dall’incremento della domanda di climatizzazione estiva e invernale degli edifici e dalla diffusione di nuove tipologie di apparecchi quali asciugatrici, lavastoviglie o i dispositivi di comunicazione e intrattenimento (smartphone, PC, tablet) nel residenziale, a sistemi di refrigerazione e cottura nel commercio alimentare e di comunicazione e informazione negli uffici. L’elettrificazione dei consumi,

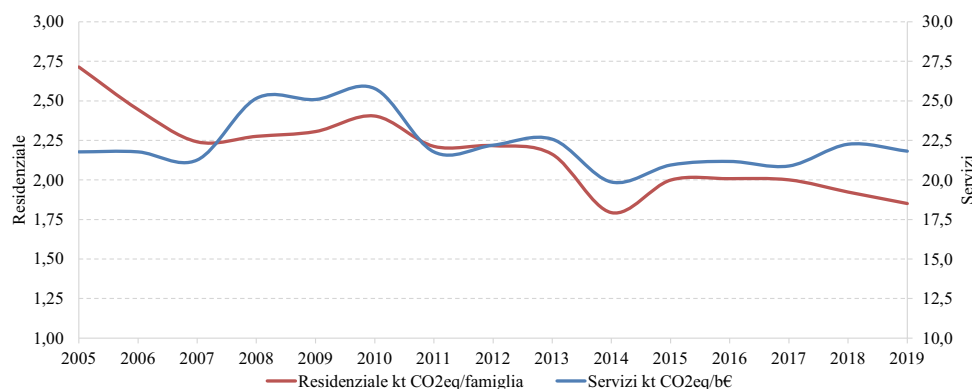


Figura 7 – Intensità emissiva nei settori residenziale e servizi

la penetrazione delle rinnovabili e le politiche di efficientamento stanno portando ad una decrescita delle emissioni per nucleo familiare nel settore residenziale, mentre rimangono sostanzialmente invariate le emissioni per unità di valore aggiunto del settore terziario (Figura 7).

2.3. Settori non energetici

2.3.1. Agricoltura

Le emissioni del settore agricoltura nel 2019 sono state pari a 29,5 MtCO₂eq e rappresentano il 7% circa delle emissioni nazionali di gas serra (in particolare, circa due terzi sono emissioni di metano, più di un terzo di protossido di azoto e una parte residuale di anidride carbonica), che derivano per quasi l'80% dalla gestione degli allevamenti. L'applicazione ai suoli di fertilizzanti sintetici determina un ulteriore 10% di emissioni; il 5% delle emissioni deriva dalla coltivazione del riso, il resto è rappresentato da sorgenti minori (altri apporti azotati ai suoli, combustione dei residui agricoli, applicazione di urea e calce).

Per la definizione degli scenari LTS del settore è stato utilizzato lo stesso approccio metodologico utilizzato per la stima delle emissioni di gas serra nell'ambito dell'inventario (ISPRA, 2021). Secondo tale approccio, le emissioni sono calcolate moltiplicando i dati di attività (per esempio, il numero di capi allevati o le quantità di fertilizzanti usati durante l'anno) per i fattori di emissione (espressi, per esempio, generalmente come chilogrammi di sostanza inquinante rispetto ad un capo allevato o ad un chilogrammo di fertilizzante utilizzato all'anno). Informazioni dettagliate sui metodi, parametri e fattori di emissioni utilizzati per il processo di stima del settore sono riportati nel capitolo 5 e annesso 7 del *National Inventory Report* (ISPRA, 2021). Per la definizione dei dati di attività, il primo passo è stata la definizione della proiezione dei capi allevati al 2050. Gli scenari delle consistenze animali vengono predisposti dall'ENEA nell'ambito della preparazione degli scenari emissivi in collaborazione con ISPRA (D'Elia e Peschi, 2013, 2016), tramite l'applicazione di un modello basato su parametri quali l'evoluzione demografica, le produzioni e i consumi alimentari della popolazione. Su tali parametri, sono stati costruiti degli indicatori, osservandone gli andamenti storici per definirne le evoluzioni future. In particolare, il consumo di carne totale pro-capite è stato mantenuto inalterato, sulla base dei dati circa l'evoluzione storica dell'andamento estratto dalle pubblicazioni

dell'Istituto di Servizi per il Mercato Agricolo Alimentare (ISMEA, 2019a) sui consumi alimentari delle famiglie italiane. Tuttavia, sono state considerate le statistiche di settore (in particolare le analisi di ISMEA sul mercato delle carni, vedi ISMEA, 2019b) relative al consumo di carne per categoria animale: rispetto al consumo di carne totale, si è ridotto il consumo di carne bovina, mentre è leggermente cresciuto il consumo di suini e avicoli; per tale ragione negli scenari si è assunto un maggiore consumo di carne bianca rispetto alla carne rossa. Per le vacche da latte, il rapporto della produzione di latte vaccino (pari a circa il 94% del totale di latte prodotto) rispetto alla produzione di latte totale è stato assunto sostanzialmente stabile fino al 2050; il rapporto tra la produzione annua di latte vaccino destinato all'industria lattiero-casearia e la popolazione è stato considerato fisso dal 2020 in poi e pari a circa 200 kg pro capite, secondo quanto osservato per l'anno 2017 sulla base dei dati EUROSTAT (2019a). Per le galline da covata, è stato assunto un leggero aumento del consumo di uova pro capite ed una sostanziale stabilità (intorno all'unità) del rapporto tra produzione e consumo di uova (secondo le statistiche di EUROSTAT, 2019b e della FAO, 2019). In definitiva, ne deriva negli scenari al 2050 una flessione del numero di bovini e un incremento di suini e avicoli, che rappresentano le categorie animali più importanti in termini di impatto emissivo. Il consumo di fertilizzanti sintetici azotati incide significativamente sulle emissioni di gas serra del settore agricoltura. Tale parametro è stimato da ENEA sulla base delle proiezioni dell'Associazione di categoria dei produttori europei di fertilizzanti sintetici (Fertilizers Europe, 2019), assumendo una riduzione complessiva dei consumi di azoto dal 2020 al 2030 pari a circa l'1,5%. Dal 2030 il valore del consumo dei fertilizzanti sintetici azotati varia in funzione delle proiezioni delle produzioni agricole. Per la stima delle superfici e produzioni agricole, si rimanda al settore LULUCF.

2.3.2. LULUCF

Il settore LULUCF (uso del suolo, cambiamento di uso del suolo e selvicoltura) ha la capacità di generare degli assorbimenti di carbonio, contribuendo alla mitigazione dei cambiamenti climatici, con oltre 41 MtCO₂eq assorbite nel 2019 (ISPRA, 2021), il cui principale contributo deriva dalle foreste e dalla gestione dei pascoli. Analogamente a quanto fatto per l'agricoltura, l'elaborazione degli scenari è stata condotta sulla base dei dati e delle

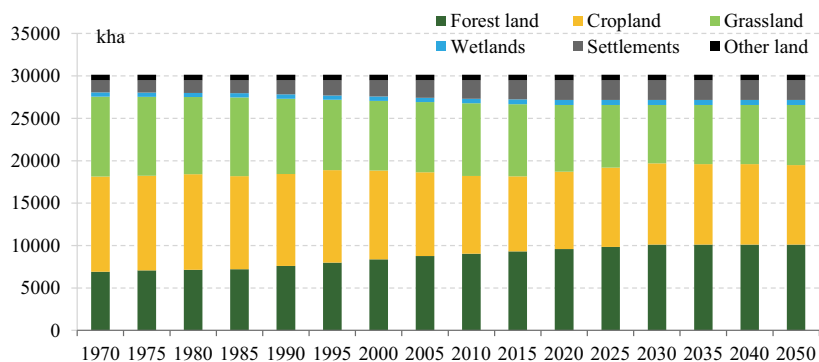


Figura 8 – Proiezione delle superfici delle categorie di uso del suolo LULUCF

metodologie attualmente utilizzate per l’inventario delle emissioni (ISPRA, 2021). Per la definizione degli scenari emissivi del settore, il punto di partenza è la definizione delle proiezioni di uso e cambiamento di uso del suolo in relazione alle rispettive categorie (Figura 8).

Le proiezioni delle superfici agricole sono state sviluppate a partire dagli scenari FAO elaborati per l’Italia con il modello Global Agriculture Perspectives System (FAO, 2018; Alexandratos et al., 2012). Si evidenzia una crescita di tali superfici fino al 2040 e, successivamente, una stabilizzazione. Tale profilo è determinato dall’incremento delle aree cerealicole e dalla decrescita delle coltivazioni legnose e industriali. Le superfici foraggere (temporanee e permanenti) sono state invece stimate sulla base del rapporto capi/ettaro (consistenza capi su superficie totale foraggere), evidenziando una decrescita delle superfici, conseguente alla previsione di riduzione dei capi. Per quanto riguarda la superficie forestale, in continuo aumento in Italia dal 1990, si è assunto che rimanga costante a partire dal 2030, mentre per gli insediamenti urbani è stato ipotizzato che non si espandano rispetto ai livelli attuali, in linea con l’obiettivo di limitare il consumo di suolo. Una volta definite le proiezioni delle categorie al 2050, sono state definite le variazioni annuali di uso del suolo e sono state realizzate le matrici di conversione tenendo conto del periodo di transizione di 20 anni, secondo la metodologia dell’IPCC. Sulla base delle superfici così calcolate, sono state effettuate le stime degli assorbimenti ed emissioni di gas serra per ogni categoria di uso del suolo.

3. RISULTATI

3.1. Industrie energetiche

La generazione di energia elettrica e calore, che in termini emissivi costituisce la quota più rilevante

delle industrie energetiche, nello scenario di riferimento è caratterizzata da circa l’83% di produzione elettrica da fonti rinnovabili a fronte dell’attuale 40% e del 65% nel 2030, in linea con quanto indicato nel PNIEC se si tiene conto dell’aggiornamento dei driver illustrati in Tabella 1, i quali determinano nel complesso una minor crescita della domanda finale di energia elettrica rispetto a quanto indicato nel Piano. In tale scenario il tasso medio annuo di incremento della produzione elettrica dal 2019 al 2050 è 0,5%, relativamente contenuto rispetto al tasso medio 1,1% dal 1990 al 2019. La ridotta crescita della produzione elettrica è indice di un sistema produttivo ed economico con un assetto abbastanza simile a quello attuale. Le emissioni da generazione elettrica e calore nel 2050 ammontano a circa 21 MtCO₂eq a fronte delle 95 MtCO₂eq registrate nel 2019, comprensive della quota dovuta all’autoproduzione nelle industrie manifatturiere. Le emissioni complessive del settore nel 2050 si assestano intorno ai 30 MtCO₂eq. Il quadro cambia radicalmente negli scenari di decarbonizzazione dove, per raggiungere la neutralità emissiva, il sistema elettrico dovrà trasformarsi in modo radicale e avere un ruolo sempre più centrale nell’assetto energetico del Paese attraverso una progressiva elettrificazione di tutti i settori di uso finale dell’energia. Inoltre, per la ulteriore riduzione delle emissioni appare necessario che grandi quantità di elettricità siano destinate alla produzione di idrogeno ed *e-fuels*. Gli esercizi modellistici hanno mostrato che nonostante la forte crescita attesa per la generazione fotovoltaica ed eolica, nonché dell’utilizzo di biocombustibili, in particolare biometano derivante dai reflui zootecnici, sarà verosimilmente necessario ricorrere a tecnologie di cattura della CO₂ (CCU e CCS) che, qualora associate a centrali alimentate da bioenergie, possono portare ad emissioni negative e alla produzione di *e-fuels* ad emissioni nulle di gas serra. Le caratteristiche essenziali del siste-

ma elettrico al 2050 che emergono da tutti gli scenari elaborati possono essere sintetizzate nei seguenti punti:

- a) quota rinnovabile superiore al 95%, con una potenza installata di fotovoltaico compresa tra i 200 e i 300 GW, un forte sviluppo dell'eolico fino a circa 50 GW di cui fino a 17 GW off-shore (in acque intermedie e profonde 30-200 m) ed un possibile sviluppo della produzione da maree e moto ondoso fino a 1,5 GW;
- b) ulteriori 10 GW di pompaggi (di cui 3 GW marini) aggiuntivi rispetto agli attuali 7 GW;
- c) eventuale quota di generazione elettrica da gas naturale (comunque inferiore a 30 TWh) con CCS.

Le valutazioni di potenza, energia e potenziali del settore elettrico sono basate su ipotesi tecnicamente percorribili con le conoscenze attuali. Le potenze e le produzioni elettriche per la completa decarbonizzazione potrebbero, quindi, essere in parte ottenibili, in presenza di ulteriori sviluppi di tecnologie già disponibili, da altre opzioni (es. ulteriori FER disponibili in mare) o anche da accordi di scambio con altri Paesi. Per riuscire a soddisfare tutte le esigenze del sistema energetico, sia di consumo diretto di elettricità che indiretto per la produzione di *e-fuels*, la produzione dalle fonti solare ed eolica potrebbe giungere dunque a valori tra i 440 e i 550 TWh. Questa nuova configurazione del sistema elettrico porta all'installazione di una elevata capacità di accumuli elettrochimici su rete e distribuiti tra 28 e 38 GW, con molteplici vantaggi: spostare l'eccesso di produzione da fonti rinnovabili non programmabili (FRNP) nelle ore in cui può essere consumato direttamente per gli usi finali e dai cosiddetti impianti *Power to X* (P2X) in cui l'elettricità è convertita in altri vettori energetici, quali metano, idrogeno e combustibili liquidi, nonché in calore. Tali impianti potranno svolgere un ruolo particolarmente rilevante poiché forniscono flessibilità al sistema. Il dispacciamento dell'energia agli impianti P2X dovrà, quindi, essere guidato dalle esigenze del sistema elettrico, in modo tale da concentrare il funzionamento degli stessi (ossia il consumo di energia elettrica) nelle ore di maggiori eccedenze di produzione delle FRNP. Uno degli aspetti più critici dell'evoluzione dei sistemi elettrici verso quote rilevanti di FRNP riguarda infatti proprio la flessibilità del sistema, ossia la capacità di mantenere bilanciati produzione e consumi, anche a fronte di perturbazioni imprevedute. Il fabbisogno di flessibilità è in realtà un insieme articolato di necessità specifiche dalla scala temporale intra-oraria (guidata dalle incertezze sulle previsioni

della produzione da FRNP) fino alla scala annuale (guidata dalla variazione stagionale della domanda e della produzione fotovoltaica). Al 2050 gli impianti P2X risultano responsabili di un consumo di energia elettrica compreso tra 160 e 230 TWh e contribuiscono significativamente a portare il consumo elettrico a quantità circa doppia rispetto alla domanda attuale (600-700 TWh). In sostanza con l'aumento della capacità installata di FRNP ci saranno molte ore dell'anno in cui la produzione di elettricità supererà i consumi. Dopo aver garantito il bilanciamento orario giornaliero dei consumi finali elettrici (es. tramite batterie), l'ulteriore *overgeneration* potrà essere trasformata in calore, o in idrogeno e successivamente in combustibili sintetici a base di idrogeno e CO₂. Dalle simulazioni effettuate per il 2050 sugli scenari di decarbonizzazione, risulta che, per poter dare la flessibilità necessaria al sistema elettrico, gli impianti P2X non potranno operare come impianti di base, ma solo nelle ore di elevata produzione da FRNP, raggiungendo un *load factor* di circa 2000 ore equivalenti all'anno. Altri elementi potranno concorrere a garantire flessibilità al sistema anche in funzione dello sviluppo delle necessarie infrastrutture. In particolare, un elemento di flessibilità importante potrà essere rappresentato dai veicoli elettrici dotati di sistemi di ricarica in grado di assorbire energia nelle ore più indicate e al contempo di sfruttare le batterie delle auto per fornire servizi alla rete, attraverso il cosiddetto *vehicle to grid*. Altre forme flessibili di utilizzo dell'energia elettrica potranno essere realizzate dallo sviluppo di sistemi di accumulo di calore stagionale per le reti di teleriscaldamento. Questi sistemi potranno accumulare calore prodotto dalle eccedenze di produzione nella stagione estiva per la fornitura di calore nel periodo invernale (tecnologia *Power to Heat*). In questo modo, oltre a fornire ulteriore flessibilità utile per il sistema elettrico, possono contribuire alla decarbonizzazione del settore civile. Va comunque rilevato che, nonostante questi profondi cambiamenti, a seconda delle effettive capacità di assorbimento del settore LULUCF e delle diverse configurazioni di consumo del vettore elettrico che dipenderanno dalle possibili evoluzioni dei settori di uso finale dell'energia, rimane la necessità di procedere alla cattura della CO₂ da generazione elettrica per una quantità compresa tra 10 e 25 Mt/anno. Per quanto riguarda raffinerie e cokerie, nello scenario di decarbonizzazione le emissioni si approssimano allo zero come diretta conseguenza dell'evoluzione dei settori cui sono più strettamente connesse, ovvero quello dei trasporti e della siderurgia. Riassumendo, negli scenari di decarbonizzazio-

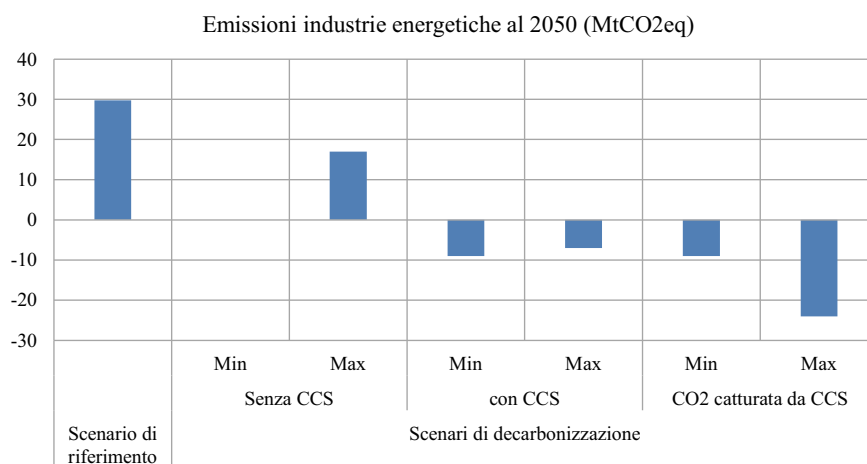


Figura 9 – Emissioni delle industrie energetiche nelle diverse configurazioni risultanti dagli scenari di decarbonizzazione

ne si stima che le emissioni complessive del settore al 2050 possano arrivare fino ad un massimo di circa 17 MtCO₂eq, che col ricorso alle tecnologie di cattura nel settore termoelettrico da abbinare anche alle centrali alimentate a bio combustibili, possono dare un contributo negativo alle emissioni di circa -10 MtCO₂eq. La Figura 9 fornisce un quadro sintetico delle diverse configurazioni emissive risultanti dagli scenari di decarbonizzazione.

3.1.2. Industrie manifatturiere

Nello scenario di riferimento del settore industriale risultano confermate le tendenze in atto ed osservabili nella serie storica. Le emissioni dovute ai consumi energetici continuano a ridursi, grazie ad un aumento dell'efficienza, alla progressiva elettrificazione e all'abbandono, ove possibile, dei combustibili a maggiore contenuto di carbonio. Dato però il calo deciso dell'intensità emissiva già registratosi negli anni storici, non sono attese riduzioni particolarmente rilevanti. Le emissioni da processo risultano ancora più difficilmente contenibili, poiché richiedono un ripensamento dei processi produttivi e la sostituzione di materiali e sostanze utilizzate. Nello scenario di riferimento al 2050 le emissioni del settore risultano essere pari a poco meno di 60 MtCO₂eq, mostrando quindi una riduzione di circa il 34% rispetto ai livelli del 2019. Ai fini della decarbonizzazione del settore sono quindi state prese in considerazione diverse opzioni tecnologiche, quali l'ulteriore crescita dell'efficienza dei processi produttivi, la progressiva elettrificazione degli usi finali, la transizione da combustibili fossili a combustibili ad emissioni nulle quali idrogeno, *e-fuels* (combustibili liquidi o gassosi di origine sintetica prodotti a partire da idro-

geno, ottenuto con processi di elettrolisi alimentati con elettricità da energia rinnovabile, e dalla cattura e utilizzo della CO₂ generata dalle bioenergie) e bioenergie, nonché il ricorso a sistemi di cattura e stoccaggio della CO₂ (CCS). Tali opzioni risultano avere un effetto positivo soprattutto sulle emissioni derivanti da combustione, mentre le emissioni derivanti dai processi si confermano decisamente difficili da abbattere. A seconda delle diverse configurazioni assunte dal sistema di produzione e trasformazione dell'energia (maggiore o minore disponibilità di idrogeno, biocombustibili, *e-fuels*), le emissioni da combustione possono ridursi ulteriormente in una percentuale compresa tra il 50% e il 70%, che può arrivare fino al 75-80% con il ricorso a sistemi di cattura della CO₂. Le emissioni da processo subiscono una riduzione minore in parte riconducibile alla conversione ad idrogeno della produzione siderurgica ed in parte grazie all'effetto dell'evoluzione normativa e tecnologica sui gas fluorurati il cui contributo scende dall'attuale 50% a circa il 30%. Le emissioni rimanenti, di cui circa il 70% costituito da CO₂, risultano abbattibili esclusivamente col ricorso a sistemi di cattura da adottarsi nel settore dei minerali non metalliferi. In questo modo le emissioni possono essere ridotte di circa il 38%. L'analisi ha quindi mostrato che, pur adottando le tecniche più avanzate note al momento, non è possibile arrivare alla completa decarbonizzazione del settore. Sarà quindi necessario garantire un adeguato livello di assorbimenti in altri settori al fine di garantire la neutralità emissiva complessiva. Anche per il settore industriale il quadro risultante è piuttosto complesso a seconda che siano adottate o meno soluzioni tecnologiche più complesse quali ad esempio

la produzione di acciaio attraverso i sistemi di riduzione diretta combinata all'impiego di idrogeno. Il grafico in Figura 10 sintetizza i risultati della modellizzazione per il settore al 2050 negli scenari di decarbonizzazione.

3.1.3. Trasporti

Lo scenario di riferimento è stato costruito considerando i seguenti elementi principali:

- è stato attribuito un rilievo prioritario alle politiche per il contenimento del fabbisogno di mobilità privata e all'incremento della mobilità ciclo-pedonale e della mobilità collettiva, in particolare su rotaia;
- per il trasporto merci è stata favorita l'intermodalità, con lo spostamento dal trasporto su strada a quello ferroviario;
- per il residuo fabbisogno di mobilità privata e merci, è stata promossa la diffusione di veicoli elettrici o alimentati con biocarburanti.

Su tali basi, si ottiene al 2050 un livello emissivo prossimo a 60 MtCO₂eq, corrispondente ad una diminuzione del 45% delle emissioni rispetto allo stato attuale. Anche in questo scenario rimane preponderante il contributo del trasporto su strada rispetto alle altre modalità, sebbene in misura minore rispetto allo stato attuale. I consumi energetici sono ancora dominati dai carburanti fossili, con un contributo pari a circa il 65% da prodotti petroliferi e 12% da metano, mentre il rimanente 23% si deve ai biocarburanti e all'elettricità. Nello scenario di riferimento i consumi energetici del settore sono quindi ancora dominati dalle fonti fossili e nonostante il calo significativo i trasporti risultano il primo settore in termini di emissioni al 2050. Al 2050 si ottiene un parco circolante pari a circa

24 milioni di autovetture con una riduzione del 23% rispetto a quello del 2019. In particolare, il 63% delle automobili circolanti risulta ancora di tipo "tradizionale" (benzina/diesel/metano/GPL) mentre il restante contributo percentuale risulterebbe composto per il 36% da auto ad alimentazione elettrica/ibride *plug-in* e per l'1% ad idrogeno. La crescita dell'efficienza dei nuovi veicoli appare, di fatto, insufficiente se non vengono affrontati in maniera sostanziale e drastica il ricambio del parco circolante con nuove motorizzazioni e la riduzione della domanda di mobilità privata. Tenendo conto di questi risultati, per decarbonizzare il settore risulta necessario intervenire sulla domanda di trasporto riducendo le modalità di trasporto passeggeri che comportano consumi energetici (incentivando il telelavoro, e la mobilità ciclopedonale), promuovendo lo spostamento dal trasporto su gomma privato verso quello pubblico, in particolare ferroviario, riducendo la domanda di trasporto aereo. Per quanto riguarda il trasporto merci risulta necessario potenziare il trasporto ferroviario e ridurre drasticamente i viaggi a vuoto nel trasporto su gomma, fino a un livello pari al 10% al 2050. La decarbonizzazione non sarebbe tuttavia possibile senza un parallelo e profondo cambiamento delle tecnologie e dei vettori energetici utilizzati. Risulta infatti fondamentale incoraggiare una maggiore elettrificazione, fino a quasi al 50% dei veicoli, soprattutto nel comparto auto dove la quota di veicoli elettrici diverrebbe largamente maggioritaria (circa il 79%), mentre per la quota rimanente è necessario un ricorso crescente all'idrogeno e ai biocarburanti avanzati o ai carburanti di origine sintetica, soprattutto per i trasporti aerei e navali. In questo modo lo scenario di de-

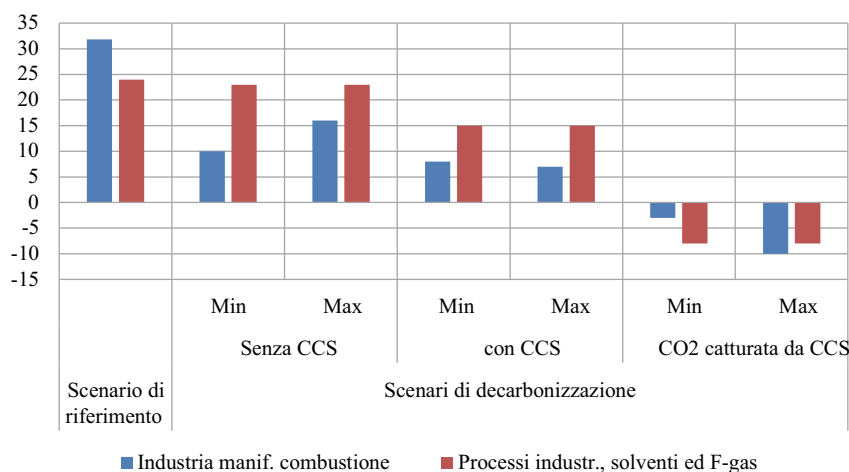


Figura 10 – Emissioni del settore industriale nelle diverse configurazioni risultanti dagli scenari di decarbonizzazione

carbonizzazione dimostra la concreta possibilità di azzerare le emissioni complessive del settore.

3.1.4. Civile

Come per gli altri settori, anche per il civile nello scenario di riferimento è stato ipotizzato che fossero raggiunti tutti gli obiettivi del PNIEC al 2030 e che le dinamiche innescate dalle politiche in essere continuassero fino al 2050. In particolar modo è stato mantenuto costante il tasso di penetrazione delle fonti rinnovabili e il tasso di ristrutturazione degli edifici individuato dal PNIEC, pari all'1% annuo, di cui il 75% di ristrutturazione profonda. Come sottolineato nel paragrafo 2.2.4 la domanda di riscaldamento è legata anche all'andamento delle temperature, per questo motivo nel modello TIMES si è tenuto conto delle proiezioni delle anomalie climatiche elaborate dal Centro euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC) sulla base dello scenario RCP4.5 del Quinto Rapporto di Valutazione dell'IPCC (IPCC, 2014), che ipotizza un aumento delle temperature in linea con l'obiettivo dell'Accordo di Parigi. Considerato quanto sopra, il settore civile nello scenario di riferimento dovrebbe emettere al 2050 circa 36 MtCO₂eq, contribuendo per circa il 17% alle emissioni totali di CO₂eq. Per la completa decarbonizzazione del settore si è ipotizzata a partire dal 2030 una forte crescita dei tassi di ristrutturazione media annua degli edifici fino al 1,9-2%, di cui circa l'80% di ristrutturazione profonda. In tale quadro emerge una ulteriore elettrificazione dei consumi, fino a circa il 65% dei consumi finali, grazie in particolare all'utilizzo di pompe di calore sia per il raffrescamento che per il riscaldamento. Si tenga presente che nel 2019 l'elettricità incide per il 26% sui consumi finali del settore, mentre il gas pesa per circa il 59%. La quota rimanente di consumi dovrà essere soddisfatta dall' utilizzo di idrogeno, *e-fuel* sintetici e bioenergie. Qualora si riuscissero ad attuare tutte le misure il settore civile nello scenario decarbonizzazione vedrebbe azzerate le proprie emissioni al 2050. Per ottenere tali risultati è necessario ipotizzare che al 2050 nel settore residenziale almeno un terzo delle abitazioni sia costituito da edifici nuovi o completamente ristrutturati.

3.1.5. Agricoltura

Nella stima degli scenari è stata ipotizzata la diffusione di possibili misure di riduzione delle emissioni di ammoniaca e gas serra al 2030. Le misure considerate sono relative ad interventi sull'alimentazione degli animali, sulla tipologia dei ricoveri, sullo stoccaggio (incluso il trattamento dei

reflui zootecnici negli impianti di digestione anaerobica per la produzione di biogas) e sullo spandimento delle deiezioni zootecniche di bovini, suini e avicoli, secondo lo studio del Centro Ricerche Produzioni Animali effettuato per conto di ISPRA nel 2018 (CRPA, 2018). Le misure considerate sono state valutate prendendo in considerazione quanto previsto dalla Direttiva sulle emissioni industriali, dalla Direttiva nitrati, dai programmi di azione nitrati, dai piani regionali per la qualità dell'aria e nei programmi di sviluppo rurale delle regioni padane. Tali misure sono anche contenute nelle "Linee guida per la riduzione delle emissioni in atmosfera provenienti dalle attività agricole e zootecniche" (MIPAAF, 2016). Analoghe misure di riduzione sono anche state incluse nel "Codice nazionale indicativo di buone pratiche agricole per il controllo delle emissioni di ammoniaca", predisposto dal MIPAAF in allegato al Programma Nazionale di Controllo dell'Inquinamento Atmosferico redatto nell'ambito della Direttiva 2016/2284/UE sui tetti nazionali di emissione. Per l'elaborazione degli scenari del settore agricoltura, il CMCC ha fornito i dati relativi alle variazioni delle temperature medie e alle variazioni delle rese cerealicole (di frumento tenero/duro e mais) nello scenario climatico RCP 4.5 per il trentennio 2036-2065, rispetto al periodo 1976-2005 per le temperature e 1981-2010 per le rese cerealicole. Sulla base di tali dati, è stata calcolata l'incidenza delle temperature sulle emissioni derivanti dalla gestione dei reflui zootecnici e le variazioni delle rese che modifichino le quantità dei fertilizzanti sintetici necessari.

Senza considerare ulteriori misure per gli anni successivi al 2030 fino al 2050, le emissioni dello scenario di riferimento per il settore sono pari a circa 27,8 MtCO₂eq al 2050 (Figura 11).

Per lo scenario di decarbonizzazione, è stata ipotizzata a partire dal 2020 una maggiore diffusione delle stesse misure di riduzione delle emissioni considerate nello scenario di riferimento. In generale, per quanto concerne la gestione dei reflui zootecnici nei ricoveri e negli stoccaggi è stata ipotizzata la diffusione di misure che riguardano i sistemi di rimozione rapida del liquame, il rinnovo frequente delle lettiere, un'adeguata climatizzazione dei ricoveri (coibentazione del tetto e/o ventilazione naturale controllata automaticamente), la disidratazione della pollina, la sostituzione dei bacini in terra con vasche a pareti verticali con basso rapporto superficie volume; la copertura degli stoccaggi con materiali naturali (paglia, stocchi di mais, oli vege-

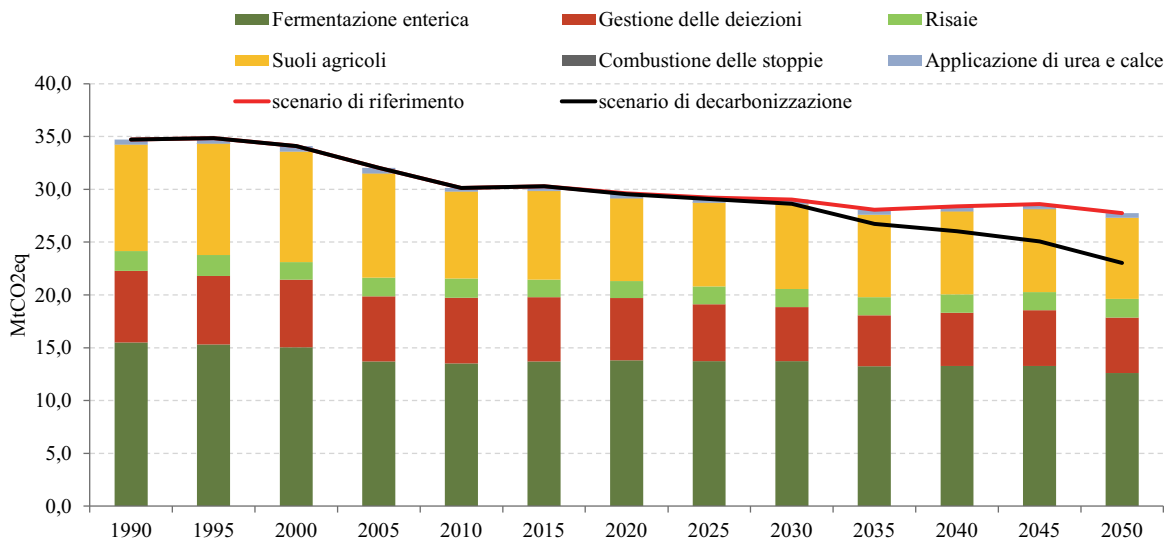


Figura 11 – Settore Agricoltura – Scenari di riferimento e decarbonizzazione

tali, argilla espansa), o con plastici galleggianti o con coperture solide e non permeabili. Per quanto riguarda lo spandimento dei reflui zootecnici, la riduzione delle emissioni può essere essenzialmente ottenuta riducendo la superficie o il tempo di contatto fra gli effluenti e l'atmosfera. Per gli effluenti liquidi, è stata considerata la diffusione dell'iniezione diretta (profonda o poco profonda), lo spandimento rasoterra in bande con tubi di convogliamento, eventualmente attrezzati con appositi deflettori (trailing hose e trailing shoe) e le tecniche di distribuzione di liquami molto diluiti da frazioni chiarificate (ad es. fertirrigazione); per gli effluenti solidi/palabili, sono state considerate l'incorporazione a breve distanza dallo spandimento. Tali tecniche di riduzione delle emissioni sono descritte e analizzate nei rapporti del JRC (IRPP Bref, 2017) e dell'UNECE (Bittman et al., 2014).

Tra le tecniche di riduzione delle emissioni da stoccaggio delle deiezioni, è stato inoltre considerato il recupero di biogas prodotto dalla digestione anaerobica delle deiezioni animali. Le percentuali di deiezioni avviate ai digestori anaerobici sono state assunte pari al 90% rispetto alle deiezioni totali prodotte da bovini e suini e pari all'80% di quelle avicole. In questo scenario, inoltre, per quanto riguarda le emissioni di metano da fermentazione enterica delle vacche da latte, sono stati modificati, a partire dal 2035, i valori relativi alla digeribilità della dieta dell'animale e alla percentuale di energia persa e trasformata in metano. La digeribilità rappresenta la porzione di energia lorda nel mangime non escreto nelle feci ed è comunemente espressa in percentuale dell'energia lorda del mangime. Maggiore è la digeribilità della dieta, minore sarà la quantità

di sostanza secca che dovrà assumere l'animale per il mantenimento, per l'allattamento e la gravidanza, secondo le linee guida IPCC per gli inventari nazionali dei gas serra (IPCC, 2006) e minore sarà la quota di sostanza secca convertita in metano e persa. Per quanto riguarda le emissioni di protossido di azoto dai suoli, è stata stimata una riduzione complessiva tra il 2017 e il 2050 del consumo di azoto contenuto nei fertilizzanti sintetici pari a circa il 22%. Tale percentuale è stata ottenuta considerando una combinazione di due fattori: da una parte la diffusione delle tecniche dell'Agricoltura di Precisione (AdP), dall'altra la riduzione negli anni delle superfici e delle produzioni agricole. Per quanto riguarda l'AdP, è stata stimata una riduzione di consumo di azoto pari all'8% circa nel 2050 rispetto al 2017, dato dal prodotto tra le percentuali del 16% (che corrisponde ad una riduzione del consumo di azoto dovuta alla diffusione delle tecniche dell'AdP) e del 50% (che corrisponde alla percentuale della Superficie Agricola Utilizzata (SAU) destinata ai seminativi), assumendo in maniera conservativa che tali tecniche si diffondano solamente su una parte della SAU. Per quanto riguarda l'AdP, si ipotizza la diffusione di tecniche che consentono di ridurre gli input produttivi (in particolare le macchine spandiconcime), rispetto alle tecniche convenzionali (Bisaglia, 2018). Per quanto concerne superfici e produzioni agricole, è stata stimata una riduzione di consumo di azoto del 14% nel 2050 rispetto al 2017. Sempre per quanto riguarda le emissioni di protossido di azoto dai suoli, è stata assunta una riduzione del 75% dell'azoto lisciviato, calcolata sulla quantità di azoto da fertilizzanti sintetici applicata al suolo; tale riduzione può essere ottenuta attraverso

so l'applicazione dell'AdP (MIPAAF, 2017). Secondo lo scenario di decarbonizzazione appena descritto, le emissioni del settore nel 2050 risulterebbero inferiori a quelle stimate nello scenario di riferimento del 17%, come riportato in Figura 11. Questo dato è il risultato della riduzione delle emissioni delle categorie più importanti del settore, che sono la fermentazione enterica, i suoli agricoli e lo stoccaggio e trattamento delle deiezioni. Rispetto allo scenario di riferimento, la riduzione complessiva di queste categorie è stata stimata pari a 10,4%, 6,3% e 54,9%, rispettivamente.

3.1.6. LULUCF

Informazioni dettagliate sui metodi, parametri e fattori di emissioni utilizzati per il processo di stima del settore LULUCF sono riportati nel *National Inventory Report* (NIR) pubblicato annualmente da ISPRA (ISPRA, 2021). In particolare, gli assorbimenti forestali sono stati stimati tramite il modello For-est, descritto nell'annesso 14 del NIR. Le proiezioni di emissioni ed assorbimenti al 2050 sono state effettuate, per ogni categoria di uso del suolo, suddivisa in "land remaining land" e "land converted to other land", utilizzando un fattore di carbon stock change derivato dal rapporto tra la media degli assorbimenti e delle emissioni di gas serra e la media delle superfici nel periodo 2012-2017. Tenendo conto di queste proiezioni di uso e variazioni di uso del suolo e, soprattutto, dei modelli climatici, nello scenario di riferimento, è stato incluso anche un aumento significativo di frequenza/intensità

degli incendi con la superficie interessata che potrebbe quasi raddoppiare rispetto alla media di lungo periodo. Gli effetti sul piano emissivo risultano significativi, con sensibili incrementi delle emissioni. Su queste basi, lo scenario di riferimento restituisce un quadro con assorbimenti netti poco inferiori a 25 MtCO₂eq, in riduzione rispetto al livello attuale (Figura 12). Questo risultato riflette, da un lato, un incremento emissivo nelle superfici agricole e foraggere (in particolare, per effetto degli incendi) contrastato dal sostanziale mantenimento della capacità di assorbimento forestale e dall'arresto dell'espansione urbana. Le opzioni di decarbonizzazione considerate sono mirate ad incrementare gli assorbimenti netti, attraverso un miglioramento delle pratiche agricole e di uso del suolo con l'applicazione crescente di tecniche virtuose sul piano emissivo, quali: minima lavorazione del suolo, concimazione organica dei suoli, pratiche conservative e metodi di coltivazioni sostenibili, come l'agricoltura biologica e integrata, le pratiche conservative e il "set aside", così come definite nel cap. 6.3 del NIR. Determinante risulta anche l'azione rafforzata di prevenzione degli incendi, con la realizzazione di infrastrutture di protezione e sistemi di allerta. L'applicazione diffusa di tali sistemi sul territorio dovrebbe consentire di mantenere al 2050 una superficie percorsa da incendi pari a quella media registrata nel periodo 2008-2017. Su queste basi, nello scenario di decarbonizzazione risulta che, al 2050, il settore LULUCF può generare assorbimenti netti per quasi 45 MtCO₂eq (Figura 12).

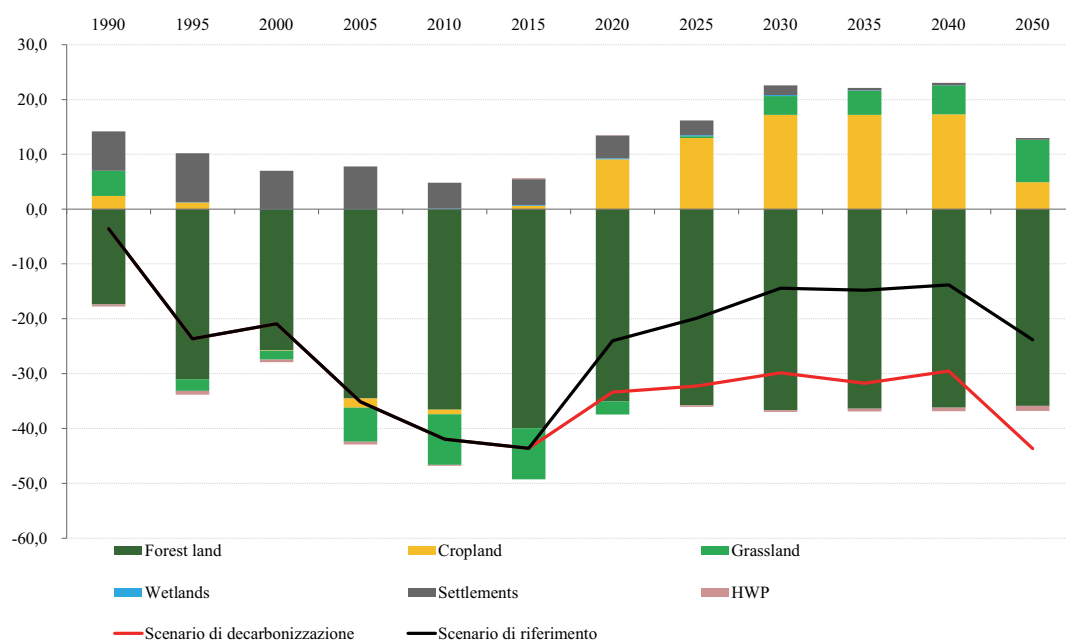


Figura 12 – Scenari di riferimento e decarbonizzazione nel settore LULUCF

4. CONCLUSIONI

Secondo l'ultimo NIR, tra il 1990 e il 2019 le emissioni di gas serra si sono ridotte del 19,4%, passando da 519 a 418 MtCO₂eq. Aggiungendo gli assorbimenti netti del settore LULUCF, il totale delle emissioni scende a circa 377 MtCO₂eq. Al 2050, secondo lo scenario di riferimento potremo attenderci emissioni totali pari a circa 220 MtCO₂eq e circa 30 MtCO₂eq di assorbimenti (Figura 13). Tutti i risultati concordano nell'individuare le emissioni derivanti da processi industriali ed attività agricole particolarmente difficili da abbattere. I limiti sono intrinseci a tali settori. Per l'industria è infatti necessario individuare nuovi processi e sarà necessario ripensare i modelli di produzione e consumo anche nell'ottica di una sempre crescente circolarizzazione dell'economia. I livelli di produzione attuali non sono sostenibili nel lungo periodo con le modalità attuali, come anche evidenziato dal nuovo piano d'azione per l'economia circolare della Commissione Europea. Per quanto riguarda l'agricoltura, invece, va tenuto conto che le tecniche di produzione, sia nelle coltivazioni che negli allevamenti, devono confrontarsi con i vincoli imposti dalle caratteristiche biologiche di piante ed animali che forniscono i prodotti per l'alimentazione umana. Meno problematico appare invece intervenire sulle emissioni

derivanti da combustione, sebbene al momento queste rappresentino circa l'80% del totale dei GHG. In questo ambito grazie alla crescita delle fonti rinnovabili nella produzione elettrica, al progressivo abbandono dei prodotti petroliferi nei trasporti, all'aumento di efficienza e all'elettificazione in ambito sia industriale che civile (con la progressiva riqualificazione degli edifici e la diffusione delle pompe di calore), le emissioni, se accompagnate da idonei sistemi di cattura della CO₂, possono addirittura diventare negative. È ragionevole attendersi che sarà necessario catturare annualmente una quantità stimata all'incirca tra 20 e 40 MtCO₂eq. È importante sottolineare che, nell'approccio seguito per il calcolo degli scenari, il ricorso alla CCS è stato preso in considerazione solo in via residuale, quando altre opzioni non erano in grado di garantire il raggiungimento della neutralità emissiva. La quantità di CO₂ effettivamente avviata a CCS dipenderà ovviamente dalle modalità produttive, dall'emergere di nuove soluzioni tecnologiche ed anche dai cambiamenti dello stile di vita dei cittadini. Per minimizzare il ricorso alla CCS, pur considerando l'effettiva realizzazione di tutto quanto ipotizzato, al fine di raggiungere l'obiettivo della neutralità emissiva appare comunque imprescindibile il contributo degli assorbimenti del settore LULUCF per una quantità pari ad almeno 45 MtCO₂eq. Sebbene in anni

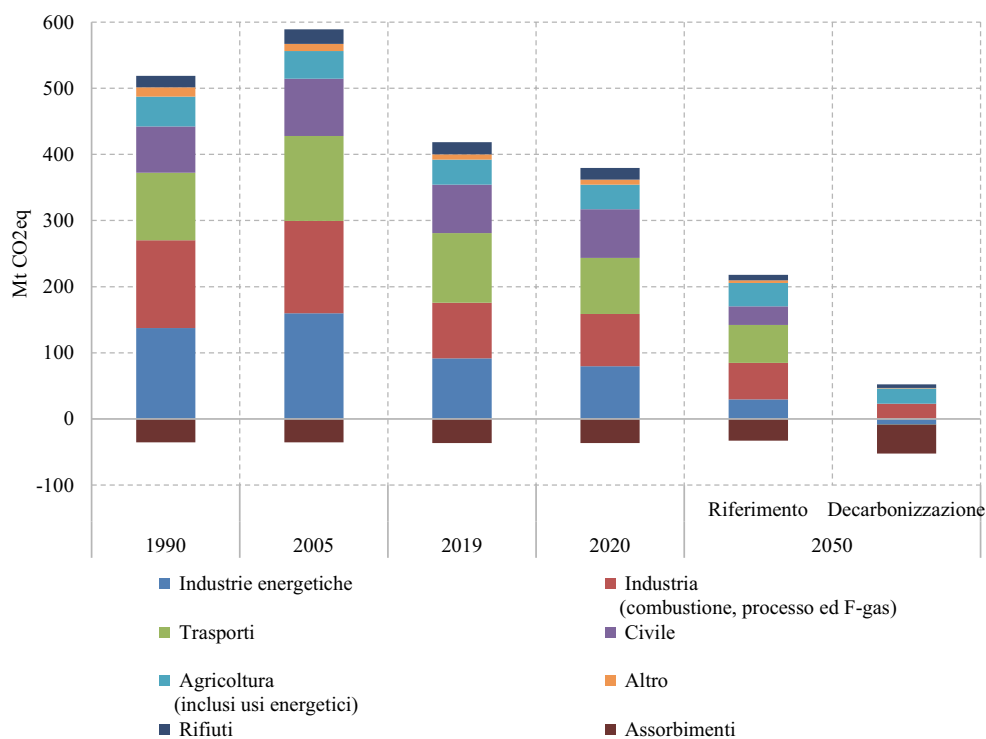


Figura 13 – Emissioni totali e assorbimenti di gas serra nei dati storici, preliminare 2020, nello scenario di riferimento al 2050 e nello scenario di decarbonizzazione al 2050

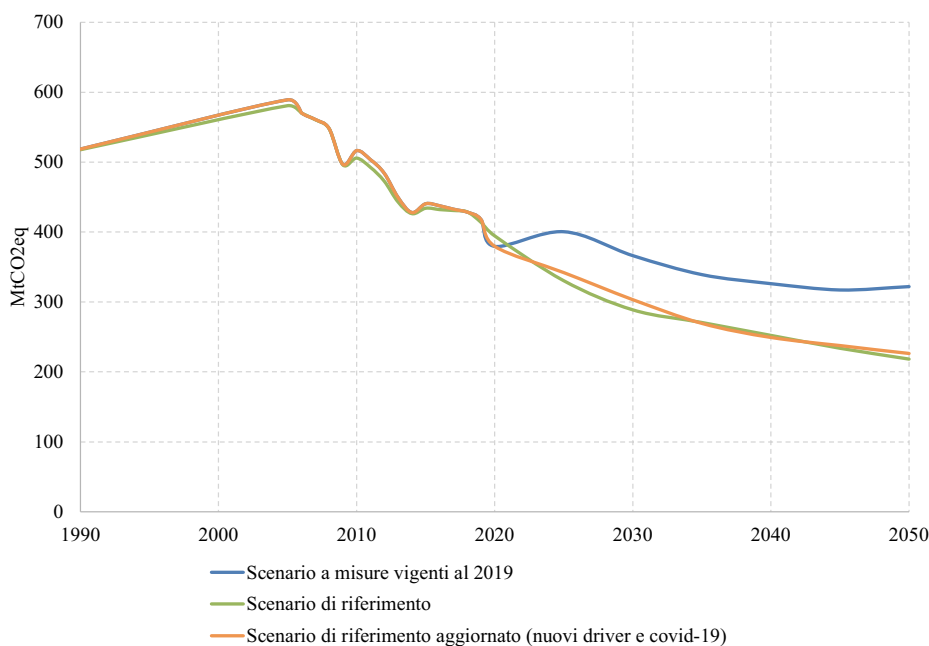


Figura 14 – Confronto tra le emissioni totali di gas serra nello scenario di riferimento, nello scenario di riferimento aggiornato post pandemia e nello scenario a misure vigenti al 2019

recenti tale valore sia stato già raggiunto, affinché ciò possa ripetersi ed affermarsi con continuità negli anni a venire, anche alla luce dei cambiamenti climatici già in atto e degli attuali tassi di consumo di suolo, è necessario adottare adeguate politiche di contrasto agli incendi e di gestione sostenibile del suolo.

Sintetizzando si può affermare che per raggiungere la neutralità emissiva è necessario:

- ridurre la domanda finale di energia, in particolare nel settore dei trasporti (riduzione della domanda di mobilità privata) e nel settore civile;
- modificare il *mix* energetico a favore delle fonti rinnovabili (FER), coniugate a una profonda elettrificazione degli usi finali e alla produzione di idrogeno;
- aumentare gli assorbimenti ottenuti attraverso la gestione forestale sostenibile, adeguate pratiche agricole, l'arresto del consumo di suolo e il contrasto agli incendi;
- ripensare i processi industriali le cui emissioni non appaiono altrimenti contenibili;
- adottare pratiche agricole e zootecniche mirate;
- ricorrere a forme di CCS-CCU per la quota di emissioni eccedente la neutralità emissiva.

Nel grafico in Figura 14, è riportata una stima preliminare delle emissioni del 2020 in considerazione dei recenti sviluppi dovuti alla pandemia di COVID-19. Nel corso del 2021, al fine di adempiere agli obblighi di comunicazione precedentemente stabiliti Regolamento (UE) n. 525/2013

relativo a un meccanismo di monitoraggio e comunicazione delle emissioni di gas a effetto serra e ora ricompresi nel Regolamento *Governance*, ISPRA ha aggiornato gli scenari emissivi tenendo conto dell'aggiornamento di tutti i *driver* come conseguenza del nuovo quadro macroeconomico e demografico europeo e nazionale e dell'impatto della pandemia. Per tale aggiornamento è stata utilizzata la medesima metodologia descritta nel presente lavoro.

Come si può notare, sul lungo periodo gli effetti dell'attuale situazione pandemica sono sostanzialmente trascurabili, a patto che si dia tempestiva attuazione ai pacchetti di misure necessari al raggiungimento degli obiettivi del PNIEC. Da questa prima analisi emerge anche che, dato il nuovo quadro macroeconomico, l'insieme delle misure attualmente considerate nello scenario di riferimento, sebbene non del tutto sufficiente a raggiungere il livello di ambizione richiesto dal pacchetto europeo "*fit for 55*", pone l'Italia nella direzione giusta per raggiungere i nuovi obiettivi al 2030 che saranno stabiliti nei negoziati attualmente in corso nell'Unione Europea. D'altro canto, è evidente che in assenza di una piena attuazione di misure adeguate, la ripresa delle attività produttive ed in particolare del trasporto privato può determinare un *trend* di riduzione sensibilmente meno marcato rispetto a quanto attualmente ipotizzato e sul lungo periodo allontanarci dal raggiungimento degli impegni europei.

5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Alexandratos N. and J. Bruinsma, 2012. World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. ESA Working paper No. 12-03. Rome, FAO.
- AA.VV., 2019. Piano Nazionale di contabilizzazione forestale. Ministry for the Environment, Land and Sea, 2019 www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/clima/nfap_final_resubmission_2019_clean.pdf
- AA.VV., 2020. Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC), www.mise.gov.it/images/stories/documenti/PNIEC_finale_17012020.pdf
- AA.VV., 2021. Strategia italiana di lungo termine sulla riduzione delle emissioni dei gas a effetto serra. www.minambiente.it/sites/default/files/lts_gennaio_2021.pdf
- Bisaglia, 2018. Agricoltura di precisione in Italia: un'opportunità di aggiornamento delle agrotecniche, di sviluppo professionale e di efficienza del settore" pubblicato su *Agri-regionieuropa* anno 14 n°53, Giugno 2018. Disponibile su: <https://agrireregionieuropa.univpm.it/it/content/articolo/31/53/agricoltura-di-precisione-italia-unopportunita-di-aggiornamento-delle>
- Bittman et al., 2014. Options for Ammonia Mitigation: Guidance from the UNECE Task Force on Reactive Nitrogen. Disponibile su: http://www.clrtap-tfrn.org/sites/clrtap-tfrn.org/files/documents/AGD_final_file.pdf
- Capros, 2017. Prometheus model description, E3MLab/ICCS at National Technical University of Athens. Disponibile su: http://www.e3mlab.eu/e3mlab/PROMETHEUS%20Manual/The%20PROMETHEUS%20MODEL_2017.pdf
- Commissione Europea, 2016. EU Reference Scenario 2016: Energy, transport, GHG emissions and trends to 2050. Disponibile su: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/20160713%20draft_publication_REF2016_v13.pdf
- Commissione Europea, 2018a. A Clean Planet for all. A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy. COM(2018) 773.
- Commissione Europea, 2018b. In-depth analysis in support of the commission communication COM(2018) 773. A Clean Planet for all. A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy.
- CRPA, 2018. Studio per la valutazione degli effetti sulle emissioni delle trasformazioni in corso nel settore degli allevamenti, a cura di CRPA, Reggio Emilia, 2018.
- D'Elia I. e Peschi E., 2013. Lo scenario emissivo nazionale nella negoziazione internazionale. ENEA. RT/2013/10/ENEA
- D'Elia I. e Peschi E., 2016. How national integrated air quality models can be used in defining environmental policies: the revision of the nec directive. ENEA. RT/2016/30/ENEA. Disponibile su: <https://iris.enea.it/retrieve/handle/20.500.12079/6758/507/RT-2016-30-ENEA.pdf>
- De Vita A. et al., 2020. ASSET Study on Technology pathways in decarbonisation scenarios. Disponibile su: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/599a1d8e-509a-11eb-b59f-01aa75ed71a1>
- DG ECFIN, 2018. The 2018 Ageing Report. Economic & Budgetary Projections for the 28 EU Member States (2016-2070). Disponibile su: https://ec.europa.eu/info/publications/economy-finance/2018-ageing-report-economic-and-budgetary-projections-eu-member-states-2016-2070_en
- EUROSTAT, 2019a. Statistiche sulla produzione di latte vaccino. Disponibile su: <https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>
- EUROSTAT, 2019b. Statistiche sulla produzione e consumo di uova. Disponibile su: https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=apro_ec_strhen&lang=en
- FAO, 2019. Statistiche sulla produzione e consumo di uova. Disponibile su: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>
- FAO, 2018. Global Agriculture Perspectives System (GAPS) in FAO. The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050. Rome. <http://www.fao.org/publications/fofa/en/>
- Fertilizers Europe, 2019. Forecast of food, farming and fertilizer use in the European Union 2018-2028. Disponibile su: www.fertilizerseurope.com/wp-content/uploads/2019/08/Forecast_2018_Web.pdf
- 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., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. Disponibile su: www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html
- IPCC, 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. Disponibile su: www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf
- IRPP Bref, 2017. A cura di: Germán Giner Santonja, Konstantinos Georgitzikis, Bianca Maria Scalet, Paolo Montobbio, Serge Roudier, Luis Delgado Sancho; Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs; EUR 28674 EN; doi:10.2760/020485. Disponibile su: https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/JRC107189_IRPP_Bref_2017_published.pdf
- ISMEA, 2019a. Consumi alimentari delle famiglie italiane. Disponibile su: <http://www.ismeamercati.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/3562>
- ISMEA, 2019b. Statistiche sui consumi di carne. Disponibile su: <http://www.ismeamercati.it/carni>
- ISPRA, 2021. National Inventory Report 2021 – Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2019. ISPRA Rapporti341/2021. Disponibile su: www.isprambiente.gov.it/resol-veuid/73e0f2b9fe454e7cac210c71341eb15f
- Mantzou, L., Wiesenthal, T., Neuwahl, F. and Rozsai, M., 2019. The POTEnCIA Central scenario: an EU energy outlook to 2050, Publications Office of the European Union, Luxembourg. Disponibile su: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/a3c2af84-facf-11e9-8c1f-01aa75ed71a1/language-en>
- MIPAAF, 2016. Linee guida agricole per la riduzione delle emissioni di ammoniacale nel Bacino Padano. Disponibile su: www.reterurale.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/ID-Pagina/15873
- MIPAAF, 2017. Linee guida per lo sviluppo dell'agricoltura di precisione in Italia. Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali. Disponibile su: www.politicheagricole.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/12069
- MISE, 2020. Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima. Ministero dello Sviluppo Economico. Disponibile su: www.mise.gov.it/images/stories/documenti/PNIEC_finale_17012020.pdf



INGEGNERIA DELL'AMBIENTE

per il 2021 è sostenuta da:

