



ISPRA

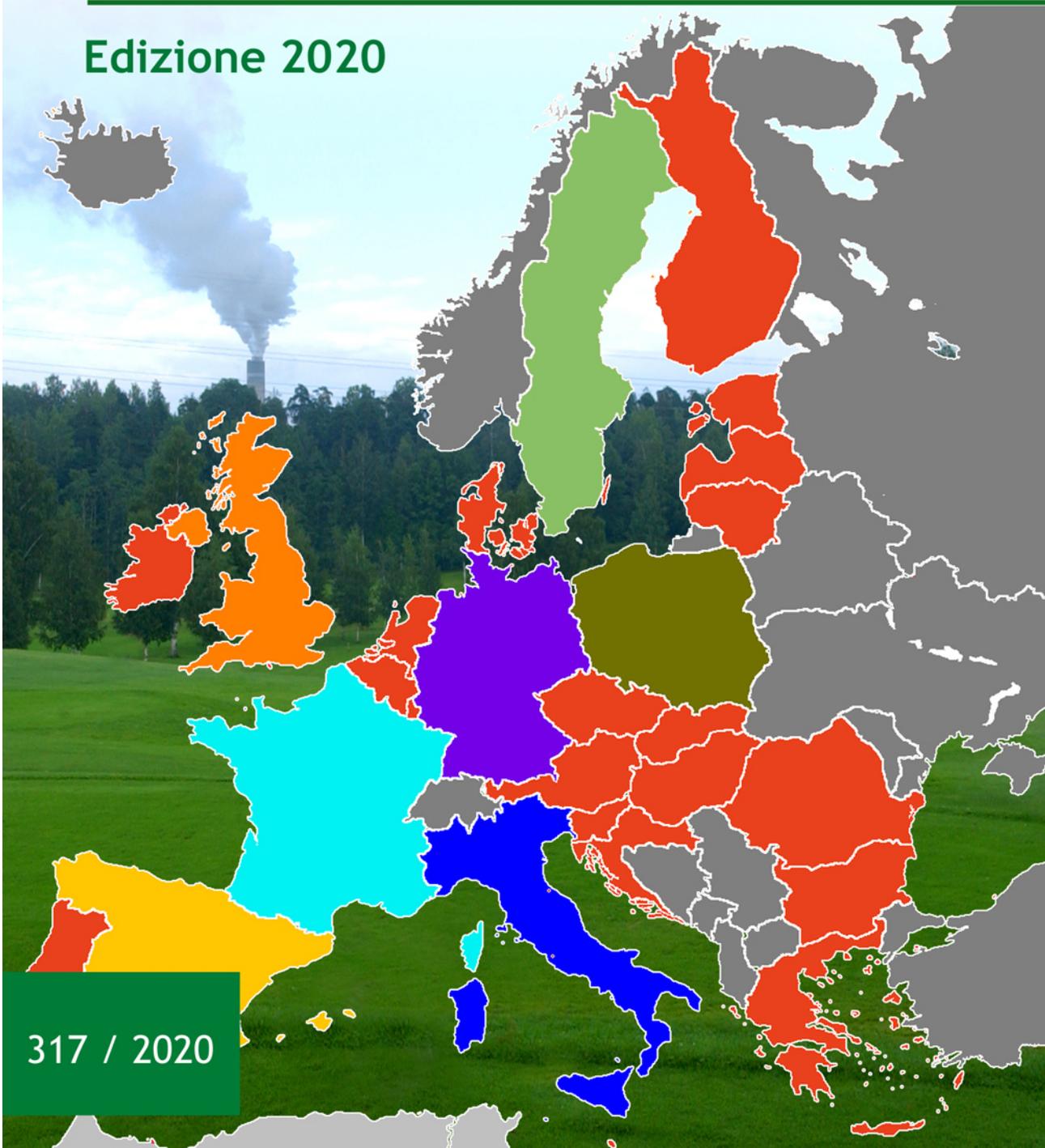
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Sistema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente

Fattori di emissione atmosferica di gas a effetto serra nel settore elettrico nazionale e nei principali Paesi Europei

Edizione 2020



RA P P O R T I



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Sistema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente

Fattori di emissione atmosferica di gas a effetto serra nel settore elettrico nazionale e nei principali Paesi Europei

Edizione 2020

Informazioni legali

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

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

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

ISPRA, Rapporti 317/2020
ISBN 978-88-448-0992-8

Riproduzione autorizzata citando la fonte

A cura dell'Area Comunicazione dell'ISPRA:

Elaborazione grafica

Grafica di copertina: Franco Iozzoli

Foto di copertina: Franco Iozzoli e Paolo Orlandi

Coordinamento pubblicazione on line

Daria Mazzella

31 marzo 2020

Autori

Antonio Caputo (ISPRA)

Contatti: Antonio Caputo
Tel. 0650072540
e-mail antonio.caputo@isprambiente.it

ISPRA- Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
Dipartimento Stato dell'Ambiente e Metrologia Ambientale
Monitoraggio e prevenzione degli impatti sull'atmosfera
Via V. Brancati, 48
00144 Roma
www.isprambiente.gov.it

*“Cederò io a te, forma di fuoco? Sì, io son
desso: son Faust, — sono il tuo pari.”*

Johann Wolfgang von Goethe, *Faust*, 1831

INDICE

RIASSUNTO / ABSTRACT	6
INTRODUZIONE	7
1 PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA	9
1.1 Produzione termoelettrica e rinnovabile	9
1.1.1 <i>Potenza installata, produzione di energia elettrica e calore</i>	18
1.1.2 <i>Efficienza del parco termoelettrico</i>	22
2 FATTORI DI EMISSIONE DEI COMBUSTIBILI	25
2.1 Emissioni di CO ₂ dal settore termoelettrico	26
2.1.1 <i>Fattori di emissione di CO₂ per la produzione e il consumo di energia elettrica</i>	28
2.1.2 <i>Fattori di emissione di CO₂ per tipologia di impianto</i>	32
2.1.3 <i>Emissioni di CO₂ evitate</i>	35
2.1.4 <i>Emissione di gas a effetto serra diversi da CO₂ e altri inquinanti</i>	36
3 ANALISI DELLA DECOMPOSIZIONE	38
3.1 Structural Decomposition Analysis (SDA)	38
3.2 Index Decomposition Analysis (IDA)	40
3.3 Analisi della decomposizione applicata alle emissioni atmosferiche	40
3.3.1 <i>Risultati dell'analisi della decomposizione</i>	41
3.4 Energia elettrica e PIL	43
3.5 Analisi della decomposizione delle emissioni atmosferiche da consumi elettrici	45
4 IL SETTORE ELETTRICO IN EUROPA	52
4.1 Note metodologiche	52
4.2 Struttura del settore elettrico	55
4.2.1 <i>Potenza installata</i>	55
4.2.2 <i>Produzione di energia elettrica</i>	58
4.2.3 <i>Consumi di energia elettrica</i>	61
4.2.4 <i>Efficienza dei parchi termoelettrici</i>	63
4.3 Emissioni di gas a effetto serra dal settore elettrico	67
4.3.1 <i>Fattori di emissione per la produzione di energia elettrica e calore</i>	71
5 IMPIANTI DEDICATI ALLA PRODUZIONE DI CALORE	78
5.1 Consumi energetici, produzione di calore ed emissioni di gas a effetto serra	78
CONCLUSIONI	82
BIBLIOGRAFIA	84
Appendice 1	86
Appendice 2	126

RIASSUNTO / ABSTRACT

Nel rapporto è esaminato l'andamento della produzione elettrica nazionale dalle diverse fonti energetiche. Sono stati elaborati i fattori di emissione di gas a effetto serra e altri inquinanti atmosferici per il settore elettrico. I fattori di emissione sono indispensabili per la programmazione e il monitoraggio di misure di riduzione delle emissioni, in relazione alle strategie di sviluppo del settore elettrico e alle misure di risparmio energetico a livello di usi finali. Le emissioni di CO₂ sono state analizzate attraverso la decomposizione dei fattori determinanti. È stata inoltre condotta l'analisi delle caratteristiche dei sistemi elettrici e degli impianti dedicati alla produzione del calore nei principali Paesi Europei in relazione al mix di fonti utilizzate, all'efficienza di trasformazione e ai fattori di emissione di gas a effetto serra.

La produzione elettrica lorda nazionale da fonti rinnovabili è passata da 34,9 TWh nel 1990 a 114,5 TWh nel 2018 con un incremento sostenuto dal 2008 fino al 2014 e una riduzione negli ultimi anni. L'energia fotovoltaica ed eolica mostrano l'incremento più significativo. Le emissioni di CO₂ da produzione elettrica sono diminuite da 126,2 Mt a 85,4 Mt dal 1990 al 2018, mentre la produzione elettrica lorda è passata da 216,6 TWh a 289,7 TWh; pertanto i fattori di emissione di CO₂ mostrano una rapida diminuzione nel periodo 1990-2018. L'analisi della decomposizione mostra che storicamente l'aumento dell'efficienza tecnologica nel settore termoelettrico e il conseguente impiego di combustibili a minore contenuto di carbonio hanno avuto un ruolo determinante nella diminuzione delle emissioni di CO₂ ma a partire dal 2007 la quota delle fonti rinnovabili assume una dimensione rilevante, con un contributo alla riduzione delle emissioni atmosferiche superiore a quanto registrato per le altre componenti. Per i consumi elettrici l'analisi della decomposizione mostra che l'efficienza contribuisce alla riduzione delle emissioni atmosferiche solo nel settore industriale che rivela una struttura piuttosto eterogenea per i diversi comparti, mentre nel settore terziario la diminuzione dei fattori di emissione per la produzione elettrica è compensata dall'incremento dei consumi elettrici. Nel settore domestico si ha un forte disaccoppiamento tra consumi elettrici e corrispondenti emissioni atmosferiche. Il confronto dei fattori di emissione di gas serra dei parchi termoelettrici mostra che il fattore di emissione nazionale è tra i più bassi nei principali Paesi europei.

The report shows electricity generation trends paying attention to the different fuel sources. GHGs and other atmospheric pollutants emission factors for power sector have been calculated. Emission factors are useful tools for planning and monitoring projects that aim GHGs emissions reduction either as concerns strategies of electricity production or energy saving measures at user level. CO₂ emissions from power sector have been analyzed through decomposition analysis. Moreover the power plants performances of main Countries in European Union have been compared for fuel mixes, transformation efficiencies, and GHGs emission factors.

Electricity generation from renewable sources has increased from 34.9 TWh in 1990 to 114.5 TWh in 2018 with a steeper increase between 2008 and 2014 and a sensible reduction in the last years. Photovoltaic and wind sources show the higher increase rate. CO₂ emissions by electricity generation has decreased from 126.2 Mt in 1990 to 85.4 Mt in 2018, while gross electricity generation has increased in the same period from 216.9 TWh to 289.7 TWh; so the emission factors for electricity generation has decreased sharply in the period 1990-2018. Decomposition analysis shows that historical improvement of technological efficiency in power sector and consequential fuel switch played dominant role in decreasing CO₂ emissions, but from 2007 the renewable sources grow significantly and their role in emissions reduction became higher than other factors. As for electricity consumption the decomposition analysis shows that efficiency increase contributes to emissions reduction only in industry sector which is characterized by rather heterogeneous subsectors, while in the tertiary sector the decrease of emission factors is offset by increase of electricity consumption. A strong decoupling between emissions and electricity consumption is evident in the household sector. The emission factors for thermoelectric generation in Italy is among the lowest in the main Member States of UE28.

INTRODUZIONE

Molte attività produttive sono responsabili dell'emissione in atmosfera di sostanze inquinanti. Al cuore di quasi tutte le attività economiche vi è l'energia: la produzione, la trasformazione e l'utilizzo di energia. Il settore energetico è costituito da tutte le attività che comportano conversione di energia. In tale contesto assumono particolare rilievo le emissioni di gas a effetto serra dovute alla combustione di fonti fossili. Il settore energetico è il settore più importante negli inventari nazionali poiché è attualmente responsabile della quota emissiva prevalente, circa 80% delle emissioni totali.

Il settore elettrico costituisce a sua volta una quota rilevante del settore energetico, rappresentando in termini emissivi circa il 30% delle emissioni nazionali di origine energetica. In Italia più di due terzi dell'energia elettrica è stata prodotta fino al 2008 da combustibili fossili. Nell'ultimo decennio, sotto l'impulso della normativa europea per la riduzione delle emissioni di gas serra al fine di contrastare il riscaldamento globale, sono diventate prioritarie le iniziative di promozione della produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili. Da questo punto di vista il settore elettrico è particolarmente interessante poiché è responsabile di una quota rilevante delle emissioni nazionali di gas serra. La domanda elettrica mostra un andamento di lungo termine in crescita e il settore è caratterizzato da sorgenti emissive puntuali. Tali caratteristiche rendono il settore elettrico particolarmente importante in relazione alle possibili strategie di riduzione delle emissioni di gas serra. A livello europeo la strategia a lungo termine esamina diversi scenari di sviluppo fino al 2050 e mette in evidenza che l'elettricità diventerà il principale vettore energetico, dal 22% dei consumi di energia finale nel 2015 al 41%-53% nel 2050 a seconda dei diversi scenari (EC, 2018a, b). La strategia europea mostra il ruolo determinante che avranno le fonti rinnovabili al fine di ridurre le emissioni di gas ad effetto serra.

L'Italia ha mostrato negli ultimi anni uno sviluppo notevole delle fonti rinnovabili nel settore elettrico. Secondo i dati TERNA tali fonti hanno coperto il 43,1% della produzione lorda nazionale nel 2014, mentre negli anni successivi si è avuta una sensibile contrazione della quota rinnovabile, scesa fino a 35,1% nel 2017 e risalita a 39,5% nel 2018. La stima delle emissioni provenienti dal parco termoelettrico per i singoli combustibili fossili, insieme alla valutazione della produzione elettrica "carbon free", rappresentano elementi di conoscenza fondamentali per valutare gli effetti ambientali delle strategie di riduzione delle emissioni e di promozione delle fonti rinnovabili nel settore elettrico.

La lotta al cambiamento climatico è una delle priorità dell'Unione Europea. Dopo gli obiettivi previsti per il 2020 dal "Pacchetto Clima e Energia", la Commissione Europea ha proposto nuovi obiettivi di riduzione delle emissioni atmosferiche da raggiungere entro il 2030 (*Clean Energy Package*) che fanno seguito all'accordo raggiunto a Parigi in occasione della COP21 ed ha avviato la discussione sugli scenari di sviluppo al 2050 con la citata strategia a lungo termine. Gli obiettivi per il 2030 prevedono la riduzione delle emissioni di gas serra nazionali del 40% rispetto ai livelli del 1990, l'aumento dell'energia da fonti rinnovabili al 32% del consumo finale lordo e la riduzione del 32,5% dei consumi di energia primaria rispetto allo scenario PRIMES 2007 da conseguire attraverso l'aumento dell'efficienza energetica. Un altro obiettivo che riguarda direttamente il sistema elettrico è il raggiungimento del 15% per le interconnessioni elettriche nel 2030. Nel recente *European Green Deal*, la Commissione Europea ha proposto di portare l'obiettivo della riduzione delle emissioni di gas serra nel 2030 almeno al 50% e verso il 55% rispetto alle emissioni del 1990 (EC, 2019).

La concentrazione atmosferica dei gas a effetto serra (GHG) rappresenta il principale fattore determinante del riscaldamento globale (IPCC, 2013). Tra i principali gas serra l'anidride carbonica (CO₂) copre un ruolo prevalente in termini emissivi e in termini di forzante radiativo, il parametro che esprime la variazione dei flussi di energia della Terra dovuta ai gas serra. Nel 2011 le emissioni globali di CO₂ di origine fossile hanno rappresentato il 56% del forzante radiativo (IPCC, 2013). La riduzione delle emissioni di CO₂ è pertanto la principale strategia di mitigazione dei cambiamenti climatici. Oltre all'utilizzo delle fonti rinnovabili la riduzione delle emissioni può essere raggiunta anche attraverso l'incremento dell'efficienza e l'utilizzo di combustibili a basso contenuto di carbonio (EC, 2011). La stima dell'impatto delle diverse misure mitigative è pertanto un elemento essenziale nella valutazione delle politiche ambientali. A tal proposito l'analisi della decomposizione è utile per quantificare l'impatto dei differenti fattori che determinano la variazione dei consumi energetici e delle emissioni di CO₂ sia per quanto riguarda la produzione elettrica sia per quanto riguarda i consumi finali.

La strategia a lungo termine per il raggiungimento degli obiettivi di riduzione delle emissioni del 80-95% al 2050 a livello europeo e il crescente ruolo del settore elettrico richiedono una disamina dei sistemi di generazione elettrica negli Stati Membri dell'Unione. È stata pertanto condotta l'analisi delle caratteristiche dei sistemi elettrici nei principali Paesi Europei in relazione al mix di fonti

utilizzate, all'efficienza di trasformazione e ai fattori di emissione di gas a effetto serra. La stessa analisi è stata condotta per gli impianti dedicati alla sola produzione di calore che rappresentano una quota rilevante dei consumi energetici soprattutto nei Paesi del Nord Europa.

Gli impianti con potenza calorifica di combustione superiore a 20 MW fanno parte del sistema di scambio di quote di emissione dell'UE (ETS UE, *Emissions Trading Scheme*) istituito nel 2005. L'ETS è una delle pietre angolari della politica europea per contrastare i cambiamenti climatici ed è uno strumento di mercato finalizzato alla riduzione delle emissioni di gas a effetto serra. Il sistema ETS opera secondo il principio della limitazione e dello scambio delle quote di emissioni per conseguire la riduzione delle stesse in maniera economicamente efficiente. A partire dal 2013 (III fase) è stato fissato un tetto a livello europeo per la quantità totale di gas serra che possono essere emessi dagli impianti che rientrano nel sistema con un tasso di riduzione annuale del tetto. Nel 2020 le emissioni dei settori disciplinati dal sistema hanno un obiettivo di riduzione delle emissioni del 21% rispetto al 2005 con un tasso di riduzione annuale delle quote disponibili del 1,74% rispetto alla media delle quote assegnate nel periodo dal 2008 al 2012. Nel 2030, nel quadro del sistema modificato (IV fase), le emissioni complessive dovranno essere inferiori del 43% rispetto al 2005 e a partire dal 2021 la quantità totale di quote di emissione diminuirà con un tasso annuo del 2,2% rispetto all'attuale 1,74%. Secondo la strategia europea di lungo termine le emissioni dovranno ridursi del 90% circa nel 2050 rispetto al 2005. L'impegno di riduzione delle emissioni innescato dall'abbassamento del tetto emissivo si riflette nell'impegno economico indirizzato agli investimenti e all'acquisto di quote disponibili sul mercato per compensare la riduzione delle emissioni eventualmente non conseguita. Poiché il settore elettrico rappresenta un settore eminente del sistema ETS appare utile l'analisi a livello europeo delle caratteristiche dei diversi parchi termoelettrici al fine di valutare le condizioni attuali e le potenzialità di riduzione delle emissioni.

Nell'ottica di una progressiva riduzione delle emissioni del settore elettrico e per la produzione di calore le strade perseguibili in merito all'offerta sono la sostituzione delle fonti fossili a maggiore contenuto di carbonio con fonti a minore contenuto di carbonio, l'aumento dell'efficienza di trasformazione e la sostituzione delle fonti fossili con fonti rinnovabili. È in questo quadro che sono state valutate le caratteristiche dei sistemi di generazione elettrica e calore dei principali Paesi europei in merito al mix di fonti utilizzate, all'efficienza di conversione dei combustibili e alle emissioni di gas ad effetto serra.

1 PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA

1.1 Produzione termoelettrica e rinnovabile

I dati relativi al sistema elettrico (produzione di energia elettrica e calore, potenza installata, consumi, ecc.) sono periodicamente pubblicati da TERNA. Di seguito sono illustrati i dati consuntivi fino al 2018 e le stime preliminari per il 2019 elaborate da ISPRA in base ai dati del Rapporto mensile sul sistema elettrico pubblicato da TERNA a gennaio 2020 con dati aggiornati fino a dicembre 2019. Le stime preliminari delle emissioni e dei relativi fattori sono soggette a notevole incertezza in ragione della variabilità del mix di combustibili fossili e dell'efficienza di conversione che per le stime sono state considerate uguali a quelle dell'ultimo anno consuntivo.

Gli impianti per la produzione elettrica con potenza calorifica di combustione superiore a 20 MW fanno parte del sistema ETS, tranne gli impianti per l'incenerimento di rifiuti pericolosi o urbani, come previsto dalla Direttiva 2003/87/CE e successive modifiche che istituisce il sistema per lo scambio di quote di emissioni dei gas a effetto serra. Le seguenti elaborazioni riguardano l'intero settore elettrico senza distinzione alcuna tra impianti che fanno parte del sistema ETS e impianti che ne sono esclusi.

I combustibili utilizzati a partire dal 1990 per la produzione termoelettrica sono raggruppati in 5 macrocategorie secondo la classificazione adottata da EUROSTAT in relazione alle caratteristiche fisiche e chimiche: combustibili solidi, gas naturale, gas derivati, prodotti petroliferi, altri combustibili. In Tabella 1.1 sono illustrati i combustibili secondo le classificazioni adottate da EUROSTAT e TERNA. La classificazione dei combustibili EUROSTAT rende possibile l'elaborazione delle statistiche delle emissioni atmosferiche per l'intera serie storica a partire dal 1990 e garantisce la coerenza con la serie storica pubblicata da EUROSTAT. La principale differenza rispetto alla classificazione dei combustibili adottata da TERNA è relativa ai gas di sintesi da processi di gassificazione e gas residui da processi chimici che TERNA considera tra gli "altri combustibili", mentre EUROSTAT considera tra i "prodotti petroliferi". Inoltre gli "altri combustibili" nella classificazione EUROSTAT sono esclusivamente costituiti dalle diverse tipologie di bioenergie (biomasse solide, biogas e bioliquidi di diversa origine) e rifiuti (CDR, rifiuti solidi urbani e industriali). D'altra parte TERNA presenta le voci "altri combustibili solidi" e "altri combustibili liquidi", dove insieme alle bioenergie sono considerati anche diversi combustibili fossili (TERNA, comunicazione personale). Nel presente documento ai fini della stima delle emissioni e dei relativi fattori di emissione dai diversi gruppi di combustibili sono utilizzate le categorie EUROSTAT salvo dove diversamente indicato.

La produzione lorda nazionale di energia elettrica nel periodo 1990-2018 è passata da 216,6 TWh a 289,7 TWh con un incremento del 33,8%. I consumi elettrici sono passati da 218,8 TWh a 303,4 TWh nello stesso periodo con un incremento del 38,7%. Dopo un periodo di costante crescita della produzione e dei consumi, dal 2007 si osserva un andamento caratterizzato da ampie oscillazioni con una tendenza al ribasso fino al 2014 dovuta agli effetti della crisi economica e una ripresa negli ultimi anni. Il saldo import/export rispetto ai consumi elettrici mostra un andamento oscillante intorno alla media del 15% e ampie oscillazioni negli ultimi anni. I dati preliminari del 2019 mostrano una netta diminuzione del saldo import/export da 43,9 TWh nel 2018 a 38,2 TWh nel 2019.

Tabella 1.1 – Raggruppamento dei combustibili secondo le categorie utilizzate da TERNA e da EUROSTAT. Nelle successive tabelle e grafici sono utilizzate le categorie EUROSTAT se non diversamente indicato.

TERNA		EUROSTAT	
Solidi	Carbone	Solidi	Carbone
	Carbone sub-bituminoso		Carbone sub-bituminoso
	Lignite		Lignite
Gas naturale	Gas naturale	Gas naturale	Gas naturale
Gas derivati	Gas da acciaieria a ossigeno	Gas derivati	Gas da acciaieria a ossigeno
	Gas da estrazione		Gas d'altoforno
	Gas d'altoforno		Gas di cokeria
	Gas di cokeria		
Petroliferi	Cherosene	Petroliferi	Altri combustibili gassosi
	Coke di petrolio		Altri combustibili solidi
	Distillati leggeri		Cherosene
	Gas di petrolio liquefatto		Coke di petrolio
	Gas di raffineria		Distillati leggeri
	Gasolio		Gas da estrazione
	Nafta		Gas di petrolio liquefatto
	Olio combustibile		Gas di raffineria
	Orimulsion		Gas di sintesi da processi di gassificazione
	Petrolio grezzo		Gas residui di processi chimici
Altri combustibili (solidi)	Altri bioliquidi	Altri combustibili	Gasolio
	Altri combustibili solidi		Idrogeno
	Biodiesel		Nafta
	Biomasse da rifiuti biodegradabili		Olio combustibile
	CDR		Orimulsion
	Colture e rifiuti agro industriali		Petrolio grezzo
	Gas di sintesi da processi di gassificazione		Altri bioliquidi
	Gas residui di processi chimici		Biodiesel
	Oli vegetali grezzi		Biogas da attività agricole e forestali
	Rifiuti generici CER non altrove classificati		Biogas da deiezioni animali
	Rifiuti industriali non biodegradabili		Biogas da fanghi di depurazione
	Rifiuti liquidi biodegradabili		Biogas da FORSU
	RSU/RSAU		Biogas da rifiuti non RSU
	Biogas da RSU smaltiti in discarica		
	Biomasse da rifiuti biodegradabili		
	CDR		
	Colture e rifiuti agro industriali		
	Gas da pirolisi o gassificazione di biomasse/rifiuti		
	Oli vegetali grezzi		
	Rifiuti generici CER non altrove classificati		
	Rifiuti industriali non biodegradabili		
	Rifiuti liquidi biodegradabili		
	RSU/RSAU		
Altri combustibili (gassosi)	Altri combustibili gassosi		
	Biogas da attività agricole e forestali		
	Biogas da deiezioni animali		
	Biogas da fanghi di depurazione		
	Biogas da FORSU		
	Biogas da rifiuti non RSU		
	Biogas da RSU smaltiti in discarica		
	Gas da pirolisi o gassificazione di biomasse/rifiuti		
Idrogeno			

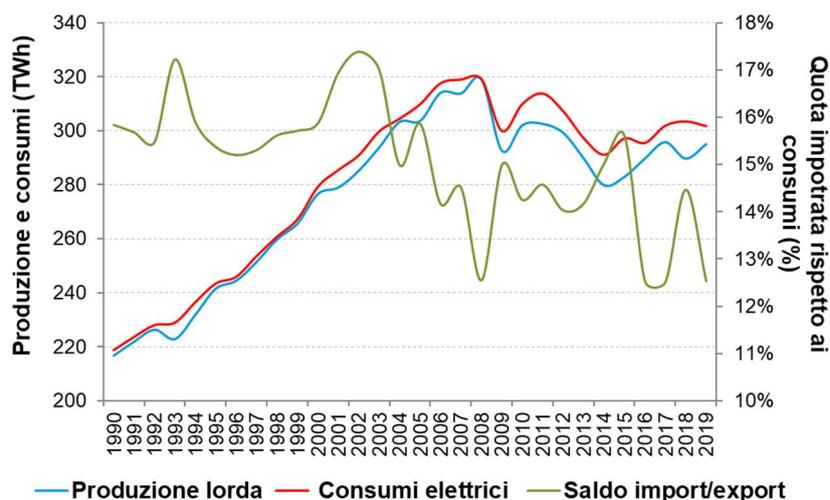


Figura 1.1 – Andamento della produzione e del consumo di energia elettrica. È riportata inoltre la quota di energia elettrica importata rispetto ai consumi. (Per il 2019 stime ISPRA su dati preliminari TERNA)

Di seguito è riportata una tabella riepilogativa dei dati di produzione e consumo di energia elettrica.

Tabella 1.2 – Dati di produzione e consumo di energia elettrica (TWh).

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019*
Produzione lorda di energia elettrica	216,6	241,5	276,6	303,7	302,1	283,0	289,8	295,8	289,7	294,1
<i>apporti da pompaggio</i>	3,5	4,1	6,7	6,9	3,3	1,4	1,8	1,8	1,7	1,8
Calore utile	-	-	-	53,6	56,3	59,3	61,0	61,1	59,6	60,3
Energia destinata a servizi ausiliari	11,5	12,3	13,3	13,1	11,3	10,6	10,1	10,6	9,9	10,2
Produzione netta	205,1	229,2	263,3	290,6	290,7	272,4	279,7	285,3	279,8	283,8
Energia destinata ai pompaggi	4,8	5,6	9,1	9,3	4,5	1,9	2,5	2,5	2,3	2,4
Produzione destinata al consumo	200,3	223,6	254,2	281,3	286,3	270,5	277,2	282,9	277,5	281,4
Saldo import/export	34,7	37,4	44,3	49,2	44,2	46,4	37,0	37,8	43,9	38,2
Energia elettrica richiesta	234,9	261,0	298,5	330,5	330,5	316,9	314,3	320,5	321,4	319,6
Perdite di rete	16,2	17,6	19,2	20,6	20,6	19,7	18,8	18,7	18,0	18,5
Consumi elettrici	218,8	243,5	279,3	309,8	309,9	297,2	295,5	301,9	303,4	301,1

* Dati preliminari TERNA e stime ISPRA

Per quanto riguarda le stime preliminari per il 2019 si osserva un incremento della produzione elettrica nazionale (1,5%) e un lieve decremento dei consumi elettrici (-0,8%) rispetto all'anno precedente.

Gli andamenti di lungo termine mostrano un incremento dell'efficienza del sistema elettrico in termini di riduzione della quota di energia destinata ai consumi ausiliari delle centrali. La riduzione è dovuta anche allo sviluppo delle fonti rinnovabili caratterizzate da bassi consumi ausiliari specifici. Inoltre, si osserva una diminuzione delle perdite di rete. La quota di consumi ausiliari rispetto alla produzione lorda passa da 5,3% del 1990 a 3,4% del 2018, mentre le perdite di rete rispetto all'energia elettrica richiesta passano da 6,9% a 5,6% nello stesso periodo. (Figura 1.2).

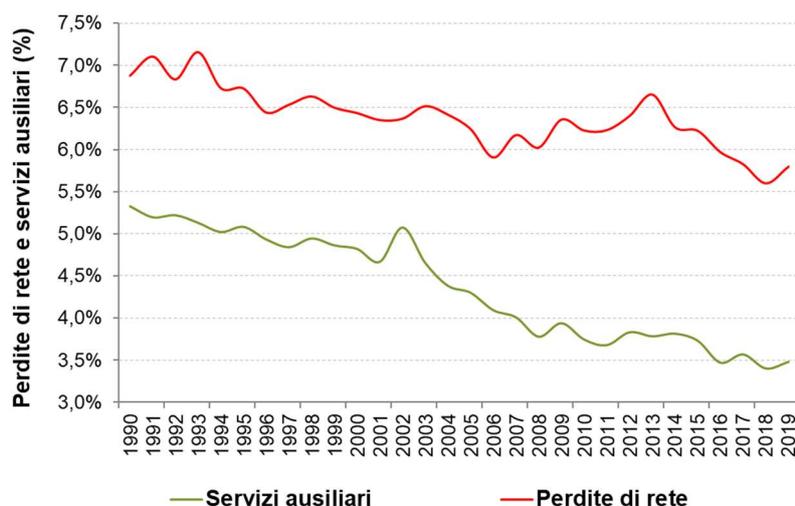


Figura 1.2 – Andamento della quota delle perdite di rete rispetto all'energia elettrica richiesta e della quota dei servizi ausiliari rispetto alla produzione lorda di energia elettrica. (Per il 2019 stime ISPRA su dati preliminari TERNA)

Nella seguente tabella è riportata la produzione elettrica lorda dalle diverse fonti.

Tabella 1.3 – Produzione elettrica lorda per fonte a partire dal 1990 (TWh).

Fonte	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019*
Idroelettrica	35,1	41,9	50,9	42,9	54,4	47,0	44,3	38,0	50,5	47,7
Termoelettrica	178,3	196,1	220,5	253,1	231,2	192,1	199,4	209,5	192,7	195,4
Geotermica	3,2	3,4	4,7	5,3	5,4	6,2	6,3	6,2	6,1	6,0
Eolica e fotovoltaica	0,0	0,0	0,6	2,4	11,0	37,8	39,8	42,1	40,4	45,0
TOTALE	216,6	241,5	276,6	303,7	302,1	283,0	289,8	295,8	295,8	294,1

* Dati preliminari TERNA e stime ISPRA

L'energia elettrica di origine termica rappresenta, per tutta la serie storica, la quota prevalente della produzione elettrica nazionale ma a partire dal 2007 si osserva un costante declino dell'apporto di energia termoelettrica. La percentuale media della produzione termoelettrica lorda dal 1990 al 2018 è pari al 77,1% della produzione nazionale con un andamento piuttosto variabile e in crescita fino al 2007, quando la produzione elettrica di origine termica ha raggiunto l'84,7%. Successivamente al 2007 si registra un rapido declino della quota termoelettrica fino al 63% nel 2014. Negli ultimi anni si osservano ampie oscillazioni e nel 2018 la quota termoelettrica è del 66,5%. I dati preliminari per il 2019 mostrano una quota termoelettrica invariata rispetto al 2018. Un andamento analogo si osserva per la quota di energia elettrica di origine fossile che dopo un picco del 82,6% nel 2007 mostra un declino fino al minimo del 56% nel 2014 e del 59,7% nel 2018.

Il contributo della fonte idroelettrica presenta fluttuazioni legate al regime pluviometrico, con un valore medio pari al 17,3% dal 1990 al 2018. Le fonti non tradizionali – eolico, solare, rifiuti, biocombustibili – presentano una rapida crescita nell'ultimo decennio (Figura 1.3) che negli ultimi anni mostra un arresto se non una sensibile riduzione. Il contributo complessivo di tali fonti al 2018 è pari al 20,6%, in lieve diminuzione rispetto all'anno precedente. La quota geotermica mostra un andamento crescente nel lungo termine e una riduzione negli ultimi anni (da 1,5% nel 1990 a 2,1% nel 2018). La produzione di origine eolica e fotovoltaica mostra una crescita esponenziale, coprendo complessivamente il 13,9% della produzione nazionale del 2018 (6,1% da eolico e 7,8% da fotovoltaico). L'energia elettrica prodotta da bioenergie (biogas, bioliquidi, biomasse e quota rinnovabile dei rifiuti) mostra un contributo relativo in costante crescita già a partire dalla prima metà degli anni '90 con una accelerazione che dal 2008 è particolarmente sostenuta e nel 2015 raggiunge il 6,9% della produzione elettrica nazionale e il 10,1% della produzione termoelettrica tradizionale. Nel 2018 si osserva una riduzione della produzione elettrica da bioenergie rispetto all'anno precedente e la quota rispetto alla produzione nazionale e alla produzione termoelettrica è stata del 6,6% e 9,3%

rispettivamente. Le stime per il 2019 mostrano l'incremento della produzione da fonti rinnovabili dovuto all'incremento della produzione eolica e fotovoltaica che compensano la riduzione della produzione idroelettrica.

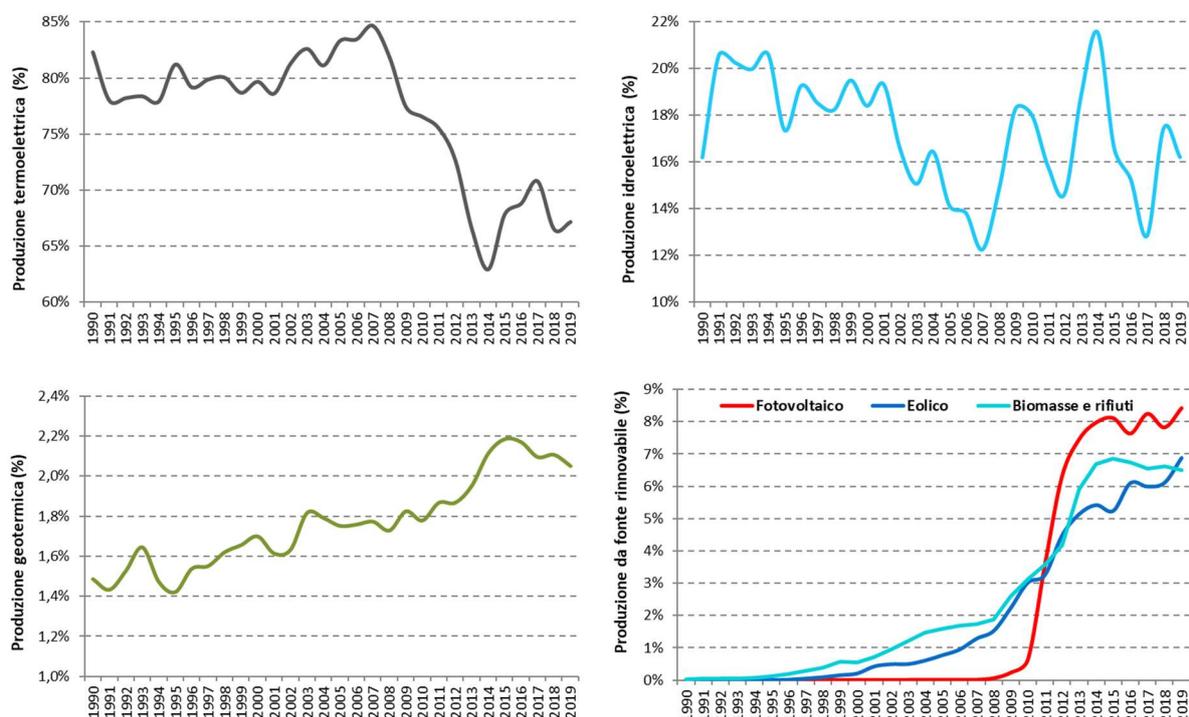


Figura 1.3 – Quota della produzione elettrica lorda nazionale dalle diverse fonti. Per il 2019 stime ISPRA su dati preliminari TERNA.

In Tabella 1.4 è riportata la produzione elettrica lorda di origine termica per le diverse tipologie di combustibili.

Tabella 1.4 – Produzione elettrica lorda per combustibile (TWh).

Fonte	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2017	2018
Solidi	32,0	24,1	26,3	43,6	39,7	43,2	32,6	28,5
Gas naturale*	39,7	47,0	101,4	149,3	152,7	110,9	140,3	128,5
Gas derivati	3,7	3,4	4,3	5,8	4,7	2,2	2,5	2,5
Prodotti petroliferi	102,7	120,8	85,9	47,1	21,7	13,4	11,5	11,0
Altri combustibili	0,1	0,4	1,9	6,2	11,6	21,8	21,9	21,6
Totale da combustibili	178,3	195,8	219,7	252,0	230,5	191,5	208,8	192,1

* Dal 2017 si registra la produzione di energia elettrica da biometano (16,4 GWh nel 2017 e 50 GWh nel 2018) compresa nel gas naturale.

La voce ‘altri combustibili’ rappresenta un gruppo eterogeneo di combustibili composto essenzialmente da diverse tipologie di bioenergie (biomasse solide, biogas e bioliquidi di diversa origine) e da rifiuti (CDR e rifiuti solidi urbani e industriali). È evidente il crescente contributo di tali combustibili che passano da un marginale 0,05% nel 1990 al 7,5% nel 2018 della produzione elettrica nazionale.

Fino alla prima metà degli anni '90 i prodotti petroliferi, in particolare l'olio combustibile, rivestivano un ruolo prevalente nella generazione elettrica contribuendo alla produzione di circa il 50% dell'energia elettrica di origine termica. Dalla seconda metà degli anni '90, in seguito all'effetto combinato di politiche ambientali mirate alla riduzione delle emissioni inquinanti, l'aumento del prezzo del petrolio e la maggiore efficienza dei cicli combinati rispetto alle caldaie tradizionali, si assiste a una progressiva diminuzione dei prodotti petroliferi nel settore termoelettrico e a un contestuale incremento della quota di gas naturale. Nel mix di combustibili fossili un ruolo non

irrelevante è ricoperto dal carbone con un contributo medio alla produzione elettrica del 12,2% nel periodo dal 1990 al 2018 ma con un andamento in netta diminuzione negli ultimi anni. In particolare, si osserva un andamento crescente della quota di carbone fin dalla seconda metà degli anni '90 con diverse oscillazioni e un picco del 16,4% della produzione elettrica raggiunto nel 2012 (22,7% dell'energia elettrica di origine termica) e un successivo declino fino alla quota del 9,8% nel 2018 (14,8% dell'energia elettrica di origine termica). Il gas naturale rappresenta la risorsa fossile prevalente per la generazione termoelettrica. Dal 2017 si registra una quota ancora marginale di produzione elettrica da biometano immesso nella rete del gas naturale (16,4 GWh nel 2017 e 50 GWh nel 2018). L'energia elettrica da biometano è calcolata da GSE in base all'incidenza del biometano rispetto ai consumi di gas naturale per la generazione elettrica ed è conteggiata ai soli fini del monitoraggio della Direttiva 2009/28/CE. In figura 1.4 è evidente come al rapido declino dei prodotti petroliferi corrisponda un incremento del gas naturale la cui quota sulla produzione elettrica totale cresce costantemente passando da meno del 20% nel 1990 fino a raggiungere il picco del 55,0% nel 2007. Successivamente si osserva una inversione di tendenza in corrispondenza del crescente contributo delle fonti rinnovabili. Nel 2018 la quota del gas naturale è stata del 44,4% sulla produzione elettrica totale (66,7% dell'energia elettrica di origine termica), in diminuzione rispetto al 2017.

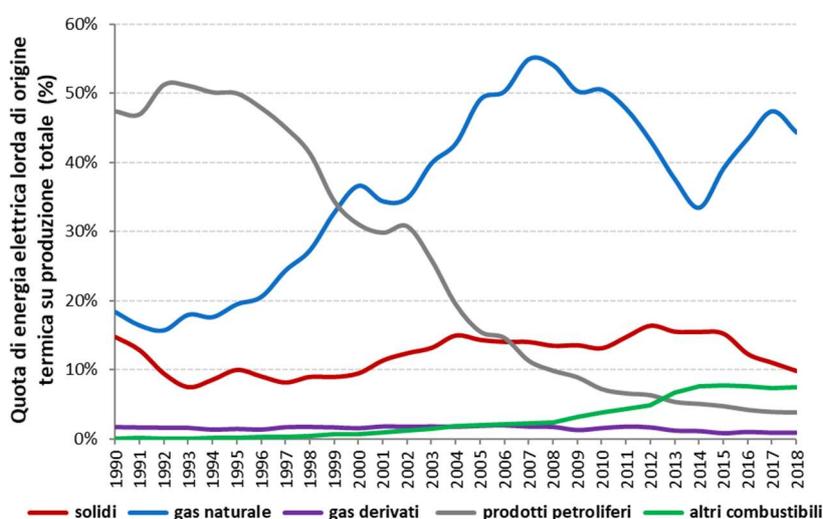


Figura 1.4 – Andamento della quota di energia termoelettrica prodotta per tipologia di combustibile.

I combustibili utilizzati nel settore elettrico sono caratterizzati da diverse potenzialità di conversione elettrica (Tabella 1.5). L'efficienza di conversione di ciascun combustibile dipende sia dalle proprietà del combustibile, principalmente il potere calorifico, sia dalla tecnologia utilizzata per la produzione elettrica. Il gas naturale è il combustibile con il più elevato rendimento in termini di rapporto tra energia elettrica lorda prodotta e contenuto energetico.

Tabella 1.5 – Rendimento elettrico lordo per unità di contenuto energetico di combustibile (Energia elettrica lorda prodotta / Contenuto energetico del combustibile). È riportato inoltre il consumo specifico medio di combustibili per la produzione elettrica lorda.

Combustibile	2000	2005	2010	2011	2015	2016	2017	2018
Solidi	0,390	0,369	0,379	0,385	0,379	0,382	0,388	0,384
Gas naturale	0,417	0,508	0,533	0,538	0,565	0,565	0,563	0,564
Gas derivati	0,437	0,393	0,398	0,402	0,414	0,421	0,424	0,389
Prodotti petroliferi	0,390	0,420	0,417	0,461	0,498	0,516	0,515	0,526
Altri combustibili	0,375	0,268	0,309	0,292	0,367	0,365	0,371	0,371
Totale	0,402	0,448	0,468	0,468	0,476	0,488	0,497	0,495
Consumo specifico medio (MJ/kWh)	8,72	8,03	7,69	7,69	7,56	7,37	7,25	7,27

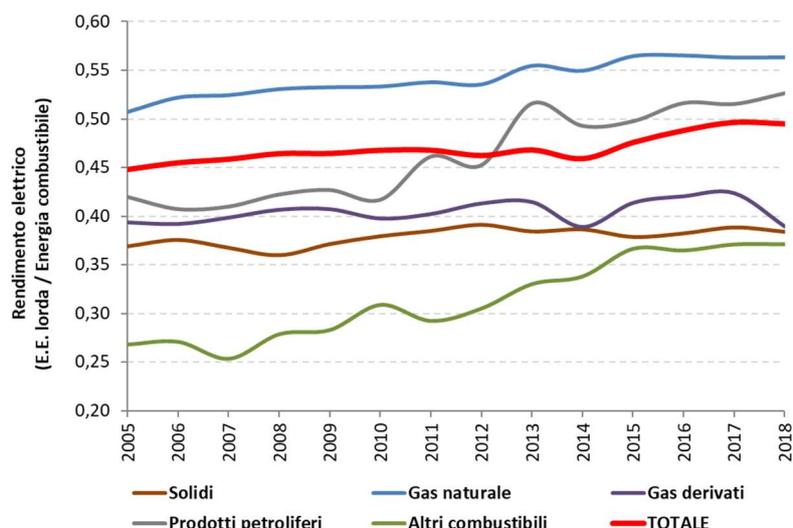


Figura 1.5 – Rendimento elettrico per unità di contenuto energetico di combustibile.

La figura 1.5 mostra come i combustibili presentino rendimenti crescenti dal 2005. Il gas naturale raggiunge nel 2018 il rendimento di 0,564. Gli ‘altri combustibili’, costituiti da bioenergie e rifiuti, mostrano l’incremento più rilevante dell’efficienza di conversione elettrica, passando da 0,268 nel 2005 a 0,371 nel 2018, invariato rispetto all’anno precedente. Tale incremento è dovuto al miglioramento tecnologico e all’aumento della quota di biogas rispetto a rifiuti e biomasse solide, caratterizzati da minore efficienza di conversione elettrica.

L’incremento dell’efficienza media di tutti i combustibili è dovuto principalmente alla diffusione degli impianti a ciclo combinato e alla diffusione di impianti a cogenerazione con produzione di energia elettrica e calore. Per la stessa ragione i prodotti petroliferi mostrano un rilevante incremento dell’efficienza dovuto essenzialmente alla rapida diminuzione della quota di olio combustibile con bassa efficienza di conversione elettrica (0,349 nel 2018) e al corrispondente incremento dei gas di sintesi da processi di gassificazione e gas di raffineria con elevata efficienza di conversione (0,577 e 0,588 rispettivamente nel 2018), utilizzati nei cicli combinati.

La quota di produzione elettrica lorda da impianti cogenerativi rispetto alla produzione termoelettrica totale è cresciuta dal 27,4% nel 2000 fino al 54,6% nel 2018. Nel seguente grafico è possibile osservare che l’incremento di produzione elettrica nazionale è stato sostanzialmente soddisfatto da impianti cogenerativi. Gli impianti che producono solo energia elettrica mostrano infatti un andamento della produzione elettrica pressoché costante dal 1997 al 2008 (Figura 1.6).

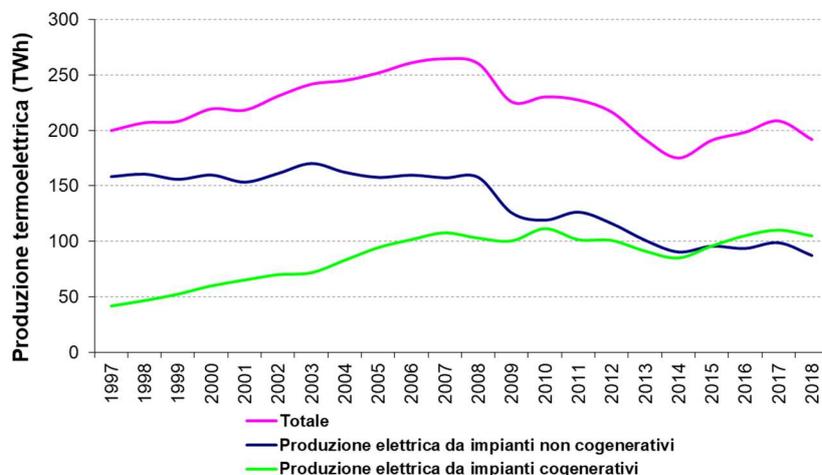


Figura 1.6 – Produzione lorda di energia termoelettrica totale, per impianti non cogenerativi e per impianti cogenerativi.

Dopo il 2008, in seguito alla forte flessione dei consumi elettrici si osserva una corrispondente flessione della produzione da impianti non cogenerativi. Dal 2014 si osserva una crescita della produzione da impianti cogenerativi che supera la produzione elettrica da impianti non cogenerativi.

La produzione elettrica da fonti rinnovabili, al netto della produzione idroelettrica da pompaggi, è stata pari al 39,5% della produzione nazionale nel 2018, in netto aumento rispetto all'anno precedente grazie all'incremento di produzione idroelettrica (Tabella 1.6).

Tabella 1.6 – Produzione elettrica lorda per fonte rinnovabile. La produzione idroelettrica è riportata al netto della produzione da pompaggi (TWh).

Fonte energetica	1990	1995	2000	2005	2010	2014	2015	2016	2017	2018	2019*
Idroelettrica	31,6	37,8	44,2	36,1	51,1	58,5	45,5	42,4	36,2	48,8	45,9
0 - 1 MW	-	1,4	1,6	1,5	2,2	3,1	2,6	2,7	2,3	3,0	-
1 - 10 MW	-	6,0	6,6	6,1	8,7	11,0	8,3	8,2	7,0	9,1	-
> 10 MW	-	30,3	36,1	28,5	40,2	44,4	34,7	31,6	26,9	36,7	-
Eolica	0,0	0,0	0,6	2,3	9,1	15,2	14,8	17,7	17,7	17,7	20,2
Fotovoltaica	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	22,3	22,9	22,1	24,4	22,7	24,7
Geotermica	3,2	3,4	4,7	5,3	5,4	5,9	6,2	6,3	6,2	6,1	6,0
Bioenergie	0,1	0,3	1,5	4,8	9,4	18,7	19,4	19,5	19,4	19,2	19,1
Solidi	-	0,2	0,9	3,6	4,3	6,2	6,3	6,5	6,6	6,6	-
Biogas	-	0,1	0,6	1,2	2,1	8,2	8,2	8,3	8,3	8,3	-
Bioliquidi	-	0,0	0,0	0,0	3,1	4,3	4,9	4,7	4,5	4,3	-
Biometano#	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	0,1	0,1
TOTALE	34,9	41,5	51,0	48,6	77,0	120,7	108,9	108,0	103,9	114,5	116,1

* Stime ISPRA su dati preliminari TERNA.

La produzione elettrica da biometano è calcolata da GSE in base all'incidenza del biometano sui consumi di gas naturale per la generazione elettrica ed è conteggiata ai soli fini del monitoraggio della Direttiva 2009/28/CE.

Dopo un periodo di rapida crescita la produzione elettrica da fonti eolica e fotovoltaica è piuttosto stabile negli ultimi anni. Lo stesso andamento si osserva per la produzione da bioenergie. La produzione elettrica da fonti rinnovabili è più che raddoppiata dal 2005 al 2018 ma dopo un picco di 120,7 TWh raggiunto nel 2014 si registra una significativa riduzione negli anni successivi, dovuta alla diminuzione dei tassi di crescita delle fonti eolica, fotovoltaica e delle bioenergie e soprattutto alla contrazione di energia idroelettrica. Nel 2018 si registra un sensibile incremento della produzione idroelettrica che tradizionalmente è prevalente nel settore delle fonti rinnovabili. La fonte idrica nel 2018 costituisce il 42,6% della produzione elettrica da fonti rinnovabili al netto della produzione da pompaggi. Le prime stime della produzione idroelettrica nel 2019 mostrano che la produzione totale da fonti rinnovabili aumenta di circa 1,6 TWh rispetto al 2018.

In Figura 1.7 sono riportate le quote della produzione elettrica lorda dalle rispettive fonti. Dal 1990 risulta evidente un costante incremento del gas naturale a scapito dei prodotti petroliferi. Inoltre, dal 2007 si nota la crescente quota delle fonti rinnovabili che negli ultimi anni mostra un rallentamento.

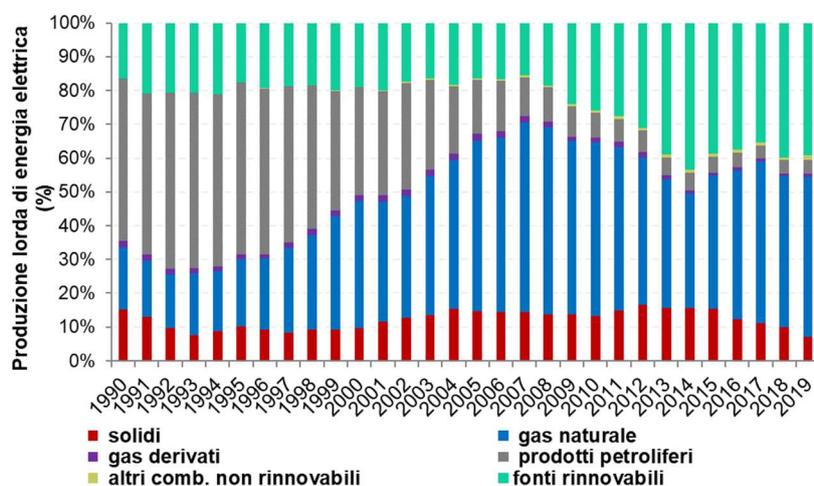


Figura 1.7 – Quota di produzione elettrica lorda per fonte. Per il 2019 stime ISPRA su dati preliminari TERNA.

Considerando in dettaglio la quota di energia elettrica da fonti rinnovabili rispetto alla produzione nazionale è evidente come all'incremento piuttosto sostenuto dal 2005 fino al 2014 sia seguita, per tre anni di seguito, una repentina riduzione della quota rinnovabile. È inoltre evidente la variabilità dell'apporto idroelettrico e il fondamentale ruolo che tale fonte riveste nella quota complessiva di energia elettrica di origine rinnovabile. Nel 2005 l'energia elettrica da fonti rinnovabili rispetto alla produzione nazionale rappresentava appena il 16% della produzione elettrica nazionale. Nel 2014 la quota ha raggiunto il massimo storico con il 43,1% e nei tre anni successivi è scesa fino al 35,1% del 2017. Nel 2018 si registra un nuovo incremento dovuto proprio al maggiore apporto dell'idroelettrico. Le stime preliminari per il 2019 mostrano che la quota di produzione rinnovabile rispetto alla produzione lorda è rimasta pressoché invariata rispetto all'anno precedente.

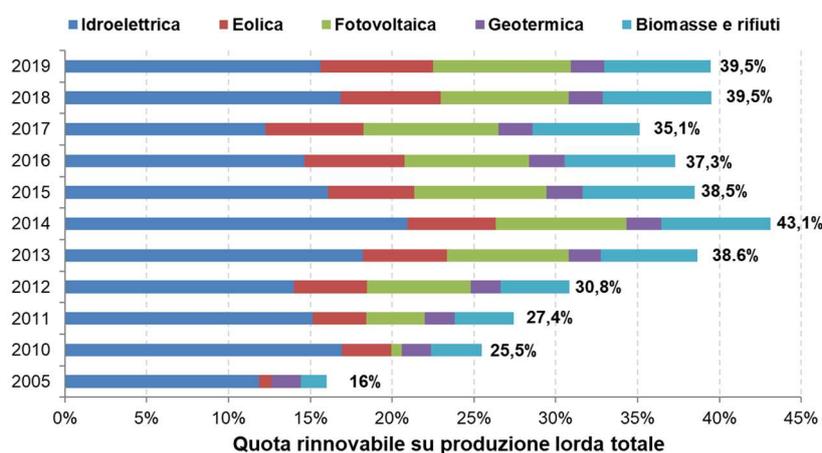


Figura 1.8 – Quota di produzione elettrica rinnovabile rispetto alla produzione lorda nazionale. Per il 2019 stime ISPRA su dati preliminari TERNA.

La quota di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili, pubblicata periodicamente dal GSE e calcolata secondo la metodologia richiesta dalla Direttiva 2009/28/CE, mostra un rapido incremento dal 2005 fino al 2014. Successivamente la quota mostra lievi variazioni e nel 2018 è pari al 33,9% del consumo interno lordo di energia elettrica (GSE, 2019).

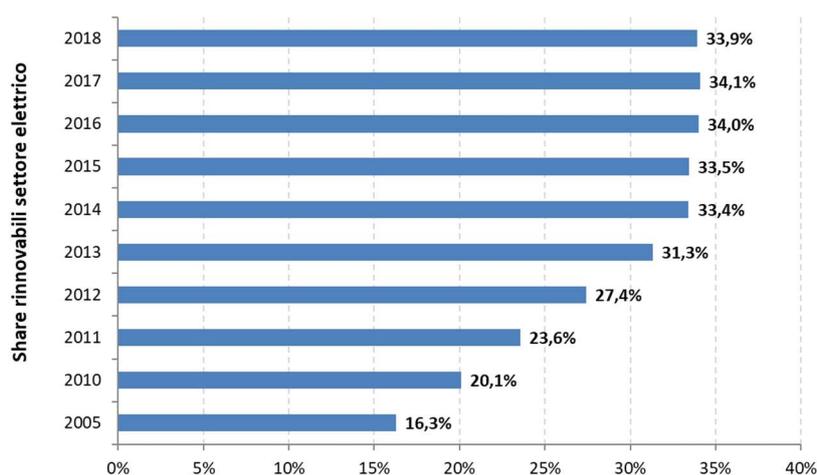


Figura 1.9 – Quota di produzione elettrica rinnovabile rispetto al consumo interno lordo di elettricità.

Si ricorda che l'obiettivo indicativo per il settore elettrico al 2020 stabilito dal Piano di azione nazionale per le energie rinnovabili (2010), calcolato come rapporto tra la produzione elettrica normalizzata da fonti rinnovabili e consumo interno lordo, è pari al 26,4% e che dal 2012 fino al 2018 tale obiettivo è ampiamente superato.

1.1.1 Potenza installata, produzione di energia elettrica e calore

L'andamento della produzione di energia elettrica rispetto alla potenza installata fornisce indicazioni sull'effettiva attività di generazione elettrica dalle diverse tipologie di impianti. È necessario sottolineare che la produzione elettrica non è direttamente correlata alla potenza efficiente, poiché la produzione è influenzata anche da fattori di mercato e dalla competizione tra le risorse che rendono la produzione e la potenza parzialmente indipendenti. Inoltre per quanto riguarda alcune fonti rinnovabili la produzione elettrica è intrinsecamente aleatoria poiché dipende dalla disponibilità delle rispettive risorse: vento, sole, pioggia. Ad ogni modo il rapporto tra produzione lorda e potenza efficiente installata fornisce una indicazione delle ore di funzionamento di una certa tipologia di impianti.

Nelle tabelle 1.7 e 1.8 è riportata la potenza efficiente lorda e la produzione lorda per tipo di impianto nel settore termoelettrico dal 2000. La rappresentazione grafica della potenza e della produzione, distinta per impianti cogenerativi e non cogenerativi, mostra che a fronte di un generale incremento della potenza installata fino al 2012 la produzione degli impianti che producono solo energia elettrica subisce un drastico calo a partire dal 2008. Dopo il 2012 si osserva una diminuzione della potenza efficiente corrispondentemente alla diminuzione della produzione elettrica. Anche gli impianti cogenerativi mostrano un andamento decrescente della produzione di energia elettrica ma con una potenza installata piuttosto stabile nel periodo 2010-2014 e una crescita significativa della potenza nel 2015. (Figura 1.10-1.11).

Gli impianti a ciclo combinato, indipendentemente dalla produzione cogenerativa o non cogenerativa, mostrano un notevole incremento della potenza efficiente lorda, da 7,9 GW nel 2000 fino al massimo di 43,4 GW nel biennio 2011-2012. Successivamente tali impianti mostrano una costante riduzione della potenza efficiente fino a 40,7 GW nel 2017 che resta invariata nel 2018. La quota della potenza di tali impianti rispetto alla potenza efficiente totale è in costante aumento dal 2000 e nel 2017 rappresenta il 63,6% del settore termoelettrico, valore registrato anche nel 2018. La produzione elettrica da impianti a ciclo combinato passa da 43,8 TWh nel 2000 a 124,1 TWh nel 2018. Il contributo relativo dei cicli combinati alla produzione termoelettrica è cresciuto dal 2000, quando era del 20%, raggiungendo un picco del 68% nel 2010. La quota diminuisce negli anni successivi per arrivare al 52,6% nel 2014. Negli anni successivi la quota di energia elettrica da cicli combinati torna a crescere per raggiungere il 65,1% nel 2017 e 64,6% nel 2018.

Tabella 1.7 – Potenza efficiente lorda per tipologia di impianto (GW).

Tipologia di impianto	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Impianti non cogenerativi	44,1	46,3	54,0	55,9	57,1	55,3	51,5	42,0	38,7	37,9	37,9
<i>a combustione interna (CI)</i>	0,4	0,5	0,9	1,1	1,4	1,4	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
<i>a turbine a gas (TG)</i>	4,5	3,0	2,5	2,5	2,5	2,1	1,5	2,1	2,7	2,7	2,7
<i>a vapore a condensazione (C)</i>	37,5	24,1	21,8	21,6	21,6	20,9	17,9	13,5	12,6	11,7	11,7
<i>a ciclo combinato (CC)</i>	1,6	12,8	23,1	25,1	25,9	25,2	25,1	22,6	21,8	21,8	21,8
<i>ripotenziato (RP)</i>	-	5,8	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	2,2	0,0	0,0	0,0
<i>turbo espansione (TE)</i>	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
<i>altro genere (V)</i>	-	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Impianti cogenerativi	12,2	18,3	24,4	23,8	23,5	23,2	23,5	26,6	26,2	26,2	26,2
<i>a combustione interna (CIC)</i>	0,4	0,6	1,4	1,8	2,4	2,5	2,8	3,1	3,3	3,4	3,5
<i>a turbine a gas (TGC)</i>	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0
<i>a ciclo combinato (CCC)</i>	6,3	12,6	18,9	18,3	17,5	16,9	16,9	19,2	19,0	18,9	18,9
<i>a vapore a controcompressione (CPC)</i>	2,0	1,9	1,3	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0	0,7	0,7	0,6
<i>a vapore a condensaz. con spillamento (CSC)</i>	2,5	2,2	1,8	1,5	1,5	1,7	1,7	2,2	2,2	2,2	2,2
TOTALE	56,3	64,6	78,3	79,7	80,6	78,5	75,0	68,6	64,9	64,0	64,0

Tabella 1.8 – Produzione termoelettrica lorda per tipologia di impianto (TWh).

Tipologia di impianto	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Impianti non cogenerativi	159,6	157,5	119,0	126,2	116,0	100,9	90,4	95,6	93,6	98,7	87,2
<i>a combustione interna (CI)</i>	1,2	1,6	3,0	3,7	4,0	5,5	5,5	5,0	4,9	4,8	4,7
<i>a turbine a gas (TG)</i>	12,4	0,9	0,4	0,3	0,2	2,4	2,5	3,6	0,4	0,6	0,3
<i>a vapore a condensazione (C)</i>	139,1	78,3	52,1	55,9	59,2	54,2	52,5	51,0	42,0	39,0	39,9
<i>a ciclo combinato (CC)</i>	6,9	58,7	62,6	66,0	52,2	38,8	29,8	36,1	46,2	54,4	48,3
<i>ripotenziato (RP)</i>	-	18,1	0,9	0,4	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Impianti cogenerativi	60,1	94,4	111,5	101,5	100,8	91,3	85,2	95,9	105,1	110,1	104,9
<i>a combustione interna (CIC)</i>	1,4	2,3	5,6	7,0	8,2	10,6	12,4	14,4	15,2	16,3	17,1
<i>a turbine a gas (TGC)</i>	5,0	6,1	3,8	4,2	3,9	3,8	4,2	4,7	4,9	5,0	5,0
<i>a ciclo combinato (CCC)</i>	37,0	72,7	94,3	82,9	82,4	70,9	62,5	69,4	77,9	81,6	75,8
<i>a vapore a contropressione (CPC)</i>	6,1	5,3	2,4	2,2	2,0	1,8	1,6	1,6	1,5	1,5	1,5
<i>a vapore a condensaz. con spillamento (CSC)</i>	10,7	8,1	5,4	5,2	4,3	4,3	4,5	5,9	5,7	5,8	5,6
TOTALE	219,7	252,0	230,5	227,7	216,8	192,2	175,5	191,5	198,7	208,8	192,1

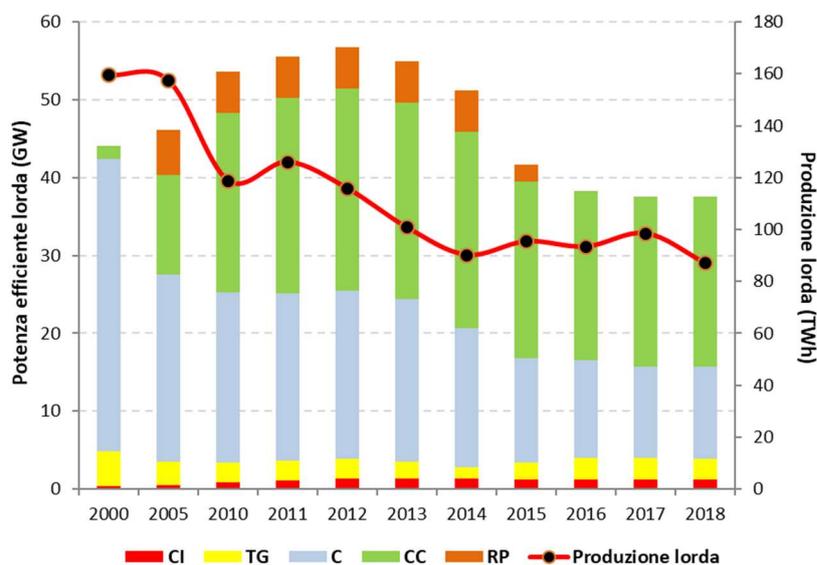


Figura 1.10 – Potenza efficiente lorda per tipologia di impianti termoelettrici e produzione lorda di energia elettrica da impianti che producono solo energia elettrica. CI = a combustione interna; TG = a turbine a gas; C = a vapore a condensazione; CC = a ciclo combinato; RP = ripotenziato.

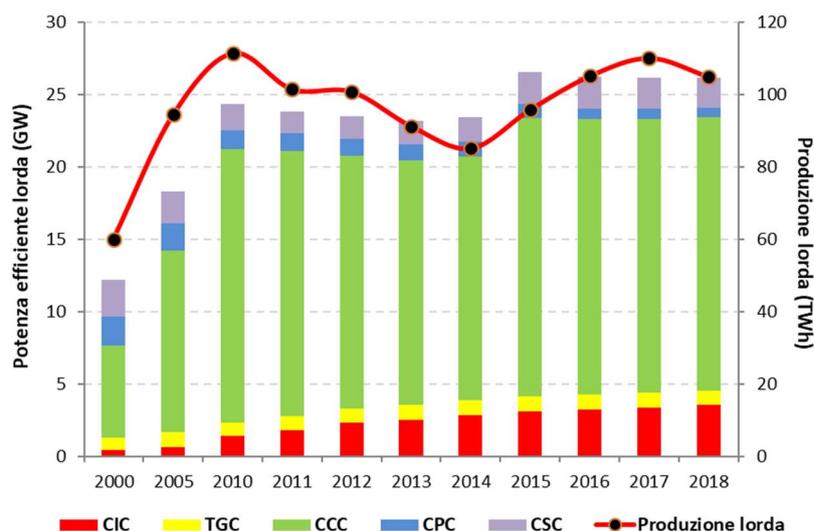


Figura 1.11 – Potenza efficiente lorda per tipologia di impianti termoelettrici e produzione lorda di energia elettrica da impianti che producono energia elettrica e calore. CIC = a combustione interna; TGC = a turbine a gas; CCC = a ciclo combinato; CPC = a vapore a contropressione; CSC = a vapore a condensazione con spillamento.

Nelle seguenti tabelle sono riportate le quantità di calore prodotto per tipologia di impianto (Tabella 1.9). Per l'anno 2018 è riportata la produzione di calore per tipologia di impianto e di combustibile, secondo la classificazione dei combustibili utilizzata da TERNA (Tabella 1.10).

Tabella 1.9 – Produzione di calore per tipologia di impianto cogenerativo (ktep).

Tipologia di impianto	2005	2010	2015	2016	2017	2018
a combustione interna (CIC)	156,2	412,7	928,7	981,5	1.058,0	1.107,0
a turbine a gas (TGC)	655,1	481,7	578,7	587,2	589,6	577,0
a ciclo combinato (CCC)	1.467,9	2.465,7	2.379,7	2.495,6	2.456,4	2.352,9
a vapore a contropressione (CPC)	1.405,1	640,3	426,5	415,4	381,5	365,4
a vapore a condensaz. con spillamento (CSC)	927,1	836,3	782,8	769,6	766,5	724,2
TOTALE	4.611,4	4.836,7	5.096,4	5.249,3	5.252,0	5.126,7

I dati mostrano un costante incremento della produzione di calore da parte degli impianti cogenerativi a partire dal 2005 prevalentemente a carico degli impianti a ciclo combinato.

Tabella 1.10 – Produzione di calore per tipologia di impianto cogenerativo e tipologia di combustibile nel 2018.

	Solidi	Gas naturale	Gas derivati	Prodotti petroliferi	Altri solidi	Altri gassosi	TOTALE
ktep							
a combustione interna (CIC)	-	671,9	8,2	2,8	214,1	210,2	1.107,2
a turbine a gas (TGC)	-	521,4	-	46,3	8,8	0,5	577,0
a ciclo combinato (CCC)	37,4	1.861,6	43,8	236,8	171,9	1,4	2.352,9
a vapore a contropressione (CPC)	9,0	180,5	-	75,5	100,4	-	365,4
a vapore a condensaz. con spillamento (CSC)	-	46,5	6,6	69,3	599,9	1,9	724,2
Totale	46,4	3.281,9	58,6	430,7	1.095,1	214,0	5.126,7

Per quanto riguarda gli impianti alimentati da fonti rinnovabili si osserva la notevole crescita del settore. Dal 2000 si registra il significativo incremento della capacità installata (Tabella 1.11). Nel 2018 la potenza efficiente lorda è stata di 54,3 GW. Il tasso di incremento annuale più elevato è stato registrato nel 2011 quando la nuova potenza rispetto all'anno precedente è stata di 11,3 GW, di cui 9,5

GW da fonte fotovoltaica e 1,1 GW da fonte eolica. Negli anni successivi gli incrementi annuali sono diminuiti assestandosi dal 2014 intorno ad 1 GW di potenza aggiuntiva all'anno. Nel 2018 si ha 1 GW di nuova potenza (0,5 GW da fonte eolica, 0,4 GW da fonte fotovoltaica e 0,1 GW da fonte idrica).

Tabella 1.11 – Potenza efficiente lorda per tipologia di fonte rinnovabile (GW).

Fonte energetica	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Idroelettrica*	16,6	17,3	17,9	18,1	18,2	18,4	18,4	18,5	18,6	18,9	18,9
0 - 1 MW	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9
1 - 10 MW	1,8	2,0	2,2	2,3	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,7
> 10 MW	14,4	14,9	15,1	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,4	14,4
Eolica	0,4	1,6	5,8	6,9	8,1	8,5	8,7	9,2	9,4	9,8	10,3
Fotovoltaica	0,0	0,0	3,6	13,1	16,8	18,2	18,6	18,9	19,2	19,7	20,1
Geotermica	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Bioenergie	0,7	1,2	2,4	2,8	3,8	4,0	4,0	4,1	4,1	4,1	4,2
Solo prod. en. elettrica	0,3	0,6	1,4	1,7	2,0	2,1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Solidi	0,1	0,4	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Biogas	0,2	0,2	0,3	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Bioliquidi	-	-	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Prod. comb. en. elettrica e calore	0,4	0,6	0,9	1,2	1,8	1,9	2,0	2,0	2,1	2,1	2,2
Solidi	0,4	0,6	0,6	0,5	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9
Biogas	0,0	0,0	0,2	0,4	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9
Bioliquidi	-	-	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
TOTALE	18,3	20,9	30,4	41,8	47,7	49,9	50,6	51,5	52,3	53,3	54,3

* La potenza idroelettrica è al netto degli impianti da pompaggio puro

In merito agli impianti alimentati da bioenergie è da sottolineare il rapido incremento dal 2008 al 2013 e la successiva stabilizzazione della potenza efficiente lorda con nuove installazioni di circa 150 MW per anno. In particolare gli impianti alimentati a biogas passano da 0,37 GW nel 2008 a 1,45 GW nel 2018. La crescita degli impianti alimentati da bioliquidi nel periodo 2008-2013 appare particolarmente rapida, da 0,12 GW a 1,04 GW, successivamente si riduce a 1,01 GW nel 2018. Gli impianti alimentati a biomasse solide e rifiuti passano da 1,07 GW nel 2008 a 1,73 GW nel 2018. Tali andamenti sono spiegabili con la diminuzione degli incentivi per questo tipo di impianti il cui sviluppo in futuro non sembra indipendente dalla presenza di forme di incentivazione.

Nella figura 1.12 è evidente come la produzione elettrica mostri per un certo periodo un andamento correlato alla potenza installata, mentre negli ultimi anni tale correlazione non è più evidente soprattutto a causa dell'aleatorietà della fonte idrica.

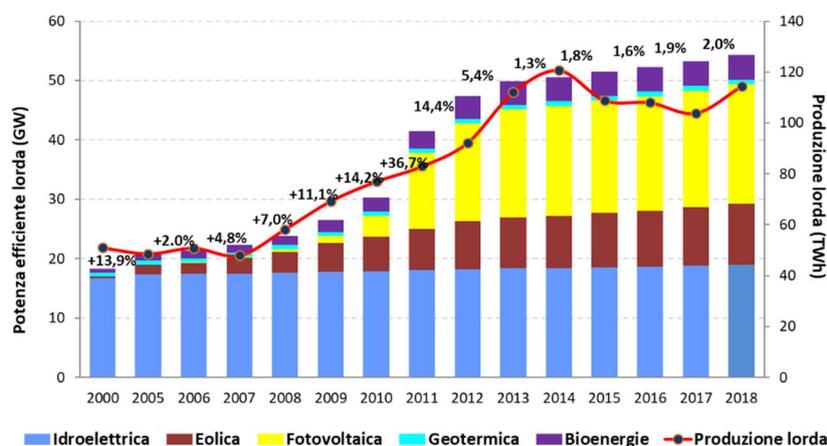


Figura 1.12 – Potenza efficiente lorda degli impianti da fonti rinnovabili e produzione lorda. È inoltre riportato l'incremento percentuale della potenza efficiente lorda rispetto all'anno precedente.

Di particolare rilievo appare il fattore di capacità degli impianti, ossia il rapporto tra numero di ore annue durante le quali un impianto genera elettricità (ore equivalenti) e le ore dell'anno solare (8.760

ore). Le ore equivalenti in un anno sono calcolate dal rapporto tra produzione lorda e potenza efficiente lorda installata. In Figura 1.13 si nota l'incremento del fattore di capacità degli impianti fotovoltaici dal 2010. A fine 2018 le ore equivalenti per gli impianti fotovoltaici sono state 1.127 delle 8.760 disponibili nell'arco dell'anno (fattore di capacità 12,9%), in diminuzione rispetto all'anno precedente (fattore di capacità 14,1%). Gli impianti eolici hanno fatto registrare 1.726 ore equivalenti (fattore di capacità 19,7%), in diminuzione rispetto al 2017 (fattore di capacità 20,7%). Complessivamente le ore equivalenti degli impianti a fonti rinnovabili sono state 2.107 (24,1%).

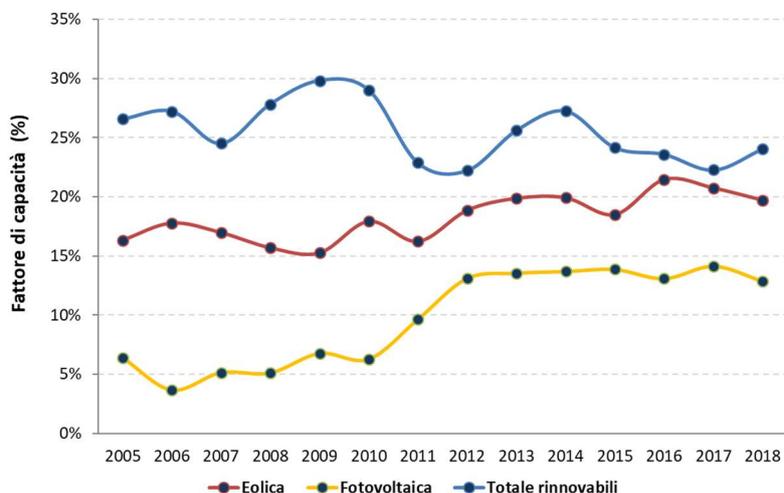


Figura 1.13 – Coefficiente di utilizzazione degli impianti fotovoltaici e eolici.

1.1.2 Efficienza del parco termoelettrico

I dati pubblicati da TERNA relativi ai consumi energetici, consumi specifici, produzione di energia elettrica e calore utile delle centrali termoelettriche consentono di calcolare l'efficienza del parco termoelettrico in termini di rapporto tra energia prodotta e contenuto energetico dei combustibili utilizzati.

La quantità di combustibile destinato alla generazione di energia elettrica nelle centrali cogenerative può essere calcolata con lo scorporo della quota destinata alla generazione di calore. Lo scorporo dei combustibili è elaborato da TERNA considerando il consumo di una caldaia equivalente che genera calore in modo separato con una efficienza media variabile di anno in anno. Per il parco termoelettrico e per gli impianti cogenerativi è pertanto calcolato il rendimento totale, il rendimento elettrico e il rendimento elettrico equivalente secondo le seguenti equazioni.

Il rendimento totale (ε_t) e il rendimento elettrico (ε_{el}) del parco termoelettrico e del parco cogenerativo sono calcolati con le equazioni:

$$\varepsilon_t = (H + E) / F$$

$$\varepsilon_{el} = E / F$$

dove H è il calore prodotto, E è l'energia elettrica prodotta ed F è il contenuto energetico del combustibile utilizzato.

Il rendimento elettrico equivalente, ε'_{el} , è dato dall'equazione:

$$\varepsilon'_{el} = E / Fe$$

dove Fe è il contenuto energetico del combustibile utilizzato per la produzione elettrica ed è calcolato con la seguente equazione:

$$Fe = F - (Q / \eta_t)$$

dove Q è il calore generato e η_t è il rendimento termico di riferimento tipico di una caldaia. In base ai dati pubblicati da Terna nel 2018 è stato calcolato che il rendimento termico di riferimento medio per tutti i combustibili consumati dalle centrali cogenerative è stato 0,889.

Nella seguente tabella sono riportati i parametri relativi ai consumi energetici del parco termoelettrico e al rendimento degli impianti. I dati mostrano che l'efficienza del parco termoelettrico è aumentata dal 2005 soprattutto per il contributo delle centrali cogenerative caratterizzate da efficienza maggiore delle centrali non cogenerative. Nel 2018 il rendimento elettrico di queste ultime risulta del 44%, mentre per le centrali cogenerative si registra un rendimento totale del 64,1% e un rendimento elettrico equivalente del 55,3%. Il rendimento totale del parco termoelettrico nazionale è del 55,4% e mostra un andamento crescente negli ultimi anni con un incremento di oltre 6 punti percentuali rispetto al dato registrato nel 2005.

Tabella 1.12 – Consumi energetici e rendimenti del parco termoelettrico.

	2005	2010	2015	2016	2017	2018
Consumi specifici - non cogenerative (Mcal/kWh _{el})	2,048	1,997	2,060	2,001	1,937	1,953
Consumi specifici - cogenerative (Mcal/kWh _{el})	1,703	1,667	1,553	1,546	1,545	1,554
Consumo di energia - totale (ktep)	53.468	47.764	40.343	40.886	42.044	39.108
- centrali cogenerative	21.206	23.999	20.654	22.164	22.924	22.075
- per produzione elettrica	16.078	18.577	14.889	16.256	17.018	16.308
- per produzione di calore	5.127	5.422	5.765	5.908	5.906	5.768
- centrali non cogenerative	32.262	23.765	19.688	18.722	19.120	17.033
Consumo di energia per la produzione elettrica	48.339	42.342	34.578	34.978	36.138	33.341
Rend. elettrico - cogenerative	0,383	0,399	0,399	0,408	0,413	0,409
Rend elettrico equivalente – cogener.	0,505	0,516	0,554	0,556	0,556	0,553
Rend. totale – cogenerative	0,600	0,601	0,646	0,645	0,642	0,641
Rend. elettrico - non cogenerative	0,420	0,431	0,417	0,430	0,444	0,440
Rendimento elettrico	0,405	0,415	0,408	0,418	0,427	0,422
Rendimento elettrico equivalente	0,448	0,468	0,476	0,488	0,497	0,495
Rendimento totale	0,491	0,516	0,534	0,546	0,552	0,554

Nel seguente grafico è riportato l'andamento del rendimento del parco termoelettrico nazionale per le centrali cogenerative e non cogenerative. Di particolare rilievo appare l'incremento di efficienza osservato per le centrali cogenerative tra il 2012 e il 2013 dovuto al prevalente funzionamento delle sezioni cogenerative a ciclo combinato e a condensazione, caratterizzate da grandi dimensioni e maggiore efficienza.

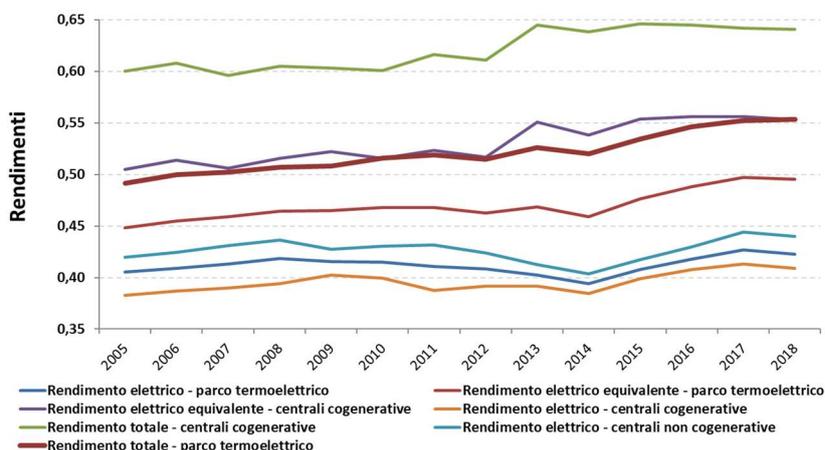


Figura 1.14 – Rendimenti del parco termoelettrico nazionale.

I dati pubblicati da TERNA consentono di elaborare il rendimento degli impianti con maggiore dettaglio, ovvero per tipologia di impianti e di combustibili. Nelle successive tabelle sono riportati i rendimenti totali e i rendimenti elettrici degli impianti per il 2005 e per il 2018 secondo la tipologia di combustibili utilizzati. Per gli impianti cogenerativi è riportato il rendimento elettrico equivalente. I dati mostrano che l'efficienza di conversione registrata nel 2018 è superiore a quella registrata nel 2005. L'incremento è particolarmente rilevante per gli impianti cogenerativi, infatti nel periodo 2005-2018 a fronte di un incremento del rendimento elettrico equivalente dell'intero parco termoelettrico di 4,7 punti percentuali, gli impianti cogenerativi mostrano un incremento di 4,8 punti percentuali,

mentre gli impianti non cogenerativi presentano un miglioramento del rendimento elettrico di 2 punti percentuali nello stesso periodo.

Per quanto riguarda il rendimento totale gli impianti cogenerativi mostrano un miglioramento delle prestazioni di 4,1 punti percentuali con un ruolo particolarmente rilevante degli impianti a ciclo combinato che fanno registrare un incremento di 6,8 punti percentuali.

Tabella 1.13 – *Rendimento elettrico e totale per tipologia di impianto e combustibili (2005 e 2018). Per gli impianti cogenerativi e per l'intero parco termoelettrico è riportato il rendimento elettrico equivalente. Classificazione dei combustibili secondo TERNA.*

	Solidi	Gas Naturale	Gas derivati	Prodotti petroliferi	Altri solidi	Altri gassosi	TOTALE
2005							
Rendimento elettrico							
Impianti non cogenerativi	0,368	0,494	0,354	0,376	0,195	0,336	0,420
a combustione interna (CI)		0,364	0,398	0,366	0,106	0,339	0,332
a turbine a gas (TG)		0,294		0,228		0,273	0,284
a vapore a condensazione (C)	0,368	0,380	0,354	0,374	0,198		0,362
a ciclo combinato (CC)		0,547		0,207	0,242		0,547
ripotenziato (RP)		0,411		0,417			0,411
Impianti cogenerativi	0,509	0,524	0,419	0,454	0,478	0,449	0,505
a combustione interna (CIC)		0,555	0,399	0,472	0,533	0,425	0,527
a turbine a gas (TGC)		0,540		0,554	0,690	0,312	0,542
a ciclo combinato (CCC)		0,520	0,438	0,459	0,576	0,280	0,521
a vapore a contropressione (CPC)	0,509	0,669	0,531	0,690	0,405	0,381	0,565
a vapore a condensaz. con spillamento (CSC)		0,437	0,279	0,402	0,280	0,506	0,358
TOTALE	0,369	0,508	0,393	0,391	0,405	0,352	0,448
Rendimento totale							
Impianti cogenerativi	0,690	0,609	0,456	0,666	0,527	0,629	0,600
a combustione interna (CIC)		0,682	0,406	0,550	0,603	0,543	0,646
a turbine a gas (TGC)		0,691		0,731	0,798	0,458	0,696
a ciclo combinato (CCC)		0,566	0,479	0,630	0,581	0,788	0,566
a vapore a contropressione (CPC)	0,690	0,844	0,553	0,847	0,545	0,641	0,785
a vapore a condensaz. con spillamento (CSC)		0,657	0,279	0,600	0,418	0,703	0,546
TOTALE	0,373	0,552	0,418	0,468	0,449	0,398	0,491
<hr/>							
	Solidi	Gas Naturale	Gas derivati	Prodotti petroliferi	Altri solidi	Altri gassosi	TOTALE
2018							
Rendimento elettrico							
Impianti non cogenerativi	0,383	0,529	0,393	0,336	0,319	0,368	0,440
a combustione interna (CI)		0,367	0,393	0,375	0,414	0,368	0,381
a turbine a gas (TG)		0,321		0,233	0,269	0,318	0,315
a vapore a condensazione (C)	0,383	0,402		0,331	0,268	0,396	0,362
a ciclo combinato (CC)		0,533		0,439	0,466	0,400	0,530
ripotenziato (RP)							
Impianti cogenerativi	0,809	0,586	0,390	0,581	0,448	0,511	0,553
a combustione interna (CIC)		0,635	0,511	0,556	0,483	0,511	0,571
a turbine a gas (TGC)		0,594		0,724	0,386	0,555	0,600
a ciclo combinato (CCC)	0,819	0,581	0,404	0,553	0,576	0,485	0,576
a vapore a contropressione (CPC)	0,717	0,722		0,757	0,590		0,660
a vapore a condensaz. con spillamento (CSC)		0,379	0,356	0,502	0,297	0,369	0,319
TOTALE	0,384	0,564	0,390	0,463	0,393	0,449	0,495
Rendimento totale							
Impianti cogenerativi	0,872	0,659	0,444	0,773	0,585	0,589	0,641
a combustione interna (CIC)		0,730	0,613	0,691	0,656	0,589	0,675
a turbine a gas (TGC)		0,735		0,824	0,742	0,710	0,741
a ciclo combinato (CCC)	0,880	0,636	0,474	0,742	0,610	0,584	0,634
a vapore a contropressione (CPC)	0,838	0,851		0,875	0,757		0,823
a vapore a condensaz. con spillamento (CSC)		0,510	0,373	0,780	0,523	0,670	0,519
TOTALE	0,388	0,616	0,443	0,655	0,495	0,506	0,554

2 FATTORI DI EMISSIONE DEI COMBUSTIBILI

I fattori di emissione per la produzione e consumo di energia elettrica considerati nel presente lavoro sono stati calcolati in base al consumo di combustibili comunicati a ISPRA da TERNA¹ a partire dal 2005. Per gli anni precedenti sono stati utilizzati i dati EUROSTAT che a sua volta utilizza i dati riportati nei *OECD/EUROSTAT Joint Questionnaire* compilati da TERNA per il settore elettrico. Inoltre sono state elaborate stime preliminari per il 2019 in base ai dati del Rapporto mensile sul sistema elettrico pubblicato da Terna a gennaio 2020 (aggiornato a dicembre 2019) e ai fattori di emissione elaborati per il 2018.

I fattori di emissione dei combustibili utilizzati nella generazione elettrica sono stati calcolati a partire dal contenuto di carbonio e dal potere calorifico dei rispettivi combustibili. Per ognuno dei principali combustibili, quali gas naturale, carbone e olio combustibile sono state adottate specifiche procedure. Di seguito si riporta una sintesi delle metodologie adottate. Per maggiori dettagli si rimanda all'*Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2018 - National Inventory Report 2020*².

Il gas naturale importato è regolarmente analizzato ai contatori di ingresso dagli operatori della rete di trasmissione (SNAM Rete Gas). La composizione chimica e il potere calorifico del gas importato e di quello prodotto sul territorio nazionale sono i principali parametri oggetto delle analisi. I dati sono regolarmente pubblicati da SNAM Rete Gas o comunicati ad ISPRA. In questo modo è possibile stimare, anno per anno, il contenuto medio di carbonio ed il fattore di emissione del gas naturale utilizzato in Italia.

Per quanto riguarda l'olio combustibile la stima dei fattori di emissione è stata elaborata considerando i dati disponibili in letteratura e i risultati delle analisi condotte da ENEL³ su più di 400 campioni. Il contenuto di carbonio dell'olio combustibile presenta variazioni in relazione al contenuto di zolfo, pertanto è possibile stimare il fattore di emissione medio a partire dal mix di olio a basso, medio ed elevato contenuto di zolfo.

Il combustibile solido utilizzato in Italia è solo in minima parte di origine nazionale, la maggior parte viene importato da diversi paesi. I dati relativi alle quantità importate annualmente sono resi disponibili dal Ministero dello Sviluppo Economico (BPT, Bollettino petrolifero trimestrale). Il contenuto di carbonio nel combustibile presenta una relazione con il contenuto di idrogeno e con il potere calorifico inferiore. Il potere calorifico del combustibile solido presenta una elevata eterogeneità in relazione all'umidità e al contenuto in ceneri, parametri che possono rendere estremamente incerta la stima del contenuto di carbonio. La qualità delle stime può essere pertanto migliorata considerando l'umidità del carbone. Attualmente i limiti della stima del fattore di emissione del carbone sono superati con la seguente procedura:

ENEL ha analizzato più di 200 campioni di carbone importato in un paio di anni per determinare un ampio set di parametri. In tal modo è stato possibile correlare il potere calorifico inferiore e il contenuto di carbonio alle caratteristiche medie del carbone calcolate a partire da dati di letteratura (EMEP/CORINAIR, 2007);

- per ogni anno è possibile calcolare la media pesata del potere calorifico inferiore e il contenuto di carbonio del carbone importato utilizzando i dati di letteratura;
- utilizzando i valori calcolati e la correlazione individuata è possibile stimare il contenuto di carbonio medio del carbone. Dal 2005 la disponibilità di dati sul contenuto di carbonio presente nei combustibili utilizzati dai singoli impianti per ogni anno consente di affinare la stima.

A partire dal 2005 i fattori di emissione di una serie di combustibili (carbone da vapore, coke di petrolio, gas derivati, gas di raffineria, gas di sintesi, gas residui da processi chimici) sono stati calcolati in base ai dati comunicati al Comitato nazionale per la gestione della Direttiva 2003/87/CE dagli impianti che rientrano nel sistema *Emissions Trading Scheme* (ETS). Tali dati sono soggetti ad un processo di verifica che “*accerta l'affidabilità, credibilità e precisione dei sistemi di monitoraggio,*

¹ Principale proprietario della Rete di Trasmissione Nazionale di energia elettrica ad alta tensione.

² Allegato 6, *National emission factors*.

³ ENEL, comunicazione dei dati ad ISPRA.

dei dati e delle informazioni presentate e riguardanti le emissioni rilasciate dall'impianto.” (D. Lgs 4 aprile 2006, n. 216, art. 16, c.1). La verifica dei dati pervenuti al Comitato rendono i dati particolarmente utili e affidabili per valutare le caratteristiche dei diversi combustibili ed il relativo uso nel parco termoelettrico italiano. Precedentemente al 2005 sono stati utilizzati fattori di emissione disponibili in letteratura o da raccolte dati presso gli impianti industriali.

In tale studio i fattori di emissione di CO₂ da combustione di biomasse (biodiesel, biogas, biomasse, oli vegetali e componente biodegradabile dei rifiuti) sono stati considerati pari a zero, in accordo con quanto definito nell'ambito della convenzione UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*) per la contabilizzazione delle emissioni atmosferiche di anidride carbonica. In tale contesto la biomassa è una sorgente neutra rispetto alle emissioni di CO₂, in quanto la CO₂ emessa durante la combustione è pari a quella assorbita nel corso della vita della pianta con il processo di fotosintesi.

I fattori di emissione dei principali combustibili di origine fossile utilizzati per la produzione elettrica utilizzati in questo lavoro sono pubblicati in *Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2018, National Inventory Report 2020*, (Allegato 6).

I coefficienti di ossidazione dei combustibili sono stati aggiornati secondo le indicazioni delle linee guida IPCC 2006 per la realizzazione degli inventari nazionali (IPCC, 2006). Tali linee guida considerano il fattore di ossidazione dei combustibili pari a 1 se non sono disponibili informazioni più dettagliate. In altre parole si considera interamente convertito in anidride carbonica il contenuto di carbonio del combustibile durante il processo di combustione in assenza di dati analitici sulla combustione.

Le emissioni del settore elettrico sono elaborate separatamente in relazione alla produzione di elettricità e di calore. Sebbene le emissioni per la produzione cogenerativa di energia elettrica ed energia termica non sono eventi indipendenti, appare opportuno separare le due entità considerando l'uso selettivo delle due tipologie di energia da parte degli utenti finali.

2.1 Emissioni di CO₂ dal settore termoelettrico

La quantità di CO₂ emessa nel 2018 in seguito alla produzione di energia elettrica e calore è stata di 97,8 Mt (di cui 85,4 Mt per la generazione elettrica e 12,4 Mt per la produzione di calore), pari al 23,9% delle emissioni nazionali (ISPRA, 2020).

Tabella 2.1 – Emissioni di anidride carbonica dal settore termoelettrico per combustibile (Mt CO₂).

Combustibili	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019*
Solidi	28,1	20,8	22,4	40,4	35,5	39,1	32,1	28,6	25,4	18,5
Gas naturale	21,0	24,4	48,7	66,6	67,5	49,1	55,3	60,7	56,0	61,6
Gas derivati	6,7	6,4	6,4	11,4	8,0	4,5	5,7	4,5	4,5	4,6
Prodotti petroliferi	70,2	81,4	61,2	36,2	20,0	10,1	9,2	8,7	8,4	8,2
Altri combustibili	0,1	0,2	0,5	2,5	3,2	3,5	3,6	3,5	3,5	3,5
Totale	126,2	133,2	139,2	157,1	134,3	106,3	105,9	106,1	97,8	96,4

* Stime preliminari ISPRA

Le emissioni atmosferiche di CO₂ dovute alla combustione di prodotti petroliferi hanno rappresentato, fino alla prima metà degli anni '90, una quota rilevante delle emissioni totali del settore termoelettrico. Nel 1995 la quota emissiva da prodotti petroliferi ammontava al 61,1% delle emissioni del settore termoelettrico. Successivamente la quota di CO₂ da prodotti petroliferi è costantemente diminuita fino ad arrivare al 8,6% nel 2018. Va tuttavia considerato che tra i prodotti petroliferi sono annoverati anche i gas di sintesi da processi di gassificazione che a partire dal 2000 rappresentano una quota crescente. Considerando solo l'olio combustibile la quota emissiva rispetto alle emissioni del settore elettrico passa da 61,1% a 1% nel periodo 1995-2018. La quota di emissioni da gas naturale passa da 18,3% nel 1995 a 57,3% nel 2018.

In tabella 2.2 sono riportate le emissioni di CO₂ dovute alla sola produzione elettrica.

Tabella 2.2 – Emissioni di anidride carbonica dal settore termoelettrico per la produzione di energia elettrica per combustibile (Mt CO₂).

Combustibili	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019*
Solidi	28,1	20,8	22,4	40,1	35,3	38,9	31,9	28,4	25,2	18,3
Gas naturale	21,0	24,4	48,7	59,1	59,3	40,4	46,4	51,7	47,2	51,9
Gas derivati	6,7	6,4	6,4	11,1	7,8	3,6	4,6	3,7	4,1	4,2
Prodotti petroliferi	70,2	81,4	61,2	31,8	15,0	7,5	6,7	6,3	6,0	5,8
Altri combustibili	0,1	0,2	0,5	1,8	3,0	3,0	3,0	2,9	2,9	2,9
Totale	126,2	133,2	139,2	144,0	120,4	93,4	92,5	93,0	85,4	83,2

* Stime preliminari ISPRA

Le emissioni atmosferiche dovute al gas naturale per la sola produzione elettrica mostrano un notevole incremento dal 1990 in ragione dell'aumento del consumo di tale risorsa. La quota di CO₂ emessa per combustione di gas naturale passa infatti da 16,7% nel 1990 a 49,2% nel 2010 e diminuisce fino a 38,8% nel 2014 per risalire a 55,3% nel 2018. La quota di emissioni da combustibili solidi, principalmente carbone, si è ridotta da 22,3% nel 1990 a 12,2% nel 1993. Dopo un periodo di relativa stabilità fino al 2000 si osserva una rapida ascesa della quota emissiva dei combustibili solidi fino a raggiungere il 42,3% nel 2014. Dopo il 2014 le emissioni da combustibili solidi sono diminuite e rappresentano il 29,5% delle emissioni dovute alla produzione elettrica del 2018 (Figura 2.1).

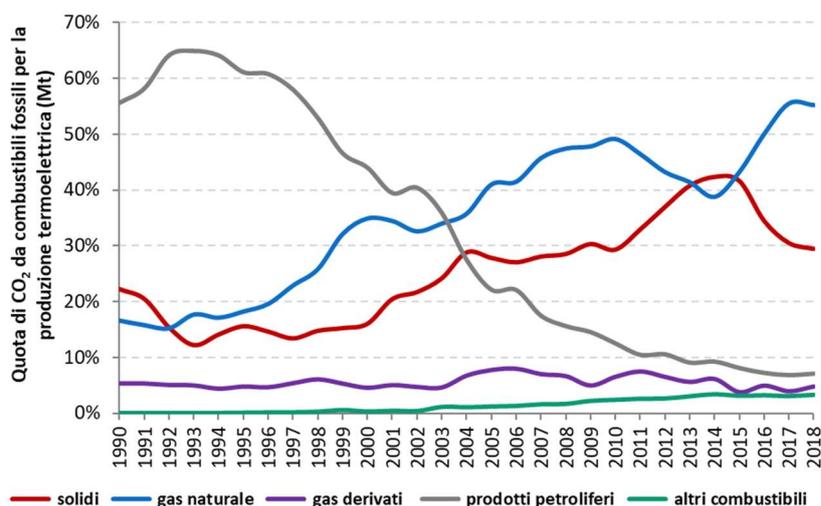


Figura 2.1 – Andamento della quota emissiva per tipologia di combustibile.

Nella Figura 2.2 è rappresentato l'andamento delle emissioni atmosferiche di CO₂ originate dalla combustione delle diverse fonti fossili per la produzione elettrica.

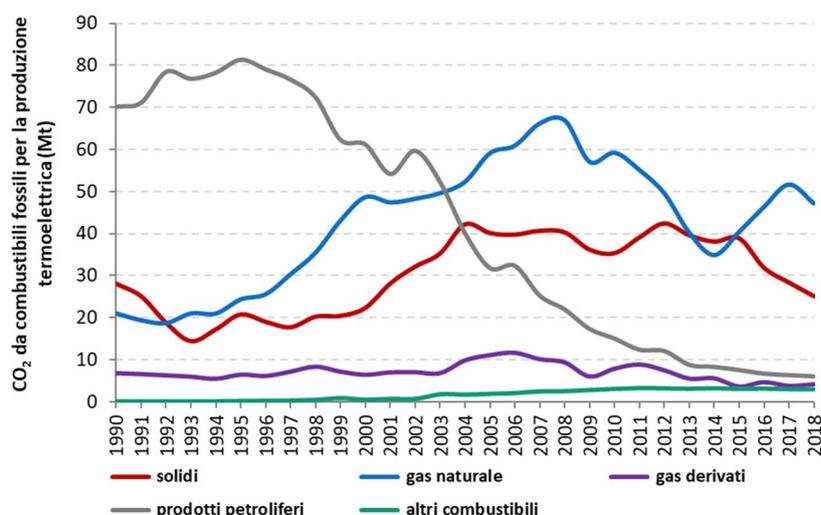


Figura 2.2 – Andamento delle emissioni da produzione elettrica per combustibile.

2.1.1 Fattori di emissione di CO₂ per la produzione e il consumo di energia elettrica

In Tabella 2.3 sono riportati i fattori di emissione specifici per le diverse tipologie di combustibili utilizzati nelle centrali termoelettriche nazionali. Tra i combustibili fossili i gas derivati presentano i fattori di emissione più elevati, seguiti dai combustibili solidi e dai prodotti petroliferi; il gas naturale mostra i fattori di emissione più bassi. Gli altri combustibili meritano un discorso a parte poiché prevalentemente costituiti da rifiuti e bioenergie. I fattori di emissione di tali combustibili sono tra i più elevati se si considera la produzione elettrica dalla sola componente non biodegradabile dei rifiuti, tra i quali figurano anche i rifiuti industriali.

Tabella 2.3 – Fattori di emissione di CO₂ da produzione termoelettrica lorda per combustibile (gCO₂/kWh).

Combustibili	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
Solidi	876,9	863,2	852,0	919,9	889,5	899,8	895,7	870,0	884,3
Gas naturale	529,9	518,8	480,4	396,2	387,9	364,8	367,5	368,3	367,3
Gas derivati	1.816,4	1.855,8	1.498,3	1.906,3	1.664,9	1.624,8	1.639,5	1.498,4	1.651,2
Prodotti petroliferi	683,5	674,0	713,0	675,1	691,8	562,4	548,4	547,9	545,7
Altri combustibili ^[1]	1.231,6	540,0	265,0	296,8	255,8	136,2	137,6	133,3	132,8
Altri combustibili ^[2]	2.463,1	2.439,8	1.253,1	1.394,8	1.381,9	1.224,0	1.209,6	1.185,9	1.194,0
Totale termoelettrico^[1]	708,0	680,6	633,6	571,4	522,4	487,7	465,6	445,4	444,4
Totale termoelettrico^[2]	708,2	681,6	638,0	582,6	544,8	542,6	516,3	491,0	493,8

^[1] È compresa l'elettricità prodotta da rifiuti biodegradabili, biogas e biomasse di origine vegetale.

^[2] È esclusa l'elettricità prodotta da rifiuti biodegradabili, biogas e biomasse di origine vegetale.

Il fattore di emissione per la produzione termoelettrica lorda nazionale diminuisce costantemente dal 1990 al 2018, con valori che vanno da 708 g CO₂/kWh a 444,4 g CO₂/kWh. La diminuzione è dovuta principalmente all'incremento della quota di gas naturale nella produzione termoelettrica e alla continua riduzione del fattore di emissione specifico di questo combustibile, riduzione dovuta a sua volta all'incremento dell'efficienza di conversione elettrica degli impianti alimentati da gas naturale. Un ruolo importante assume anche l'utilizzo di bioenergie con bilancio emissivo zero tra gli altri combustibili che nel 2018 contribuiscono per il 10% della produzione termoelettrica. Si tratta di un notevole incremento considerando che nel 1990 il contributo delle bioenergie alla produzione termoelettrica era dello 0,03% e fino al 2005 era di 1,9%. La differenza tra i fattori di emissione del parco termoelettrico con e senza il contributo delle bioenergie mostra il ruolo di tali fonti nella riduzione del fattore di emissione. La differenza diventa rilevante successivamente al 2000 in seguito all'incremento della quantità di biomasse solide e di rifiuti solidi urbani o assimilabili utilizzati per la produzione elettrica e all'ancora più rilevante incremento di bioliquidi e biogas osservato successivamente al 2008.

In figura 2.3 si osserva la variazione percentuale di energia termoelettrica prodotta e delle relative emissioni atmosferiche di CO₂ rispetto al 1990 per tipologia di combustibile. Per i combustibili solidi,

prodotti petroliferi e gas derivati si osserva una sostanziale covariazione dei due parametri, mentre per il gas naturale e gli altri combustibili si osserva un incremento maggiore della produzione elettrica rispetto all'incremento osservato per le emissioni di CO₂. In altre parole per gas naturale e altri combustibili si ha un incremento della produzione elettrica a parità di emissioni di anidride carbonica, ovvero un disaccoppiamento tra i due parametri. Tale configurazione trova spiegazione in diversi fattori, come l'incremento di efficienza della produzione elettrica o la variazione della composizione di combustibili con utilizzo di risorse caratterizzate da minori emissioni specifiche.

Il fattore di disaccoppiamento tra i due parametri può essere considerato in termini di rapporto tra i rispettivi incrementi. Per gli 'altri combustibili' l'incremento di energia elettrica nel 2018 è 9,27 volte più grande dell'incremento delle emissioni, mentre per gas naturale il fattore di disaccoppiamento è 1,44. Anche per i prodotti petroliferi si osserva un fattore di disaccoppiamento pari a 1,25 essenzialmente dovuto alla crescente quota dei gas di sintesi con elevata efficienza di conversione elettrica. Il fattore di disaccoppiamento dei gas derivati è 1,1 mentre il combustibile solido presenta un disaccoppiamento quasi nullo (0,99). Per l'intero parco termoelettrico si osserva un fattore di disaccoppiamento pari a 1,59 con un andamento crescente che ricalca quello del gas naturale.

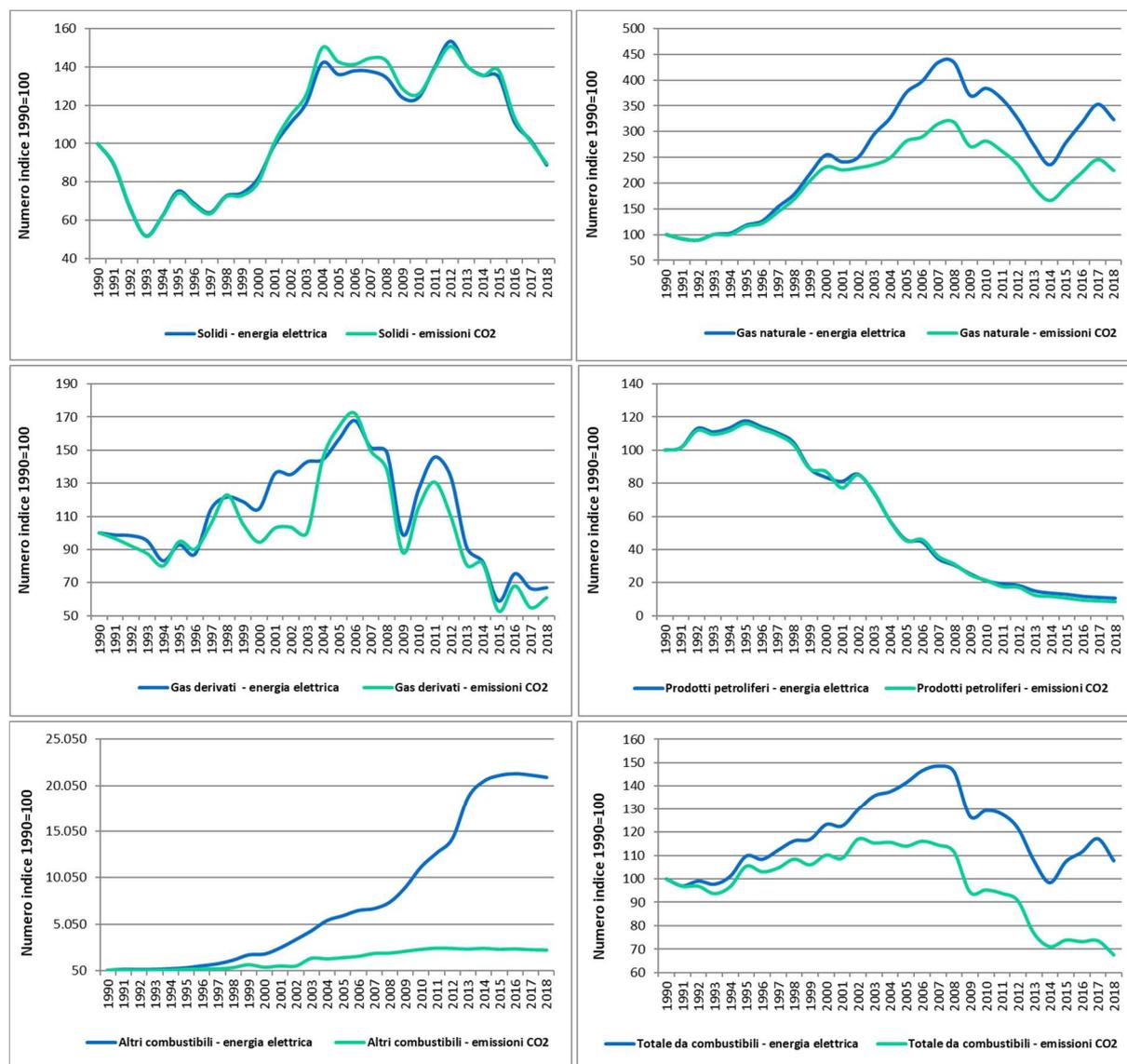


Figura 2.3 - *Variazione annuale della produzione termoelettrica e delle emissioni per combustibile (1990=100).*

Da quanto esposto emerge che il parco termoelettrico nazionale presenta, a partire dal 1990, un incremento della produzione elettrica cui non è corrisposto un proporzionale incremento delle emissioni atmosferiche di CO₂ per via del miglioramento tecnologico e per l'incremento della quota di combustibili con fattori di emissione inferiori. Le emissioni di CO₂ per la generazione elettrica hanno

raggiunto il punto più elevato nel 2002 con un incremento del 17,1% rispetto al 1990, mentre la produzione termoelettrica mostrava nello stesso periodo un incremento del 29,6%. Dal 2002 al 2007 le emissioni hanno subito una lieve diminuzione. Complessivamente le emissioni nel 2007 sono maggiori del 14,6% rispetto al 1990, mentre la produzione termoelettrica è cresciuta del 49,1%. Dopo il 2007, in seguito alla contrazione dell'economia innescata dalla crisi economico-finanziaria, si osserva una sensibile riduzione della produzione elettrica e delle emissioni di CO₂. I dati mostrano che nel 2014 è stato raggiunto il minimo di produzione elettrica dall'inizio della crisi economica. Successivamente si osserva una ripresa della produzione elettrica. Sull'intero periodo esaminato le emissioni del settore termoelettrico nel 2018 sono diminuite del 32,4% rispetto al 1990, a fronte di un incremento della produzione termoelettrica del 8,1%.

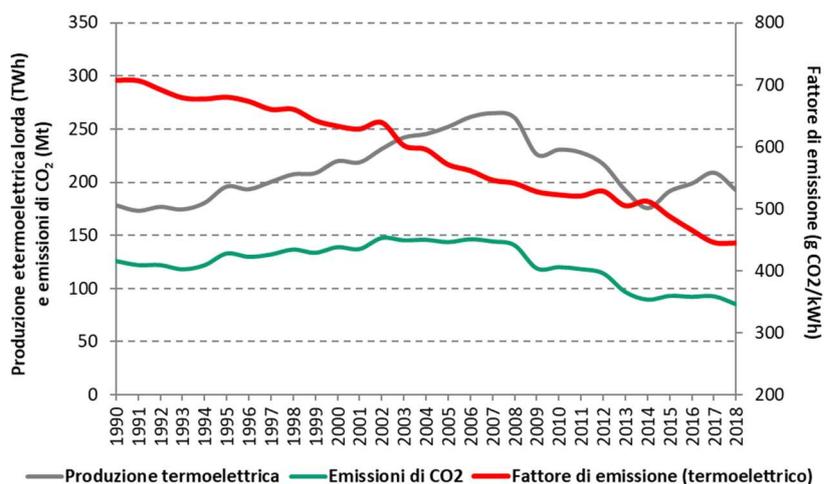


Figura 2.4 - *Andamento della produzione termoelettrica, delle emissioni di CO₂ e del fattore di emissione.*

Nel grafico successivo è riportato l'andamento dei fattori di emissione della CO₂ dal 1990 per la produzione elettrica lorda di origine fossile, per la produzione elettrica lorda totale, comprensiva quindi dell'energia elettrica da fonti rinnovabili. È inoltre riportato il fattore di emissione per il consumo di energia elettrica a livello di utenza. I fattori di emissione relativi alla produzione elettrica considerano la produzione lorda, misurata ai morsetti dei generatori elettrici. Per il calcolo dei fattori di emissione dei consumi va considerata la produzione netta di energia elettrica, ovvero l'energia elettrica misurata in uscita dagli impianti al netto dell'energia elettrica utilizzata per i servizi ausiliari della produzione, la quota di energia elettrica importata e le perdite di rete. Le emissioni atmosferiche di CO₂ dovute alla produzione dell'energia elettrica importata dall'estero non entrano nel novero delle emissioni nazionali.

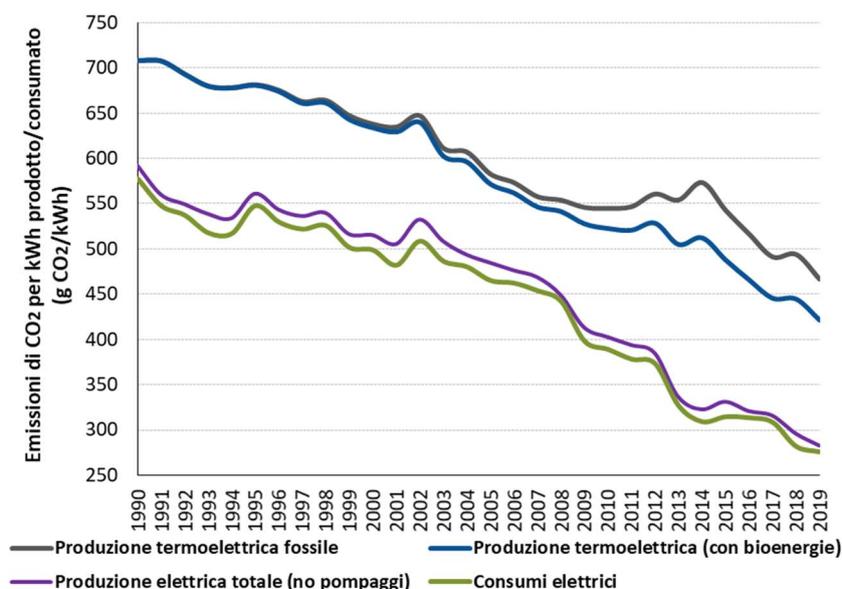


Figura 2.5 - Andamento del fattore di emissione per la produzione lorda ed il consumo di energia elettrica (g CO₂/kWh). Per il 2019 stime preliminari.

La produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili determina una riduzione del fattore di emissione per la produzione elettrica totale poiché tali fonti hanno un bilancio emissivo pari a zero (Tabella 2.4). Il fattore di emissione per consumo di energia elettrica si riduce ulteriormente in ragione della quota di energia elettrica importata dall'estero le cui emissioni atmosferiche sono originate fuori dal territorio nazionale.

I dati relativi alle emissioni dal parco termoelettrico e della produzione elettrica nazionale mostrano che a fronte di un incremento della produzione elettrica dal 1990 al 2018 di 73,1 TWh si è registrata una diminuzione delle emissioni atmosferiche di anidride carbonica di 40,8 Mt.

Tabella 2.4 – Fattori di emissione della produzione elettrica nazionale e dei consumi elettrici (g CO₂/kWh).

Anno	Produzione termoelettrica lorda (solo fossile)	Produzione termoelettrica lorda ¹	Produzione termoelettrica lorda e calore ^{1,3}	Produzione elettrica lorda ²	Produzione di calore ³	Produzione elettrica lorda e calore ^{2,3}	Consumi elettrici
1990	708,2	708,0	708,0	592,2	-	592,2	576,9
1995	681,6	680,6	680,6	561,3	-	561,3	547,2
2000	638,0	633,6	633,6	515,6	-	515,6	498,3
2005	582,6	571,4	513,1	485,0	239,0	447,4	464,7
2006	573,2	561,6	504,7	476,6	248,8	440,5	461,8
2007	557,7	546,2	493,6	469,2	248,3	434,8	453,4
2008	553,8	541,1	490,4	449,5	250,6	419,7	441,7
2009	545,8	527,5	478,7	413,5	259,2	390,6	397,6
2010	544,8	522,4	468,2	403,0	246,1	378,2	388,6
2011	546,6	520,6	459,4	394,3	226,9	366,5	377,8
2012	560,6	528,4	465,9	385,3	225,9	359,9	372,9
2013	554,0	504,7	437,1	337,0	217,0	316,6	326,4
2014	573,3	512,1	437,7	323,2	205,5	303,4	308,8
2015	542,6	487,7	423,9	331,6	217,8	311,8	314,2
2016	516,3	465,6	407,7	321,3	219,1	303,4	313,1
2017	491,0	445,4	393,1	316,4	214,2	298,8	308,1
2018	493,8	444,4	388,6	296,5	208,8	281,4	281,4
2019*	473,3	426,8	377,7	284,5	218,9	273,3	276,3

¹ comprensiva della quota di elettricità prodotta da bioenergie

² al netto degli apporti da pompaggio

³ considerate anche le emissioni di CO₂ per la produzione di calore (calore convertito in kWh)

* stime preliminari

La riduzione dei fattori di emissione per la produzione di energia elettrica dal 2007 al 2014 è stata principalmente determinata dall'incremento della produzione elettrica da fonti rinnovabili, mentre la diminuzione registrata a partire dal 2015 è essenzialmente dovuta alla diminuzione dei combustibili solidi e al corrispondente incremento di gas naturale nel mix fossile. La quota di energia elettrica da combustibili solidi passa da 15,3% nel 2015 a 9,8% nel 2018, mentre la produzione elettrica da gas naturale passa da 39,2% nel 2015 a 44,4% nel 2018.

2.1.2 Fattori di emissione di CO₂ per tipologia di impianto

I dati di produzione elettrica e i consumi specifici per tipologia di impianto e per tipologia di combustibile pubblicati annualmente da TERNA sono stati utilizzati per elaborare i consumi energetici, le emissioni di CO₂ e i fattori di emissione per unità di energia elettrica e calore prodotti.

Tali informazioni a livello di tipologia di impianto possono essere utili anche ai fini di procedure autorizzative condizionate a eventuali soglie emissive. I dati illustrati nelle seguenti tabelle riportano i fattori di emissione riferiti alla produzione elettrica per gli anni 2005, 2010 e 2018, senza il contributo emissivo dovuto alla produzione di calore. È evidente come le centrali termoelettriche che producono solo energia elettrica siano caratterizzate dai fattori di emissione più elevati in ragione della loro minore efficienza elettrica rispetto alle centrali cogenerative. In particolare si osserva che i fattori di emissione più elevati sono dovuti alla combustione di gas derivati, prodotti petroliferi e combustibili solidi. In merito agli 'altri combustibili gassosi', prevalentemente costituiti da biogas, si registrano i fattori di emissione più bassi. Gli 'altri combustibili solidi' comprendono biomasse e rifiuti, sia la componente rinnovabile sia la componente non rinnovabile.

Il fattore di emissione per tipo di impianto è costituito dalla media ponderata dei fattori di emissione per quantitativo di combustibile utilizzato e energia elettrica prodotta dalla tipologia di impianto. Il fattore di emissione di una tipologia di impianti è quindi determinato dalle emissioni totali da tali impianti e dalla relativa produzione elettrica. Pertanto il basso fattore di emissione degli impianti a combustione interna con produzione di sola energia elettrica è determinato dal fatto che la produzione elettrica da tali impianti avviene prevalentemente per consumo di 'altri combustibili' costituiti da risorse rinnovabili con impatto emissivo pari a zero.

Tabella 2.5 – Fattori di emissione per la produzione elettrica per tipologia di impianto e tipologia di combustibile (anno 2018). Classificazione dei combustibili secondo TERNA.

	Solidi	Gas Naturale	Gas derivati	Prodotti petroliferi	Altri solidi	Altri gassosi	TOTALE
	g CO ₂ /kWh						
2018							
Impianti non cogenerativi	886,6	391,4	1.621,2	725,8	415,4	10,9	546,1
a combustione interna (CI)	-	564,5	1.621,2	651,4	319,9	10,9	163,9
a turbine a gas (TG)	-	645,1	-	1.048,1	493,3	12,6	589,6
a vapore a condensazione (C)	886,6	515,4	-	738,1	493,8	10,1	829,4
a ciclo combinato (CC)	-	388,5	-	555,6	284,4	10,0	384,9
ripotenziato (RP)	-	-	-	-	-	-	-
Impianti cogenerativi	420,0	353,3	1.635,4	420,1	295,7	7,8	359,9
a combustione interna (CIC)	-	326,1	1.247,6	439,0	274,2	7,8	229,0
a turbine a gas (TGC)	-	348,8	-	336,9	342,8	7,2	347,7
a ciclo combinato (CCC)	414,7	356,3	1.575,2	441,4	229,9	8,3	368,2
a vapore a contropressione (CPC)	473,9	286,8	-	322,4	224,5	-	264,5
a vapore a condensazione con spillamento (CSC)	-	546,6	1.788,1	485,8	446,3	10,8	685,2
TOTALE	884,3	367,3	1.635,2	527,3	337,5	8,9	444,4

Il confronto dei fattori di emissione nel periodo dal 2005 al 2018 mostra come le emissioni per unità di energia elettrica prodotta siano sensibilmente diminuite per tutte le tipologie di impianto e combustibile. La riduzione del fattore di emissione medio di tutti gli impianti è pari al 22,2%. A guidare l'andamento sono soprattutto gli impianti cogenerativi che fanno registrare una riduzione del 23,4%. Gli impianti non cogenerativi mostrano una riduzione del 13,6%. I dati per gli impianti a ciclo combinato sono di particolare importanza per la prevalenza che tali impianti hanno in termini di produzione elettrica. I cicli combinati cogenerativi fanno registrare una riduzione del fattore di emissione del 18,5% dal 2005 al 2018, mentre i cicli combinati non cogenerativi mostrano un aumento del fattore di emissione 4,7% nello stesso periodo. Anche per quanto riguarda le diverse tipologie di

combustibili si osserva una sensibile riduzione dei fattori di emissione come conseguenza del consistente incremento dell'efficienza di conversione elettrica degli impianti e dell'incremento della quota di bioenergie con emissioni zero.

Tabella 2.6 – Fattori di emissione per la produzione elettrica per tipologia di impianto e tipologia di combustibile (anno 2010). Classificazione dei combustibili secondo TERNA.

	Solidi	Gas Naturale	Gas derivati	Prodotti petroliferi	Altri solidi	Altri gassosi	TOTALE
g CO ₂ /kWh							
2010							
Impianti non cogenerativi	890,5	405,8	1.795,0	784,5	673,8	30,9	602,6
a combustione interna (CI)	-	590,6	1.653,4	714,0	466,5	30,9	291,2
a turbine a gas (TG)	-	734,1	-	1.283,5	693,4	33,7	758,9
a vapore a condensazione (C)	890,5	567,0	1.800,4	784,9	829,7	-	869,7
a ciclo combinato (CC)	-	392,3	1.794,3	2.120,6	391,6	-	394,2
ripotenziato (RP)	-	580,1	-	771,2	-	-	612,1
Impianti cogenerativi	581,3	374,4	1.622,2	571,4	470,1	25,2	436,9
a combustione interna (CIC)	-	373,8	1.669,5	475,4	377,8	23,3	378,5
a turbine a gas (TGC)	-	351,7	891,8	489,5	-	19,4	370,6
a ciclo combinato (CCC)	600,5	373,1	1.586,7	500,4	381,6	63,3	422,5
a vapore a contropressione (CPC)	451,0	439,3	-	614,1	329,5	21,2	442,7
a vapore a condensazione con spillamento (CSC)	-	512,2	3.195,7	647,5	954,9	36,5	795,2
TOTALE	889,5	387,9	1.657,0	678,3	526,9	29,3	522,4

Tabella 2.7 – Fattori di emissione per la produzione elettrica per tipologia di impianto e tipologia di combustibile (anno 2005). Classificazione dei combustibili secondo TERNA.

	Solidi	Gas Naturale	Gas derivati	Prodotti petroliferi	Altri solidi	Altri gassosi	TOTALE
g CO ₂ /kWh							
2005							
Impianti non cogenerativi	923,0	406,8	2.111,6	721,8	1.118,1	63,3	632,3
a combustione interna (CI)	-	552,1	1.877,8	740,9	2.053,2	62,8	324,9
a turbine a gas (TG)	-	684,9	-	1.191,3	-	78,0	714,9
a vapore a condensazione (C)	923,0	529,6	2.114,3	725,5	1.104,1	-	864,9
a ciclo combinato (CC)	-	367,5	-	1.310,3	902,4	-	367,7
ripotenziato (RP)	-	489,8	-	650,7	-	-	507,8
Impianti cogenerativi	667,2	383,5	1.785,6	597,7	456,8	47,3	469,9
a combustione interna (CIC)	-	362,6	1.875,2	574,1	409,3	50,1	465,8
a turbine a gas (TGC)	-	372,4	-	489,8	316,2	68,3	382,7
a ciclo combinato (CCC)	-	386,9	1.707,3	591,4	378,9	75,9	451,6
a vapore a contropressione (CPC)	667,2	300,8	1.407,2	393,3	539,0	55,8	418,7
a vapore a condensazione con spillamento (CSC)	-	459,9	2.684,9	675,3	780,1	42,0	735,5
TOTALE	919,9	396,2	1.900,6	693,4	539,2	60,4	571,4

Nella seguente tabella sono riportati i fattori di emissione per la produzione di calore dagli impianti cogenerativi per tipologia di combustibile secondo la classificazione dei combustibili utilizzata da TERNA.

Tabella 2.8 – Emissioni di CO₂ e fattori di emissione per la produzione di calore per tipologia di combustibile per gli anni indicati. Classificazione dei combustibili secondo TERNA.

	Solidi	Gas Naturale	Gas derivati	Prodotti petroliferi	Altri solidi	Altri gassosi	TOTALE
2018							
Mt CO ₂	0,2	8,8	0,4	1,2	1,8	0,0	12,4
g CO ₂ /kWh	381,5	231,1	594,0	243,7	141,0	0,6	208,8
2017							
Mt CO ₂	0,2	9,0	0,8	1,3	1,7	0,0	13,1
g CO ₂ /kWh	379,8	232,2	705,7	245,4	138,3	0,3	214,6
2016							
Mt CO ₂	0,2	9,0	1,1	1,3	1,8	0,0	13,5
g CO ₂ /kWh	384,2	232,7	747,8	245,1	137,9	0,3	219,3
2015							
Mt CO ₂	0,2	8,7	0,9	1,5	1,7	0,0	13,1
g CO ₂ /kWh	383,5	230,8	780,8	249,7	143,3	0,5	218,5
2010							
Mt CO ₂	0,1	8,3	0,2	3,9	1,4	-	13,8
g CO ₂ /kWh	383,5	231,4	625,8	287,1	224,1	-	245,6
2005							
Mt CO ₂	0,3	7,5	0,3	4,2	0,5	-	12,8
g CO ₂ /kWh	377,2	223,5	474,3	282,9	144,5	-	238,8

Per gli impianti cogenerativi è possibile elaborare il fattore di emissione per la produzione congiunta di energia elettrica e calore. La riduzione dei fattori di emissione medi dal 2005 al 2018 è pari a 21% con una variabilità che va da -11,5% per gli impianti a turbine a gas a -39,6% per gli impianti a combustione interna. Gli impianti a ciclo combinato mostrano una riduzione del fattore di emissione del 20,7%. In merito ai fattori emissivi per tipologia di combustibile le riduzioni più consistenti si osservano per gli altri combustibili solidi e gassosi (-44% e -72,9% rispettivamente) poiché in tali categorie rientrano le bioenergie rinnovabili il cui contributo al fattore di emissione degli impianti aumenta in maniera considerevole. Il dato più interessante è tuttavia quello relativo al gas naturale che è il combustibile di gran lunga prevalente negli impianti cogenerativi e che fa registrare una riduzione del fattore di emissione del 4,9% dal 2005 al 2018. Il fattore di emissione del carbone si riduce del 20,9% nello stesso periodo.

Tabella 2.9 – Fattori di emissione per la produzione di energia elettrica e calore per tipologia di impianto cogenerativo e tipologia di combustibile per gli anni indicati. Classificazione dei combustibili secondo TERNA.

	Solidi	Gas Naturale	Gas derivati	Prodotti petroliferi	Altri solidi	Altri gassosi	TOTALE
	g CO ₂ /kWh						
2018							
Impianti cogenerativi	389,3	314,2	1.411,8	296,4	220,9	5,6	305,1
a combustione interna (CIC)		283,7	996,4	343,6	198,0	5,6	220,3
a turbine a gas (TGC)		281,8		279,7	171,9	3,3	267,8
a ciclo combinato (CCC)	388,9	325,2	1.313,5	310,6	210,9	5,3	325,9
a vapore a contropressione (CPC)	391,2	244,1		255,6	170,7		223,0
a vapore a condensaz. con spillamento (CSC)		406,4	1.697,9	291,0	247,9	3,0	398,6
2015							
Impianti cogenerativi	391,5	309,9	1.319,2	311,7	218,3	5,2	302,8
a combustione interna (CIC)		279,4	1.120,9	385,1	203,9	5,2	215,9
a turbine a gas (TGC)		277,3	866,8	290,3	174,1	3,3	269,8
a ciclo combinato (CCC)	391,2	320,5	1.291,0	331,5	198,2	5,4	317,2
a vapore a contropressione (CPC)	392,9	243,6		258,7	166,8	1,4	228,7
a vapore a condensaz. con spillamento (CSC)		350,3	1.363,0	331,8	253,9	3,1	412,3
2010							
Impianti cogenerativi	436,2	332,6	1.555,7	363,5	399,7	17,1	372,7
a combustione interna (CIC)		301,2	1.572,7	414,6	325,0	17,0	317,1
a turbine a gas (TGC)		280,9	891,8	363,8		7,0	296,4
a ciclo combinato (CCC)	458,5	341,6	1.528,5	354,7	355,5	25,8	381,2
a vapore a contropressione (CPC)	390,6	283,8		338,2	267,0	7,2	293,9
a vapore a condensaz. con spillamento (CSC)		332,0	2.546,5	379,4	591,9	20,1	440,8
2005							
Impianti cogenerativi	492,3	330,4	1.586,6	395,4	394,1	20,5	386,2
a combustione interna (CIC)		295,1	1.835,5	487,6	332,8	29,5	364,6
a turbine a gas (TGC)		290,9		359,3	223,2	38,5	302,7
a ciclo combinato (CCC)		355,2	1.500,8	420,2	373,1	7,1	411,1
a vapore a contropressione (CPC)	492,3	238,2	1.277,5	305,7	355,1	16,6	283,2
a vapore a condensaz. con spillamento (CSC)		306,2	2.684,9	440,9	474,5	15,3	451,5

2.1.3 Emissioni di CO₂ evitate

La sviluppo delle fonti rinnovabili nel settore elettrico ha determinato una riduzione delle emissioni di gas a effetto serra. Al fine di valutare l'impatto di tali fonti sulla riduzione di gas a effetto serra sono state calcolate le emissioni di CO₂ evitate ogni anno. Tale statistica viene elaborata con cadenza biennale dal GSE per la pubblicazione della relazione nazionale sui progressi del Paese ai sensi della direttiva 2009/28/CE (GSE, 2017). La metodologia adottata da GSE prevede che ciascuna fonte rinnovabile sostituisca la quota di produzione fossile che risulta marginale nel periodo di produzione (festivo, lavorativo di picco e non di picco). La metodologia adottata nel presente lavoro, in linea con la metodologia realizzata da EEA (2015), consiste nel calcolo delle emissioni nell'ipotesi che l'equivalente energia elettrica da fonti rinnovabili sia realizzata con il mix fossile dell'anno in questione. Le emissioni evitate sono quindi calcolate in termini di prodotto dell'energia elettrica generata da fonti rinnovabili per il fattore di emissione medio annuale da fonti fossili. L'ipotesi sottesa alle due metodologie è che in assenza di produzione rinnovabile la stessa quantità di energia elettrica deve essere prodotta dal mix fossile.

La metodologia adottata in questo lavoro fornisce valori differenti di emissioni evitate rispetto alla metodologia adottata da GSE ma non è scopo del presente lavoro confrontare le due metodologie bensì adottare un metodo di calcolo omogeneo per valutare l'impatto delle fonti rinnovabili nel settore elettrico indipendente dall'influenza di fattori economici e contingenti che possono modificare i costi marginali dell'energia elettrica.

Il seguente grafico rende evidente che il contributo alla riduzione delle emissioni di gas serra è stato rilevante fin dal 1990 grazie al fondamentale apporto di energia idroelettrica e che negli ultimi anni la forbice tra emissioni effettive e emissioni teoriche senza fonti rinnovabili si allarga in seguito allo sviluppo delle fonti rinnovabili non tradizionali. Dal 1990 fino al 2007 l'impatto delle fonti rinnovabili in termini di riduzione delle emissioni presenta un andamento oscillante intorno a un valore medio di 30,6 Mt CO₂ parallelamente alla variabilità osservata per la produzione idroelettrica. Successivamente lo sviluppo delle fonti non tradizionali ha determinato una impennata dell'impatto con un picco di riduzione delle emissioni registrato nel 2014 quando grazie alla produzione rinnovabile non sono state emesse 69,2 Mt di CO₂. Negli anni successivi si osserva una repentina diminuzione delle emissioni evitate parallelamente alla diminuzione della produzione elettrica da fonti rinnovabili fino al 2017 con 51 Mt di CO₂ evitate. Nel 2018, in seguito all'incremento della produzione elettrica da fonti rinnovabili le emissioni evitate sono di 56,5 Mt di CO₂.

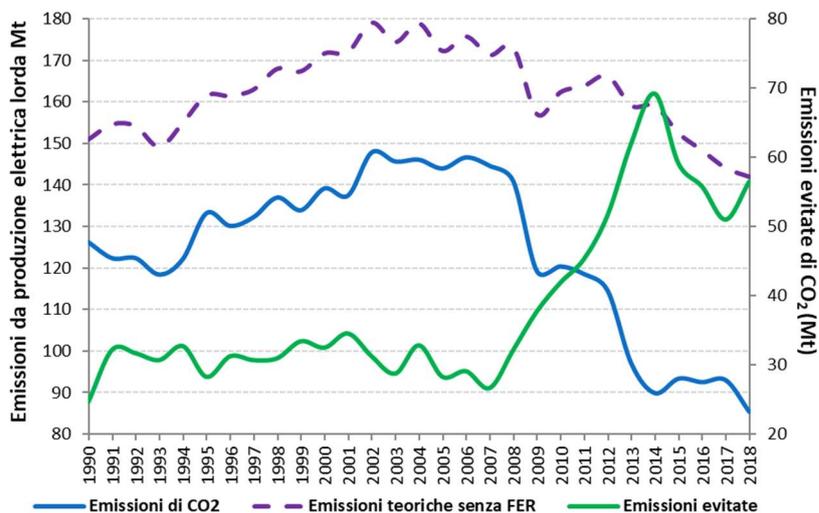


Figura 2.6 - Andamento delle emissioni effettive per la produzione lorda di energia elettrica e delle emissioni teoriche per la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili con equivalente produzione da fonti fossili.

Considerando l'impatto delle fonti rinnovabili registrato in passato è utile osservare l'andamento delle emissioni evitate a partire dall'anno base 2005 quando la produzione rinnovabile ha consentito di evitare l'emissione di 28,3 Mt CO₂. La seguente tabella riporta le emissioni annuali evitate al netto del valore registrato nel 2005.

Tabella 2.10 – Emissioni di CO₂ evitate (Mt) rispetto al 2005.

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Emissioni evitate	0,8	0,0	3,9	9,5	13,6	17,0	23,3	33,9	40,9	30,8	27,5	22,7	28,2

Negli ultimi anni è evidente che l’impatto delle fonti rinnovabili, pur rimanendo rilevante rispetto al 2005, si sia sensibilmente ridotto rispetto al picco del 2014.

2.1.4 Emissione di gas a effetto serra diversi da CO₂ e altri inquinanti

La generazione di energia elettrica e calore comporta anche l’emissione in atmosfera di gas a effetto serra diversi dalla CO₂ quali metano (CH₄) e protossido di azoto (N₂O) e di altri inquinanti atmosferici. Sebbene metano e protossido di azoto siano emessi in quantità estremamente limitata rispetto all’anidride carbonica, questi gas sono caratterizzati da elevati potenziali di riscaldamento globale (25 per il metano e 298 per protossido di azoto).

Di seguito sono riportate le emissioni dei gas climalteranti in termini di CO₂ equivalente per intervalli quinquennali a partire dal 2005 con i relativi fattori di emissione, a valle della considerazione dei rispettivi potenziali di riscaldamento globale dei due gas stimate da ISPRA nel contesto dell’Inventario delle emissioni nazionali elaborato da ISPRA (2020).

Tabella 2.11 – Gas serra dal settore elettrico per la produzione di energia elettrica e calore (Mt CO_{2eq}).

Gas serra	2005	2010	2015	2016	2017	2018
Anidride carbonica - CO₂	157,12	134,25	106,28	105,59	106,09	97,84
Metano - CH₄	0,16	0,17	0,22	0,23	0,23	0,22
Protossido di azoto - N₂O	0,48	0,51	0,56	0,56	0,53	0,51
GHG	157,77	134,94	107,07	106,68	106,85	97,08

Tabella 2.12 – Fattori di emissione di gas serra dal settore elettrico per la produzione di energia elettrica e calore (g CO_{2eq}/kWh*).

Gas serra	2005	2010	2015	2016	2017	2018
Anidride carbonica - CO₂	448,33	378,15	311,82	303,43	298,79	281,45
Metano - CH₄	0,45	0,49	0,66	0,66	0,65	0,64
Protossido di azoto - N₂O	1,40	1,45	1,65	1,60	1,48	1,45
GHG	450,18	380,09	314,13	305,69	300,92	283,55

* energia elettrica totale al netto dai pompaggi + calore in kWh

Le emissioni di metano e protossido di azoto incidono da 0,4% a 0,7% sulle emissioni di gas serra totali provenienti dal settore elettrico per la produzione di elettricità e calore. La quota emissiva dovuta alla sola produzione elettrica può essere stimata considerando la ripartizione di energia utilizzata negli impianti del settore. Nella seguente tabella è riportato il contenuto energetico dei combustibili utilizzati nell’intero settore elettrico dal 2005 per la produzione di energia elettrica e calore.

Tabella 2.13 – Contenuto energetico dei combustibili utilizzati nel settore elettrico (PJ).

Energia dei combustibili	2005	2010	2015	2016	2017	2018
Settore elettrico	2.238	2.000	1.689	1.712	1.760	1.637
<i>per produzione di energia elettrica</i>	2.024	1.773	1.448	1.464	1.513	1.396
<i>per produzione di calore</i>	214	227	241	247	247	241

La combustione nel settore elettrico è inoltre responsabile delle emissioni in atmosfera di inquinanti che alterano la qualità dell’aria. Nella seguente tabella sono riportate le emissioni dei principali inquinanti atmosferici quali ossidi di azoto (NO_x), ossidi di zolfo (SO_x), composti organici volatili non metanici (COVNM), monossido di carbonio (CO), ammoniaca (NH₃) e materiale particolato (PM₁₀).

Tabella 2.14 – *Inquinanti atmosferici emessi dal settore elettrico per la produzione di energia elettrica e calore (kt).*

Inquinanti atmosferici	2005	2010	2015	2016	2017	2018
Ossidi di azoto - NO_x	129,13	102,27	86,27	82,95	80,58	75,91
Ossidi di zolfo - SO_x	183,91	78,98	32,52	25,03	22,49	20,30
Composti organici volatili non metanici - COVNM	18,07	25,30	26,71	29,15	29,30	29,00
Monossido di carbonio – CO	36,97	35,90	32,15	33,61	34,66	32,46
Ammoniaca - NH₃	0,22	0,22	0,23	0,20	0,18	0,16
Materiale particolato - PM₁₀	5,93	2,85	1,41	1,24	1,17	1,01

Le emissioni dei inquinanti considerati sono diminuite dal 2005 eccetto per i composti organici volatili, i soli a mostrare un incremento delle emissioni e dei relativi fattori di emissione per unità di energia prodotta (+60,5% nel 2018 rispetto al 2005).

Tabella 2.15 – *Fattori di emissione dei inquinanti atmosferici emessi dal settore elettrico per la produzione di energia elettrica e calore (mg/kWh*).*

Inquinanti atmosferici	2005	2010	2015	2016	2017	2018
Ossidi di azoto - NO_x	368,44	288,07	253,12	237,67	226,94	218,38
Ossidi di zolfo - SO_x	524,75	222,46	95,41	71,73	63,33	58,40
Composti organici volatili non metanici - COVNM	51,55	71,25	78,37	83,52	82,51	83,42
Monossido di carbonio – CO	105,49	101,12	94,32	96,31	97,62	93,38
Ammoniaca - NH₃	0,63	0,61	0,67	0,57	0,50	0,46
Materiale particolato - PM₁₀	16,91	8,03	4,12	3,54	3,31	2,91

* energia elettrica totale al netto dai pompaggi + calore in kWh

Di particolare rilievo, anche ai fini della qualità dell'aria, è la riduzione del fattore di emissione degli ossidi di zolfo che nel 2018 diminuisce del 88,9% rispetto al 2005. L'emissione degli ossidi di zolfo è fondamentalmente dovuta ai combustibili solidi che negli ultimi anni sono utilizzati da impianti ad alta efficienza dotati di sistemi di abbattimento delle emissioni. I sistemi di abbattimento hanno contribuito inoltre alla significativa riduzione delle emissioni di ossidi di azoto e di materiale particolato, rispettivamente -41,2% e -82,9% rispetto ai valori registrati nel 2005. I relativi fattori di emissione fanno registrare analoghe riduzioni (-40,7% per ossidi di azoto e -82,8% per PM₁₀ rispetto ai valori registrati nel 2005).

3 ANALISI DELLA DECOMPOSIZIONE

L'analisi della decomposizione è una tecnica che consente di studiare la variazione di un indicatore in un determinato intervallo temporale in relazione alla variazione dei suoi fattori determinanti. In altre parole la variazione di un parametro viene decomposta nella variazione dei parametri che lo determinano.

Il punto di partenza dell'analisi è la costruzione di un'equazione di identità, dove la variabile di cui si vuole osservare la variazione nel tempo è indicata come il prodotto di componenti considerati come cause della variazione osservata. Perché l'identità sia rispettata è necessario che le componenti siano dei rapporti, dove il denominatore di una componente è anche il numeratore della componente successiva. L'identità è fornita a priori e dovrà essere realizzata secondo un modello concettuale coerente con i vincoli fisici della variabile studiata, oltre alle considerazioni inerenti la disponibilità dei dati e gli obiettivi dell'analisi.

Questo tipo di analisi ha avuto sviluppo nella letteratura economica con l'obiettivo di studiare l'impatto di variazioni della struttura produttiva sulla domanda energetica dell'industria poiché l'analisi consente di avere una migliore comprensione dei fattori che determinano le variazioni degli usi energetici in un determinato settore. Recentemente questo tipo di analisi è stata estesa in campo ambientale, nell'ambito dell'analisi delle emissioni atmosferiche, al fine di comprendere le cause alla base delle variazioni.

In letteratura sono disponibili due principali tecniche di decomposizione: *Structural decomposition analysis* (SDA) e *Index decomposition analysis* (IDA), (Hoekstra, van der Bergh, 2003). Le due metodologie sono state sviluppate indipendentemente e presentano caratteristiche differenti sia in relazione all'ambito di applicazione sia in relazione ai dati di cui necessitano. La principale differenza tra le due tecniche consiste nel modello di dati utilizzato. IDA può essere applicata solo a dati aggregati a livello settoriale in forma vettoriale e consente di valutare solo gli effetti diretti della variazione dei parametri determinanti, mentre SDA consente sia l'utilizzo delle matrici *input-output* e la valutazione degli effetti indiretti sia l'utilizzo dei dati settoriali. IDA è stata applicata alle emissioni di CO₂ da produzione elettrica (Zhang *et al.*, 2012, Malla, 2009). Tra le diverse metodologie IDA disponibili la *Logarithmic mean Divisia index* (LMDI) ha un'ampia applicazione negli studi energetici ed ambientali (Ang, Zhang, 2000).

Ai fini del presente studio il modello di dati aggregati a livello settoriale non consente di stabilire preferenze tra le due metodologie. Tuttavia a fronte di risultati comparabili tra le due metodologie di analisi, la LMDI è un metodo di calcolo meno esigente e di più rapida applicazione. La SDA è stata applicata ai dati aggregati secondo l'approccio presentato da Siebel (2003), che riprende la metodologia proposta da Dietzenbacher e Los (1998), mentre la IDA è stata applicata secondo il modello LMDI proposto da Ang (2005).

3.1 Structural Decomposition Analysis (SDA)

Per spiegare i presupposti analitici della *Structural decomposition analysis* proposta da Dietzenbacher e Los, supponiamo di decomporre la variabile V nelle sue *driving force* sottostanti, ad esempio le componenti A e B :

$$V = A \times B$$

dove il prodotto dei fattori A e B è uguale alla variabile V . Le variabili V , A e B possono essere scalari, vettori e/o matrici. Sia

$$\Delta V = V^t - V^0$$

la variazione nella variabile V nell'intervallo temporale $(0, t)$. La decomposizione della variazione della variabile V può essere derivata come segue:

$$\Delta V = A^t \times B^t - A^0 \times B^0 \quad (1)$$

aggiungendo e sottraendo in (1) l'espressione $A^t \times B^0$ si ottiene:

$$\Delta V = A^t \times B^t - A^0 \times B^0 + A^t \times B^0 - A^t \times B^0 \quad (2)$$

$$= \Delta A \times B^0 + \Delta B \times A^t \quad (2a)$$

mentre,aggiungendo e sottraendo in (1) l'espressione $A^0 \times B^t$ si ottiene:

$$\Delta V = \Delta A \times B^t + \Delta B \times A^0 \quad (2b)$$

Nell'equazione (2b) i pesi sono opposti a quelli nell'equazione (2a): partendo dal tempo 0 si ottiene la prospettiva dell'indice di Laspeyres, mentre partendo dal tempo t si perviene alla prospettiva dell'indice di Paasche. Inoltre, le equazioni (2a) e (2b) sono le uniche decomposizioni complete – senza termini residui – nel caso di due fattori: esistono solo due modalità in cui gli effetti $\Delta A \times B$ e $\Delta B \times A$ possono manifestarsi.

ΔV può essere scritto:

$$\Delta V = 0.5(A^t + A^0)\Delta B + 0.5(B^t + B^0)\Delta A$$

In questo modo la variazione di V può essere decomposta nella somma delle variazioni dei fattori A e B , dove $\Delta A = A^t - A^0$ e $\Delta B = B^t - B^0$.

In generale, in presenza di n fattori, si avrà:

$$V = F_1 * F_2 * \dots * F_n$$

che è possibile decomporre nelle seguenti due decomposizioni polari:

$$\begin{aligned} \Delta V = & \Delta F_1 \times F_2^t \dots F_{n-1}^t \times F_n^t + F_1^0 \times \Delta F_2 \dots F_{n-1}^t \times F_n^t + \\ & + F_1^0 \times F_2^0 \dots \Delta F_{n-1} \times F_n^t + F_1^0 \times F_2^0 \times \dots F_{n-1}^0 \times \Delta F_n \end{aligned} \quad (3)$$

e, ordinando i fattori secondo la prospettiva temporale opposta, si ottiene:

$$\begin{aligned} \Delta V = & \Delta F_1 \times F_2^0 \dots F_{n-1}^0 \times F_n^0 + F_1^t \times \Delta F_2 \dots F_{n-1}^0 \times F_n^0 + \\ & + F_1^t \times F_2^t \dots \Delta F_{n-1} \times F_n^0 + F_1^t \times F_2^t \times \dots F_{n-1}^t \times \Delta F_n \end{aligned} \quad (4)$$

Tuttavia, in questo caso le espressioni polari non sono uniche, ma sono solo due fra le decomposizioni possibili. Dietzenbacher e Los (1998) dimostrano che nel caso generale in cui siano presenti n fattori, saranno possibili $n!$ espressioni di decomposizione.

Il problema della mancanza di unicità della soluzione può essere superato in due modi. Dietzenbacher e Los suggeriscono di adottare la media di due forme di decomposizione polare per evitare complessità di calcolo soprattutto in presenza di numerosi fattori; la soluzione scelta in questo lavoro utilizza la media di tutte le forme possibili di decomposizione, così come suggerito da de Haan (2001) e Seibel (2003).

Quest'ultima soluzione, peraltro, supera ogni arbitrarietà derivante dal dover scegliere una delle possibili coppie di forme di decomposizione polare.

Siano a, b, c, d i fattori che contribuiscono alla variazione della variabile V in un intervallo temporale tra 0 e t , allora la decomposizione può essere rappresentata come segue:

$$\Delta V = \frac{[\Delta a \cdot (b \cdot c \cdot d) + \Delta b \cdot (a \cdot c \cdot d) + \Delta c \cdot (a \cdot b \cdot d) + \Delta d \cdot (a \cdot b \cdot c)]}{n!} \quad (5)$$

Poiché non esiste una sola decomposizione della variazione di ΔE nell'intervallo temporale $(0, t)$, la decomposizione viene effettuata per tutte le $n!$ combinazioni possibili di stati temporali dei fattori invariati. Il risultato della decomposizione sarà la media di tutte le decomposizioni calcolate. Nel presente studio è stato quindi applicato il metodo proposto da Dietzenbacher e Los (1998). Per maggiori dettagli sulla metodologia si rimanda a Seibel, 2003 e APAT, 2007.

3.2 Index Decomposition Analysis (IDA)

La *Index decomposition analysis* ha diversi approcci, di seguito sarà presentata una sintetica descrizione della *Logarithmic mean Divisia index* (LMDI) che risulta tra le metodologie più diffuse in letteratura (Ang, 2005).

Sia V una variabile soggetta a variazione temporale nell'intervallo $(0, t)$. La variazioni di V da V^0 a V^t siano determinate da n fattori (X_1, X_2, \dots, X_n) . Siano i le sottocategorie che definiscono le variazioni strutturali di V per ogni fattore, in modo che a livello di sottocategoria sia rispettata la relazione:

$$V_i = X_{1,i} \times X_{2,i} \times \dots \times X_{n,i}$$

L'obiettivo è derivare il contributo degli n fattori nella variazione di V che può essere espressa sia in termini additivi, sia in termini moltiplicativi:

$$\Delta V = V^t - V^0 = \Delta V_{X1} + \Delta V_{X2} + \dots + \Delta V_{Xn} \quad \text{forma additiva}$$

$$\Delta V = V^t / V^0 = D_{X1} \times D_{X2} \times \dots \times D_{Xn} \quad \text{forma moltiplicativa}$$

Le formule generali per l'applicazione della LMDI sono le seguenti:

$$\Delta V_{xk} = \sum_i L(V_i^t, V_i^0) \ln\left(\frac{X_{k,i}^t}{X_{k,i}^0}\right)$$

$$D_{xk} = \exp\left(\sum_i \frac{L(V_i^t, V_i^0)}{L(V^t, V^0)} \ln\left(\frac{X_{k,i}^t}{X_{k,i}^0}\right)\right)$$

dove $L(a, b) = (a - b) / (\ln a - \ln b)$ e $L(a, a) = a$

3.3 Analisi della decomposizione applicata alle emissioni atmosferiche

La variazione delle emissioni di gas serra della produzione termoelettrica è dovuta a diversi fattori come la tecnologia di generazione elettrica, il combustibile fossile utilizzato, il contributo delle fonti rinnovabili e la domanda elettrica. L'analisi della decomposizione è stata applicata per valutare il contributo relativo di tali componenti. Tale tecnica trova ampia applicazione nell'analisi dei dati ambientali. L'Istituto di Statistica della Germania ha adottato l'analisi della decomposizione per valutare la variazione delle emissioni di anidride carbonica (Seibel, 2003).

Il punto di partenza dell'analisi di decomposizione è la costruzione di un'identità in cui la variabile esaminata è indicata come prodotto delle componenti considerate cause determinanti (APAT, 2007). Affinché l'identità sia rispettata le componenti devono essere definite come rapporti, dove il denominatore di una componente è il numeratore della componente successiva. L'identità è fornita a priori in relazione ai dati disponibili e all'obiettivo dell'analisi considerando un modello concettuale che spieghi i fattori che ragionevolmente possono influenzare la variabile considerata. L'identità individuata nel presente studio è la seguente:

$$CO_2 = \sum_{i=1}^n \frac{CO_{2i}}{E.E.i} \times \frac{E.E.i}{E.E.F} \times \frac{E.E.F}{E.E.T} \times E.E.T$$

CO_{2i} è l'anidride carbonica emessa dalla tipologia di combustibile fossile i ;

$E.E.i$ è l'energia elettrica prodotta dalla tipologia di combustibile fossile i ;

$E.E.F$ è l'energia elettrica prodotta dai combustibili fossili;

$E.E.T$ è l'energia elettrica totale prodotta, comprese le fonti rinnovabili.

Il primo fattore dell'equazione valuta l'effetto tecnologico, in termini di variazione temporale dei fattori di emissione delle diverse tipologie di combustibili fossili. Tale variazione è un indicatore dell'incremento di efficienza degli impianti termoelettrici nel processo di trasformazione delle fonti fossili in energia elettrica. In altri termini viene valutato l'effetto della variazione di intensità emissiva nella generazione elettrica. Il secondo fattore prende in considerazione l'effetto della variazione del mix combustibile, ovvero la variazione della frequenza relativa dei diversi combustibili caratterizzati da diverso contenuto di carbonio e quindi diversi fattori di emissione. Il terzo fattore valuta l'effetto della produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili considerando la variazione del rapporto tra

energia elettrica da fonte fossile ed energia elettrica totale. Infine, il quarto fattore considera l'effetto della variazione di energia elettrica totale prodotta.

In base all'equazione riportata le emissioni possono essere decomposte nei diversi fattori con le due metodologie precedentemente illustrate, al fine di valutare l'effetto della variazione di un fattore lasciando invariati gli altri fattori. Nell'analisi di decomposizione effettuata è stato assunto un contributo indipendente dei quattro fattori sulla variazione delle emissioni atmosferiche. L'effetto finale è valutato in termini additivi per i fattori considerati.

3.3.1 Risultati dell'analisi della decomposizione

Considerata la rilevanza della CO₂ tra i gas a effetto serra emessi per la generazione elettrica la seguente analisi, effettuata con la metodologia SDA, è stata effettuata solo sulle emissioni di CO₂.

I fattori considerati nell'analisi (tecnologia, tipologia di combustibile, fonti rinnovabili, produzione elettrica totale) concorrono alla riduzione delle emissioni atmosferiche laddove l'incremento della produzione elettrica determina un effetto contrario (Figura 3.1).

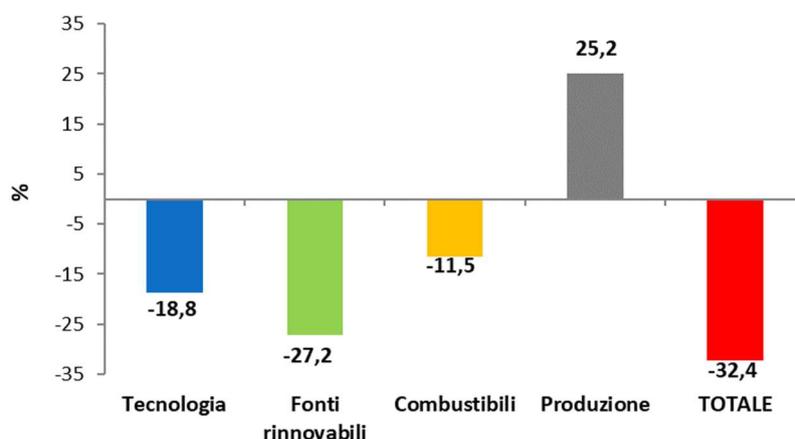


Figura 3.1 – Analisi di decomposizione delle emissioni atmosferiche di CO₂ nel periodo 1990-2018. È riportato il contributo alla variazione delle emissioni atmosferiche rispetto al 1990 per i quattro fattori identificati e la variazione totale osservata nello stesso periodo.

I risultati dell'analisi mostrano che i fattori considerati – tecnologico, fonti rinnovabili, combustibile – contribuiscono alla riduzione delle emissioni atmosferiche di CO₂ rispettivamente per il 18,8%, 27,2% e 11,5%, mentre l'incremento della produzione elettrica determina un aumento delle emissioni del 25,2%. L'effetto cumulato dei quattro fattori ha determinato una riduzione delle emissioni atmosferiche di CO₂ nel 2018 del 32,4% rispetto alle emissioni osservate nel 1990 (-40,8 MtCO₂). In altre parole la riduzione dovuta alla variazione del fattore tecnologico (diminuzione dei fattori di emissione specifici dei combustibili fossili) nel periodo 1990-2018 sarebbe stata di 25,7 MtCO₂ qualora gli altri fattori fossero rimasti invariati. La riduzione dovuta alla composizione di combustibili sarebbe stata di 14,5 MtCO₂, mentre l'incremento della quota di energia prodotta da fonti rinnovabili rispetto al 1990 avrebbe determinato una riduzione delle emissioni di 34,4 MtCO₂. Tali effetti di riduzione delle emissioni sono “compensati” da un aumento netto della produzione di energia elettrica che avrebbe comportato un incremento delle emissioni atmosferiche di 31,7 MtCO₂ in assenza del contributo degli altri fattori. Considerando le tipologie di combustibili, la riduzione della quota di prodotti petroliferi rappresenta di gran lunga il maggior contributo alla diminuzione delle emissioni atmosferiche (Tabella 3.1).

Tabella 3.1 – *Analisi di decomposizione delle emissioni atmosferiche. È riportato il contributo percentuale alla variazione delle emissioni atmosferiche nel periodo 1990-2018 per i quattro fattori identificati e la variazione totale osservata nello stesso periodo.*

Combustibili	Tecnologia	FER	Combustibili	Produzione elettrica	Totale
Solidi	0,18	-6,86	-1,89	6,25	-2,32
Gas naturale	-11,06	-9,67	33,02	8,45	20,74
Gas derivati	-0,41	-1,37	-1,58	1,27	-2,09
Prodotti petroliferi	-6,25	-8,79	-44,53	8,72	-50,85
Altri combustibili^[1]	-1,27	-0,54	3,52	0,46	2,17
Totale	-18,81	-27,24	-11,45	25,15	-32,35

[1] È esclusa l'elettricità prodotta da rifiuti biodegradabili, biogas e biomasse di origine vegetale.

In Figura 3.2 sono riportate le variazioni annuali delle emissioni in termini percentuali dal 1990 al 2018. I dati relativi al fattore tecnologico mostrano che la maggiore riduzione delle emissioni atmosferiche è stata registrata nel periodo dal 2000 al 2001. In quegli anni sono entrati in esercizio diversi impianti a ciclo combinato alimentati prevalentemente da gas di sintesi da gassificazione di prodotti petroliferi, mentre negli anni successivi sono entrati in esercizio diversi impianti a ciclo combinato alimentati a gas naturale. Tali impianti sono caratterizzati da maggiore efficienza rispetto ai cicli a vapore tradizionali. Il crescente utilizzo dei gas di sintesi e dei rifiuti solidi urbani a partire dal 2000 spiega inoltre l'incremento delle emissioni dovute alla variazione dei combustibili nel periodo 1999-2001, dovuto in parte anche all'incremento della quota di combustibili solidi nel 2001. Per quel che concerne il contributo della variazione dei combustibili fossili nell'intero periodo esaminato è evidente che la variazione della frequenza relativa dei diversi combustibili, con l'aumento del gas naturale a scapito principalmente dei prodotti petroliferi, determina una corrispondente variazione del contributo emissivo con una diminuzione netta delle emissioni. Di particolare rilievo appare l'andamento del contributo alla riduzione delle emissioni atmosferiche da parte delle fonti rinnovabili. I valori relativi a tale fattore mostrano una oscillazione che riflette la variabilità della produzione elettrica, soprattutto in relazione alla componente idroelettrica che dipende a sua volta dalle condizioni meteorologiche. A partire dal periodo 2007-2008 l'apporto delle fonti rinnovabili assume una dimensione rilevante, con un contributo alla riduzione delle emissioni atmosferiche superiore a quanto registrato per le altre componenti nello stesso periodo. Di particolare interesse appare il risultato della decomposizione tra 2015 e l'anno precedente. Dal 2015 si nota come la variazione delle fonti rinnovabili, nella fattispecie la riduzione del loro contributo, determini un incremento delle emissioni solo parzialmente compensato dagli altri fattori, soprattutto la variazione del mix combustibile. Nel 2018 i vari fattori determinano la riduzione delle emissioni rispetto all'anno precedente, fatto salvo un contributo marginale all'aumento delle emissioni del fattore tecnologico.

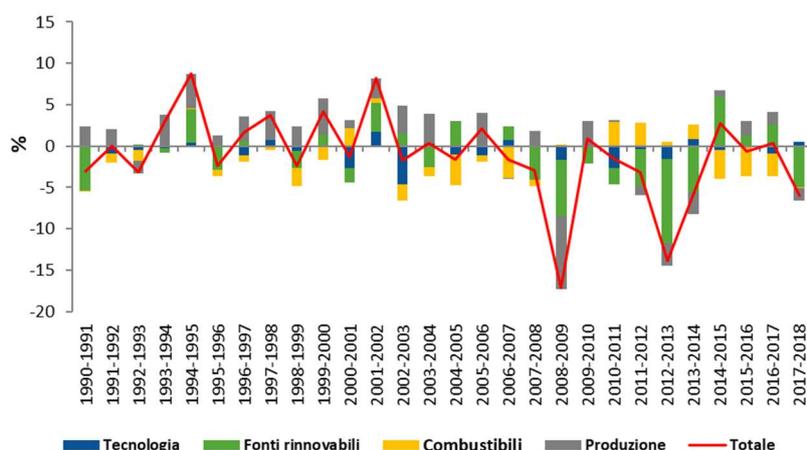


Figura 3.2 - *Analisi di decomposizione delle emissioni atmosferiche per intervalli annuali. Per ogni intervallo annuale sono riportati i contributi alla variazione delle emissioni atmosferiche dei quattro fattori rispetto al 1990, la linea rappresenta la variazione totale osservata.*

In relazione al contributo delle fonti rinnovabili alla riduzione delle emissioni atmosferiche è necessario sottolineare che a partire dal 2007 la crisi economica ha ridotto sensibilmente i consumi di

combustibili fossili aumentando nel contempo la quota di fonti rinnovabili in seguito alla priorità di dispacciamento dell'energia elettrica prodotta da tali fonti. In ogni caso ogni unità di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili contribuisce alla riduzione delle emissioni atmosferiche in maniera di gran lunga superiore a qualsiasi altro fattore, nell'ipotesi di sostituzione di una equivalente quantità di energia elettrica prodotta da qualsiasi fonte fossile.

L'applicazione della *Index decomposition analysis* con la metodologia LMDI proposta da Ang (2005) mostra risultati analoghi a quelli della *Structural decomposition analysis* con la metodologia proposta da Dietzenbacher e Los (1998).

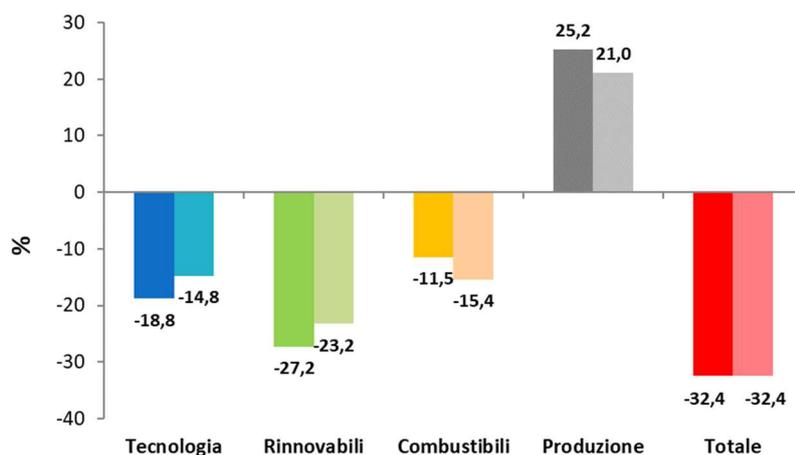


Figura 3.3 – Confronto dei risultati della analisi di decomposizione delle emissioni atmosferiche nel periodo 1990-2018 con metodologie SDA e IDA, rispettivamente la prima e la seconda barra per ciascun fattore.

Le due metodologie presentano differenti percentuali del contributo di ciascun fattore alla variazione delle emissioni di CO₂ nel periodo esaminato ma mostrano essenzialmente la stessa struttura (Figura 3.3).

3.4 Energia elettrica e PIL

La produzione di energia elettrica nazionale e i relativi consumi sono strettamente correlati alle attività economiche del paese. Nel seguente grafico è illustrata la correlazione tra prodotto interno lordo pubblicato periodicamente da ISTAT (valori concatenati con anno di riferimento 2015) e produzione lorda di energia elettrica.

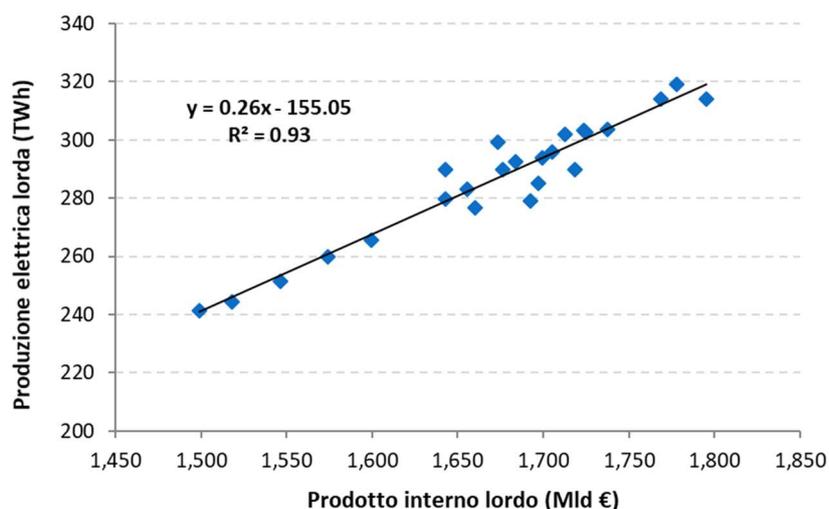


Figura 3.4 – Correlazione tra PIL (valori concatenati - anno 2015) e produzione lorda di energia elettrica.

Il tasso di variazione della produzione elettrica e, in pari misura, il tasso di variazione dei consumi elettrici rispetto all'anno 1995 mostrano una velocità maggiore rispetto al tasso di variazione del prodotto interno lordo (Figura 3.5) con un evidente disaccoppiamento tra prodotto interno lordo ed emissioni di CO₂ da produzione elettrica. Tale disaccoppiamento è dovuto sia all'incremento di efficienza sia alla crescente quota di energia elettrica da fonti rinnovabili. Il disaccoppiamento è particolarmente accentuato negli ultimi anni con il sensibile incremento di energia elettrica da fonti rinnovabili.

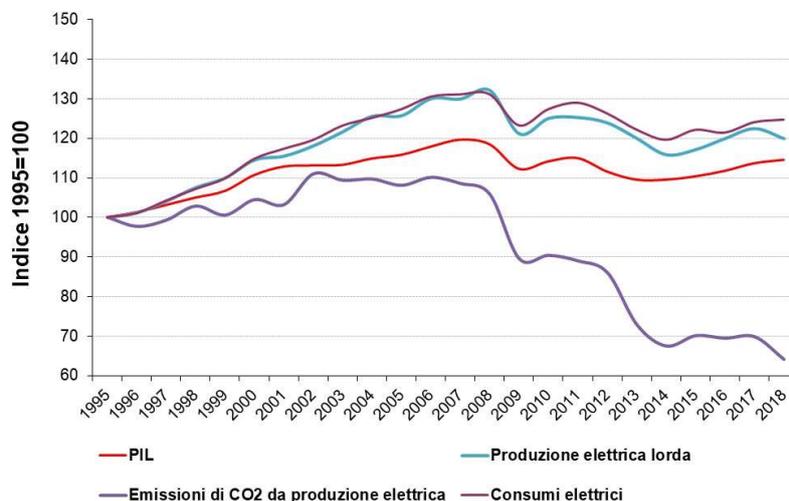


Figura 3.5 – Andamento del prodotto interno lordo, della produzione elettrica lorda, dei consumi elettrici e delle emissioni di CO₂ da produzione elettrica rispetto all'anno 1995.

Il disaccoppiamento tra produzione elettrica (o consumi elettrici) e prodotto interno lordo è dovuto all'incremento dei consumi di energia elettrica nel settore residenziale, non associato alla produzione economica, e a un forte tasso di crescita dei consumi nel settore terziario, attenuatosi solo negli ultimi anni e caratterizzato da tassi di crescita del valore aggiunto e del consumo di energia elettrica nettamente divergenti (Figura 3.6). Il settore industria, d'altra parte, mostra un andamento parallelo dei tassi di crescita del valore aggiunto e del consumo di energia elettrica con una intensa diminuzione, come si vedrà in seguito.

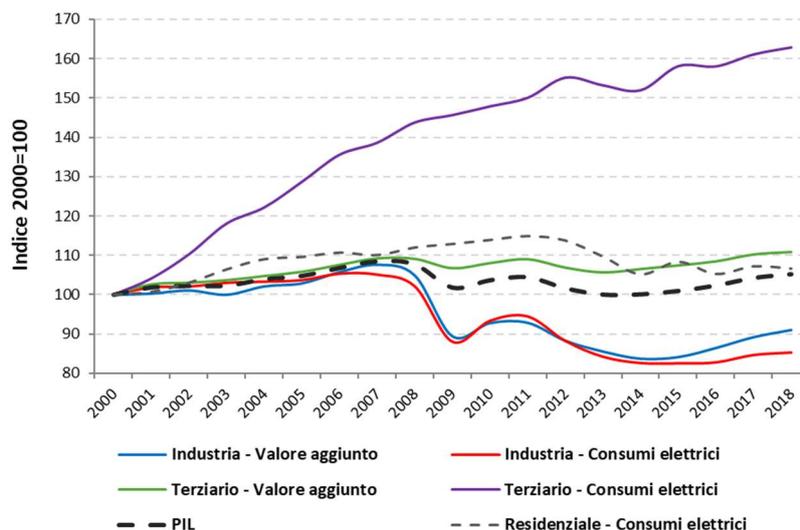


Figura 3.6 – Andamento del valore aggiunto settoriale e dei consumi elettrici rispetto all'anno 2000 nei settori Industria e Terziario. È inoltre riportato l'andamento del prodotto interno lordo e dei consumi elettrici per il settore residenziale rispetto all'anno 2000.

L'intensità energetica (consumi di energia elettrica / valore aggiunto con valori concatenati con anno di riferimento 2015) per i settori terziario e industria mostra andamenti opposti. Nel settore terziario il valore passa da 63,1 Wh/€ a 92,7 Wh/€ dal 2000 al 2018 con un incremento del 46,8%. Il settore industria, d'altra parte, è caratterizzato da intensità energetica più elevata rispetto al settore dei servizi e un andamento in netta diminuzione, con una riduzione dei consumi elettrico per unità di valore aggiunto di 6,3%. Per il settore agricoltura si osservano ampie oscillazioni dell'intensità energetica con un incremento del 24,4% nel periodo considerato (Tabella 3.2).

Tabella 3.2 – Intensità elettrica per unità di valore aggiunto. Per il settore residenziale l'intensità è espressa per unità di prodotto interno lordo. (Wh/€ - valori concatenati con anno di riferimento 2015).

Settore	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Agricoltura	142,1	164,3	170,3	175,2	179,1	170,0	164,6	166,4	162,9	182,5	176,8
Industria	361,6	364,4	363,7	367,7	361,1	355,7	356,6	354,4	346,0	343,0	338,6
Terziario	63,1	76,7	86,4	86,9	91,6	91,5	90,0	92,9	91,9	92,2	92,7
Residenziale	41,5	43,4	45,5	45,6	46,4	45,4	43,6	44,5	42,6	42,6	42,0

In sintesi, con la crisi economica si osserva dal 2008 una forte contrazione dei consumi elettrici soprattutto nel settore dell'industria. Il settore terziario mostra invece un andamento crescente dei consumi nonostante la contrazione del valore aggiunto, con un rallentamento dopo il 2012. I consumi residenziali mostrano una maggiore inerzia rispetto ai consumi dei settori economici, tuttavia anche nel residenziale si osserva una contrazione successivamente al 2012, analogamente a quanto accade per i consumi nel terziario. Nel 2018 si osservano consumi elettrici confrontabili con quelli registrati nell'anno precedente (Tabella 3.3).

Tabella 3.3 – Consumi di energia elettrica per settore (TWh).

Settore	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Agricoltura	4,9	5,4	5,6	5,9	5,9	5,7	5,4	5,7	5,6	6,0	5,8
Industria	148,2	153,7	138,4	140,0	130,8	124,9	122,5	122,4	122,7	125,5	126,4
Terziario	65,1	83,8	96,3	97,7	101,0	99,8	99,0	102,9	102,9	104,9	106,0
<i>di cui trasporti</i>	8,5	9,9	10,2	10,7	10,8	10,8	10,5	10,9	11,2	11,4	11,5
Residenziale	61,1	66,9	69,6	70,1	69,5	67,0	64,3	66,2	64,3	65,5	65,1
Totale	279,3	309,8	309,9	313,8	307,2	297,3	291,1	297,2	295,5	301,9	303,4

I trasporti mostrano un incremento costante dei consumi assoluti e della quota rispetto ai consumi totali, passando da 3% nel 2000 a 3,8% nel 2018.

3.5 Analisi della decomposizione delle emissioni atmosferiche da consumi elettrici

Una ulteriore analisi della decomposizione è stata effettuata per analizzare il contributo dei settori produttivi alla variazione delle emissioni di CO₂ utilizzando la metodologia LMDI. A tale scopo sono considerati i settori industria, terziario e agricoltura con i relativi valori aggiunti (valori concatenati con anno di riferimento 2015) e la CO₂ emessa in relazione all'energia elettrica consumata come il risultato della seguente equazione:

$$CO_2 = \sum_{i=1}^n \frac{CE_i}{VA_i} \times \frac{CO_{2i}}{CE_i} \times \frac{VA_i}{PIL} \times PIL$$

CE_i è il consumo elettrico del settore i (industria, terziario e agricoltura);

CO_{2i} è l'emissione atmosferica di anidride carbonica in seguito al consumo elettrico nel settore i ;

VA_i è il valore aggiunto del settore i ;

PIL è il prodotto interno lordo.

Il primo fattore è indicativo dell'efficienza dei consumi elettrici (Consumi/Valore Aggiunto), il secondo dell'intensità emissiva dell'elettricità consumata (CO₂/Consumi), il terzo della struttura

produttiva (Valore Aggiunto/PIL) e il quarto fattore rappresenta la crescita economica (PIL) dovuta all'apporto dei tre settori produttivi.

Si consideri che la valutazione del secondo fattore risente di una forte approssimazione dovuta all'impossibilità di determinare un fattore emissivo dei consumi elettrici per i singoli settori. I fattori di emissione dei tre settori saranno quindi simili nello stesso anno, pertanto è possibile valutare la variazione dell'intensità emissiva in un periodo ma non le differenze tra i settori.

I risultati dell'analisi della decomposizione, illustrati nella Figura 3.7, mettono in evidenza che in termini generali la variazione lievemente positiva del PIL nel periodo 2000-2018 è stata affiancata dal peggioramento dell'efficienza dei consumi elettrici, come mostra l'incremento del rapporto tra consumi elettrici e valore aggiunto per tutti i settori eccetto l'industria. Si nota inoltre la riduzione dell'intensità emissiva per tutti i settori e la una variazione della struttura produttiva in cui l'industria subisce un drastico ridimensionamento cui corrisponde uno sviluppo del settore terziario. L'efficienza dei consumi determina un incremento delle emissioni atmosferiche di CO₂ pari all'8,1% più che compensato dalla riduzione del 45,0% dovuta all'intensità emissiva e del 4,3% dovuta alla variazione della struttura produttiva. La crescita economica determina un incremento delle emissioni di 2,7%. L'effetto cumulato dei quattro fattori ha determinato una riduzione delle emissioni atmosferiche nel periodo esaminato del 38,3%.

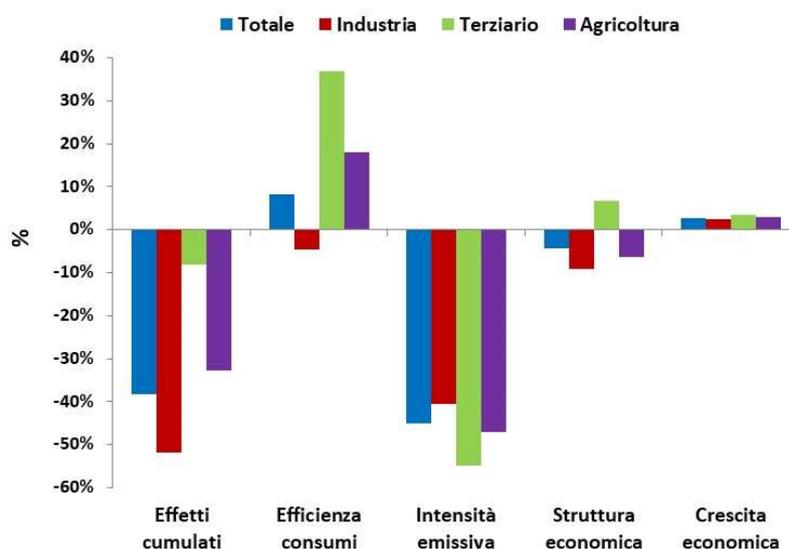


Figura 3.7 – Analisi di decomposizione delle emissioni atmosferiche da consumo elettrico nei settori produttivi nel periodo 2000-2018. È riportato il contributo alla variazione delle emissioni atmosferiche per i quattro fattori identificati e la variazione totale osservata nello stesso periodo.

I settori mostrano contributi piuttosto eterogenei in relazione ai fattori esaminati (Tabella 3.4). L'industria mostra uno schema coerente con quello generale, con l'efficienza dei consumi, l'intensità emissiva e il contributo alla struttura produttiva che determinano una riduzione delle emissioni atmosferiche da consumi elettrici. In particolare la struttura economica rappresenta il contributo del settore industria al PIL e risente della crisi che dal 2008 ha contratto in maniera drammatica l'attività del settore (Figura 3.8).

Tabella 3.4 – Analisi di decomposizione per fattori delle emissioni atmosferiche da consumo elettrico nei settori produttivi. È riportato il contributo alla variazione di emissioni atmosferiche nel periodo 2000-2018 per i fattori identificati e la variazione totale osservata nello stesso periodo.

Settore	Efficienza consumi	Intensità emissiva	Struttura economica	Crescita economica	Effetti cumulati
Industria	-4.7%	-40.6%	-9.1%	2.4%	-51.8%
Terziario	36.8%	-54.8%	6.6%	3.3%	-8.0%
Agricoltura	18.0%	-47.2%	-6.5%	2.8%	-32.7%
Totale	8.2%	-45.0%	-4.3%	2.7%	-38.3%

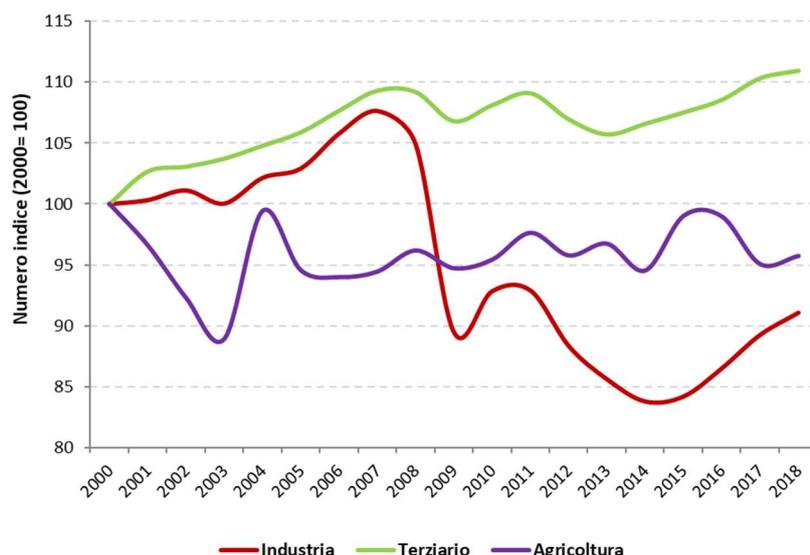


Figura 3.8 – *Variazione annuale del valore aggiunto per i settori industria, terziario e agricoltura (2000=100).*

Il contributo alla riduzione delle emissioni atmosferiche dovuto alla riduzione dei consumi elettrici per unità di valore aggiunto prodotto nel settore industriale è piuttosto consistente. È ragionevole pensare che tale andamento corrisponda a un aumento strutturale dell'efficienza dei consumi elettrici e non risenta della contingente contrazione dei consumi dovuta alla crisi economica poiché i termini costitutivi dell'indicatore (Consumi elettrici / Valore aggiunto) covariano e sono quindi entrambi influenzati dalla crisi economica (Figura 3.9). La crisi economica ha coinvolto in maniera differente i vari settori industriali, caratterizzati da differente efficienza dei consumi elettrici. Nel settore industria diminuiscono i consumi elettrici del comparto manifatturiero di base (siderurgica, chimica, cartaria, ecc.), maggiormente energivori, la cui quota relativa passa dal 49% del 2000 al 46,2% del 2007 e 42,6% del 2018. La quota di consumi del comparto energia e acqua passa da 7,9% a 13,1% dal 2000 al 2018. La quota dei consumi elettrici del comparto manifatturiero non di base (alimentare, meccanica, mezzi di trasporto, ecc.) nel periodo 2000-2018 rimane piuttosto costante con modeste oscillazioni intorno al valore medio del 42,4%. In maniera simile non si osservano variazioni di rilievo per la quota dei consumi nel comparto delle costruzioni che nel periodo 2000-2018 oscillano intorno alla media del 1,1% del settore industria.

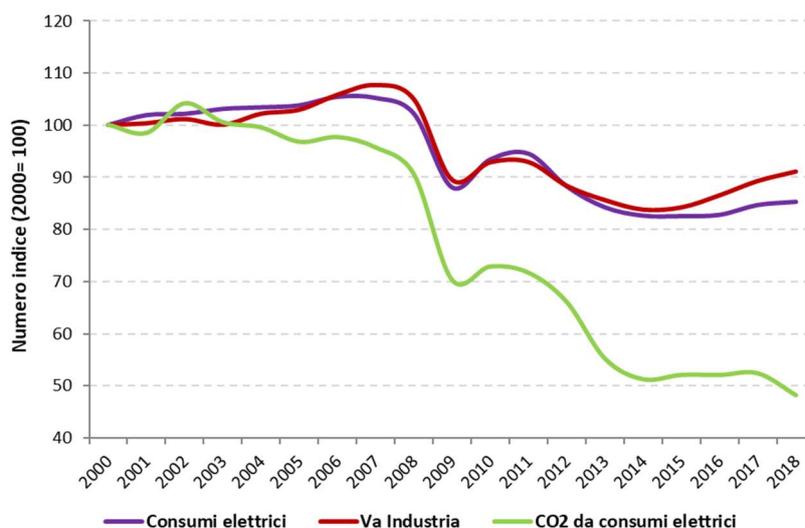


Figura 3.9 – *Variazione annuale dei consumi elettrici dell'industria e del valore aggiunto. È inoltre riportato l'andamento delle emissioni di CO₂ da consumo di energia elettrica.*

In Figura 3.10 è riportata la serie storica del rapporto tra consumi elettrici nel settore industria e valore aggiunto. Dal 2000 al 2003 si osserva un incremento dei consumi per unità di valore aggiunto, seguito da una diminuzione dell'indicatore fino al 2007. Nel periodo della crisi economica si osserva una notevole oscillazione dell'indicatore, con una impennata fino al 2011 seguita da un continuo miglioramento dell'efficienza.



Figura 3.10 – Andamento del rapporto tra consumi elettrici nel settore industria e valore aggiunto.

L'andamento del valore aggiunto dei comparti industriali rispetto al 2000 (Figura 3.11) mostra come i sottosettori abbiano subito in maniera differente gli effetti della crisi economica e abbiano avuto diverse dinamiche di recupero. In particolare il valore aggiunto dell'industria manifatturiera ha subito dopo il 2007 un repentino collasso seguito da un lento recupero che dal 2014 è diventato più sostenuto per l'industria manifatturiera di base. Il settore delle costruzioni invece mostra un costante declino fermatosi al 2014 senza significativo recupero.

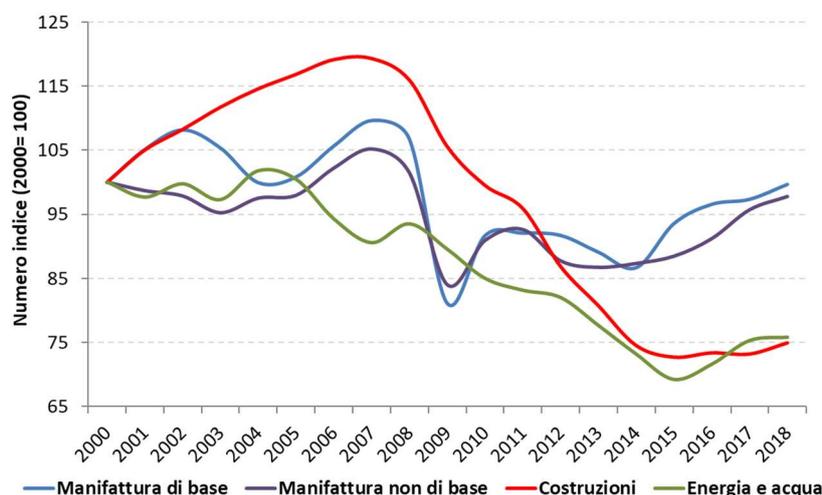


Figura 3.11 – Variazione annuale del valore aggiunto nei comparti del settore industria.

Nella figura successiva sono illustrate le efficienze per i comparti del settore industriale: manifatturiero, costruzioni, energia e acqua. Il settore manifatturiero è diviso nei due comparti, di base (siderurgica, materiali non ferrosi, chimica, materiali da costruzione, cartaria) e non di base (alimentare, tessile, meccanica, lavorazione di plastica e gomma, legno e mobilio, altre manifatturiere). Ad eccezione della lieve oscillazione dal 2008 al 2010, i comparti manifatturieri mostrano la costante diminuzione dei consumi elettrici per unità di valore aggiunto, dal 2000 per la manifatturiera di base e dal 2003 per la manifatturiera non di base. Gli altri comparti mostrano un

andamento opposto con un incremento dell'indicatore pressoché costante fino agli anni 2010-2011. Successivamente si osservano oscillazioni erratiche dell'indicatore ma la tendenza resta in aumento.

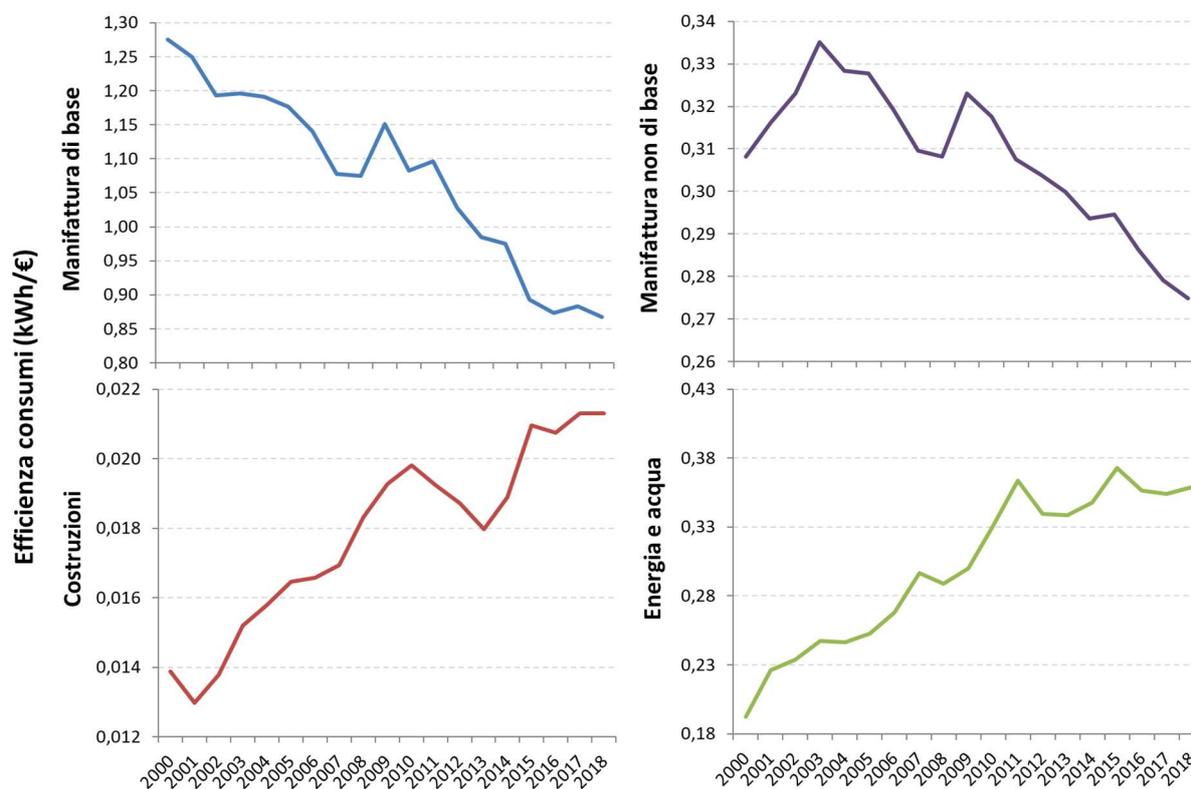


Figura 3.12 – Andamento del rapporto tra consumi elettrici nei comparti del settore industria e valore aggiunto.

La serie storica dell'efficienza dei consumi elettrici nell'industria manifatturiera suggerisce un miglioramento strutturale del settore che si riflette sui minori consumi elettrici per unità di valore aggiunto.

La variazione della struttura produttiva, con un minore apporto di valore aggiunto da parte del settore industriale caratterizzato da maggiori emissioni, contribuisce alla riduzione delle emissioni atmosferiche. Tale riduzione è dovuta sia a dinamiche strutturali quali la terziarizzazione dell'economia ma risente anche della contingente crisi economica che dal 2008 ha investito il settore industriale in misura rilevante.

Il contributo del settore terziario alla variazione delle emissioni atmosferiche mostra uno schema decisamente differente da quello mostrato dal settore industriale. I consumi elettrici per valore aggiunto prodotto mostrano un notevole incremento, il fattore efficienza nel settore terziario determina quindi un incremento netto delle emissioni atmosferiche. Inoltre l'aumento del peso relativo del settore nella struttura produttiva determina un ulteriore contributo positivo alle emissioni atmosferiche. Tali fattori sono più che compensati dalla minore intensità emissiva del settore terziario rispetto agli altri settori produttivi.

Nel settore agricoltura l'efficienza dei consumi elettrici determinerebbe un incremento delle emissioni atmosferiche nel periodo 2000-2018 ma l'intensità emissiva determina la loro riduzione.

Per i tre settori economici l'intensità emissiva, ovvero la quantità di CO₂ emessa per unità di consumo elettrico, appare decisivo nella riduzione delle emissioni atmosferiche. L'intensità emissiva dipende essenzialmente dalla diminuzione del fattore di emissione per la produzione elettrica i cui motivi determinanti sono stati esaminati nel precedente paragrafo. In sintesi si può affermare che la riduzione delle emissioni atmosferiche di CO₂ per il consumo elettrico nei comparti produttivi dal 2000 al 2018 è essenzialmente dovuta ai fenomeni che hanno coinvolto in diversa misura industria e agricoltura, mentre il settore terziario mostra un limitato contributo netto alla riduzione delle emissioni se non per l'incremento della sua quota sul prodotto interno lordo.

L'analisi della decomposizione discussa in questo paragrafo non considera il consumo elettrico nel settore residenziale poiché tale settore non è connesso all'attività economica e non contribuisce formalmente alla variazione del PIL. Tuttavia dall'andamento delle emissioni atmosferiche da consumo di energia elettrica è possibile inferire alcune considerazioni riguardo l'efficienza e l'intensità emissiva. Come illustrato nel seguente grafico dal 2000 al 2008 le emissioni atmosferiche dovute al consumo di elettricità nel settore residenziale sono diminuite solo del 0,8%, mentre dal 2008 si osserva una drastica diminuzione delle emissioni (-39,3% nel 2018 rispetto al 2008). A tale andamento corrisponde un incremento pressoché costante del consumo elettrico interrotto solo dopo il 2011. La covariazione dei due parametri nel periodo 2011-2018 è caratterizzata da differenti velocità: i consumi elettrici si riducono del 7,1%, mentre la riduzione osservata per le emissioni atmosferiche è del 30,8%.

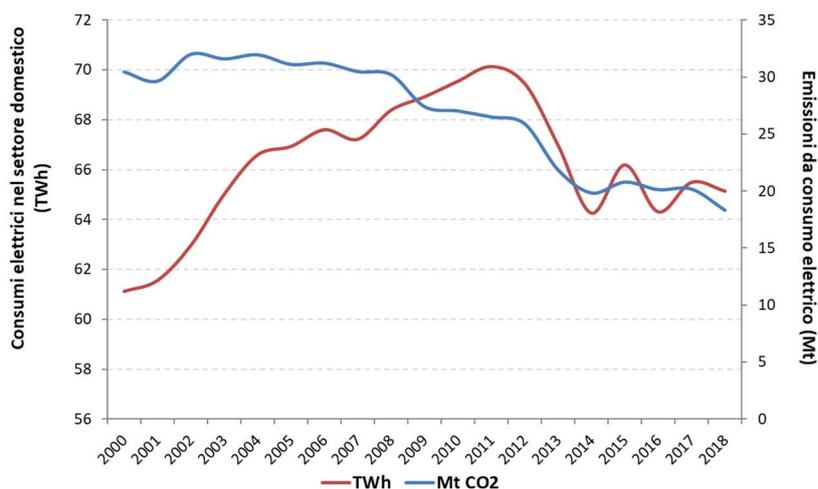


Figura 3.13 – Consumi elettrici e fattore di emissione da consumi elettrici nel settore residenziale.

Le emissioni atmosferiche pro capite per consumo di energia elettrica nelle abitazioni mostrano una costante diminuzione dal 2002 al 2014 seguite da una relativa stabilità negli ultimi anni. D'altra parte il consumo pro capite di energia elettrica mostra un rapido incremento fino al 2004 seguito da una fase di stabilità fino al 2007 e dalla crescita fino al 2011. Dal 2012 si osserva una drastica riduzione dei consumi pro capite fino al 2014 seguita dalle forti oscillazioni degli ultimi anni. In termini di emissioni pro capite le oscillazioni sono smorzate dalla diminuzione del fattore di emissione.

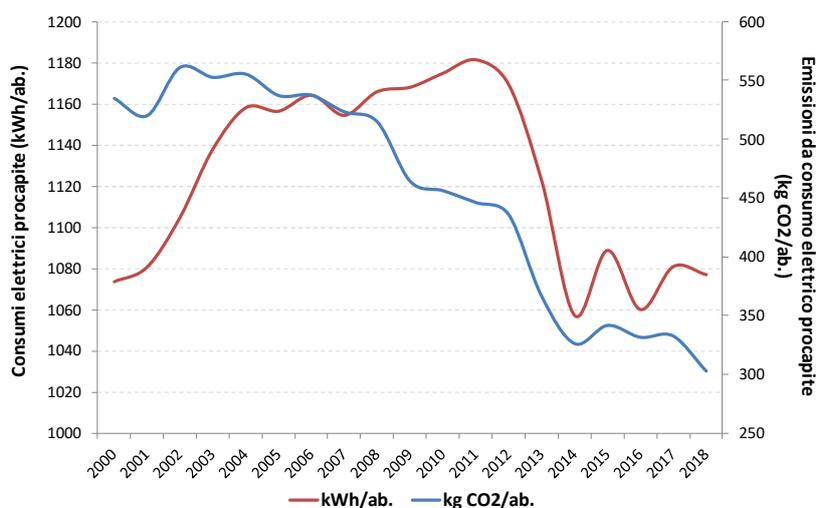


Figura 3.14 – Consumi elettrici e emissioni pro capite da consumi elettrici nel settore residenziale.

In base a tali dati è possibile concludere che l'incremento dei consumi elettrici è più che compensato dalla riduzione del fattore di emissione nel settore domestico con conseguente riduzione

delle emissioni atmosferiche, come mostra la forte divergenza tra l'andamento dei consumi e quello delle emissioni nel seguente grafico. Inoltre, il crescente disaccoppiamento tra consumi pro capite e consumi totali è compatibile con l'ipotesi di un incremento dell'efficienza elettrica nel settore residenziale. Negli ultimi anni prevalgono fattori che determinano una forte riduzione dei consumi elettrici pro capite.

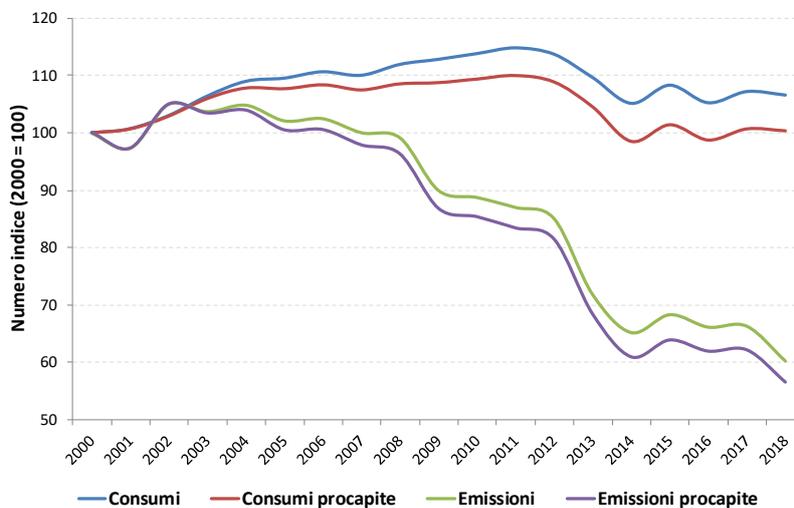


Figura 3.15 – *Variazione annuale dei consumi elettrici (totali e pro capite) e delle relative emissioni atmosferiche nel settore residenziale rispetto al 2000.*

4 IL SETTORE ELETTRICO IN EUROPA

Il settore elettrico costituisce una delle maggiori sorgenti emmissive in Europa. Il settore 1.A.1.a, secondo la classificazione adottata dai *Common Reporting Format* inviati all'UNFCCC, rappresenta le emissioni da “*Public electricity and heat production*”, ovvero gli impianti termoelettrici che forniscono elettricità in rete. Le emissioni di gas serra del settore nel 2015 in EU28 sono state circa il 32% delle emissioni dal settore energia e circa il 25% delle emissioni totali. Va inoltre notato che il settore 1.A.1.a non rappresenta l'intero sistema elettrico poiché le emissioni degli autoproduttori sono annoverate nei settori di appartenenza delle rispettive attività (raffinerie, cokerie e acciaierie, industrie manifatturiere e altro). Nel 2015 l'energia elettrica autoprodotta e generata da combustione in EU28 rappresenta circa il 15% dell'energia totale. Le emissioni originate dal settore elettrico sono quindi più elevate di quanto riportato per il settore 1.A.1.a.

Il settore elettrico rappresenta pertanto uno dei principali obiettivi delle norme indirizzate alla decarbonizzazione dell'economia, sia per l'entità delle emissioni originate dal settore sia per la potenzialità di diffusione delle energie rinnovabili. Tali fonti hanno raddoppiato dal 2005 la loro quota di produzione elettrica in EU28 passando da 14,9% a 32,9% nel 2018 (EEA, 2018). Le caratteristiche delle sorgenti emmissive costituiscono un parametro rilevante in tal senso poiché il settore elettrico è caratterizzato da un numero relativamente piccolo di sorgenti fisse di grandi dimensioni, diversamente da altri settori come quello dei trasporti, altrettanto rilevante in termini emmissivi ma caratterizzato da milioni di sorgenti mobili di piccole dimensioni e maggiore inerzia in termini di penetrazione delle energie rinnovabili.

A novembre 2018 il Parlamento europeo ha approvato i nuovi obiettivi per aumentare l'impiego delle energie rinnovabili in Europa. Secondo le nuove regole concordate dal Parlamento e dai governi nazionali, i nuovi obiettivi prevedono che il 32% del consumo energetico lordo dovrà provenire da fonti rinnovabili entro il 2030. Come per gli obiettivi stabiliti dal Pacchetto per il clima e l'energia del 2020 una parte rilevante sarà a carico del settore elettrico. Secondo uno studio del JRC (2017) “per raggiungere il target del 30% di energie rinnovabili [NdA il target è stato successivamente portato al 32,5%], nel 2030 è necessario che il 54% della produzione lorda di energia elettrica in EU sia da energie rinnovabili.”

4.1 Note metodologiche

I dati utilizzati per l'analisi del settore elettrico dei diversi Paesi europei sono di fonte EUROSTAT⁴. I dati sulla quota di energia da fonti rinnovabili richiesta ai fini del target europeo al 2020 sono comunicati dai Paesi Membri ai sensi della Direttiva 2009/28/UE⁵.

Per la stima delle emissioni atmosferiche dal settore elettrico sono considerati i combustibili utilizzati nel settore termoelettrico secondo la classificazione EUROSTAT riportata nella seguente tabella. Sono inoltre riportati i fattori di emissione atmosferica di *default* per CO₂, CH₄ e N₂O delle linee guida IPCC (2006):

⁴<http://ec.europa.eu/eurostat/data/database>

⁵<http://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/shares>

Tabella 4.1 – *Elenco dei combustibili utilizzati nel settore termoelettrico secondo la classificazione EUROSTAT e relativi fattori di emissione di default per CO₂, CH₄ e N₂O.*

Tipo	Combustibili	Fattori di emissione		
		CO ₂ t/TJ	CH ₄ kg/TJ	N ₂ O kg/TJ
Solidi	Agglomerati di carbon fossile	97,5	1,0	1,5
	Antracite	98,3	1,0	1,5
	Carbone da coke	94,6	1,0	1,5
	Altro carbone bituminoso	94,6	1,0	1,5
	Carbone sub-bituminoso	96,1	1,0	1,5
	Coke da cokeria	107,0	1,0	1,5
	Coke da gas	107,0	1,0	0,1
	Catrame di carbone	80,7	1,0	1,5
	Lignite	101,0	1,0	1,5
	Mattonelle di lignite	97,5	1,0	1,5
	Torba	106,0	1,0	1,5
	Prodotti di torba	106,0	1,0	1,5
	Scisti e sabbie bituminose	107,0	1,0	1,5
	Petroliferi	Petrolio greggio	73,3	3,0
Gas naturale liquido (NGL)		64,2	3,0	0,6
Gas di raffineria		57,6	1,0	0,1
Gas di petrolio liquefatto (LPG)		63,1	1,0	0,1
Altro kerosene		71,9	3,0	0,6
Carboturbo tipo kerosene		71,5	3,0	0,6
Naphtha		73,3	3,0	0,6
Gasolio		74,1	3,0	0,6
Oli combustibili		77,4	3,0	0,6
Bitume		80,7	3,0	0,6
Coke di petrolio		97,7	3,0	0,6
Altri prodotti petroliferi		73,3	3,0	0,6
Gas Naturale		Gas naturale	56,1	1,0
Gas derivati	Gas di cokeria	44,4	1,0	0,1
	Gas di altoforno	260,0	1,0	0,1
	Gas di officina	44,4	1,0	0,1
	Altri gas di recupero	50,3	1,0	0,1
Altri non rinnovabili	Rifiuti industriali	143,0	30,0	4,0
	Rifiuti urbani (non rinnovabili)	91,7	30,0	4,0
Altri rinnovabili	Rifiuti urbani (rinnovabili)	-	30,0	4,0
	Biocombustibili solidi (eccetto carbone da legna)	-	30,0	100,0
	Biogas	-	1,0	0,1
	Biodiesel	-	3,0	0,6
	Altri bioliquidi	-	3,0	0,6

L'analisi dei principali parametri del settore elettrico riguarderà i maggiori Paesi europei ed EU28 a livello aggregato. I Paesi considerati per il confronto con i dati nazionali sono Germania, Francia, Regno Unito, Spagna, Polonia e Svezia che, insieme all'Italia, rappresentavano nel 2015 il 75,7% della produzione elettrica lorda europea.

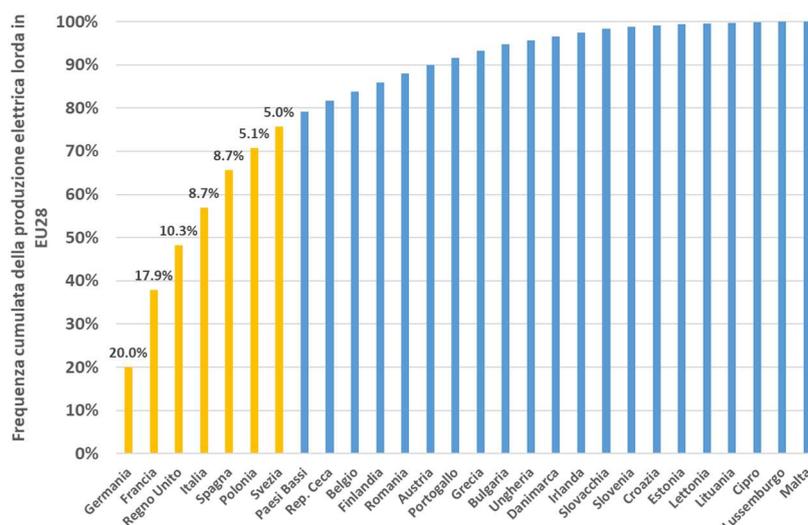


Figura 4.1 – Distribuzione cumulativa della produzione elettrica lorda in EU28. Le etichette sulle barre riportano la percentuale della produzione elettrica lorda in EU28.

Ai fini del calcolo della quantità di energia destinata alla produzione di energia elettrica e calore negli impianti cogenerativi è stata adottata la metodologia proposta da EUROSTAT (2016) per la compilazione dei questionari nazionali da parte degli Stati Membri.

La seguente relazione definisce il rendimento totale di un impianto (ε):

$$\varepsilon = (H + E) / F \quad (1)$$

dove H è il calore prodotto, E è l'energia elettrica prodotta ed F è il contenuto energetico del combustibile utilizzato.

Il combustibile utilizzato per la produzione elettrica, F_e , e quello utilizzato per la produzione di calore, F_h , sono dati dalle equazioni:

$$F_e = F - (H / \varepsilon) = F \times [E / (E + H)] \quad (2)$$

$$F_h = F - (E / \varepsilon) = F \times [H / (E + H)] \quad (3)$$

In tal modo è possibile ripartire l'energia del combustibile utilizzato negli impianti cogenerativi per la produzione di energia elettrica e calore ai fini del calcolo del fattore di emissione per la produzione elettrica.

Il rendimento totale (ε_t) e il rendimento elettrico (ε_{el}) del parco termoelettrico sono calcolati con le equazioni:

$$\varepsilon_t = (H + E) / F \quad (4)$$

$$\varepsilon_{el} = E / F \quad (5)$$

Un altro criterio per confrontare l'efficienza dei diversi parchi termoelettrici e cogenerativi considera il rendimento elettrico che attribuisce alla generazione di energia elettrica la quota di combustibile che rimane dopo avere scorporato la quota di combustibile destinato alla generazione di calore con le equazioni 2 e 3. Il rendimento elettrico così definito è analogo al rendimento elettrico equivalente, ε'_{el} , e sarà dato dall'equazione:

$$\varepsilon'_{el} = E / F_e \quad (6)$$

4.2 Struttura del settore elettrico

4.2.1 Potenza installata

Nel seguente grafico è riportata la ripartizione della potenza netta installata in EU28 negli anni 1990, 2005 e 2018. I dati mostrano che nel 1990 la potenza installata è principalmente costituita da impianti termoelettrici (57,2%), nucleari (21,0%) e idroelettrici (21,6%). Le fonti eolica e fotovoltaica costituivano una quota marginale. Nel 2005 si osserva un rilevante incremento della quota di impianti eolici che aumenta ulteriormente negli anni successivi, arrivando al 17,3% della potenza installata nel 2018. La potenza fotovoltaica, ancora marginale nel 2005, arriva a 11,1% della potenza installata. Le fonti geotermica e mareomotrice, utilizzate in misura rilevante solo da Italia e Francia rispettivamente, restano marginali a livello europeo. A fronte di un incremento della potenza totale installata del 36,6% nel 2018 rispetto al 2005, da 758 GW a 1.035 GW, la sola fonte che mostra una riduzione della potenza è quella nucleare, da 135 GW a 120,6 GW (-10,7%).

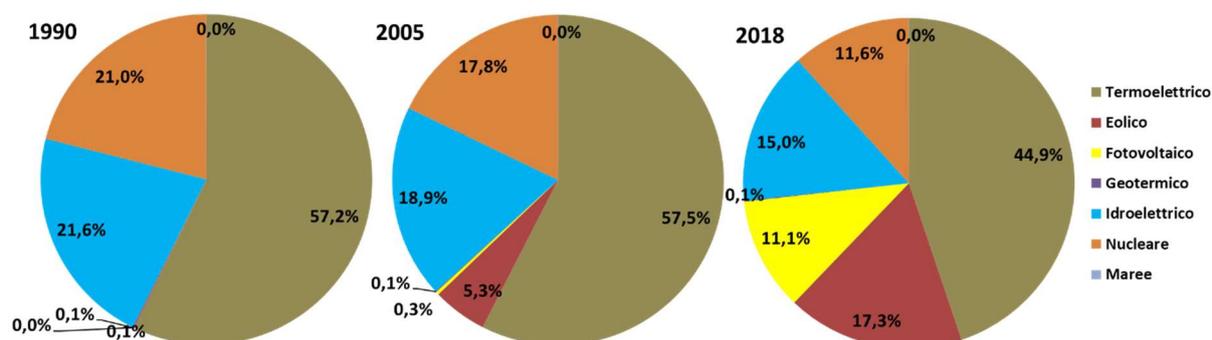
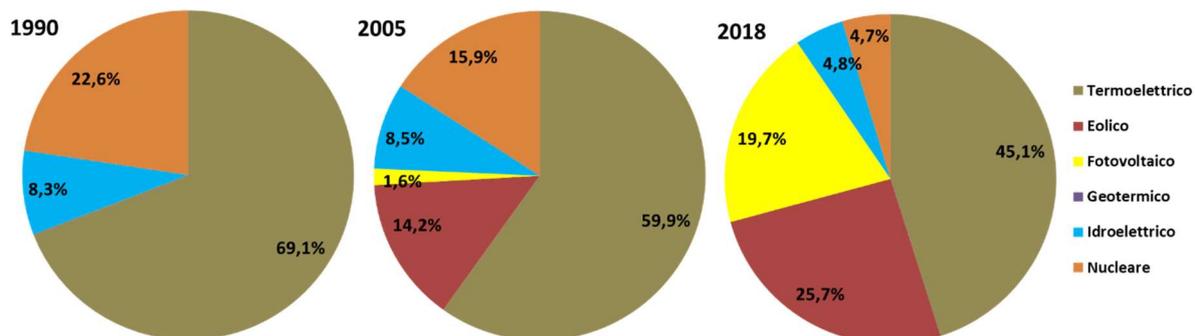


Figura 4.1 – Distribuzione della potenza netta installata in EU28.

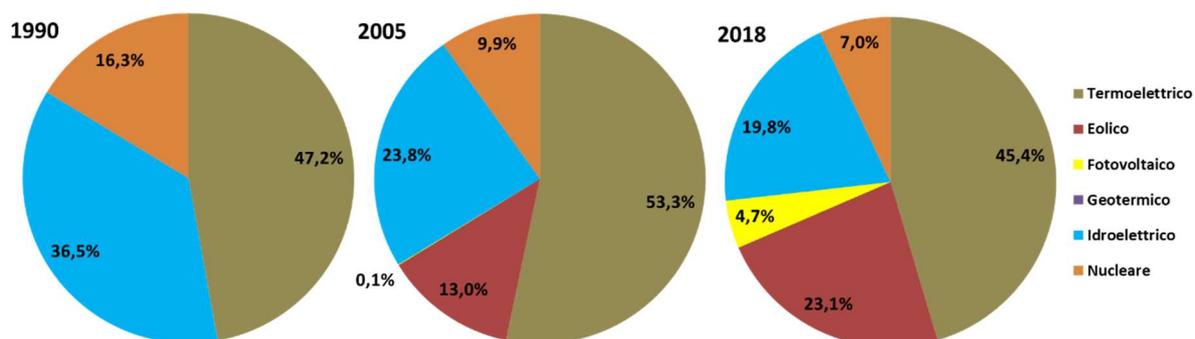
È inoltre interessante notare che la potenza termoelettrica netta degli impianti alimentati da bioenergie è passata da 17,6 GW nel 2005 a 43,5 GW nel 2018, rappresentando il 9,4% della potenza termoelettrica installata.

Nei seguenti grafici è illustrata la ripartizione della potenza installata per tipologia nei Paesi esaminati. I grafici mostrano una notevole eterogeneità nei diversi Paesi. In Polonia si osserva la netta prevalenza degli impianti termoelettrici. Gli impianti nucleari, non presenti in Italia e Polonia, costituiscono una quota rilevante della potenza installata in Francia e Svezia. In merito alle fonti rinnovabili tradizionali l'idroelettrico rappresenta fin dal 1990 una quota considerevole in Spagna, Francia, Italia e Svezia.

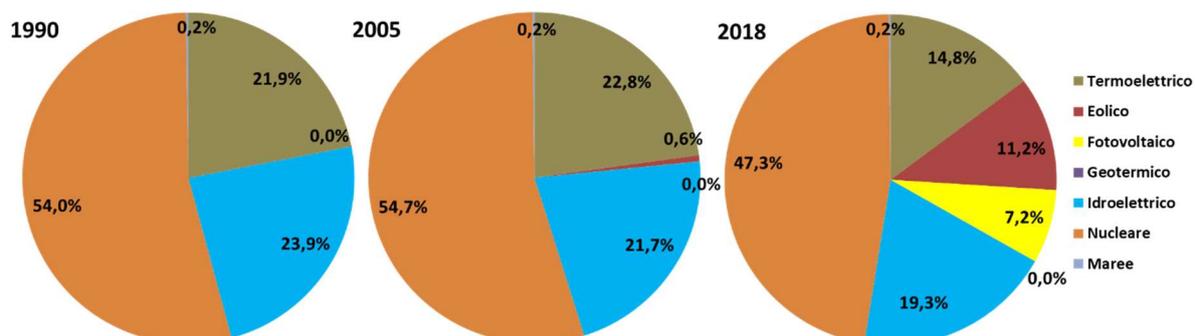
Germania



Spagna



Francia



Italia

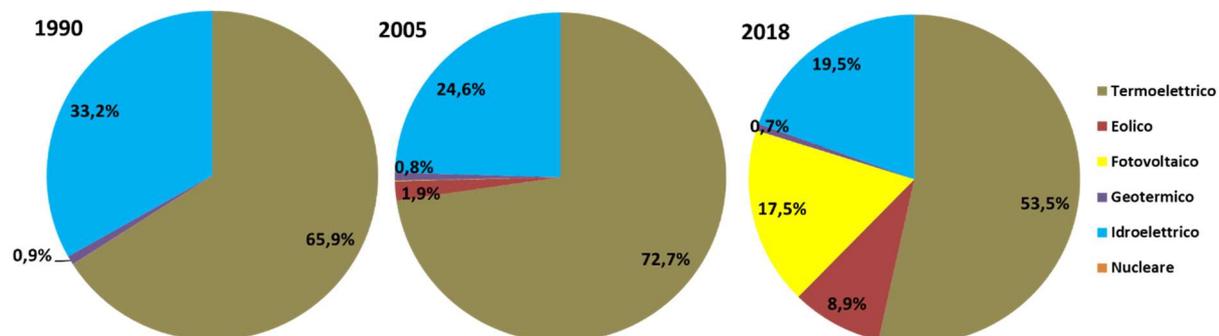
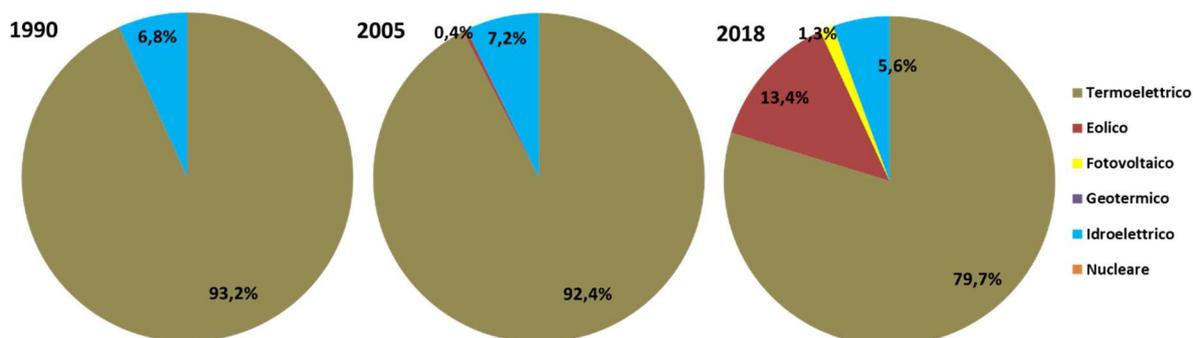
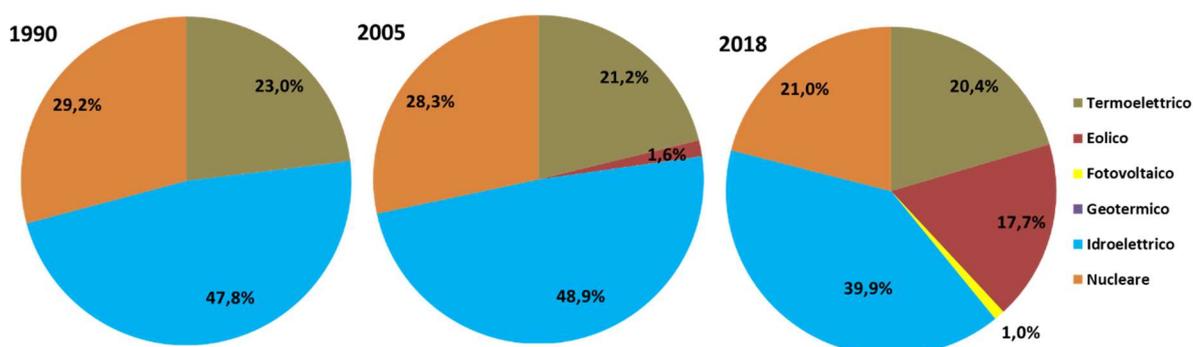


Figura 4.2a – Distribuzione della potenza netta installata nei principali Paesi Europei.

Polonia



Svezia



Regno Unito

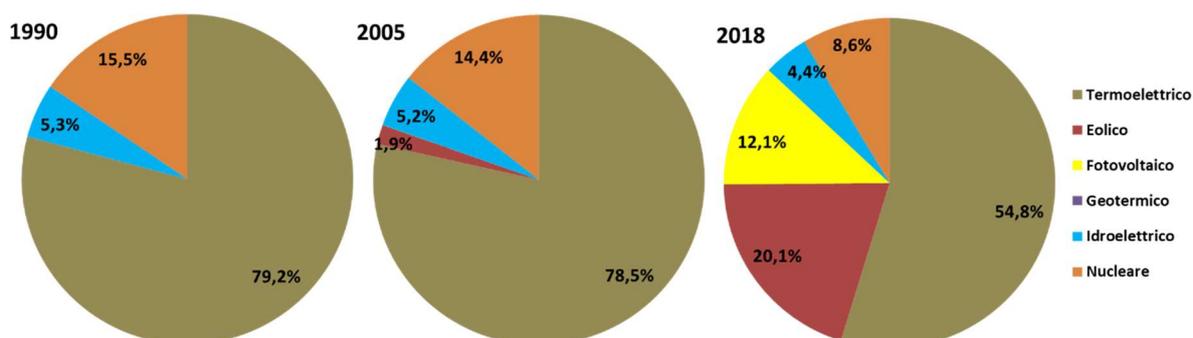


Figura 4.2b – Distribuzione della potenza netta installata nei principali Paesi Europei.

In tutti i Paesi esaminati la quota di potenza termoelettrica e nucleare mostra una considerevole contrazione, particolarmente accentuata in Germania e Regno Unito. La potenza eolica fa registrare un incremento in tutti i Paesi a partire dal 2005, sebbene Germania e Spagna presentassero una quota significativa di tale fonte già in quell'anno. Gli impianti fotovoltaici cominciano ad assumere una quota rilevante dopo il 2005 e negli ultimi anni Germania, Italia e Regno Unito mostrano un notevole incremento di tali impianti.

Per quanto riguarda la potenza termoelettrica è utile sottolineare la specificità della Svezia che presenta una quota particolarmente elevata di potenza alimentata da bioenergie e rifiuti: nel 2018 il 66,4% del settore termoelettrico. Negli altri Paesi la quota di potenza alimentata da tali fonti va dal 2,5% in Spagna al 12,7% nel Regno Unito. La quota per l'Italia è pari al 6,3% della potenza termoelettrica installata.

4.2.2 Produzione di energia elettrica

Nei seguenti grafici è riportata la produzione elettrica lorda per fonte nei Paesi esaminati e in EU28. Nel 2018 il 18,7% della produzione elettrica europea proviene da combustibili solidi e il 19% da gas naturale. I prodotti petroliferi costituiscono il 2,2% della produzione. Il 25,3% della produzione elettrica è di origine nucleare e quasi il 32,1% proviene da fonti rinnovabili.

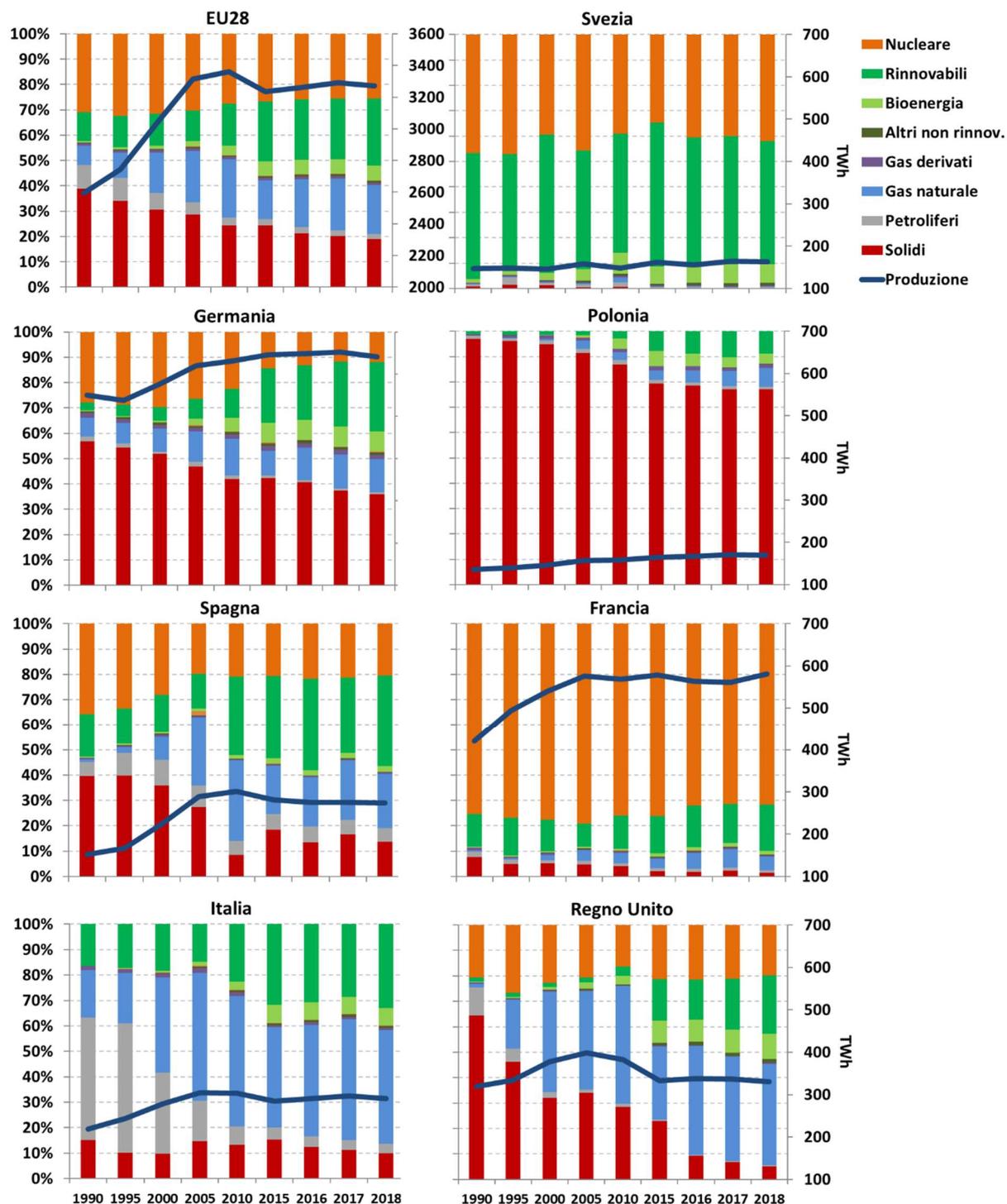


Figura 4.3 – Andamento della produzione elettrica lorda per fonte nei principali Paesi Europei. Sull'ordinata a sinistra è riportata la quota di produzione per fonte, a destra è riportata la produzione elettrica.

La produzione lorda di energia elettrica degli ultimi anni mostra un deciso incremento rispetto al 1990 e una relativa stabilità negli ultimi anni, sebbene i vari Paesi siano caratterizzati da differenti andamenti. A fronte di Paesi quali Germania e Polonia che mostrano andamenti crescenti sebbene con

un rallentamento successivamente al 2005 vi sono Paesi quali Spagna, Italia e Regno Unito in cui si nota una consistente contrazione della produzione elettrica dopo il 2005 in conseguenza della crisi economica e della ristrutturazione dei sistemi produttivi. Il rallentamento appare più modesto in Francia che negli ultimi anni mostra una ripresa della produzione elettrica. In Svezia si registra un andamento variabile della produzione elettrica con un lieve incremento.

I Paesi considerati mostrano differenti mix di fonti soprattutto in merito ai rispettivi parchi termoelettrici. Nel 2018 i combustibili solidi determinano il 76,8% della produzione elettrica in Polonia e il 35,6% in Germania. Dato ancora più interessante appare che a livello europeo il 47,6% della produzione elettrica da combustibili solidi è originato da lignite. Germania e Polonia sono i principali Paesi utilizzatori di questo combustibile fossile per la produzione elettrica e rappresentano da sole il 66,3% della produzione elettrica da lignite della EU28 (49,4% Germania e 16,9% Polonia). La lignite determina la produzione in Germania e Polonia del 63,1% e 37,8% rispettivamente dell'energia elettrica da combustibili solidi. Altri Paesi che hanno la lignite nel mix fossile sono Repubblica Ceca (12,9% della produzione elettrica europea da lignite), Bulgaria (6,1%), Grecia (5,9%), Romania (5,3%), Ungheria (1,5%), Slovenia (1,4%), Croazia (0,5%).

Francia e Svezia si distinguono dagli altri Paesi perché hanno una produzione di origine termica non nucleare molto ridotta, 10,1% in Francia e 9,5% in Svezia dell'energia elettrica totale prodotta. In Francia la produzione elettrica di origine nucleare rappresenta 71% della produzione totale, mentre in Svezia gli impianti nucleari forniscono il 42% dell'energia elettrica totale. A livello europeo la fonte nucleare determina il 25,3% della generazione elettrica.

In Italia e Regno Unito il gas naturale determina rispettivamente il 44,5% e 39,8% della produzione elettrica totale. Entrambi i Paesi mostrano una conversione dei rispettivi parchi termoelettrici dal 1990 con una forte contrazione dei prodotti petroliferi in Italia e dei combustibili solidi nel Regno Unito con la parallela espansione del gas naturale. Una rilevante contrazione dei combustibili solidi si osserva anche in Spagna, mentre Polonia e Germania mostrano riduzioni dei combustibili solidi più contenute.

In merito alla produzione elettrica da fonti rinnovabili si osserva l'incremento della quota dal 1990 passando a livello europeo da 11,9% a 32,1%. Nei Paesi considerati si notano situazioni differenti. La Svezia che già nel 1990 aveva il 50,8% di elettricità da fonti rinnovabili passa a 55,8% nel 2018. Polonia, Regno Unito e Germania avevano nel 1990 le quote più basse di energia elettrica da fonti rinnovabili, rispettivamente 1,1%, 1,8% e 3,5%. Nel 2018 le quote dei tre Paesi passano a 12,7% in Polonia, 32,7% nel Regno Unito e 35% in Germania. D'altro canto Francia, Italia e Spagna avevano già dal 1990 una rilevante quota di elettricità prodotta da fonti rinnovabili, con percentuali del 13,3%, 16,1% e 17,1% rispettivamente. Nel 2018 Francia fa registrare l'incremento più basso tra i Paesi considerati con il 19,5%, Italia passa al 39,6% e Spagna al 37,9%.

Nel grafico successivo è illustrata in maggior dettaglio la variazione della produzione elettrica da fonti rinnovabili e il mix di fonti utilizzate. In tutti i Paesi considerati si osserva un repentino incremento della produzione elettrica rinnovabile con una forte accelerazione dal 2005. Dopo il 2015 si nota un arresto della crescita che riprende negli ultimi anni sebbene con differenti tassi.

La produzione idroelettrica rappresentava nel 1990 la quasi totalità dell'energia elettrica da fonte rinnovabile, il 93,4% a livello europeo. Negli anni successivi fino al 2018 i Paesi mostrano dinamiche di sviluppo differenti per le varie fonti in relazione alle specificità dei rispettivi sistemi elettrici e delle caratteristiche territoriali. La fonte idroelettrica continua a coprire nel 2018 un terzo della produzione rinnovabile europea. Tra i principali Paesi la fonte idroelettrica fornisce il 57,6% della produzione rinnovabile in Francia e il 68,2% in Svezia. Quote non meno rilevanti si registrano in Spagna e Italia con il 33,1% e il 42,6% rispettivamente. La fonte eolica mostra un notevole sviluppo in Germania, Spagna, Polonia e Regno Unito, con quote che vanno dal 48,9% della Germania al 59,2% della Polonia. La produzione elettrica da fotovoltaico gioca un ruolo significativo in Germania e Italia con quote del 20,4% e 19,8% rispettivamente. Quote inferiori si registrano in Spagna per fotovoltaico e solare termico (12,3%), nel Regno Unito (11,9%) e Francia (9,3%). Le bioenergie coprono poco più del 30% della produzione rinnovabile nel Regno Unito e in Polonia. Gli altri Paesi hanno quote dal 22,6% in Germania al 5,7% in Spagna. In Italia tale fonte rappresenta il 16,7% in Italia. La fonte geotermica è presente in maniera significativa solo in Italia (5,3%).

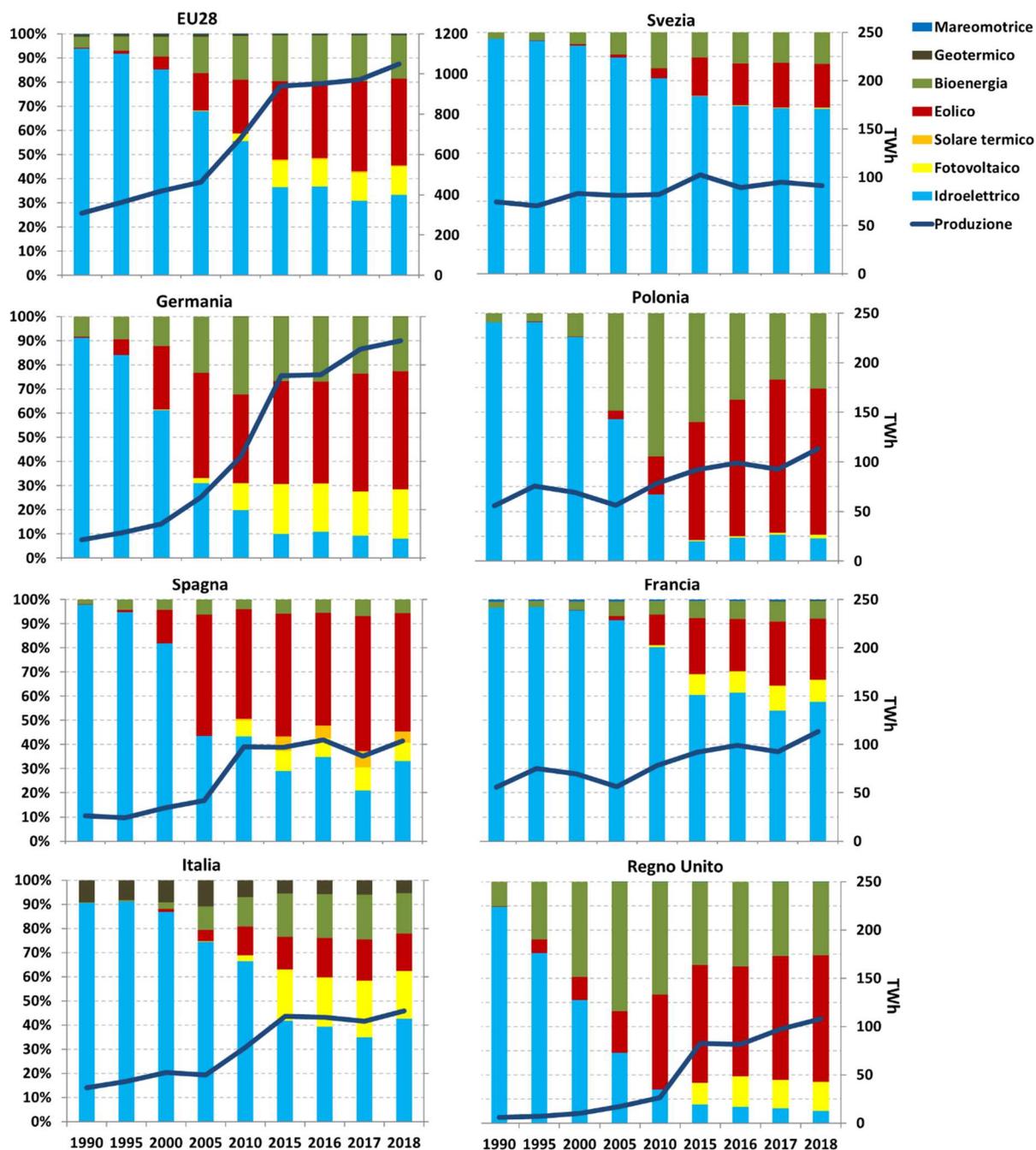


Figura 4.4 – Andamento della produzione elettrica lorda da fonti rinnovabili al netto della produzione da pompaggi in EU28 e nei principali Paesi Europei. Sull'ordinata a sinistra è riportata la quota di produzione per fonte, a destra è riportata la produzione elettrica.

Nel seguente grafico è illustrato l'andamento della quota di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili, al netto della produzione da pompaggi, rispetto alla produzione totale a partire dal 2000 nei principali Paesi Europei. Emerge chiaramente che la Svezia ha una quota rinnovabile tra le più elevate in Europa, è inoltre evidente la rapida crescita della quota a livello europeo a partire dal 2005. Il dato nazionale è maggiore della media europea e, fatto salvo il dato registrato per la Svezia, nel 2018 la quota di energia elettrica da fonti rinnovabili in Italia è la più elevata tra i principali Paesi.

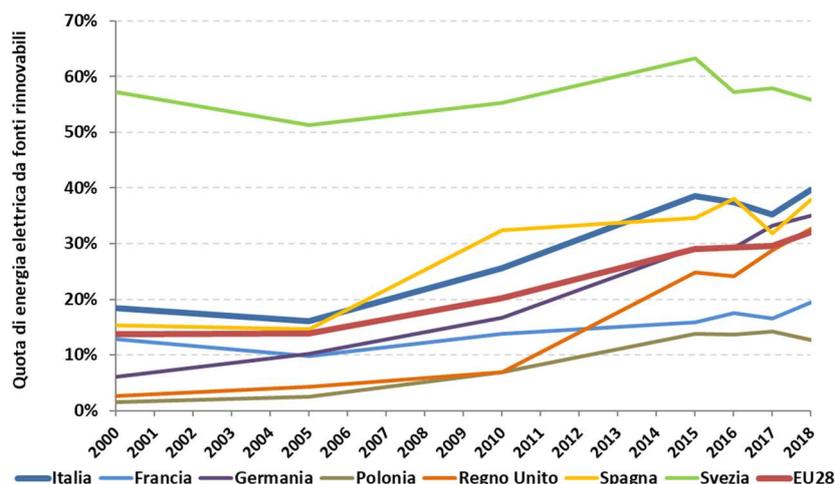


Figura 4.5 – A sinistra è riportato l'andamento della quota di produzione elettrica lorda da fonti rinnovabili rispetto alla produzione totale nei principali Paesi Europei dal 2000.

La quota rinnovabile per il raggiungimento degli obiettivi europei, calcolata secondo le modalità fissate dalla Direttiva 2009/28/CE, è riferita al consumo interno lordo di energia elettrica, ovvero la produzione elettrica al netto dell'energia elettrica da pompaggi più il saldo import/export. La quota rinnovabile così calcolata sarà quindi minore per i Paesi importatori se confrontata con la quota calcolata rispetto alla produzione elettrica. Da ciò emerge che i Paesi importatori di energia elettrica devono affrontare uno sforzo relativamente maggiore dei Paesi esportatori per raggiungere i propri obiettivi di rinnovabili elettriche.

4.2.3 Consumi di energia elettrica

Come già riportato, il consumo interno lordo di elettricità per il calcolo dei target di produzione da fonti rinnovabili è dato dalla produzione elettrica lorda al netto della produzione da pompaggi sommato al saldo import/export di energia elettrica. I Paesi considerati rappresentano il 72,8% del consumo interno lordo di elettricità dei 28 Paesi europei. I principali Paesi presentano diverse dinamiche in relazione al saldo import/export di energia elettrica. Al netto della variabilità annuale si hanno Paesi tradizionalmente esportatori come la Francia e Paesi come l'Italia che importano una quota rilevante di energia elettrica. Negli ultimi anni Germania e Svezia fanno registrare quote crescenti di energia elettrica esportata, mentre Polonia, Spagna e Regno Unito mostrano un incremento dell'import.

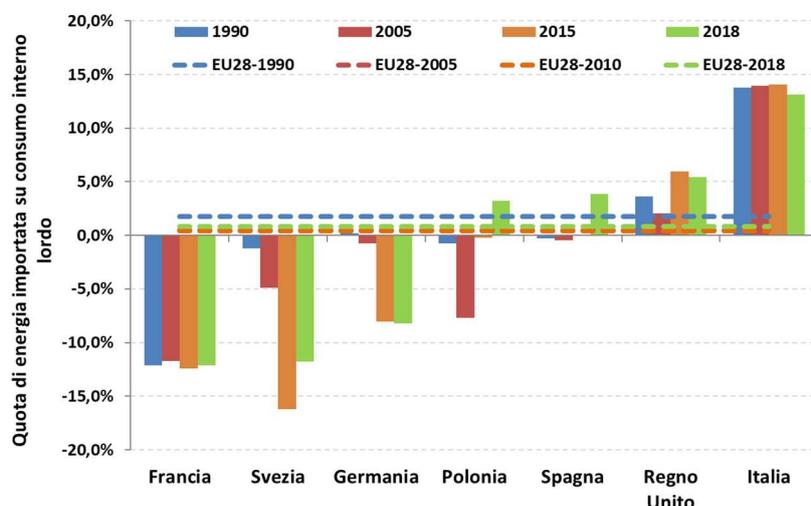


Figura 4.6 – Quota di energia elettrica importata rispetto al consumo interno lordo nei principali Paesi Europei. Dati in ordine crescente del valore del 2018.

Il dato relativo alla quota import/export è rilevante ai fini della valutazione delle emissioni atmosferiche e del calcolo della quota di energia elettrica da fonti rinnovabili, come richiesto dalla citata Direttiva. Se da un lato una significativa quota di import apporta un beneficio in termini di mancate emissioni per la soddisfazione del consumo interno di energia elettrica, dall'altro lato incide negativamente sulla quota di rinnovabili rispetto al consumo interno lordo, come è stato osservato in precedenza. Nel seguente grafico sono riportati gli andamenti della quota di energia elettrica rinnovabile sui consumi finali di elettricità dal 2005 secondo la metodologia richiesta dalla Direttiva 2009/28/CE. Si nota il rovesciamento delle posizioni di Germania e Italia rispetto a quanto visto nel grafico 4.5 nel precedente paragrafo.

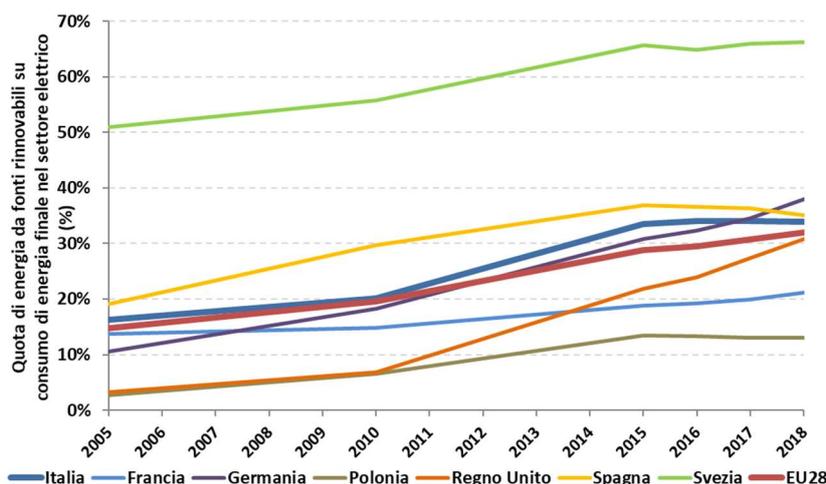


Figura 4.7 – Andamento della quota di produzione elettrica lorda da fonti rinnovabili nei principali Paesi Europei dal 2005 secondo la metodologia richiesta dalla Direttiva 2009/28/CE.

Il confronto tra i dati illustrati in Figura 4.7 con i dati illustrati in Figura 4.8 mette in evidenza il ruolo dell'import/export di energia elettrica. La penalizzazione per i Paesi importatori e il beneficio per i Paesi esportatori in termini di obiettivi da raggiungere è illustrato nel seguente grafico.

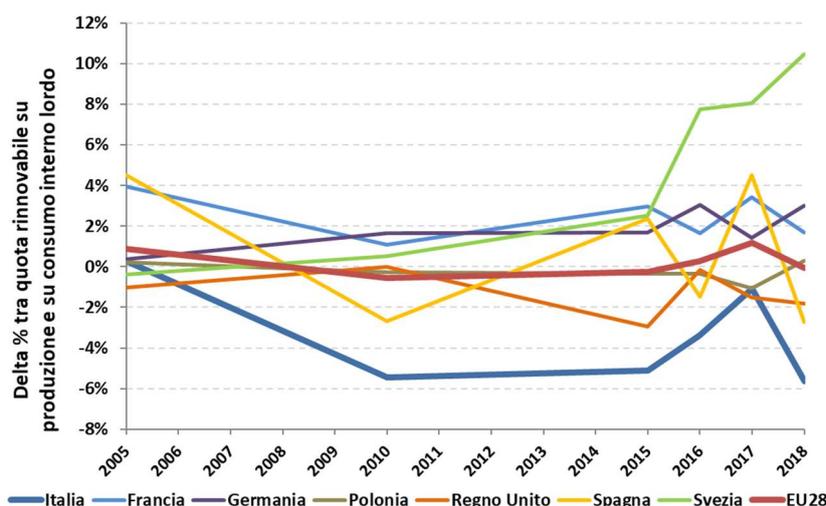


Figura 4.8 – Andamento del delta tra quota di produzione elettrica lorda da fonti rinnovabili su produzione totale e su consumo interno lordo nei principali Paesi Europei.

Il grafico mostra come l'Italia abbia, tra i paesi esaminati, il delta inferiore tra quota rinnovabile rispetto alla produzione nazionale e rispetto al consumo interno lordo. La differenza tra le due quote si riduce in maniera rilevante nel 2016 e nel 2017 quando il saldo import/export è diminuito rispetto alla produzione nazionale.

4.2.4 Efficienza dei parchi termoelettrici

Le prestazioni dei sistemi elettrici dei diversi Paesi saranno comparate attraverso parametri come la quota di consumi ausiliari delle centrali, le perdite di rete rispetto ai consumi finali e soprattutto l'efficienza di conversione dell'energia dei combustibili utilizzati per la produzione di energia elettrica e calore in caso di cogenerazione. In quest'ultimo caso occorre considerare che non tutta l'elettricità e il calore (utile) prodotto negli impianti cogenerativi possono essere considerati una produzione cogenerativa.⁶ È tuttavia ragionevole operare un confronto dell'efficienza complessiva dei parchi termoelettrici dei diversi Paesi in termini di trasformazione dell'energia di origine nei prodotti finali indipendentemente dalle modalità con cui i diversi impianti sono stati utilizzati. A tal proposito la distinzione tra parco cogenerativo e non cogenerativo è stata operata considerando l'input di combustibile e la produzione di elettricità e calore per combustibile negli impianti classificati da Eurostat: "CHP plants" e "electricity only".

Di seguito sono riportati i grafici con le percentuali di consumi dei servizi ausiliari rispetto alla produzione di energia lorda dei Paesi esaminati. In sintesi i consumi ausiliari sono consumi delle utenze elettriche funzionali alla produzione di energia elettrica, sono pertanto indicatori dell'energia richiesta dal sistema di generazione elettrica. La quota di consumi ausiliari in Italia è sempre stata inferiore alla media europea e nel 2018 la quota è maggiore solo a quella registrata per la Svezia. In termini generali la generazione termoelettrica, geotermica e di origine nucleare costituiscono le sorgenti con maggiore richiesta di consumi ausiliari, mentre le fonti rinnovabili come idroelettrico, eolico e fotovoltaico hanno consumi ausiliari molto ridotti. In seno alla produzione termoelettrica i consumi ausiliari maggiori sono relativi agli impianti alimentati da fonti solide e da bioenergie, minore energia è richiesta dagli impianti alimentati da prodotti petroliferi e ancor minore energia è richiesta da impianti alimentati da gas naturale. Pertanto, oltre all'efficienza dei diversi impianti, un parametro decisivo è rappresentato dal mix di fonti energetiche utilizzato da ciascun Paese.

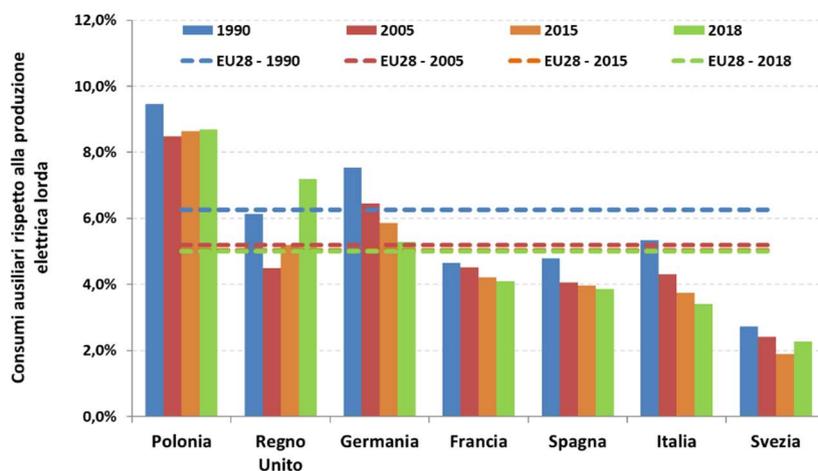


Figura 4.9 – Consumi ausiliari rispetto alla produzione elettrica lorda. Dati in ordine decrescente del valore del 2018.

Nel 2018 le perdite di rete rispetto all'energia richiesta per i consumi finali in Italia sono superiori a quelle registrate per Polonia e Germania. La quota nazionale è sempre stata inferiore alla media dei 28 Paesi Europei.

⁶ EEA, 2018 <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/combined-heat-and-power-chp-1>

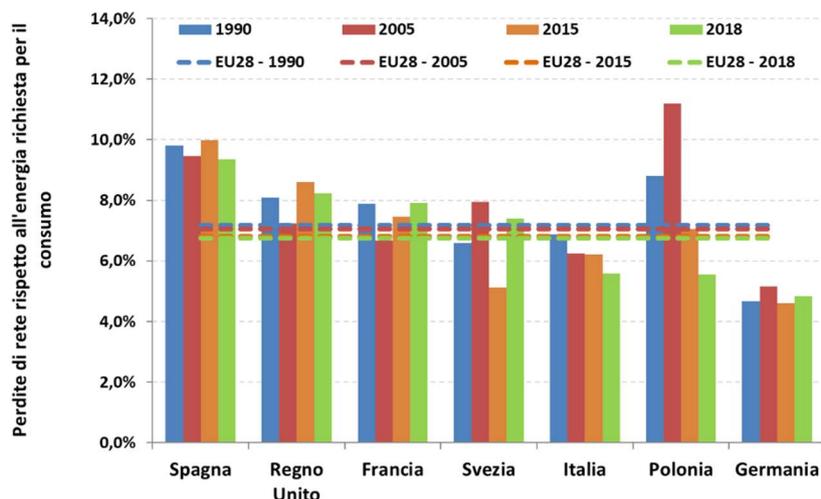


Figura 4.10 – Perdite di rete rispetto all'energia elettrica richiesta per i consumi finali. Dati in ordine decrescente del valore del 2018.

Il parametro decisamente più importante per valutare l'efficienza di un sistema di generazione elettrica è il rendimento di conversione in energia elettrica e calore dell'energia dei combustibili del parco termoelettrico.

Il seguente grafico mostra che il rendimento elettrico delle centrali non cogenerative nazionali (0,44 nel 2018) è tra i più elevati dei principali Paesi europei ed è secondo solo al dato del Regno Unito (0,47). Nel 2018 il valore nazionale, insieme a quelli di Regno Unito e Francia, supera la media europea (0,42), mentre Polonia, Germania, Spagna e Svezia restano sotto la media di EU28. Dal 1990 si registra un incremento del rendimento nazionale del 10,1% contro un incremento del 13,7% della media europea che tuttavia faceva registrare un rendimento inferiore. Il Regno Unito nel 2018 mostra un incremento del 27,5% rispetto al dato del 1990.

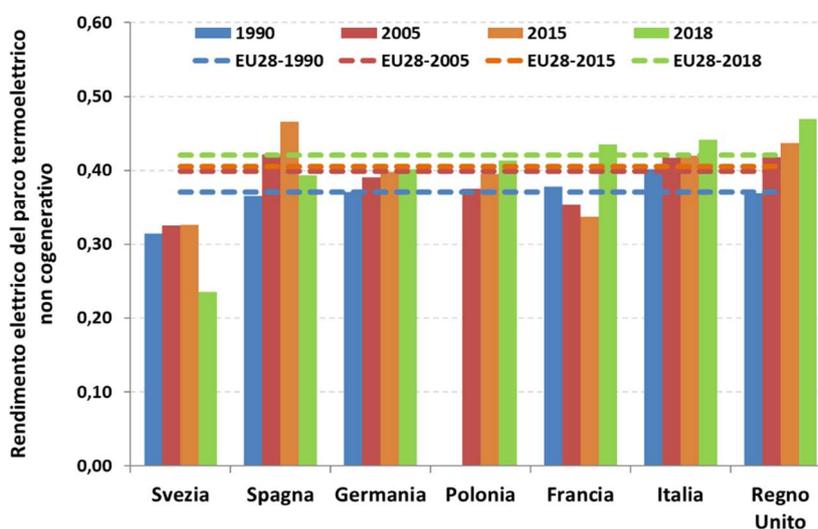


Figura 4.11 – Rendimento elettrico del parco termoelettrico non cogenerativo nei principali Paesi Europei. Dati in ordine crescente del valore del 2018.

In merito all'efficienza del parco termoelettrico cogenerativo occorre sottolineare che Spagna e Regno Unito dal 1990 al 2018 non hanno produzione di calore da centrali cogenerative, mentre in Francia la produzione di calore si registra a partire dal 1995 e in Italia dal 2004. Senza produzione di calore l'efficienza elettrica coinciderà con l'efficienza totale. Il rendimento elettrico e il rendimento totale coincidono quindi in Spagna e Regno Unito. Nel 2018 il rendimento elettrico in Spagna è il più

elevato tra i principali Paesi europei (0,65), di gran lunga maggiore della media europea (0,37). Il valore registrato per l'Italia è stato 0,39.

Il rendimento totale del parco cogenerativo italiano (0,60) è di poco inferiore alla media europea (0,62) e mostra un incremento del 22 % rispetto al 1990.

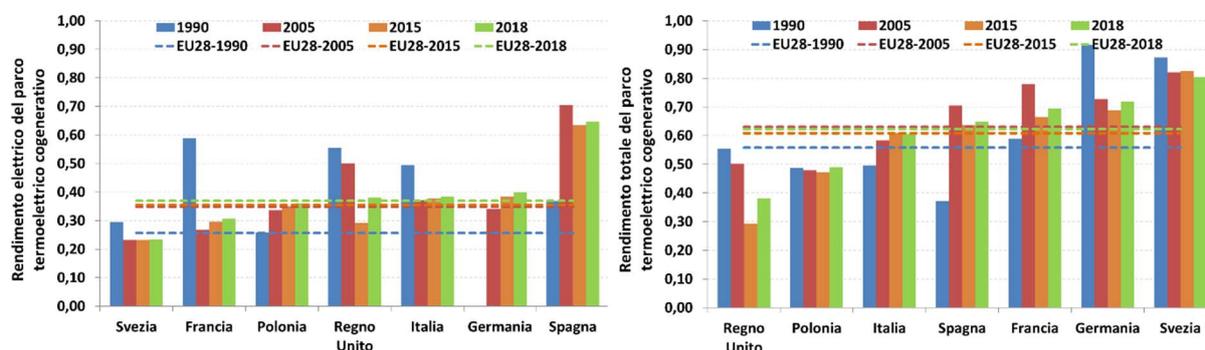


Figura 4.12 – Rendimento elettrico e rendimento totale del parco termoelettrico cogenerativo nei principali Paesi Europei. Dati in ordine crescente del valore del 2018.

I valori del rendimento totale del parco cogenerativo inferiori a 75%-80% mostrano che tali parchi nei Paesi esaminati producono energia elettrica prevalentemente non in cogenerazione, fatto salvo quanto si osserva per la Svezia.

La quantità di calore prodotto rispetto all'energia elettrica, rapporto H/E, spiega le notevoli differenze tra rendimento elettrico e rendimento totale. La Svezia è caratterizzata da uno dei rapporti H/E più elevati in Europa che spiega la bassa efficienza elettrica a fronte di una efficienza totale tra le più elevate

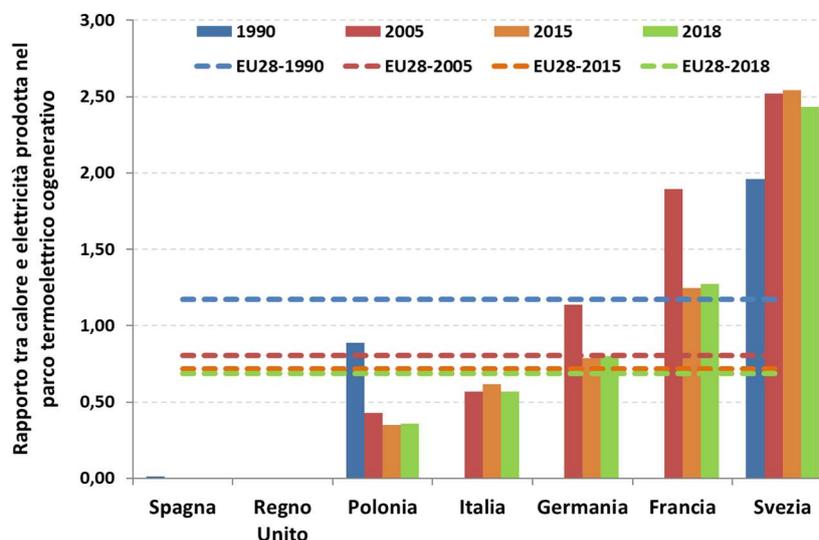


Figura 4.13 – Rapporto tra calore e elettricità prodotti dal parco termoelettrico cogenerativo. Non è riportato il valore del 1990 per la Germania perché i dati Eurostat riportano la produzione di solo calore. Dati in ordine crescente del valore del 2018.

Nei seguenti grafici è riportato il rendimento dell'intero parco termoelettrico in relazione sia alla produzione elettrica sia alla produzione di energia elettrica e calore. I grafici mostrano che nel 2018 il rendimento totale del parco termoelettrico nazionale è pari a 0,54 ed è poco maggiore della media europea (0,51) e inferiore solo al dato registrato per la Svezia (0,80). Il rendimento elettrico nazionale è 0,41 ed è superato da Spagna (0,43) e Regno Unito (0,47). Il rendimento elettrico del parco termoelettrico dei principali Paesi mostra un intervallo piuttosto ampio, da 0,23 della Svezia a 0,47 del Regno Unito con la media europea 0,40.

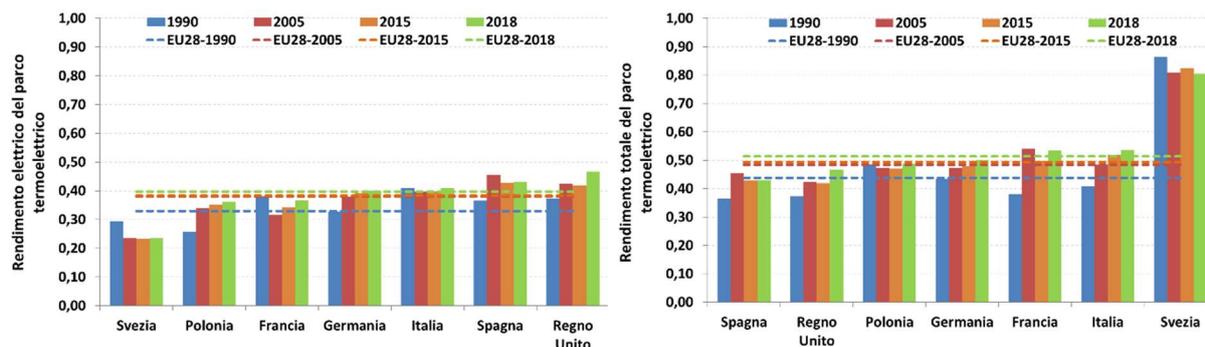


Figura 4.14 – *Rendimento elettrico e rendimento totale del parco termoelettrico nei principali Paesi Europei. Dati in ordine crescente del valore del 2018*

Il rendimento elettrico equivalente del parco termoelettrico cogenerativo, calcolato dopo lo scorporo della quota di combustibili destinata alla produzione di calore, è pari a 0,60 per l'Italia, poco inferiore al valore medio europeo (0,61), con un andamento in crescita (+8,6% dal 2005). Il valore nazionale è maggiore di quello registrato per Polonia (0,48) e Regno Unito (0,38). I restanti Paesi considerati hanno un rendimento elettrico equivalente più elevato di quello italiano, da 0,65 della Spagna a 0,77 della Svezia in conseguenza del maggiore rapporto H/E in tali Paesi rispetto a quanto si registra in Italia. L'intero parco termoelettrico italiano, cogenerativo e non cogenerativo, mostra nel 2018 il rendimento elettrico equivalente più elevato dopo quello svedese, rispettivamente 0,52 e 0,77. Il rendimento elettrico equivalente medio europeo è 0,48.

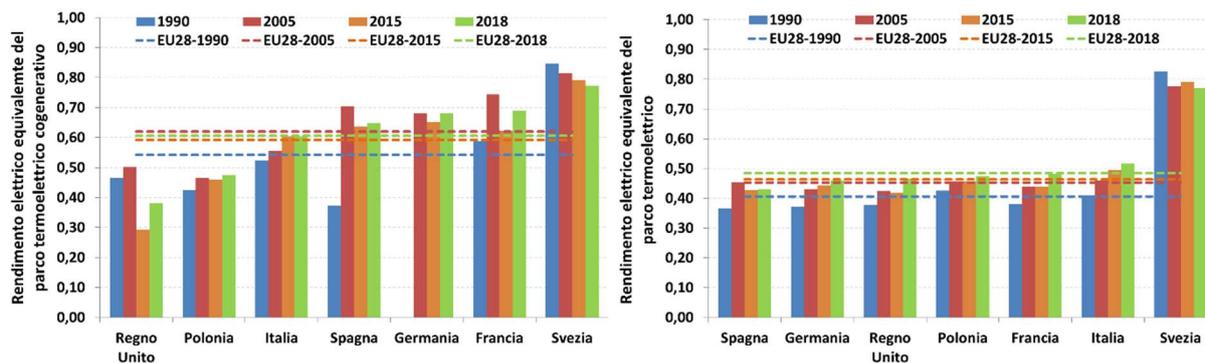


Figura 4.15 – *Rendimento elettrico equivalente del parco termoelettrico cogenerativo e totale nei principali Paesi Europei. Dati in ordine crescente del valore del 2018.*

4.3 Emissioni di gas a effetto serra dal settore elettrico

Le emissioni nazionali di gas serra e i relativi fattori di emissione presentati in questo capitolo non coincidono con quelli esposti nel capitolo 2 poiché, al fine di comparare i dati dei diversi Paesi, le elaborazioni sono state eseguite utilizzando per tutti i Paesi i fattori di emissione di default per combustibile riportati nelle linee guida IPCC (2006) per le sorgenti stazionarie delle industrie energetiche, mentre per i dati presentati nel capitolo 2 sono stati utilizzati i fattori di emissione nazionali per combustibile (ISPRA, 2019). Inoltre, il dato EUROSTAT del consumo di prodotti petroliferi considera l'energia della materia prima utilizzata per la produzione di gas di sintesi da gassificazione, mentre il dato Terna usato per il calcolo dei fattori di emissione nazionali considera l'energia dei gas di sintesi destinati alla trasformazione elettrica a valle dei processi di gassificazione.

Secondo le elaborazioni condotte nel presente studio nel 2018 le emissioni di gas serra dei 28 Paesi europei per la produzione di elettricità e calore sono 1.044,6 Mt CO_{2eq}, minori del 29,2% rispetto a quelle stimate nel 1990 e del 28,7% rispetto al livello del 2005, anno da cui comincia a registrarsi la sensibile riduzione delle emissioni nel settore elettrico.

Tabella 4.2 – Emissioni di gas serra (Mt CO_{2eq}) da energia di combustibili destinati alla produzione di energia elettrica e calore nel settore termoelettrico dei principali Paesi europei e in EU28. Dati in ordine decrescente del valore del 2018.

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	1.476,2	1.374,9	1.361,9	1.466,1	1.336,7	1.166,1	1.121,4	1.109,6	1.044,6
Germania	393,5	350,7	333,3	341,8	328,0	318,9	318,6	298,8	283,1
Polonia	181,5	150,3	146,7	154,6	149,6	143,3	142,2	143,7	142,1
Italia	123,3	130,5	137,1	160,2	137,1	110,8	110,5	110,8	102,9
Regno Unito	221,2	187,6	183,5	200,6	177,3	125,0	99,5	88,2	81,6
Spagna	66,4	77,6	98,2	117,9	71,5	84,5	70,2	82,8	73,9
Francia	46,4	38,4	48,7	59,2	50,0	37,4	39,9	44,5	36,3
Svezia	5,3	9,1	8,5	11,0	13,9	9,6	10,6	11,0	11,3

Complessivamente le emissioni dei principali Paesi nel 2018 rappresentano il 70% delle emissioni dal settore elettrico di EU28, ovvero 731,3 Mt CO_{2eq}. Per i Paesi considerati la quota di emissioni dal settore elettrico nel 2018 è illustrata nel seguente grafico. L'Italia rappresenta il 9,9% delle emissioni europee.

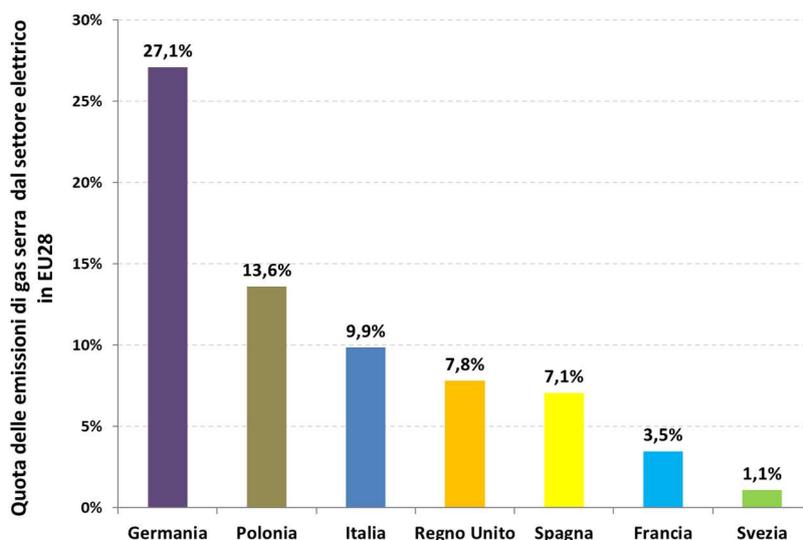


Figura 4.16 – Quota delle emissioni di gas serra nel settore elettrico nel 2018 per i principali Paesi europei rispetto alle emissioni di EU28.

Le emissioni di gas serra dal settore elettrico in EU28 mostrano una lieve diminuzione dal 1990 al 2005 (-0,7%) a fronte di un incremento costante della produzione elettrica (+28,2%) e un incremento della produzione di calore del 5,8%. A livello europeo si osserva quindi un disaccoppiamento già dal 1990 tra produzione di elettricità e calore ed emissioni atmosferiche di gas serra. Tuttavia le emissioni mostrano un significativo decremento solo successivamente al 2005 determinando un vistoso aumento del disaccoppiamento dovuto essenzialmente all'incremento della quota di elettricità prodotta da fonti rinnovabili. In altre parole si osserva un progressivo incremento della distanza tra i tassi di variazione della produzione di elettricità e calore, che aumentano dal 1990, e i tassi di variazione delle emissioni, che invece diminuiscono dal 2007.

Il disaccoppiamento è evidente in quasi tutti i principali Paesi esaminati sebbene con dinamiche differenti. In Figura 4.17 si nota il minore disaccoppiamento fino al 2005 per Italia e Spagna e l'assenza di disaccoppiamento per la Polonia che mostra solo negli ultimi anni una lieve divergenza tra i due parametri. Altra eccezione è rappresentata dalla Svezia dove si osserva un disaccoppiamento di direzione opposta, ovvero un continuo incremento delle emissioni a fronte di una produzione elettrica sostanzialmente costante. È utile tuttavia sottolineare che mediamente le emissioni dal settore elettrico della Svezia rappresentano più dell'1% delle emissioni dei 28 Paesi europei e dei Paesi considerati.



Figura 4.17 – Andamento dei tassi di variazione rispetto al 1990 della produzione di elettricità e calore ed emissioni di gas serra dal settore elettrico.

Nella seguente tabella sono riportati i tassi di variazione dei parametri nel periodo 2005-2017. Considerando il disaccoppiamento come distanza tra i tassi di variazione delle emissioni di gas serra e della produzione di elettricità e calore i dati mostrano che nel periodo 2005-2017 la Germania ha il disaccoppiamento inferiore (12,9) dopo la Polonia (4,7). Il disaccoppiamento mostrato dall'Italia è 34,7 inferiore solo a quello del Regno Unito, pari a 40,9.

Tabella 4.3 – *Variazione percentuale delle emissioni di gas serra e della produzione di elettricità e calore nei periodi 1990-2005 e 2005-2018. Dati in ordine crescente del disaccoppiamento tra i due parametri nel 2005-2018.*

	Variazione 1990-2005 (%)		Variazione 2005-2018 (%)	
	CO _{2eq}	Elettricità e calore	CO _{2eq}	Elettricità e calore
EU28	-0,7%	24,6%	-28,7%	-2,8%
Svezia	107,6%	20,1%	2,4%	6,9%
Polonia	-14,8%	-14,3%	-8,1%	2,7%
Germania	-13,1%	7,3%	-17,2%	2,5%
Spagna	77,5%	93,5%	-37,3%	-6,7%
Italia	29,9%	65,0%	-35,8%	-2,2%
Francia	27,4%	48,1%	-38,6%	-2,4%
Regno Unito	-9,3%	24,6%	-59,3%	-17,0%

Le emissioni di gas serra per la sola produzione elettrica sono state stimate dopo aver scorporato il contenuto di combustibili destinato alla produzione di calore nelle centrali cogenerative, secondo la metodologia esposta nel paragrafo 4.1. Le emissioni di EU28 nel 2018 sono 888 Mt CO_{2eq} e i Paesi considerati sono responsabili del 71,5% di queste emissioni. In merito all'andamento delle emissioni e alla produzione elettrica non si registrano differenze rispetto a quanto precedentemente osservato per la produzione congiunta di elettricità e calore.

Tabella 4.4 – *Emissioni di gas serra (Mt CO_{2eq}) da energia di combustibili destinati alla produzione di energia elettrica nel settore termoelettrico dei principali Paesi europei e in EU28. Dati in ordine decrescente del valore del 2018.*

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	1.222,5	1.184,2	1.197,1	1.270,4	1.139,3	1.002,5	953,3	944,9	888,0
Germania	350,7	322,9	306,6	308,1	293,6	288,5	287,4	267,6	253,9
Polonia	110,6	108,0	110,0	115,3	112,5	109,5	108,2	109,0	108,5
Italia	122,7	129,8	134,4	141,8	116,8	91,4	89,8	90,5	83,5
Regno Unito	219,4	186,4	181,8	200,6	177,3	125,0	99,5	88,2	81,6
Spagna	66,4	77,6	98,1	117,9	71,5	84,5	70,2	82,8	73,9
Francia	46,4	37,0	40,9	45,7	43,2	31,7	33,6	38,1	30,1
Svezia	1,8	3,5	3,3	3,7	5,1	2,8	3,0	3,2	3,4

A livello europeo le emissioni di gas serra aumentano del 3,9% dal 1990 al 2005, mentre la produzione elettrica aumenta del 28,2%. Dal 2005 al 2018 le emissioni si riducono del 30,1% a fronte di una diminuzione della produzione elettrica di 1,5%. Anche questi dati mostrano che il disaccoppiamento tra emissioni e produzione elettrica in Europa è cominciato dal 1990 ma che la riduzione delle emissioni comincia solo dopo il 2005.

Tabella 4.5 – *Variazione percentuale delle emissioni di gas serra e della produzione di elettricità nei periodi 1990-2005 e 2005-2017. Dati in ordine crescente del disaccoppiamento tra i due parametri nel 2005-2018.*

	Variazione 1990-2005 (%)		Variazione 2005-2018 (%)	
	CO _{2eq}	Elettricità	CO _{2eq}	Elettricità
EU28	3,9%	28,2%	-30,1%	-1,5%
Germania	-12,2%	13,3%	-17,6%	3,2%
Spagna	77,6%	93,6%	-37,3%	-6,7%
Francia	-1,5%	36,9%	-34,2%	1,0%
Italia	15,5%	40,2%	-41,1%	-4,6%
Polonia	4,3%	15,1%	-5,9%	8,3%
Svezia	111,0%	8,1%	-9,4%	3,1%
Regno Unito	-8,6%	24,6%	-59,3%	-17,0%

4.3.1 Fattori di emissione per la produzione di energia elettrica e calore

Per il calcolo del fattore di emissione per la produzione di energia elettrica e energia termica si sottolinea che il calore di origine nucleare viene considerato in seno alla produzione totale dal settore elettrico. Tale calore nel 2018 rappresenta a livello europeo meno dello 0,3% del calore totale prodotto e nei Paesi esaminati non si registra produzione di calore di origine nucleare fatto salvo per la Germania nella prima metà degli anni '90.

Di seguito sono riportati i fattori di emissione di gas serra per la produzione di energia elettrica e calore dal parco termoelettrico nei principali Paesi europei.

Tabella 4.6 – Fattori di emissione di gas serra del parco termoelettrico per la produzione di elettricità e calore (g CO_{2eq} / kWh) nei principali Paesi europei e in EU28. Dati in ordine decrescente del valore del 2018.

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	747,3	716,5	655,0	608,7	561,7	571,0	536,7	526,0	519,3
Polonia	723,8	761,0	749,8	724,0	714,6	705,8	697,9	694,5	683,1
Spagna	928,7	894,1	780,8	629,3	502,3	655,2	618,1	622,2	625,3
Germania	785,3	780,3	745,8	681,9	639,2	636,9	620,5	600,0	586,1
Regno Unito	896,2	787,2	647,8	655,8	585,6	607,8	473,6	450,0	434,3
Francia	952,2	856,6	547,4	520,1	578,9	505,5	441,4	445,7	430,8
Italia	691,8	666,4	623,9	524,3	478,3	442,1	425,4	410,4	408,9
Svezia	343,0	280,8	274,8	262,6	225,0	194,7	200,0	206,5	211,7

I dati mostrano la riduzione dal 1990 del fattore di emissione medio europeo e dei singoli Paesi considerati. Nel 2018 l'Italia mostra un fattore di emissione (408,9 g CO_{2eq}/kWh) superiore solo a quello di Svezia (211,7 g CO_{2eq}/kWh), dove il parco termoelettrico è prevalentemente alimentato da bioenergie. Il Regno Unito presenta la maggiore riduzione del fattore di emissione dal 2005 (-33,8%), seguita da Italia (-22%) e Svezia (-19,4%). Le percentuali di riduzione più basse si registrano in Spagna (-0,6%) e Polonia (-5,7%).

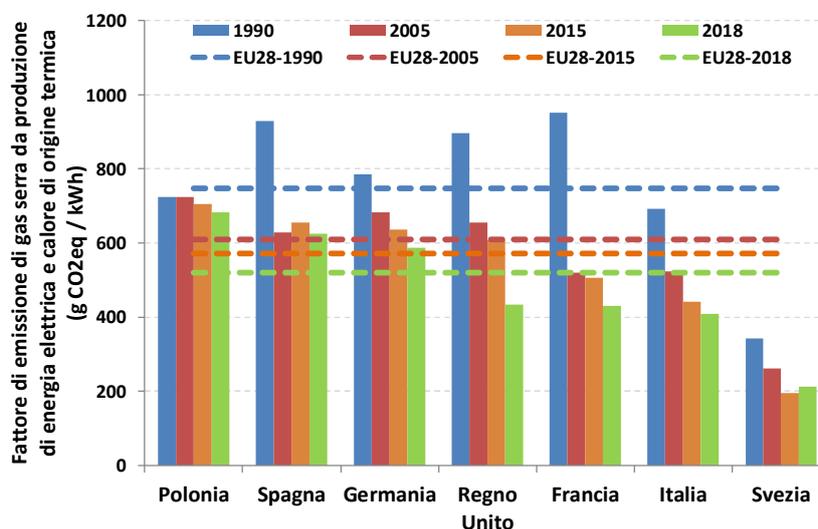


Figura 4.18 – Fattori di emissione di gas serra per la produzione termica di energia elettrica e calore (g CO_{2eq} / kWh). Dati in ordine decrescente del valore del 2018.

Di seguito sono riportati i fattori di emissione per la produzione di elettricità e calore dall'intero settore elettrico, comprensivo quindi della produzione rinnovabile e di origine nucleare.

Tabella 4.7 – Fattore di emissione di gas serra dal settore elettrico per la produzione di elettricità e calore (g CO_{2eq} / kWh) nei principali Paesi europei e in EU28. Dati in ordine decrescente del valore del 2018.

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	481,3	437,7	399,3	384,8	346,4	317,9	302,3	297,1	281,7
Polonia	719,7	753,8	741,8	715,2	699,0	663,7	650,3	639,8	636,6
Germania	585,3	559,9	514,6	477,5	451,2	435,2	431,3	403,0	385,4
Italia	578,7	549,6	507,7	457,2	386,2	325,2	316,6	312,0	296,1
Spagna	439,0	468,5	444,3	407,2	239,8	304,3	258,9	303,1	271,6
Regno Unito	696,0	564,2	490,2	507,4	468,0	378,6	297,3	264,5	248,6
Francia	111,3	77,5	85,3	95,7	85,0	62,6	68,1	76,3	60,2
Svezia	34,0	53,5	50,9	58,7	73,2	48,3	54,5	54,1	55,9

I Paesi con una quota significativa di energia elettrica da fonte nucleare e da fonti rinnovabili hanno un beneficio in termini di emissioni per unità di energia prodotta. Come è stato precedentemente osservato, in Francia è disponibile una quota rilevante di energia nucleare che consente la drastica riduzione del fattore di emissione rispetto a quanto registrato per il solo parco termoelettrico. Anche Svezia, Spagna, Germania e Regno Unito hanno quote non irrilevanti di energia nucleare. Tra i Paesi esaminati solo Italia e Polonia non hanno generazione elettrica di origine nucleare. Complessivamente l'energia elettrica di origine nucleare in EU28 nel 2018 è stata del 25,2%, in diminuzione rispetto al 1990 quando costituiva il 30,6%. Nel 2018 l'82% dell'energia elettrica di origine nucleare europea proviene dai Paesi esaminati, di cui quasi il 50% dalla Francia. L'energia elettrica di origine nucleare nei Paesi esaminati, esclusi Polonia e Italia, rappresenta nel 2018 il 34% in diminuzione dal 1990 quando la quota di energia nucleare rappresentava il 41,2% della produzione elettrica totale.

Il fattore di emissione medio europeo nel 2018 per la produzione di energia elettrica e calore (273,4 g CO_{2eq}/kWh) mostra una riduzione del 29,2% rispetto al dato registrato nel 2005, mentre la riduzione del fattore nazionale (289,9 g CO_{2eq}/kWh) è del 39,3%. Il Regno Unito mostra la riduzione più elevata, del 51%. Svezia, Polonia e Germania fanno registrare le percentuali di riduzione inferiori, rispettivamente -12,2%, -13,8% e -20,3%.

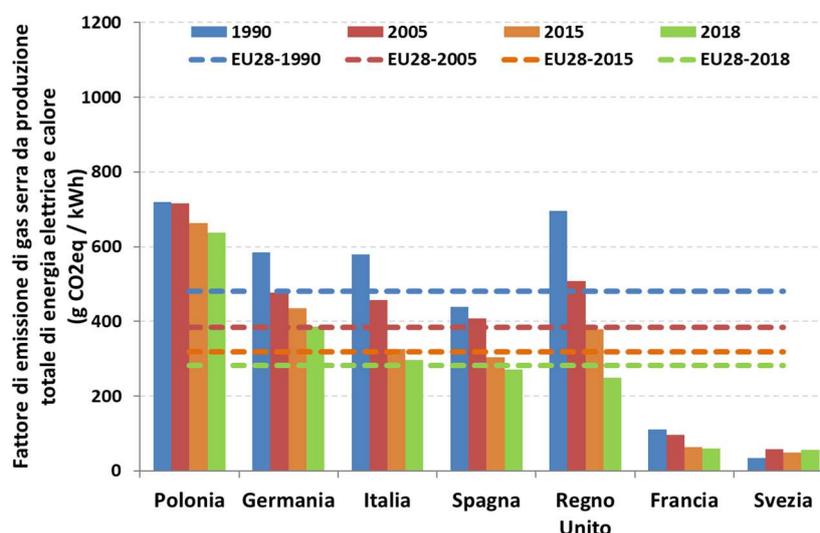


Figura 4.19 – Fattori di emissione di gas serra per la produzione di energia elettrica e calore dal settore elettrico (g CO_{2eq} / kWh). Dati in ordine decrescente del valore del 2018.

La stima delle emissioni di gas serra per il calcolo dei fattori di emissione da sola produzione elettrica, mostrati nei seguenti grafici e tabelle, è stata elaborata considerando la sola quota di energia dei combustibili destinata alla produzione elettrica, dopo aver scorporato l'energia destinata alla produzione di calore negli impianti cogenerativi.

Tabella 4.8 – Fattore di emissione di gas serra del parco termoelettrico per la produzione di elettricità (g CO_{2eq} / kWh) nei principali Paesi europei e in EU28. Dati in ordine decrescente del valore del 2018.

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	822,3	789,1	714,9	671,6	613,1	631,8	589,2	575,3	571,4
Polonia	831,2	799,3	779,7	755,2	738,2	722,9	715,2	715,9	702,9
Germania	928,5	906,6	825,1	767,0	711,2	703,1	685,0	662,0	658,5
Spagna	928,7	894,0	780,6	629,3	502,3	655,2	618,1	622,2	625,3
Francia	952,2	918,0	771,1	684,9	696,0	619,6	524,1	522,4	518,7
Italia	688,5	663,2	611,8	562,8	506,8	477,3	452,0	433,2	434,5
Regno Unito	889,1	782,3	641,6	655,8	585,6	607,8	473,6	450,0	434,3
Svezia	332,3	342,8	374,3	302,8	244,6	202,3	196,8	206,3	215,7

Il fattore di emissione nazionale per la produzione elettrica di origine termica nel 2018 (434,5 g CO_{2eq}/kWh) è secondo solo a quello della Svezia (215,7 g CO_{2eq}/kWh), dove è più elevata la quota di bioenergie nel settore termoelettrico. Il fattore nazionale è di gran lunga inferiore alla media europea, pari a 571,4 g CO_{2eq}/kWh. Polonia e Germania restano i Paesi con i fattori di emissione più elevati, rispettivamente 702,9 g CO_{2eq}/kWh e 658,5 g CO_{2eq}/kWh, superiori alla media europea.

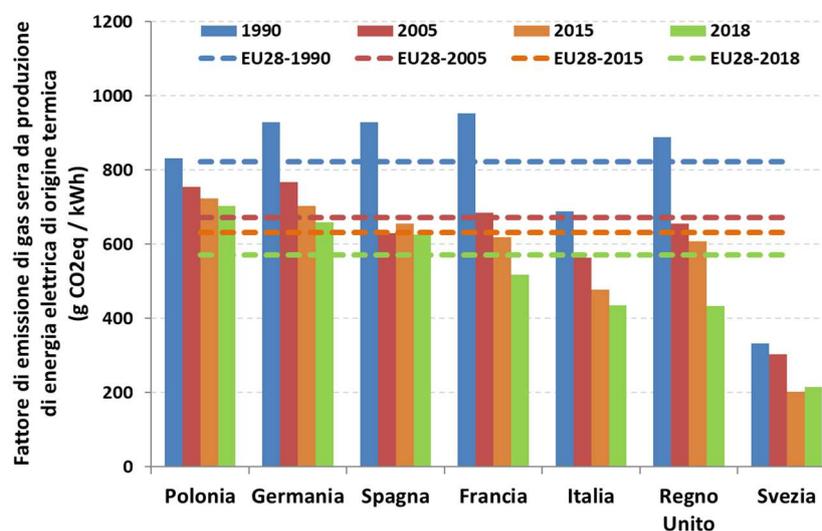


Figura 4.20 – Fattori di emissione di gas serra per la produzione termica di energia elettrica (g CO_{2eq} / kWh). Dati in ordine decrescente del valore del 2018.

La Figura 4.20 mostra che in tutti i Paesi si registra una riduzione dei fattori di emissione di gas serra per unità di energia elettrica prodotta nel settore termoelettrico, fatto salvo quanto registrato per la Spagna che nel 2018 mostra un fattore più elevato di quello registrato nel 2010 in corrispondenza di un incremento della quota di energia da combustibili solidi. L'incremento risulta tuttavia attenuato quando oltre alla produzione termoelettrica si considera anche la produzione da fonti rinnovabili (Tabella 4.9).

Tabella 4.9 – Fattore di emissione di gas serra del settore elettrico per la produzione di elettricità (g CO_{2eq} / kWh) nei principali Paesi europei e in EU28. Dati in ordine decrescente del valore del 2018.

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	474,5	435,0	398,3	386,0	341,6	312,3	294,6	289,3	273,4
Polonia	822,3	788,3	768,2	742,3	716,2	666,3	651,0	641,4	639,9
Germania	640,3	606,1	535,7	499,8	468,5	449,1	445,7	413,2	398,6
Italia	575,9	546,9	497,8	477,7	391,0	324,6	311,9	307,7	289,9
Spagna	438,8	468,5	444,2	407,2	239,8	304,3	258,9	303,1	271,6
Regno Unito	690,5	560,6	485,5	507,4	468,0	378,6	297,3	264,5	248,6
Francia	111,3	75,4	76,5	80,0	76,5	55,1	60,1	68,4	52,1
Svezia	12,0	23,5	22,9	23,4	34,1	17,4	19,1	19,5	20,6

Il fattore di emissione medio europeo per la produzione elettrica totale è sempre stato inferiore al valore nazionale, grazie anche al contributo dell'energia elettrica di origine nucleare. L'incremento della quota di energia elettrica da fonti rinnovabili determina una sensibile riduzione dei fattori di emissione. Inoltre la riduzione della quota di origine nucleare in Europa determina il continuo avvicinamento del fattore di emissione nazionale alla media europea. Il fattore di emissione italiano nel 2005 era maggiore del fattore medio europeo del 23,8% mentre nel 2018 è maggiore del 6%.

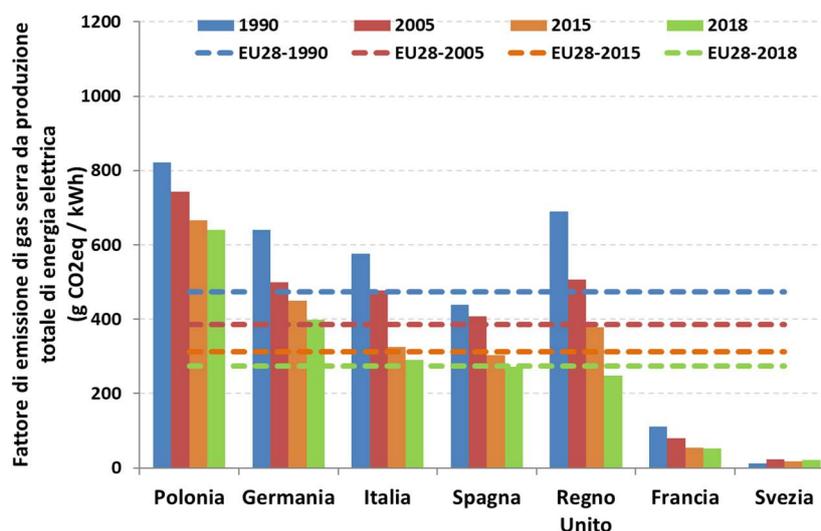


Figura 4.21 – Fattori di emissione di gas serra per la produzione di energia elettrica dal settore elettrico (g CO_{2eq} / kWh). Dati in ordine decrescente del valore del 2018.

Dai dati illustrati è possibile concludere che il parco termoelettrico nazionale presenta fattori di emissione di gas a effetto serra tra i più bassi in confronto ai principali Paesi europei. Il seguente grafico riporta il contributo emissivo dei Paesi esaminati in EU28, già visto nel grafico 4.16, e l'analogo contributo in termini di produzione elettrica di origine termica. Il seguente grafico mostra che Germania e Polonia hanno una quota emissiva superiore alla relativa quota di produzione elettrica, mentre per gli altri Paesi (Italia, Regno Unito, Spagna e Francia) si osserva il contrario.

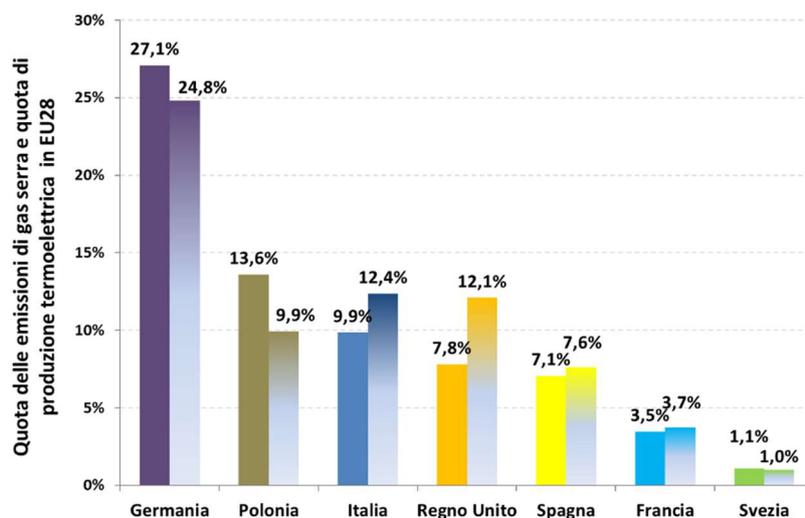


Figura 4.22 – Quota delle emissioni di gas serra nel settore elettrico nel 2018 per i principali Paesi europei rispetto a EU28 (barre con colore intero) e quota della produzione termoelettrica (barre sfumate).

Considerando i 28 Stati Membri il fattore di emissione di gas serra nazionale per la produzione di energia elettrica di origine termica occupa la 9^a posizione, ampiamente sotto la media europea. Il mix fossile nazionale, con una quota maggiore di gas naturale rispetto agli altri Paesi, e il contributo delle bioenergie, risultano fattori determinanti del fattore di emissione nazionale per il parco termoelettrico.

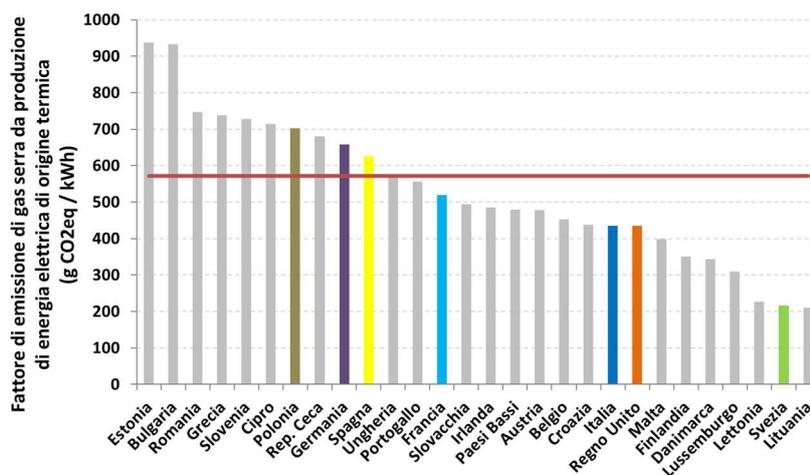


Figura 4.23 – Fattori di emissione di gas serra per la produzione termica di energia elettrica (g CO₂eq / kWh) nel 2018. Dati in ordine decrescente. La linea rappresenta la media di EU28.

Considerando la produzione totale di energia elettrica, quindi il contributo delle fonti rinnovabili diverse da quelle termiche e il contributo della fonte nucleare, il fattore di emissione nazionale perde posizioni rispetto ad altri Paesi. Un ruolo rilevante è ricoperto dall'energia elettrica di fonte nucleare nei paesi che dispongono di tale fonte. Il ruolo delle fonti rinnovabili è infatti più elevato in Italia rispetto a Spagna, Regno Unito e Francia che tuttavia dispongono di quote significative di energia nucleare. Nel 2018 l'Italia, dopo la Svezia, ha la quota di energia elettrica da fonti rinnovabili più elevata tra i Paesi esaminati (Figura 4.25). Il contributo dell'energia elettrica di origine nucleare sulla produzione elettrica totale in Spagna e Francia nel 2018, rispettivamente del 20,5% e 71,7% ha un ruolo determinante nell'abbassamento dei fattori di emissione di questi Paesi. L'effetto dell'energia nucleare è particolarmente evidente per la Francia che, pur avendo una quota di energia elettrica da fonti rinnovabili inferiore a quella registrata per l'Italia e un fattore di emissione da produzione termoelettrica decisamente più elevato, ha il fattore di emissione per la produzione totale di elettricità tra i più bassi in Europa, secondo solo a quello registrato per la Svezia. La Germania ha il 12% di

energia elettrica nucleare ma la significativa presenza di combustibili solidi ad elevato contenuto di carbonio nel mix fossile non comporta una variazione nella graduatoria dei Paesi con il maggiore impatto emissivo del sistema elettrico. Tra i principali Paesi esaminati si ricorda che, oltre all'Italia, anche la Polonia non ha produzione di energia elettrica da fonte nucleare.

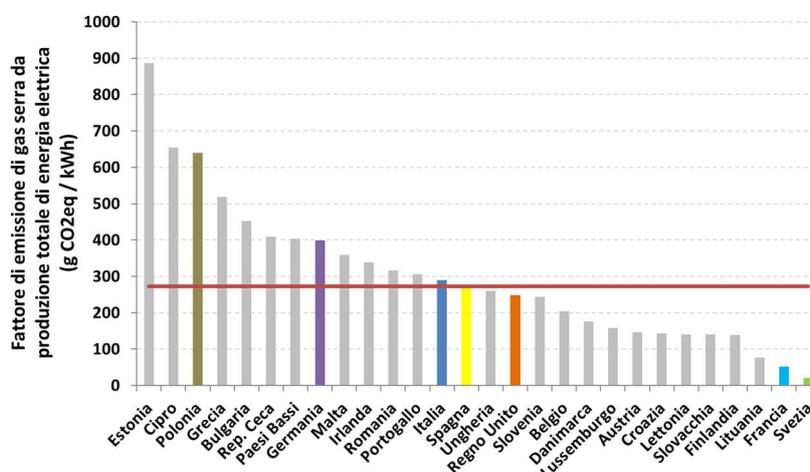


Figura 4.24 – Fattori di emissione di gas serra per la produzione totale di energia elettrica (g CO_{2eq} / kWh) nel 2018. Dati in ordine decrescente. La linea rappresenta la media di EU28.

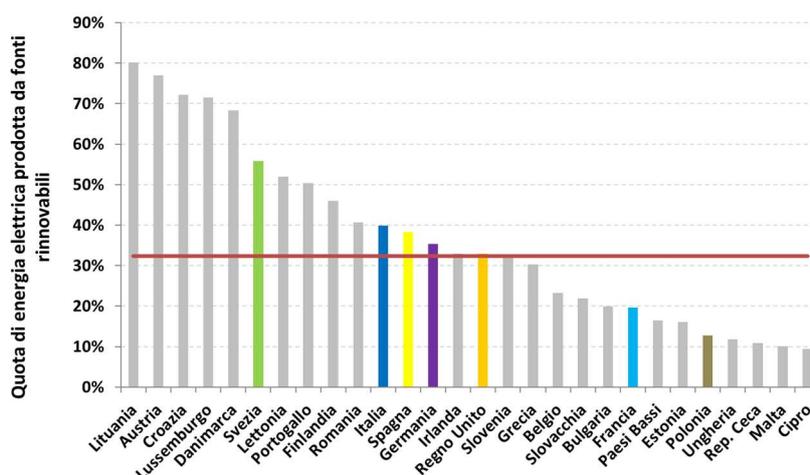


Figura 4.25 – Quota percentuale di energia elettrica da fonte rinnovabile nel 2018. Dati in ordine decrescente. La linea rappresenta la media di EU28.

I fattori di emissione per la generazione elettrica al netto del contributo della fonte nucleare fanno registrare per l'Italia un fattore superiore solo a quello registrato per Svezia e Francia tra i principali Paesi europei.

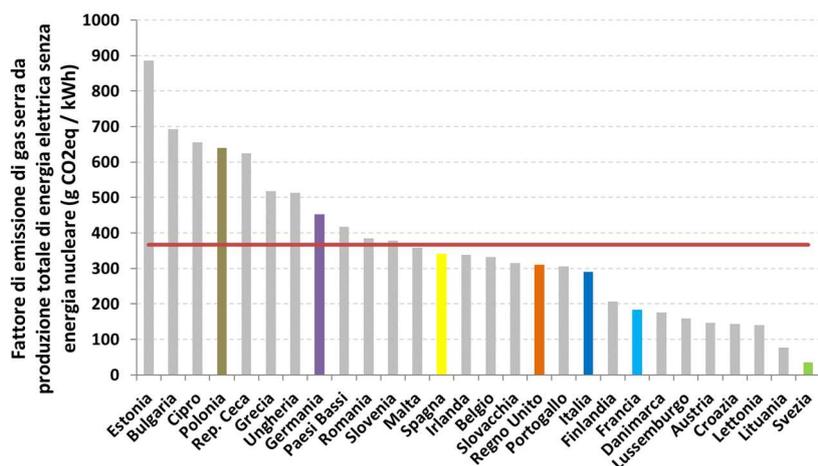


Figura 4.26 – Fattori di emissione di gas serra per la produzione totale di energia elettrica al netto della produzione di elettricità da fonte nucleare (g CO₂eq / kWh) nel 2018. Dati in ordine decrescente. La linea rappresenta la media di EU28.

Nel seguente grafico sono riportate le emissioni di gas serra dal settore termoelettrico dei Paesi europei con più di 3 Mt CO₂eq per la produzione di energia elettrica e calore.

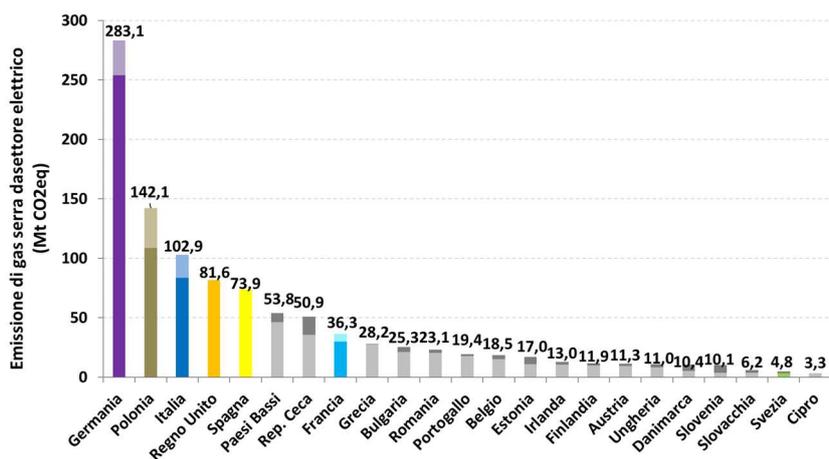


Figura 4.27 – Emissioni di gas serra dal settore elettrico nel 2018 nei Paesi EU28. Ogni barra riporta la quota dovuta alla generazione di energia elettrica (in basso) e al calore (in alto). Sono riportati i Paesi con più di Mt CO₂eq. I restanti Paesi (Croazia, Lettonia, Malta, Lituania e Lussemburgo) emettono complessivamente 6,4 Mt CO₂eq.

I dati riportati rendono evidente il contributo dei parchi termoelettrici di ciascun Paese e conseguentemente il relativo potenziale di riduzione delle emissioni. In seguito a vari fattori (variazione del mix di combustibili, efficientamento del parco termoelettrico, sviluppo delle fonti rinnovabili) l'Italia ha ridotto il fattore di emissione per la produzione di elettricità e calore del 48,8% dal 1990 al 2018, contro una riduzione per la Germania del 34,2% e per la Polonia del 11,5%. Queste percentuali di riduzione sono le più basse tra i principali Paesi emettitori in Europa. Inoltre questi Paesi sono caratterizzati dai fattori di emissione più elevati. La riduzione dei fattori di emissione di gas serra in Germania e Polonia dal 1990 di pari entità a quanto registrato per l'Italia avrebbe determinato, a parità di energia elettrica e termica prodotta nel 2018, una mancata emissione di 122,8 Mt CO₂eq, quasi il 12% delle attuali emissioni del parco termoelettrico europeo. I parchi termoelettrici di Germania e Polonia sono tuttora caratterizzati da quote notevoli di combustibili solidi ad alto contenuto di carbonio e la transizione verso il gas naturale è stata più lenta rispetto a Paesi come l'Italia o il Regno Unito.

5 IMPIANTI DEDICATI ALLA PRODUZIONE DI CALORE

La produzione di calore rappresenta una quota rilevante dei processi di trasformazione energetica. Gli impianti dedicati alla sola produzione di calore per teleriscaldamento e altri usi (prevalentemente industriali), pur non facendo parte del parco termoelettrico, rappresentano una quota importante dei consumi delle industrie energetiche europee. Nel 2018 il calore prodotto da tali impianti rappresenta il 40,9% del calore prodotto dalle centrali cogenerative.

In questa capitolo saranno trattati sinteticamente i principali parametri che caratterizzano la produzione di calore da tali impianti secondo un approccio analogo a quanto fatto per il parco termoelettrico.

5.1 Consumi energetici, produzione di calore ed emissioni di gas a effetto serra

Nel 2018 i consumi energetici degli impianti con sola produzione di calore in Europa sono stati di 19,4 Mtep. Il consumo energetico di combustibili è stato di 18,6 Mtep di cui 5,1 Mtep da bioenergie, una quota in rapida crescita: quasi il doppio dei consumi del 2005 e 7 volte il consumo del 1990.

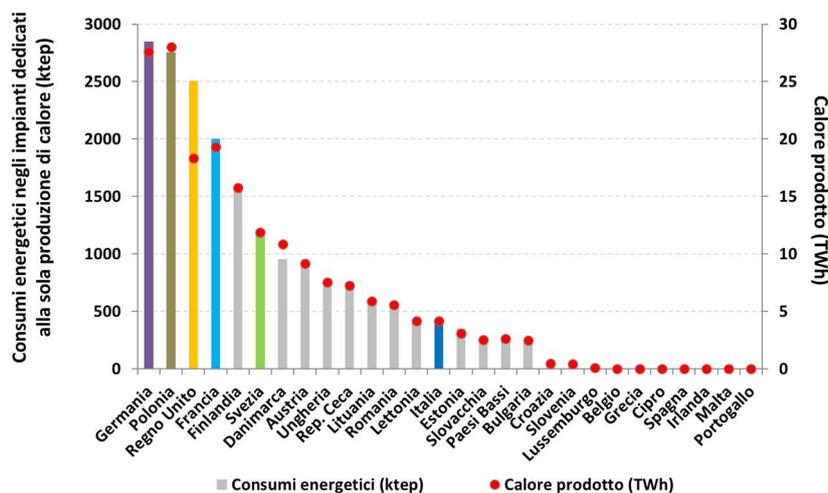


Figura 5.1 – Consumi energetici e calore prodotto nei Paesi europei. Dati in ordine decrescente per consumi energetici del 2018.

Sebbene il consumo totale di energia nel 2018 sia comparabile con quanto registrato dal 1995, in netta diminuzione rispetto al 1990, è possibile rilevare una notevole variazione nella composizione dei combustibili. L'andamento illustrato nel seguente grafico mostra la diminuzione dei combustibili solidi e, in maggiore misura, dei prodotti petroliferi che vengono sostituiti da gas naturale e bioenergie. Il contributo delle altre fonti rinnovabili (circa 90% da geotermia e il resto da solare termico nel 2018) e delle pompe di calore fa registrare un progressivo incremento che tuttavia resta marginale sul consumo totale (4% nel 2018).

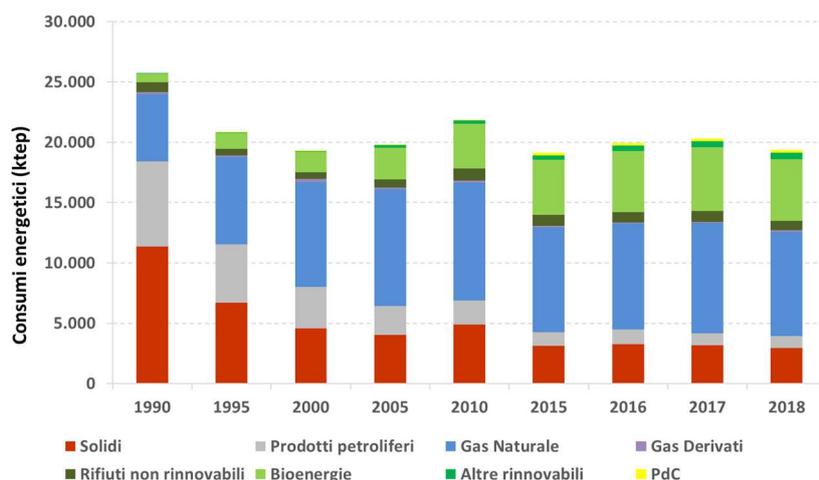


Figura 5.2 – Consumi energetici per fonte in EU28.

In seguito alle variazioni rilevate nel mix delle fonti le emissioni totali di gas serra mostrano una decisa diminuzione: del 47,5% dal 1990 dovuta anche alla diminuzione di energia consumata e del 28,7% dovuta soprattutto alla variazione del fattore di emissione di gas serra per unità di valore prodotto. Nel 2018 le emissioni di gas serra europee da impianti dedicati alla sola produzione di calore è di 45,7 Mt CO_{2eq}.

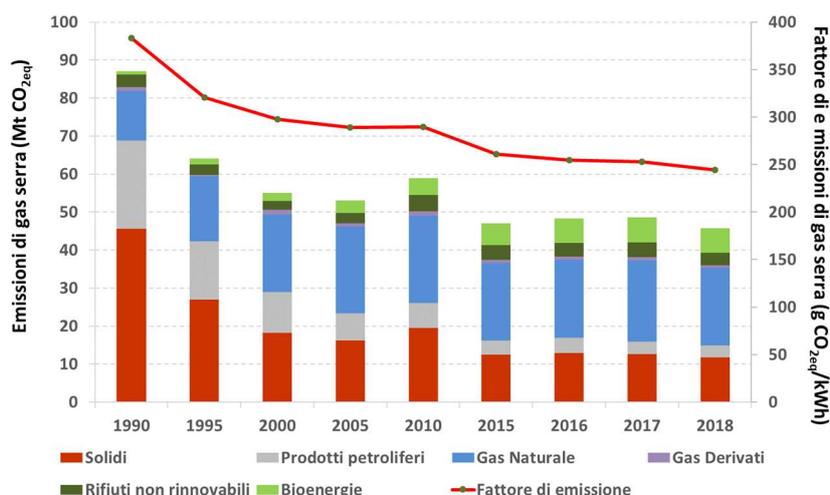


Figura 5.3 – Emissioni di gas serra per fonte e fattore di emissione medio europeo per la produzione di calore negli impianti dedicati.

In Tabella 5.1 è riportato il consumo energetico dei principali Paesi esaminati. Nel 2018 tali Paesi rappresentano circa il 60% dell'energia consumata a livello europeo negli impianti dedicati alla sola produzione di calore e il 58% del calore prodotto (Tabella 5.2). Per la Spagna non si registrano consumi energetici o produzione di calore da impianti dedicati per tutta la serie storica. Oltre ai Paesi considerati gli altri Paesi con più di 4 TWh di calore prodotto nel 2018 sono Finlandia (8,4% di EU28), Danimarca (5,8%), Austria (4,9%), Ungheria (4%), Repubblica Ceca (3,9%), Lituania (3,1%), Romania (3%), Lettonia (2,2%). L'Italia ha una produzione di calore da impianti dedicati di 4,1 TWh, con una quota di 2,2% del totale europeo.

Le emissioni di gas serra dei Paesi riportati in Tabella 5.3 rappresentano il 65,2% delle emissioni dei 28 Paesi europei.

Tabella 5.1 – Consumi energetici in EU28 e nei principali Paesi europei per la produzione di calore negli impianti dedicati (ktep). Dati in ordine decrescente del valore del 2018.

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	25.694	20.793	19.276	19.758	21.802	19.154	19.931	20.295	19.356
Germania	-	1.985	1.198	3.747	4.324	3.576	3.535	3.533	2.848
Polonia	10.560	5.997	4.167	3.450	3.722	2.670	2.853	2.794	2.756
Regno Unito	-	-	3.201	2.181	2.314	2.379	2.464	2.537	2.509
Francia	510	199	156	308	1.670	1.789	1.955	1.972	2.003
Svezia	1.039	1.169	1.136	1.268	1.483	1.164	1.212	1.169	1.178
Italia	-	-	-	-	110	128	137	386	423

Tabella 5.2 – Calore prodotto (TWh). Dati in ordine decrescente del valore del 2018.

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	227,2	200,0	185,0	183,4	203,4	180,0	189,5	192,4	187,2
Polonia	87,6	54,5	40,0	32,3	36,1	26,3	28,7	28,4	28,0
Germania	-	22,2	12,4	34,1	38,8	31,0	31,3	31,3	27,6
Francia	2,8	0,9	0,9	1,7	16,6	17,4	19,0	18,6	19,3
Regno Unito	-	-	28,4	15,9	15,8	17,4	18,0	18,3	18,3
Svezia	10,6	12,2	11,6	13,2	14,7	12,4	12,5	12,0	11,9
Italia	-	-	-	-	0,8	1,0	1,1	3,8	4,1

Tabella 5.3 – Emissioni di gas serra in EU28 e nei principali Paesi europei per la produzione di calore negli impianti dedicati (Mt CO_{2eq}). Dati in ordine decrescente del valore del 2018.

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	87,09	64,10	55,11	53,03	58,95	46,98	48,26	48,62	45,73
Polonia	41,24	23,66	16,08	13,09	14,20	10,16	10,84	10,59	10,38
Germania	-	4,76	2,85	9,56	12,22	9,75	9,47	9,52	7,62
Regno Unito	-	-	9,15	5,84	6,21	5,53	5,72	5,90	5,80
Francia	2,00	0,78	0,61	0,55	4,32	3,85	4,04	3,87	3,75
Svezia	3,37	2,75	2,35	2,38	2,50	1,48	1,68	1,58	1,50
Italia	-	-	-	-	0,10	0,12	0,13	0,71	0,79

Nel seguente grafico è riportata, per i maggiori produttori di calore, la quota delle diverse fonti utilizzate ed il relativo fattore di emissione per il 2000 e per il 2018. Per l'Italia non sono riportati consumi e produzione di calore nel 2000. Nei Paesi illustrati è evidente la riduzione del contributo dei combustibili solidi e dei prodotti petroliferi e parallelamente l'incremento delle bioenergie.

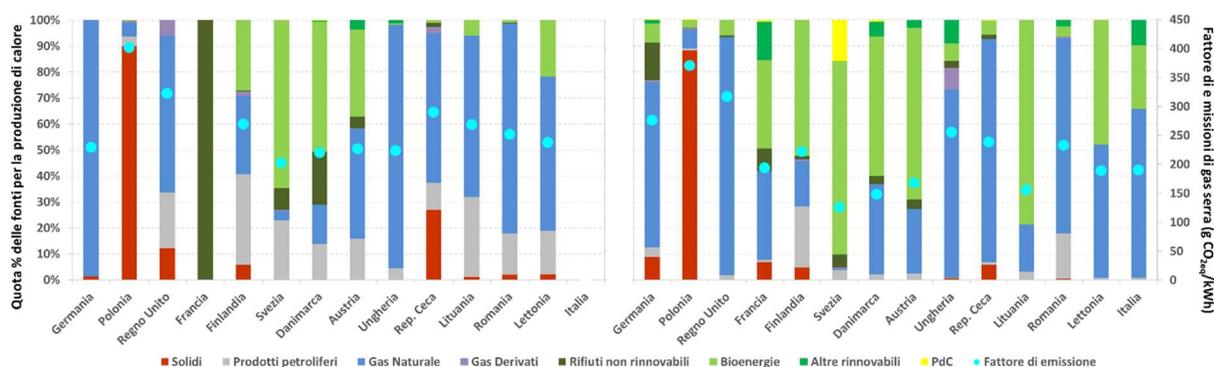


Figura 5.3 – Quota delle fonti energetiche per la produzione di calore e relativo fattore di emissione di gas serra nei principali produttori di calore. A sinistra sono riportati i valori per il 2000 e a destra del 2018. Paesi in ordine decrescente del calore prodotto nel 2018.

Queste variazioni comportano la riduzione dei fattori di emissione dal 2000 al 2018 che va da -1,8% del Regno Unito a -37,9% della Svezia. Fanno eccezione la Germania e la Repubblica Ceca dove

il fattore di emissione dal 2000 mostra un incremento del 20,2% e 14,3% rispettivamente. Si nota inoltre la forte presenza dei combustibili solidi in Polonia che fanno avere al Paese il fattore di emissione più elevato tra gli Stati membri. Dopo la Polonia il Paese con il fattore di emissione più elevato è il Regno Unito ma in questo caso risulta determinante la bassa efficienza di conversione registrata, la più bassa in Europa dopo quella registrata per il Belgio.

Tabella 5.3 – *Fattori di emissioni di gas serra in EU28 e nei Paesi con produzione di calore maggiore di 4 TWh (g CO_{2eq}/ kWh). Paesi in ordine decrescente del calore prodotto nel 2018.*

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	383,2	320,5	297,8	289,2	289,9	261,0	254,6	252,7	244,2
Germania		214,2	229,6	280,1	315,4	314,2	302,3	303,7	276,0
Polonia	470,7	433,7	402,2	404,9	393,3	386,0	377,8	372,2	370,5
Regno Unito			322,7	367,5	392,7	317,2	317,9	321,3	316,9
Francia	719,3	823,8	713,8	314,3	260,6	221,2	212,4	207,9	194,0
Finlandia	297,5	264,0	270,0	260,5	260,8	234,6	238,7	223,0	222,1
Svezia	317,0	225,3	202,8	179,4	170,3	119,8	134,0	131,9	126,0
Danimarca	261,2	225,2	220,5	173,5	168,4	159,6	158,1	150,3	148,2
Austria	281,2	227,6	226,8	228,2	186,9	175,3	177,1	176,6	167,6
Ungheria	383,0	322,9	223,7	310,1	360,9	254,3	223,0	251,8	255,7
Rep. Ceca	374,5	324,1	290,8	285,5	246,5	243,8	242,1	240,2	238,2
Lituania	303,1	285,6	269,3	226,2	202,8	163,7	150,5	152,4	156,3
Romania		293,2	252,3	262,6	298,3	312,0	242,5	231,6	232,7
Lettonia	362,8	287,3	238,3	221,6	211,6	186,0	178,3	188,0	189,3
Italia					131,5	110,8	110,6	189,7	190,1

CONCLUSIONI

Lo sviluppo delle fonti rinnovabili nel settore elettrico nazionale ha avuto un rilevante impulso a partire dal 2007 nonostante l'arresto negli ultimi anni dell'andamento positivo osservato fino al 2014. La quota di energia elettrica rinnovabile rispetto alla produzione totale lorda è passata da 15,3% nel 2007 a 43,1% nel 2014 per scendere fino a 35,1% nel 2017 e risalire a 39,5% nel 2018, soprattutto per l'incremento di produzione della fonte idroelettrica. Le prime stime per il 2019 mostrano un consolidamento dell'incremento registrato senza significativa crescita. Lo sviluppo delle fonti rinnovabili nel settore elettrico è una conseguenza delle politiche di riduzione delle emissioni di gas serra e degli obiettivi di incremento della quota di energia rinnovabile nei consumi finali. Tale incremento nel settore elettrico è stato possibile attraverso diverse misure quali incentivazione e priorità di dispacciamento dell'energia elettrica da fonti rinnovabili. La riduzione dei consumi che la crisi economica ha determinato dal 2007 ha determinato, parallelamente al crescente investimento in nuova potenza rinnovabile, l'incremento della quota delle fonti rinnovabili.

Per quanto riguarda le emissioni atmosferiche del settore elettrico si osserva una rapida diminuzione dei fattori di emissione di CO₂ per la generazione elettrica. I risultati possono essere sintetizzati come segue:

- le emissioni di CO₂ sono diminuite da 126,2 Mt nel 1990 a 85,4 Mt nel 2018, mentre la produzione lorda di energia elettrica è passata nello stesso periodo da 216,6 TWh a 289,7 TWh; i fattori di emissione di CO₂ per la generazione di energia elettrica mostrano quindi una rapida diminuzione nel periodo 1990-2018. Considerando anche le emissioni dovute alla produzione di calore nel 2018 le emissioni di CO₂ del settore elettrico ammontano a 97,8 Mt;
- le emissioni di CH₄ e N₂O incidono da 0,4% a 0,7% sulle emissioni di gas serra totali provenienti dal settore elettrico per la produzione di elettricità e calore;
- i fattori di emissione dei principali inquinanti atmosferici emessi dal settore elettrico mostrano una costante diminuzione. In particolare si registrano significative riduzioni rispetto al 2005 dei fattori di emissione di ossidi di azoto (-40,7%) e PM₁₀ (-82,2%).
- l'analisi della decomposizione mostra che storicamente l'aumento dell'efficienza tecnologica nel settore termoelettrico e il connesso incremento della quota di gas naturale hanno avuto un ruolo dominante nella diminuzione delle emissioni di CO₂, mentre negli ultimi anni il significativo incremento della quota di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili assume un ruolo prevalente rispetto agli altri fattori considerati;
- l'analisi della decomposizione dei consumi elettrici mostra che l'efficienza contribuisce alla riduzione delle emissioni atmosferiche solo nel settore industriale che rivela una struttura piuttosto eterogenea per i diversi comparti, mentre nel settore terziario la diminuzione dei fattori di emissione è compensata dall'incremento dei consumi elettrici.

I fattori di emissione nel settore per la generazione e il consumo di energia elettrica sono indispensabili per la programmazione e il monitoraggio di iniziative volte alla riduzione delle emissioni di gas serra che coinvolgano il settore elettrico, in relazione alle strategie di sviluppo del settore a livello nazionale e alle misure di risparmio energetico che è possibile adottare anche a livello locale. Il potenziale di riduzione delle emissioni di gas serra può essere valutato solo attraverso la conoscenza dei fattori di emissione per la produzione di energia elettrica dalle diverse fonti energetiche e la quantificazione del contributo dei fattori determinanti la variazione delle emissioni atmosferiche.

I fattori di emissione forniti nel presente studio consentono di effettuare una stima delle emissioni di CO₂ evitate in seguito al contributo di diverse componenti e l'analisi della decomposizione fornisce una quantificazione del relativo contributo. In termini pratici, utilizzando i fattori di emissione per i consumi elettrici stimati per il 2018, il risparmio di un kWh a livello di utenza media consente di evitare l'emissione in atmosfera di un quantitativo di CO₂ pari al rispettivo fattore di emissione nazionale, ovvero 281,4 g CO₂, mentre la sostituzione di un kWh prodotto da fonti fossili con uno prodotto da fonti rinnovabili consente di evitare l'emissione di 493,8 g CO₂ con il mix di combustibili

fossili del 2018. Tali dati possono essere utili per valutare, in termini comparativi, le prestazioni di diversi interventi nel settore elettrico.

Il confronto dei sistemi di generazione elettrica dei principali Paesi europei mostra che il mix fossile nazionale è tra quelli a minore contenuto di carbonio con una quota di gas naturale tra le più elevate in Europa. Per la produzione elettrica totale il fattore di emissione nazionale è maggiore di quello registrato per Spagna, Regno Unito, Francia e, ovviamente, Svezia. A tal proposito occorre considerare il ruolo delle fonti rinnovabili e dell'energia nucleare che non contribuiscono alle emissioni di gas serra. In merito alle fonti rinnovabili l'Italia nel 2018 ha la quota di energia elettrica da fonti rinnovabili più elevata tra i principali Paesi europei, seconda solo alla Svezia. D'altra parte, a differenza dell'Italia, i Paesi con fattori di emissione inferiori dispongono di una quota significativa di energia nucleare, particolarmente elevata in Francia e Svezia. Tra i principali Paesi esaminati Italia e Polonia non hanno energia elettrica di origine nucleare. Alla luce di queste considerazioni è possibile concludere che, al netto del contributo di energia di origine nucleare e fatto salvo il caso di Svezia e Francia, i sistemi elettrici dei principali Paesi europei presentano impatto emissivo maggiore di quello italiano per unità di energia elettrica prodotta.

L'Italia ha ridotto il fattore di emissione per la produzione di elettricità e calore del 48,8% dal 1990 al 2018, contro una riduzione del 34,2% della Germania e del 11,5% della Polonia. Queste percentuali di riduzione sono le più basse tra i principali Paesi emettitori in Europa. Inoltre questi Paesi sono caratterizzati dai fattori di emissione più elevati. La riduzione dei fattori di emissione di gas serra dal 1990 in Germania e Polonia di pari entità a quanto registrato per l'Italia avrebbe determinato, a parità di energia elettrica e termica prodotta nel 2018, una mancata emissione di 122,8 Mt CO_{2eq}, quasi il 12% delle attuali emissioni del parco termoelettrico europeo. I parchi termoelettrici di Germania e Polonia sono tuttora caratterizzati da quote notevoli di combustibili solidi ad alto contenuto di carbonio e la transizione verso il gas naturale è stata più lenta rispetto a Paesi come l'Italia o il Regno Unito.

BIBLIOGRAFIA

- Ang B.W., 2005. *The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide*. Energy Policy 33, 867–871.
- Ang B.W., Zhang F.Q., 2000. *A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies*. Energy 25, 1149–1176.
- APAT, 2007. *Analisi di decomposizione delle emissioni atmosferiche di anidride carbonica e degli acidificanti potenziali applicata ai dati della NAMEA italiana*.
- de Haan M. 2001. *A structural decomposition analysis of pollution in the Netherlands*. Economic Systems Research, 13, 181-196.
- Dietzenbacher E., Los B., 1998. *Structural decomposition techniques: sense and sensitivity*. Economic System Research 10, 307-323.
- EEA, 2015. *Renewable energy in Europe - approximated recent growth and knock-on effects*. Technical report No 1/2015.
- EEA, 2018. *Trends and projections in Europe 2018 - Tracking progress towards Europe's climate and energy targets*. Technical report No 16/2018.
- EMEP/CORINAIR, 2007. *Emission Inventory Guidebook – 2007*. Technical report No 16/2007.
- ENEL, *Dati statistici sull'energia elettrica in Italia*, vari anni.
- European Commission, 2011. *A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050*. COM(2011) 112.
- European Commission, 2018a. *A Clean Planet for all. A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy*. COM(2018) 773.
- European Commission, 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*.
- European Commission, 2019. *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European economic and social Committee and the Committee of the Regions - The European Green Deal*. COM(2019) 640 final.
- EUROSTAT, <http://ec.europa.eu/eurostat/data/database>
- EUROSTAT, 2016. *Electricity and heat annual questionnaire 2015 and historical revisions*.
- GSE, 2017. *Quarta relazione dell'Italia in merito ai progressi ai sensi della direttiva 2009/28/CE*.
- GSE, 2018. *Rapporto statistico – Energia da fonti rinnovabili. Anno 2017*.
- Hoekstra R., van der Bergh J.J.C.J.M., 2003. *Comparing structural and index decomposition analysis*. Energy Economics 25, 39–64.
- 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.
- IPCC, 2013. *Technical Summary*. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- ISPRA, 2020. *Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2018. National Inventory Report 2020 (in stampa)*.
- ISTAT, *Conti economici nazionali*. <http://dati.istat.it/>

Joint Research Centre (JRC), 2017. Banja, M. and Jégard, M., Renewable technologies in the EU electricity sector: trends and projections - Analysis in the framework of the EU 2030 climate and energy strategy, EUR 28897 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2017.

Malla S., 2009. *CO₂ emissions from electricity generation in seven Asia-Pacific and North American countries: A decomposition analysis*. Energy Policy 37, 1–9.

MSE, 2010. *Piano di azione nazionale per le energie rinnovabili dell'Italia (conforme alla direttiva 2009/28/CE e alla decisione della Commissione del 30 giugno 2009)*.

Seibel S., 2003. *Decomposition analysis of carbon dioxide-emission changes in Germany - Conceptual frame work and empirical results*. Federal Statistical Office of Germany Environmental Economic accounting division.

SNAM Rete Gas, *Bilancio di Sostenibilità*, vari anni.

TERNA, *Dati statistici sull'energia elettrica in Italia*, vari anni.

TERNA, *Elenco dei combustibili utilizzabili in centrali termoelettriche, comunicazione personale*.

TERNA, 2019. *Rapporto mensile sul sistema elettrico*, dicembre 2018.

Zhang M., Liu X., Wang W., Zhou M., 2012. *Decomposition analysis of CO₂ emissions from electricity generation in China*. Energy policy 52, 159-165.

APPENDICE 1

Tabella A1.1 – *Contenuto di energia dei combustibili per la generazione di energia elettrica e calore nel settore termoelettrico (ktep).*

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	388.173	371.015	381.259	427.855	410.751	356.030	353.126	354.322	336.549
Austria	4.146	4.574	4.052	5.683	5.861	4.659	4.562	5.042	4.677
Belgio	6.548	7.153	7.036	7.645	8.368	6.360	5.943	5.920	6.022
Bulgaria	9.620	8.053	5.859	6.518	7.273	6.912	6.163	6.457	6.045
Cipro	521	647	890	1.088	1.198	938	1.020	1.026	1.039
Rep. Ceca	15.131	15.421	15.647	15.819	15.544	14.016	14.322	13.532	13.337
Germania	99.151	88.606	84.581	91.262	91.628	89.980	91.365	86.905	83.008
Danimarca	6.023	8.472	7.835	7.130	7.624	4.103	4.769	4.557	4.506
Estonia	4.982	2.539	2.438	2.597	3.113	2.694	2.872	3.044	3.093
Grecia	8.759	9.182	11.584	12.430	11.191	8.325	7.810	8.733	8.164
Spagna	16.815	20.246	26.497	35.456	25.118	25.893	22.310	26.270	23.614
Finlandia	5.263	6.757	7.195	7.807	10.237	6.344	6.556	6.373	6.721
Francia	11.008	9.719	13.305	18.124	16.997	12.805	14.715	16.207	13.595
Croazia	1.395	1.057	1.295	1.513	1.284	1.039	1.170	1.213	1.085
Ungheria	5.338	5.823	6.019	5.646	5.230	3.324	3.521	3.563	3.393
Irlanda	3.046	3.771	4.818	4.811	4.615	3.813	4.229	4.067	3.768
Italia	37.542	40.633	45.105	54.333	48.892	41.460	42.036	43.239	40.382
Lituania	2.610	950	914	1.227	1.306	720	582	520	488
Lussemburgo	188	135	96	577	553	227	137	144	155
Lettonia	890	596	518	576	789	974	1.041	751	944
Malta	504	485	498	611	578	264	173	284	299
Paesi Bassi	13.981	16.624	17.744	19.584	21.581	19.330	19.595	19.044	17.955
Polonia	44.330	36.888	36.365	38.803	38.302	37.066	36.689	36.834	36.683
Portogallo	4.320	5.524	6.570	7.978	5.645	6.483	6.381	7.765	6.724
Romania	22.852	16.588	10.675	10.109	8.424	7.654	7.235	7.488	7.247
Svezia	1.543	3.261	3.266	4.476	6.452	5.139	5.543	5.691	5.707
Slovenia	1.486	1.387	1.302	1.508	1.562	1.171	1.253	1.264	1.234
Slovacchia	3.369	3.267	2.556	2.518	2.392	2.148	2.122	2.197	2.030
Regno Unito	56.812	52.656	56.601	62.028	58.992	42.189	39.009	36.192	34.635

Tabella A1.2 – *Contenuto di energia dei combustibili per la generazione di energia elettrica nel settore termoelettrico (ktep).*

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	314.592	311.922	326.562	358.882	340.341	294.341	289.847	291.610	275.871
Austria	3.375	3.672	3.172	4.500	4.360	3.198	3.055	3.465	3.200
Belgio	6.236	6.854	6.565	7.030	7.324	5.420	5.048	5.121	5.200
Bulgaria	5.782	4.859	4.486	5.216	5.906	5.745	5.086	5.550	5.286
Cipro	521	647	890	1.088	1.198	937	1.019	1.025	1.037
Rep. Ceca	10.938	10.317	12.040	11.709	10.336	9.664	9.859	9.412	9.395
Germania	87.564	80.497	76.537	80.146	80.216	79.467	80.287	75.688	72.183
Danimarca	3.873	5.410	4.767	3.735	3.917	1.614	2.065	1.833	1.894
Estonia	2.659	1.904	2.042	2.276	2.802	2.359	2.525	2.692	2.656
Grecia	8.756	9.182	11.520	12.304	11.064	8.186	7.670	8.594	8.017
Spagna	16.801	20.244	26.490	35.456	25.118	25.893	22.310	26.270	23.614
Finlandia	3.633	4.674	4.157	4.156	6.149	3.150	3.204	3.009	3.512
Francia	11.008	9.025	10.403	13.067	13.885	10.009	11.542	12.921	10.353
Croazia	1.078	744	1.008	1.188	965	767	881	834	696
Ungheria	3.952	4.630	4.438	4.355	4.100	2.657	2.780	2.900	2.735
Irlanda	3.046	3.771	4.818	4.811	4.615	3.813	4.229	4.067	3.768
Italia	37.395	40.472	44.312	47.131	40.911	33.243	33.460	34.609	31.929
Lituania	1.376	156	289	456	517	321	209	154	127
Lussemburgo	188	135	72	493	471	162	73	74	76
Lettonia	230	114	146	158	311	388	396	323	477
Malta	504	485	498	611	578	264	173	284	299
Paesi Bassi	12.434	12.697	13.325	15.107	16.829	15.712	16.041	15.476	14.625
Polonia	26.847	26.236	26.945	28.701	28.695	28.471	27.961	27.920	28.021
Portogallo	4.263	5.427	6.334	7.502	4.956	5.850	5.776	7.153	6.073
Romania	6.073	7.172	5.523	6.529	5.857	5.643	5.208	5.632	5.577
Svezia	551	1.065	986	1.359	2.209	1.512	1.630	1.730	1.738
Slovenia	1.122	1.055	1.063	1.229	1.268	927	1.001	1.002	977
Slovacchia	2.198	2.135	1.858	1.579	1.233	1.211	1.157	1.181	1.208
Regno Unito	56.276	52.227	56.006	62.028	58.992	42.189	39.009	36.192	34.635

Tabella A1.3 – *Contenuto di energia dei combustibili per la generazione di energia elettrica e calore nelle centrali cogenerative (ktep).*

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	139.625	126.234	121.048	157.974	173.756	154.290	158.038	160.175	155.145
Austria	2.201	2.674	1.626	2.103	2.810	2.470	2.668	2.642	2.535
Belgio	1.836	1.693	1.142	1.561	2.553	2.731	2.738	2.599	2.726
Bulgaria	5.923	4.240	2.217	2.278	1.970	1.604	1.503	1.304	1.183
Cipro	0	0	0	6	12	7	7	9	9
Rep. Ceca	5.685	6.962	6.112	7.030	12.945	11.804	11.853	11.438	11.318
Germania	11.587	8.109	8.045	22.182	25.249	25.657	27.525	28.730	26.260
Danimarca	5.538	7.604	7.326	7.125	7.596	4.098	4.765	4.549	4.502
Estonia	4.982	2.539	548	443	456	467	478	522	616
Grecia	173	180	715	1.838	2.536	2.646	2.561	2.341	2.375
Spagna	1.033	2.410	3.305	4.116	4.190	3.988	3.817	4.168	4.368
Finlandia	3.542	4.593	5.600	6.463	7.001	5.353	5.505	5.560	5.536
Francia	169	1.019	4.413	7.926	5.727	5.337	5.736	5.974	5.828
Croazia	504	546	536	671	721	456	528	887	783
Ungheria	1.645	1.381	2.086	2.280	1.934	1.232	1.343	1.313	1.295
Irlanda	50	57	123	117	289	305	300	302	291
Italia	2.876	4.676	10.230	21.823	24.962	21.866	23.449	24.183	23.406
Lituania	2.610	950	914	1.227	1.306	720	582	520	488
Lussemburgo	0	25	68	126	125	102	101	107	118
Lettonia	890	596	518	575	787	974	1.041	751	944
Malta	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Paesi Bassi	13.907	16.139	10.677	11.710	13.177	9.224	8.817	9.048	8.711
Polonia	44.330	36.886	36.355	36.521	37.119	36.117	35.808	35.991	35.857
Portogallo	384	825	980	1.249	1.565	1.600	1.578	1.629	1.654
Romania	22.852	13.292	7.506	5.950	4.266	3.186	3.138	3.018	2.756
Svezia	1.521	3.220	3.187	4.365	6.385	5.133	5.537	5.687	5.701
Slovenia	1.336	1.212	1.154	1.345	1.437	1.166	1.249	1.260	411
Slovacchia	2.524	2.223	1.839	2.281	2.246	2.043	2.022	2.121	1.916
Regno Unito	1.526	2.182	3.825	4.665	4.392	4.004	3.387	3.522	3.556

Tabella A1.4 – *Contenuto di energia dei combustibili per la generazione di energia elettrica nelle centrali cogenerative (ktep).*

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	66.044	67.141	66.351	89.001	103.346	92.600	94.759	97.463	94.467
Austria	1.429	1.772	746	920	1.310	1.008	1.161	1.065	1.058
Belgio	1.524	1.394	671	946	1.509	1.791	1.843	1.800	1.904
Bulgaria	2.086	1.045	844	976	603	436	426	396	424
Cipro	0	0	0	6	12	6	6	7	7
Rep. Ceca	1.493	1.859	2.505	2.920	7.737	7.451	7.390	7.317	7.377
Germania	0	0	0	11.066	13.837	15.144	16.447	17.514	15.436
Danimarca	3.388	4.542	4.259	3.731	3.889	1.609	2.060	1.826	1.890
Estonia	2.659	1.904	151	123	144	133	131	171	179
Grecia	171	180	652	1.712	2.409	2.506	2.421	2.202	2.228
Spagna	1.019	2.408	3.297	4.116	4.190	3.988	3.817	4.168	4.368
Finlandia	1.911	2.510	2.563	2.811	2.913	2.159	2.154	2.197	2.326
Francia	169	326	1.511	2.869	2.615	2.542	2.562	2.687	2.586
Croazia	187	233	249	345	402	184	239	509	393
Ungheria	259	188	505	989	805	564	602	649	638
Irlanda	50	57	123	117	289	305	300	302	291
Italia	2.729	4.515	9.437	14.621	16.981	13.649	14.872	15.553	14.953
Lituania	1.376	156	289	456	517	321	209	154	127
Lussemburgo	0	25	44	43	43	37	37	36	39
Lettonia	230	114	146	157	309	388	396	323	477
Malta	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Paesi Bassi	12.360	12.211	6.257	7.233	8.425	5.605	5.264	5.480	5.381
Polonia	26.847	26.233	26.936	26.419	27.512	27.522	27.080	27.077	27.195
Portogallo	327	728	744	773	876	968	973	1.018	1.003
Romania	6.073	3.876	2.353	2.370	1.699	1.175	1.111	1.161	1.087
Svezia	529	1.024	908	1.247	2.142	1.506	1.624	1.726	1.732
Slovenia	972	881	915	1.066	1.143	922	998	998	154
Slovacchia	1.352	1.091	1.141	1.342	1.088	1.105	1.057	1.105	1.093
Regno Unito	990	1.753	3.230	4.665	4.392	4.004	3.387	3.522	3.556
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018

Tabella A1.5 – *Contenuto di energia dei combustibili per la generazione di energia elettrica nelle centrali non cogenerative (ktep).*

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	248.548	244.781	260.211	269.881	236.996	201.741	195.087	194.147	181.404
Austria	1.946	1.900	2.426	3.580	3.051	2.189	1.894	2.400	2.141
Belgio	4.712	5.460	5.894	6.083	5.815	3.629	3.205	3.321	3.295
Bulgaria	3.696	3.814	3.642	4.240	5.303	5.309	4.660	5.154	4.862
Cipro	521	647	890	1.082	1.186	931	1.013	1.018	1.030
Rep. Ceca	9.446	8.459	9.535	8.789	2.599	2.212	2.469	2.094	2.019
Germania	87.564	80.497	76.537	69.080	66.379	64.323	63.840	58.174	56.748
Danimarca	485	867	508	5	28	5	4	8	4
Estonia	0	0	1.890	2.154	2.658	2.226	2.394	2.521	2.478
Grecia	8.585	9.001	10.869	10.592	8.655	5.680	5.249	6.392	5.789
Spagna	15.782	17.836	23.193	31.340	20.928	21.905	18.493	22.102	19.246
Finlandia	1.721	2.165	1.595	1.345	3.236	991	1.050	813	1.186
Francia	10.839	8.699	8.892	10.198	11.270	7.467	8.980	10.233	7.767
Croazia	891	511	759	842	563	583	643	326	303
Ungheria	3.693	4.442	3.933	3.366	3.296	2.092	2.179	2.250	2.098
Irlanda	2.996	3.713	4.694	4.695	4.326	3.508	3.929	3.765	3.477
Italia	34.666	35.957	34.875	32.510	23.930	19.594	18.588	19.056	16.976
Lituania	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lussemburgo	188	110	28	451	428	125	36	37	37
Lettonia	0	0	0	0	2	0	0	0	0
Malta	504	485	498	611	578	263	172	283	298
Paesi Bassi	74	485	7.067	7.874	8.404	10.106	10.777	9.997	9.244
Polonia	0	3	9	2.281	1.183	949	881	843	826
Portogallo	3.936	4.699	5.590	6.729	4.080	4.882	4.802	6.136	5.070
Romania	0	3.297	3.170	4.159	4.158	4.468	4.097	4.471	4.491
Svezia	22	41	78	111	67	6	6	4	6
Slovenia	151	174	148	163	125	5	3	5	823
Slovacchia	846	1.044	717	237	146	106	100	76	114
Regno Unito	55.286	50.474	52.776	57.363	54.601	38.186	35.623	32.670	31.078

Tabella A1.6 – Produzione lorda di energia elettrica al netto della produzione da pompaggio (TWh).

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	2.576,1	2.721,5	3.004,0	3.280,9	3.331,2	3.205,1	3.231,3	3.261,0	3.243,4
Austria	49,3	55,2	59,9	64,5	67,9	61,8	65,3	67,4	65,0
Belgio	70,3	73,5	82,8	85,4	93,6	68,3	84,2	85,1	73,6
Bulgaria	41,9	41,6	40,6	43,9	46,0	48,7	44,6	44,9	46,5
Cipro	2,0	2,5	3,4	4,4	5,3	4,5	4,9	5,0	5,1
Rep. Ceca	62,3	60,6	72,9	81,9	85,2	82,5	82,0	85,8	86,9
Germania	547,7	532,8	572,3	613,4	624,6	640,6	643,0	646,0	635,4
Danimarca	26,0	36,7	36,0	36,2	38,9	28,9	30,5	31,0	30,4
Estonia	17,2	8,7	8,5	10,2	13,0	10,4	12,2	12,9	12,4
Grecia	34,8	41,3	53,4	59,4	57,4	51,8	54,4	55,2	53,2
Spagna	151,2	165,6	220,9	284,5	298,2	277,5	271,2	272,9	271,9
Finlandia	54,4	64,0	69,8	70,3	80,4	68,4	68,5	67,1	70,0
Francia	417,2	491,2	535,2	571,2	564,3	573,9	558,8	556,1	576,0
Croazia	8,9	9,3	11,3	13,1	14,8	11,2	12,6	11,8	13,5
Ungheria	28,4	34,0	35,2	35,8	37,4	30,3	31,8	32,8	31,9
Irlanda	14,2	17,6	23,7	25,6	28,2	28,1	30,2	30,7	30,9
Italia	213,1	237,0	269,2	295,7	298,0	281,0	287,2	293,3	287,4
Lituania	28,4	13,5	11,0	14,2	4,7	4,0	3,4	3,4	2,8
Lussemburgo	0,6	0,5	0,4	3,3	3,2	1,3	0,8	0,9	1,0
Lettonia	6,6	4,0	4,1	4,9	6,6	5,5	6,4	7,5	6,7
Malta	1,1	1,6	1,9	2,2	2,1	1,3	0,9	1,7	2,0
Paesi Bassi	71,8	80,9	89,4	99,7	119,1	110,2	115,1	117,1	114,4
Polonia	134,4	137,0	143,2	155,1	157,0	164,2	166,1	169,9	169,5
Portogallo	28,3	33,1	43,4	46,2	53,7	51,3	59,1	57,7	58,4
Romania	64,3	59,1	51,6	59,4	60,6	65,9	64,6	63,9	64,4
Svezia	146,0	148,3	145,2	158,4	148,4	162,0	155,9	164,2	163,4
Slovenia	12,4	12,9	13,6	15,1	16,3	14,8	16,2	16,1	16,1
Slovacchia	25,5	26,4	30,8	31,3	27,4	26,5	26,7	27,3	26,6
Regno Unito	317,8	332,5	374,4	395,4	378,9	330,1	334,8	333,2	328,2

Tabella A1.7 – Produzione lorda di energia elettrica da impianti di combustione cogenerativi (TWh).

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	416,6	430,5	467,1	641,1	721,5	637,2	663,0	685,3	666,3
Austria	8,7	10,5	5,7	7,7	11,5	9,0	10,6	9,6	9,6
Belgio	7,3	8,1	5,7	7,5	14,3	14,6	15,0	15,0	15,6
Bulgaria	11,3	8,4	5,6	5,8	5,1	4,0	3,9	3,7	3,8
Cipro	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Rep. Ceca	11,2	12,9	19,7	20,2	43,3	42,3	42,8	43,7	43,4
Germania	0,0	0,0	0,0	87,7	106,1	114,8	124,5	132,3	122,0
Danimarca	23,3	31,3	29,3	29,6	30,9	14,2	17,0	15,5	15,5
Estonia	17,2	8,7	1,2	1,0	1,3	1,2	1,2	1,5	1,5
Grecia	0,9	0,9	3,4	8,1	10,9	10,1	9,5	9,5	9,1
Spagna	4,4	9,2	26,1	33,7	29,1	29,5	29,8	32,0	32,9
Finlandia	16,9	22,3	25,1	27,3	29,0	21,6	21,6	21,5	22,6
Francia	1,2	2,1	15,7	24,8	17,9	18,4	19,8	21,0	20,7
Croazia	1,1	1,4	1,5	2,4	3,0	1,4	1,8	3,8	3,0
Ungheria	2,6	2,1	4,8	8,7	7,5	4,6	5,1	5,4	5,2
Irlanda	0,2	0,2	0,6	0,6	1,9	2,2	2,2	2,2	2,2
Italia	16,6	29,2	60,1	94,4	111,5	95,9	105,1	110,1	104,9
Lituania	10,9	1,3	2,3	3,4	4,0	2,8	1,8	1,3	1,1
Lussemburgo	0,0	0,1	0,2	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4
Lettonia	2,2	1,0	1,3	1,5	3,0	3,5	3,8	3,0	4,2
Malta	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,4	0,4
Paesi Bassi	67,8	75,3	46,9	57,5	65,6	43,8	41,8	44,3	42,7
Polonia	133,0	135,1	141,0	142,8	147,0	147,1	147,1	148,2	150,5
Portogallo	1,6	3,6	4,9	5,8	7,2	7,2	7,0	7,1	7,1
Romania	50,2	31,7	18,9	17,6	12,8	9,8	9,1	9,4	8,5
Svezia	5,2	10,0	8,6	11,8	20,5	13,9	15,1	15,5	15,5
Slovenia	4,5	4,3	4,4	5,1	5,5	5,1	5,7	5,6	1,3
Slovacchia	8,6	6,3	7,2	8,2	7,0	6,5	6,6	7,0	7,0
Regno Unito	5,3	8,8	20,9	27,2	25,3	13,6	14,5	15,9	15,7

Tabella A1.8 – *Produzione lorda di energia elettrica da impianti di combustione non cogenerativi (TWh).*

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	1.070,1	1.070,2	1.207,4	1.250,4	1.136,7	949,6	955,0	957,2	887,8
Austria	9,1	7,6	12,2	18,3	15,9	9,9	8,3	11,7	10,3
Belgio	20,0	23,7	28,4	29,8	29,2	18,6	16,7	17,8	17,7
Bulgaria	14,3	13,8	14,2	15,1	19,9	20,9	18,2	19,9	18,8
Cipro	2,0	2,5	3,4	4,3	5,2	4,1	4,5	4,6	4,6
Rep. Ceca	37,3	33,5	37,8	34,6	10,2	8,7	10,5	9,0	9,0
Germania	377,7	356,2	371,6	314,0	306,7	295,5	295,1	272,0	263,5
Danimarca	2,1	4,2	2,5	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Estonia	0,0	0,0	7,3	9,1	11,3	8,4	10,3	10,7	10,2
Grecia	32,1	36,9	45,9	45,0	36,2	27,1	30,3	32,2	28,3
Spagna	67,0	77,6	99,6	153,6	113,4	99,5	83,8	101,0	85,3
Finlandia	7,4	9,6	7,4	5,8	15,3	4,4	4,8	3,6	5,3
Francia	47,6	38,3	37,4	41,9	44,2	32,7	44,3	51,9	37,2
Croazia	3,8	2,2	3,3	3,6	2,5	2,6	2,9	1,4	1,5
Ungheria	11,9	17,7	16,1	13,0	13,4	8,8	9,5	10,0	9,4
Irlanda	13,3	16,6	22,0	23,3	22,8	18,6	21,2	20,3	19,4
Italia	161,7	166,5	159,6	157,5	119,0	95,6	93,6	98,7	87,2
Lituania	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Lussemburgo	0,6	0,3	0,1	2,7	2,6	0,7	0,1	0,1	0,1
Lettonia	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Malta	1,1	1,6	1,9	2,2	2,1	1,2	0,4	1,0	1,4
Paesi Bassi	0,4	1,2	37,6	36,0	45,4	53,6	59,4	56,6	53,9
Polonia	0,0	0,0	0,0	10,0	5,4	4,3	4,2	4,1	4,0
Portogallo	17,6	21,2	26,9	33,8	20,8	22,8	22,9	31,2	25,1
Romania	2,7	10,7	12,4	16,0	16,0	18,8	17,8	19,2	18,8
Svezia	0,1	0,2	0,3	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
Slovenia	0,4	0,6	0,7	0,7	0,6	0,0	0,0	0,0	4,1
Slovacchia	3,0	3,8	2,5	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,6
Regno Unito	236,9	223,8	256,5	278,8	277,6	192,0	195,7	180,0	172,2

Tabella A1.9 – Calore da impianti di combustione cogenerativi (TWh).

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	488,8	418,0	404,7	517,0	521,2	455,3	471,6	467,0	457,5
Austria	4,8	6,4	8,0	10,8	13,6	13,5	14,1	14,5	13,7
Belgio	2,6	2,7	6,0	5,3	9,8	7,4	7,0	6,1	6,2
Bulgaria	29,9	21,7	10,4	10,7	12,3	11,0	10,3	8,9	7,3
Cipro	-	-	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rep. Ceca	32,7	35,3	28,8	29,4	30,6	26,3	27,3	26,2	24,8
Germania	123,4	93,3	75,4	99,6	100,2	90,4	93,8	93,8	97,5
Danimarca	15,1	24,4	27,0	29,4	32,2	23,7	24,8	25,6	24,8
Estonia	13,7	3,4	3,0	2,6	2,9	3,1	3,3	3,1	3,6
Grecia	-	-	0,3	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6
Spagna	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
Finlandia	17,1	20,5	30,1	35,7	40,7	32,2	34,2	33,2	31,4
Francia	-	4,5	35,9	47,0	24,4	22,9	26,3	27,1	26,4
Croazia	3,3	2,9	2,4	2,7	2,6	2,5	2,5	3,0	3,0
Ungheria	11,0	10,0	14,1	11,4	10,3	5,5	6,2	5,5	5,4
Irlanda	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Italia	-	-	-	53,6	56,3	59,2	61,0	61,1	59,6
Lituania	9,8	6,7	5,0	6,4	6,3	3,6	3,5	3,6	3,7
Lussemburgo	-	-	0,1	0,9	0,8	0,6	0,6	0,7	0,8
Lettonia	6,2	4,4	3,3	4,1	4,7	5,3	6,0	3,8	4,1
Malta	-	-	-	-	-	0,0	0,0	-	-
Paesi Bassi	10,5	27,4	34,9	35,9	37,4	29,5	27,9	27,5	25,3
Polonia	117,8	62,3	54,7	60,9	57,0	51,5	52,5	54,6	53,7
Portogallo	0,3	0,4	1,6	3,8	5,9	5,4	5,2	5,3	5,6
Romania	71,7	61,1	35,3	27,8	21,9	17,6	17,5	16,0	14,3
Svezia	10,2	22,3	22,1	29,8	40,9	35,3	38,0	37,6	37,8
Slovenia	1,7	1,7	1,8	2,0	2,1	2,0	2,1	2,1	2,1
Slovacchia	7,0	6,4	4,4	6,6	7,7	6,3	6,7	7,1	5,6
Regno Unito	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabella A1.10 – Calore da impianti nucleari (TWh).

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	1,9	1,0	0,9	1,8	1,4	1,1	1,1	1,2	1,1
Austria	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Belgio	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bulgaria	-	0,1	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
Cipro	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rep. Ceca	-	-	-	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2
Germania	1,2	0,3	-	-	-	-	-	-	-
Danimarca	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estonia	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Grecia	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Spagna	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Finlandia	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Francia	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Croazia	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ungheria	-	-	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Irlanda	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Italia	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lituania	0,8	0,7	0,6	0,5	-	-	-	-	-
Lussemburgo	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lettonia	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Malta	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Paesi Bassi	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Polonia	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Portogallo	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Romania	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Svezia	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Slovenia	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Slovacchia	-	-	-	0,6	0,7	0,5	0,5	0,6	0,5
Regno Unito	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabella A1.11 – *Produzione lorda di energia elettrica da impianti nucleari (TWh).*

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	794,9	880,8	945,0	997,7	916,6	857,0	839,7	829,7	827,0
Austria	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Belgio	42,7	41,4	48,2	47,6	47,9	26,1	43,5	42,2	28,6
Bulgaria	14,7	17,3	18,2	18,7	15,2	15,4	15,8	15,5	16,1
Cipro	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rep. Ceca	12,6	12,2	13,6	24,7	28,0	26,8	24,1	28,3	29,9
Germania	152,5	153,1	169,6	163,1	140,6	91,8	84,6	76,3	76,0
Danimarca	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estonia	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Grecia	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Spagna	54,3	55,5	62,2	57,5	62,0	57,2	58,6	58,0	55,8
Finlandia	19,2	19,2	22,5	23,3	22,8	23,2	23,2	22,5	22,8
Francia	314,1	377,2	415,2	451,5	428,5	437,4	403,2	398,4	412,9
Croazia	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ungheria	13,7	14,0	14,2	13,8	15,8	15,8	16,1	16,1	15,7
Irlanda	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Italia	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lituania	17,0	11,8	8,4	10,3	-	-	-	-	-
Lussemburgo	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lettonia	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Malta	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Paesi Bassi	3,5	4,0	3,9	4,0	4,0	4,1	4,0	3,4	3,5
Polonia	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Portogallo	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Romania	-	-	5,5	5,6	11,6	11,6	11,3	11,5	11,4
Svezia	68,2	69,9	57,3	72,4	57,8	56,3	63,1	65,7	68,5
Slovenia	4,6	4,8	4,8	5,9	5,7	5,6	5,7	6,3	5,8
Slovacchia	12,0	11,4	16,5	17,7	14,6	15,1	14,8	15,1	14,8
Regno Unito	65,7	89,0	85,1	81,6	62,1	70,3	71,7	70,3	65,1

Tabella A1.12 – *Produzione lorda di energia elettrica da fonti rinnovabili al netto dell'apporto da pompaggi (TWh).*

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	308,9	361,4	418,5	461,7	680,1	939,1	953,4	972,5	1.050,6
Austria	32,6	38,9	43,4	40,9	45,0	47,6	51,1	51,1	50,0
Belgio	0,6	0,7	1,0	2,1	6,5	14,5	14,4	15,9	17,2
Bulgaria	1,6	2,2	2,6	4,3	5,8	8,8	7,0	6,1	9,3
Cipro	-	-	-	0,0	0,1	0,4	0,4	0,4	0,5
Rep. Ceca	1,2	2,4	2,3	3,1	5,9	9,4	9,4	9,6	9,4
Germania	19,1	25,9	35,5	63,4	105,2	188,8	189,7	216,3	224,8
Danimarca	0,8	1,9	5,6	9,8	12,4	18,9	18,4	21,8	20,8
Estonia	-	0,0	0,0	0,1	1,0	1,5	1,5	1,8	2,0
Grecia	1,8	3,6	4,1	6,4	10,5	14,9	14,9	13,8	16,1
Spagna	26,0	24,4	34,5	42,3	97,8	97,1	104,6	87,9	103,9
Finlandia	16,0	19,5	23,4	23,5	24,2	30,5	30,4	31,5	32,1
Francia	55,8	75,5	69,4	56,3	78,2	91,8	99,0	92,6	113,4
Croazia	3,9	5,7	6,5	7,1	9,3	7,5	8,4	7,1	9,8
Ungheria	0,2	0,2	0,2	1,9	3,0	3,2	3,3	3,5	3,8
Irlanda	0,7	0,7	1,2	1,9	3,7	7,9	7,5	8,9	10,2
Italia	34,9	41,5	50,9	48,4	77,0	108,9	108,0	103,9	114,4
Lituania	0,4	0,4	0,3	0,5	0,9	1,7	2,1	2,5	2,2
Lussemburgo	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Lettonia	4,5	2,9	2,8	3,4	3,6	2,8	3,5	5,5	3,5
Malta	-	-	-	-	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2
Paesi Bassi	0,8	1,4	3,0	7,4	11,2	13,7	14,8	17,4	18,9
Polonia	1,5	2,0	2,3	3,8	10,9	22,7	22,8	24,1	21,6
Portogallo	9,8	9,4	12,9	8,3	28,4	24,4	32,3	22,6	29,4
Romania	11,4	16,7	14,8	20,2	20,3	26,2	27,0	24,3	26,2
Svezia	74,5	70,6	83,1	81,2	82,1	102,5	89,1	95,1	91,2
Slovenia	3,0	3,3	3,9	3,6	4,7	4,4	5,1	4,4	5,2
Slovacchia	1,9	4,9	4,6	4,7	5,9	6,0	6,6	6,5	5,8
Regno Unito	5,8	6,9	10,0	16,9	26,2	82,6	81,6	97,0	108,1

Tabella A1.13 – Emissioni di gas serra (Mt CO₂eq) da energia di combustibili destinati alla produzione di energia elettrica e calore nel settore termoelettrico.

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	1.476,2	1.374,9	1.361,9	1.466,1	1.336,7	1.166,1	1.121,4	1.109,6	1.044,6
Austria	13,8	14,1	12,9	17,9	17,2	13,4	12,7	14,1	13,0
Belgio	26,2	28,3	26,1	25,5	23,8	18,1	16,9	16,8	17,0
Bulgaria	35,7	30,5	23,1	26,1	29,1	27,9	24,5	25,8	23,1
Cipro	1,7	2,1	2,9	3,5	3,9	3,0	3,3	3,3	3,3
Rep. Ceca	63,9	64,2	64,0	64,6	63,0	53,9	55,0	51,3	50,9
Germania	393,5	350,7	333,3	341,8	328,0	318,9	318,6	298,8	283,1
Danimarca	23,3	30,5	25,2	21,5	22,6	10,8	12,9	11,0	11,0
Estonia	21,4	11,1	10,4	11,1	12,9	10,9	11,6	12,3	11,9
Grecia	35,2	36,8	44,7	47,5	41,7	30,7	27,0	30,1	28,2
Spagna	66,4	77,6	98,2	117,9	71,5	84,5	70,2	82,8	73,9
Finlandia	17,8	22,9	22,3	23,2	31,7	17,3	18,3	17,5	18,5
Francia	46,4	38,4	48,7	59,2	50,0	37,4	39,9	44,5	36,3
Croazia	4,2	3,2	4,0	4,9	4,0	3,2	3,5	3,1	2,7
Ungheria	19,3	20,3	21,2	17,0	15,4	10,5	10,8	10,7	10,1
Irlanda	10,8	13,1	15,6	15,4	13,3	11,9	12,7	11,8	10,4
Italia	123,3	130,5	137,1	160,2	137,1	110,8	110,5	110,8	102,9
Lituania	7,1	2,7	2,3	3,0	3,1	1,5	1,2	1,0	0,9
Lussemburgo	1,7	0,9	0,2	1,4	1,3	0,5	0,3	0,3	0,3
Lettonia	2,3	1,8	1,4	1,3	1,8	1,9	2,0	1,3	1,7
Malta	1,8	1,6	1,6	2,0	1,9	0,9	0,6	0,7	0,7
Paesi Bassi	45,1	52,6	53,6	57,7	61,2	61,7	60,8	57,8	53,8
Polonia	181,5	150,3	146,7	154,6	149,6	143,3	142,2	143,7	142,1
Portogallo	15,4	19,9	22,2	25,6	15,8	19,9	19,0	22,8	19,4
Romania	73,3	56,8	37,5	36,2	31,2	27,6	25,5	26,3	25,3
Svezia	5,3	9,1	8,5	11,0	13,9	9,6	10,6	11,0	11,3
Slovenia	6,1	5,7	5,3	6,2	6,2	4,6	4,9	4,9	4,8
Slovacchia	12,6	11,7	9,3	9,2	8,2	6,6	6,4	6,7	6,2
Regno Unito	221,2	187,6	183,5	200,6	177,3	125,0	99,5	88,2	81,6

Tabella A1.14 – Emissioni di gas serra (Mt CO₂eq) da energia di combustibili destinati alla produzione di energia elettrica nel settore termoelettrico, dopo scorporo del contenuto energetico destinato alla produzione di calore nelle centrali cogenerative.

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	1.222,5	1.184,2	1.197,1	1.270,4	1.139,3	1.002,5	953,3	944,9	888,0
Austria	11,2	11,2	10,4	14,8	13,6	9,8	9,1	10,3	9,5
Belgio	25,3	27,3	24,9	24,0	21,4	15,9	14,8	14,9	15,1
Bulgaria	23,7	19,6	18,4	21,5	24,4	23,8	20,9	22,9	21,1
Cipro	1,7	2,1	2,9	3,5	3,9	3,0	3,3	3,3	3,3
Rep. Ceca	46,2	43,3	49,8	48,4	41,5	36,8	37,4	35,5	35,6
Germania	350,7	322,9	306,6	308,1	293,6	288,5	287,4	267,6	253,9
Danimarca	15,1	20,0	16,0	12,0	12,6	4,7	6,2	5,0	5,3
Estonia	11,7	8,5	9,0	10,0	12,0	10,1	10,8	11,4	10,9
Grecia	35,2	36,8	44,4	46,9	41,2	30,1	26,4	29,5	27,6
Spagna	66,4	77,6	98,1	117,9	71,5	84,5	70,2	82,8	73,9
Finlandia	11,8	15,6	13,3	12,9	20,2	8,7	9,3	8,4	9,8
Francia	46,4	37,0	40,9	45,7	43,2	31,7	33,6	38,1	30,1
Croazia	3,4	2,3	3,3	4,0	3,2	2,6	2,9	2,3	1,9
Ungheria	14,8	16,4	15,8	13,4	12,2	8,5	8,8	9,0	8,3
Irlanda	10,8	13,1	15,6	15,4	13,3	11,9	12,7	11,8	10,4
Italia	122,7	129,8	134,4	141,8	116,8	91,4	89,8	90,5	83,5
Lituania	3,7	0,5	0,8	1,2	1,3	0,7	0,5	0,3	0,2
Lussemburgo	1,7	0,9	0,2	1,2	1,1	0,4	0,2	0,2	0,2
Lettonia	0,6	0,3	0,4	0,4	0,7	0,7	0,8	0,6	0,9
Malta	1,8	1,6	1,6	2,0	1,9	0,9	0,6	0,7	0,7
Paesi Bassi	40,9	42,1	42,1	45,7	48,4	53,4	52,6	49,8	46,2
Polonia	110,6	108,0	110,0	115,3	112,5	109,5	108,2	109,0	108,5
Portogallo	15,2	19,6	21,5	24,3	14,1	18,4	17,6	21,4	17,9
Romania	16,9	25,5	20,6	24,8	23,0	21,2	19,3	20,7	20,4
Svezia	1,8	3,5	3,3	3,7	5,1	2,8	3,0	3,2	3,4
Slovenia	4,6	4,4	4,4	5,1	5,1	3,7	4,0	4,0	3,9
Slovacchia	8,4	7,8	6,7	6,1	4,3	3,7	3,5	3,6	3,7
Regno Unito	219,4	186,4	181,8	200,6	177,3	125,0	99,5	88,2	81,6

Tabella A1.15 – *Fattore di emissione di gas serra nel parco termoelettrico per la produzione di elettricità e calore (g CO₂eq / kWh).*

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	747,3	716,5	655,0	608,7	561,7	571,0	536,7	526,0	519,3
Austria	613,4	577,3	495,6	486,0	419,4	413,0	384,8	394,1	386,1
Belgio	877,9	818,9	649,2	597,3	445,9	447,1	435,1	432,1	429,9
Bulgaria	642,8	693,0	765,5	823,8	781,0	777,6	757,9	795,6	771,4
Cipro	858,2	842,0	857,8	807,5	730,1	717,5	722,4	706,6	712,1
Rep. Ceca	786,2	786,1	741,2	767,3	748,6	697,4	681,6	650,2	659,4
Germania	785,3	780,3	745,8	681,9	639,2	636,9	620,5	600,0	586,1
Danimarca	576,8	509,6	429,0	364,7	357,0	283,6	307,4	268,4	273,5
Estonia	691,3	917,3	903,2	870,3	828,9	854,9	782,1	805,1	774,8
Grecia	1.066,1	976,4	901,3	884,0	877,4	813,1	667,7	712,6	742,0
Spagna	928,7	894,1	780,8	629,3	502,3	655,2	618,1	622,2	625,3
Finlandia	428,9	436,7	356,3	337,5	372,6	298,0	302,6	300,6	311,7
Francia	952,2	856,6	547,4	520,1	578,9	505,5	441,4	445,7	430,8
Croazia	510,6	496,3	553,9	555,1	491,0	498,2	487,3	386,2	359,8
Ungheria	755,4	680,6	608,2	513,5	492,1	555,5	521,5	511,9	503,3
Irlanda	796,9	775,5	689,7	643,2	537,9	573,5	543,1	525,6	484,9
Italia	691,8	666,4	623,9	524,3	478,3	442,1	425,4	410,4	408,9
Lituania	342,8	337,5	320,9	309,5	302,9	242,6	234,6	199,5	193,1
Lussemburgo	3.128,6	2.280,2	562,4	335,0	332,7	307,1	267,9	254,7	233,1
Lettonia	274,1	324,0	298,5	237,9	236,7	215,4	203,9	187,4	210,9
Malta	1.605,0	977,9	838,6	883,9	884,1	704,1	766,3	477,0	397,2
Paesi Bassi	572,8	505,9	449,0	446,2	412,4	485,9	470,5	450,4	441,9
Polonia	723,8	761,0	749,8	724,0	714,6	705,8	697,9	694,5	683,1
Portogallo	787,6	789,1	666,0	588,6	467,9	560,6	540,5	522,3	514,0
Romania	588,0	548,5	562,5	589,2	615,2	596,1	575,7	588,5	609,2
Svezia	343,0	280,8	274,8	262,6	225,0	194,7	200,0	206,5	211,7
Slovenia	933,8	866,5	781,1	794,2	751,3	646,8	629,2	638,6	637,7
Slovacchia	679,3	708,9	655,1	592,6	532,4	493,2	467,6	463,1	469,1
Regno Unito	896,2	787,2	647,8	655,8	585,6	607,8	473,6	450,0	434,3

Tabella A1.16 – *Fattore di emissione di gas serra dal settore elettrico per la produzione di elettricità e calore (g CO₂eq / kWh).*

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	481,3	437,7	399,3	384,8	346,4	317,9	302,3	297,1	281,7
Austria	256,0	229,8	189,5	237,9	211,0	177,6	160,3	172,3	164,9
Belgio	360,0	370,9	293,5	279,9	229,3	238,3	183,9	183,2	211,5
Bulgaria	497,0	480,0	452,1	476,0	497,5	465,1	445,9	478,7	427,0
Cipro	858,2	842,0	857,8	807,3	724,9	662,5	667,5	652,6	653,1
Rep. Ceca	672,4	669,4	629,4	578,7	541,8	494,1	501,0	457,1	454,1
Germania	585,3	559,9	514,6	477,5	451,2	435,2	431,3	403,0	385,4
Danimarca	567,9	499,3	399,6	327,8	317,7	204,2	232,2	194,8	199,8
Estonia	691,3	917,1	902,9	865,2	813,1	808,1	749,9	766,7	741,8
Grecia	1.011,8	892,2	831,8	791,4	720,9	586,3	490,3	540,3	523,8
Spagna	439,0	468,5	444,3	407,2	239,8	304,3	258,9	303,1	271,6
Finlandia	248,4	270,7	223,1	218,5	261,1	172,0	178,1	173,8	182,0
Francia	111,3	77,5	85,3	95,7	85,0	62,6	68,1	76,3	60,2
Croazia	345,7	265,5	293,0	307,4	229,7	234,6	232,0	213,6	162,2
Ungheria	488,8	461,3	429,5	359,1	321,1	291,2	283,2	277,1	269,0
Irlanda	757,9	743,4	657,9	599,4	472,7	422,8	420,3	386,0	338,2
Italia	578,7	549,6	507,7	457,2	386,2	325,2	316,6	312,0	296,1
Lituania	182,2	129,0	139,4	142,6	275,6	196,5	171,9	136,6	138,6
Lussemburgo	2.777,6	1.868,2	413,8	322,0	317,6	258,6	206,5	184,9	169,8
Lettonia	178,3	210,2	185,8	148,6	161,9	175,4	160,3	112,8	161,1
Malta	1.605,0	977,9	838,6	883,9	883,8	652,9	652,0	430,1	358,8
Paesi Bassi	546,3	484,0	430,4	425,0	390,6	440,9	424,5	399,5	385,1
Polonia	719,7	753,8	741,8	715,2	699,0	663,7	650,3	639,8	636,6
Portogallo	536,3	591,8	494,5	511,2	265,6	350,3	295,0	361,9	303,2
Romania	538,7	472,3	431,5	415,2	378,0	329,8	311,1	328,8	321,9
Svezia	34,0	53,5	50,9	58,7	73,2	48,3	54,5	54,1	55,9
Slovenia	432,7	390,9	345,5	359,9	334,9	271,7	268,3	271,3	263,2
Slovacchia	388,6	356,3	262,7	239,5	227,1	196,0	187,9	190,8	187,7
Regno Unito	696,0	564,2	490,2	507,4	468,0	378,6	297,3	264,5	248,6

Tabella A1.17 – *Fattore di emissione di gas serra dal settore elettrico per la produzione di elettricità e calore al netto della produzione di origine nucleare (g CO₂eq / kWh).*

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	650,2	608,5	552,5	521,7	454,6	415,2	391,0	382,2	362,9
Austria	256,0	229,8	189,5	237,9	211,0	177,6	160,3	172,3	164,9
Belgio	870,0	810,8	641,6	586,5	426,6	362,8	350,0	339,3	328,6
Bulgaria	624,5	660,3	704,1	725,2	676,8	628,3	627,6	675,6	611,5
Cipro	858,2	842,0	857,8	807,3	724,9	662,5	667,5	652,6	653,1
Rep. Ceca	775,1	767,3	726,4	746,0	716,0	657,3	643,9	613,2	621,3
Germania	758,8	741,5	697,2	618,3	559,3	497,5	487,1	449,3	429,9
Danimarca	567,9	499,3	399,6	327,8	317,7	204,2	232,2	194,8	199,8
Estonia	691,3	917,1	902,9	865,2	813,1	808,1	749,9	766,7	741,8
Grecia	1.011,8	892,2	831,8	791,4	720,9	586,3	490,3	540,3	523,8
Spagna	684,6	704,4	618,5	508,3	302,7	383,2	330,2	385,0	341,7
Finlandia	339,8	350,3	287,7	279,7	321,5	223,6	229,9	223,7	234,6
Francia	450,2	324,3	312,5	354,9	312,1	233,8	218,7	240,1	191,1
Croazia	345,7	265,5	293,0	307,4	229,7	234,6	232,0	213,6	162,2
Ungheria	750,2	676,9	605,1	510,2	480,9	524,1	491,6	479,5	466,2
Irlanda	757,9	743,4	657,9	599,4	472,7	422,8	420,3	386,0	338,2
Italia	578,7	549,6	507,7	457,2	386,2	325,2	316,6	312,0	296,1
Lituania	335,5	321,3	302,9	290,2	275,6	196,5	171,9	136,6	138,6
Lussemburgo	2.777,6	1.868,2	413,8	322,0	317,6	258,6	206,5	184,9	169,8
Lettonia	178,3	210,2	185,8	148,6	161,9	175,4	160,3	112,8	161,1
Malta	1.605,0	977,9	838,6	883,9	883,8	652,9	652,0	430,1	358,8
Paesi Bassi	570,5	502,6	444,4	437,9	400,7	454,1	436,6	409,1	395,1
Polonia	719,7	753,8	741,8	715,2	699,0	663,7	650,3	639,8	636,6
Portogallo	536,3	591,8	494,5	511,2	265,6	350,3	295,0	361,9	303,2
Romania	538,7	472,3	460,4	443,4	439,9	383,2	360,6	384,1	376,2
Svezia	60,4	90,6	77,4	95,4	105,4	68,0	81,3	80,6	85,2
Slovenia	643,4	580,5	499,9	548,9	483,8	409,5	390,2	414,9	384,6
Slovacchia	617,0	547,0	493,8	456,2	395,2	369,0	341,8	344,4	353,4
Regno Unito	877,6	770,3	634,3	639,4	559,8	481,2	378,3	335,3	310,1

Tabella A1.18 – *Fattore di emissione di gas serra nel parco termoelettrico per la produzione di elettricità (g CO₂eq / kWh).*

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	822,3	789,1	714,9	671,6	613,1	631,8	589,2	575,3	571,4
Austria	627,9	619,8	580,9	568,2	496,0	519,6	480,1	481,5	478,2
Belgio	925,2	859,2	730,6	641,7	491,6	480,3	465,2	455,3	452,7
Bulgaria	925,8	881,8	927,7	1.025,9	977,2	959,9	946,3	967,5	932,2
Cipro	858,2	842,0	857,8	807,5	730,3	719,9	724,6	708,9	714,4
Rep. Ceca	952,7	934,5	865,9	883,4	775,1	720,1	702,2	671,9	680,1
Germania	928,5	906,6	825,1	767,0	711,2	703,1	685,0	662,0	658,5
Danimarca	594,7	563,0	503,7	404,9	405,7	330,5	367,4	321,8	343,7
Estonia	683,1	975,3	1.053,8	986,4	948,3	1.045,2	936,8	941,4	937,4
Grecia	1.065,9	976,4	901,8	883,4	876,1	809,9	662,7	708,7	737,3
Spagna	928,7	894,0	780,6	629,3	502,3	655,2	618,1	622,2	625,3
Finlandia	485,3	489,8	409,2	389,1	455,7	335,8	353,4	337,4	350,9
Francia	952,2	918,0	771,1	684,9	696,0	619,6	524,1	522,4	518,7
Croazia	679,1	632,9	679,9	665,1	578,7	652,8	621,9	451,8	437,8
Ungheria	1.015,7	826,5	757,3	615,8	583,7	636,1	604,5	584,9	568,7
Irlanda	796,9	775,5	689,7	643,2	537,9	573,5	543,1	525,6	484,9
Italia	688,5	663,2	611,8	562,8	506,8	477,3	452,0	433,2	434,5
Lituania	339,6	374,0	335,4	341,6	320,6	262,3	260,9	222,0	210,9
Lussemburgo	3.128,6	2.280,2	646,6	363,3	360,2	355,1	329,4	325,2	310,0
Lettonia	276,5	323,3	289,2	233,6	232,6	212,6	201,8	192,0	226,3
Malta	1.605,0	977,9	838,6	883,9	884,1	705,1	767,2	477,0	397,2
Paesi Bassi	600,5	550,8	497,8	488,6	435,9	548,2	519,7	493,7	479,1
Polonia	831,2	799,3	779,7	755,2	738,2	722,9	715,2	715,9	702,9
Portogallo	791,5	790,2	676,0	612,5	505,1	612,0	587,3	557,1	555,8
Romania	319,4	601,9	657,4	736,6	797,8	739,8	720,0	721,7	746,2
Svezia	332,3	342,8	374,3	302,8	244,6	202,3	196,8	206,3	215,7
Slovenia	946,0	892,5	872,3	875,7	841,5	732,0	703,8	716,6	727,9
Slovacchia	728,3	774,6	693,9	680,4	567,8	534,7	495,3	494,6	494,4
Regno Unito	889,1	782,3	641,6	655,8	585,6	607,8	473,6	450,0	434,3

Tabella A1.19 – *Fattore di emissione di gas serra dal settore elettrico per la produzione di elettricità (g CO₂eq / kWh).*

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	474,5	435,0	398,3	386,0	341,6	312,3	294,6	289,3	273,4
Austria	226,6	203,4	174,1	229,4	200,0	158,9	139,4	152,1	146,4
Belgio	359,3	371,8	301,3	279,5	227,8	232,1	174,4	174,3	203,6
Bulgaria	565,7	470,3	452,2	489,9	531,2	489,3	468,8	508,7	452,6
Cipro	858,2	842,0	857,8	807,3	725,0	664,6	669,4	654,5	655,1
Rep. Ceca	742,4	714,9	683,6	590,9	486,0	445,1	455,6	412,9	409,2
Germania	640,3	606,1	535,7	499,8	468,5	449,1	445,7	413,2	398,6
Danimarca	580,1	544,2	443,5	330,8	323,9	162,0	204,5	160,6	175,5
Estonia	683,1	975,1	1.053,1	979,1	926,1	970,8	887,7	885,8	885,7
Grecia	1.011,7	892,2	831,9	790,0	718,3	581,4	484,7	535,4	518,0
Spagna	438,8	468,5	444,2	407,2	239,8	304,3	258,9	303,1	271,6
Finlandia	216,9	243,9	190,4	182,5	250,5	127,3	135,7	125,1	139,6
Francia	111,3	75,4	76,5	80,0	76,5	55,1	60,1	68,4	52,1
Croazia	378,9	245,1	290,4	306,2	216,3	232,0	230,9	199,1	143,3
Ungheria	518,9	481,8	448,3	373,9	326,3	280,7	276,3	273,5	260,7
Irlanda	757,9	743,4	657,9	599,4	472,7	422,8	420,3	386,0	338,2
Italia	575,9	546,9	497,8	477,7	391,0	324,6	311,9	307,7	289,9
Lituania	130,6	35,9	68,5	81,2	255,5	170,1	124,2	81,5	77,0
Lussemburgo	2.777,6	1.868,2	417,8	345,6	339,7	274,0	196,3	170,0	158,7
Lettonia	89,5	84,7	91,8	73,0	107,3	135,5	118,3	76,5	140,3
Malta	1.605,0	977,9	838,6	883,9	883,8	653,7	652,7	430,1	358,8
Paesi Bassi	568,7	518,8	469,2	457,1	405,6	483,8	456,7	424,8	404,0
Polonia	822,3	788,3	768,2	742,3	716,2	666,3	651,0	641,4	639,9
Portogallo	536,0	590,1	495,6	525,3	262,9	358,1	297,0	370,2	306,0
Romania	262,8	431,8	399,4	417,2	379,1	321,0	299,5	323,6	316,2
Svezia	12,0	23,5	22,9	23,4	34,1	17,4	19,1	19,5	20,6
Slovenia	370,4	337,4	321,9	334,3	314,0	251,0	248,7	250,4	243,5
Slovacchia	330,8	296,4	218,3	194,5	156,5	140,7	129,6	132,8	139,7
Regno Unito	690,5	560,6	485,5	507,4	468,0	378,6	297,3	264,5	248,6

Tabella A1.20 – *Fattore di emissione di gas serra dal settore elettrico per la produzione di elettricità al netto della produzione di origine nucleare (g CO₂eq / kWh).*

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	686,3	643,1	581,0	553,9	471,0	426,1	397,8	387,9	366,8
Austria	226,6	203,4	174,1	229,4	200,0	158,9	139,4	152,1	146,4
Belgio	916,0	849,9	720,6	628,5	465,7	374,2	358,7	343,7	331,6
Bulgaria	870,3	803,2	818,8	851,3	794,7	714,9	725,5	777,7	692,4
Cipro	858,2	842,0	857,8	807,3	725,0	664,6	669,4	654,5	655,1
Rep. Ceca	930,5	895,8	840,2	846,3	723,4	659,3	645,0	616,3	623,8
Germania	887,4	850,5	761,3	679,6	603,9	524,0	513,1	468,4	452,6
Danimarca	580,1	544,2	443,5	330,8	323,9	162,0	204,5	160,6	175,5
Estonia	683,1	975,1	1.053,1	979,1	926,1	970,8	887,7	885,8	885,7
Grecia	1.011,7	892,2	831,9	790,0	718,3	581,4	484,7	535,4	518,0
Spagna	684,5	704,3	618,3	508,3	302,7	383,2	330,2	385,0	341,7
Finlandia	335,4	348,5	280,6	272,3	349,2	192,5	204,8	187,5	206,7
Francia	450,2	324,9	341,1	382,0	317,7	231,0	215,2	240,3	183,7
Croazia	378,9	245,1	290,4	306,2	216,3	232,0	230,9	199,1	143,3
Ungheria	1.003,5	819,8	750,8	609,8	564,2	586,6	556,3	535,8	512,8
Irlanda	757,9	743,4	657,9	599,4	472,7	422,8	420,3	386,0	338,2
Italia	575,9	546,9	497,8	477,7	391,0	324,6	311,9	307,7	289,9
Lituania	326,2	285,5	282,0	286,9	255,5	170,1	124,2	81,5	77,0
Lussemburgo	2.777,6	1.868,2	417,8	345,6	339,7	274,0	196,3	170,0	158,7
Lettonia	89,5	84,7	91,8	73,0	107,3	135,5	118,3	76,5	140,3
Malta	1.605,0	977,9	838,6	883,9	883,8	653,7	652,7	430,1	358,8
Paesi Bassi	597,8	545,8	490,7	476,2	419,6	502,3	472,9	437,4	416,8
Polonia	822,3	788,3	768,2	742,3	716,2	666,3	651,0	641,4	639,9
Portogallo	536,0	590,1	495,6	525,3	262,9	358,1	297,0	370,2	306,0
Romania	262,8	431,8	446,6	460,2	469,0	389,9	362,9	394,7	384,0
Svezia	22,6	44,4	37,8	43,1	55,9	26,6	32,1	32,6	35,4
Slovenia	589,2	535,7	494,9	547,4	481,7	405,7	383,9	411,6	379,2
Slovacchia	626,6	522,5	470,0	447,5	333,6	326,3	288,5	294,8	314,9
Regno Unito	870,7	765,5	628,2	639,4	559,8	481,2	378,3	335,3	310,1

Tabella A1.21 – *Rendimento totale del parco termoelettrico.*

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	0,438	0,445	0,469	0,484	0,498	0,493	0,509	0,512	0,514
Austria	0,468	0,461	0,551	0,558	0,602	0,598	0,623	0,611	0,619
Belgio	0,392	0,415	0,490	0,480	0,548	0,548	0,561	0,565	0,564
Bulgaria	0,496	0,469	0,443	0,418	0,441	0,446	0,452	0,433	0,426
Cipro	0,326	0,332	0,326	0,346	0,379	0,385	0,382	0,388	0,385
Rep. Ceca	0,462	0,455	0,475	0,457	0,465	0,474	0,484	0,502	0,498
Germania	0,435	0,436	0,454	0,472	0,481	0,478	0,483	0,493	0,500
Danimarca	0,577	0,608	0,644	0,712	0,713	0,795	0,754	0,776	0,770
Estonia	0,533	0,410	0,408	0,423	0,430	0,408	0,445	0,431	0,426
Grecia	0,324	0,353	0,368	0,372	0,366	0,390	0,445	0,416	0,400
Spagna	0,366	0,369	0,408	0,454	0,487	0,428	0,438	0,435	0,430
Finlandia	0,676	0,667	0,749	0,757	0,714	0,789	0,795	0,786	0,759
Francia	0,381	0,397	0,575	0,540	0,437	0,497	0,528	0,530	0,533
Croazia	0,506	0,532	0,481	0,497	0,545	0,534	0,530	0,578	0,593
Ungheria	0,411	0,441	0,499	0,504	0,514	0,488	0,508	0,504	0,509
Irlanda	0,382	0,385	0,403	0,427	0,461	0,467	0,476	0,476	0,492
Italia	0,408	0,414	0,419	0,484	0,504	0,520	0,531	0,537	0,536
Lituania	0,682	0,725	0,683	0,691	0,675	0,763	0,780	0,821	0,849
Lussemburgo	0,254	0,255	0,370	0,602	0,602	0,617	0,669	0,678	0,693
Lettonia	0,809	0,783	0,773	0,838	0,842	0,776	0,809	0,784	0,753
Malta	0,188	0,290	0,331	0,315	0,314	0,394	0,362	0,451	0,510
Paesi Bassi	0,484	0,537	0,578	0,568	0,591	0,565	0,567	0,580	0,583
Polonia	0,486	0,460	0,463	0,473	0,470	0,471	0,477	0,483	0,488
Portogallo	0,389	0,392	0,437	0,468	0,515	0,470	0,474	0,483	0,483
Romania	0,469	0,537	0,537	0,523	0,517	0,519	0,527	0,513	0,494
Svezia	0,864	0,857	0,816	0,808	0,821	0,823	0,824	0,802	0,804
Slovenia	0,378	0,409	0,450	0,442	0,451	0,518	0,535	0,525	0,526
Slovacchia	0,475	0,434	0,475	0,533	0,551	0,533	0,554	0,567	0,556
Regno Unito	0,374	0,389	0,430	0,424	0,441	0,419	0,463	0,465	0,467

Tabella A1.22 – Rendimento elettrico del parco termoelettrico.

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	0,329	0,348	0,378	0,380	0,389	0,383	0,394	0,399	0,397
Austria	0,369	0,340	0,381	0,394	0,402	0,349	0,357	0,363	0,366
Belgio	0,358	0,382	0,417	0,420	0,447	0,449	0,459	0,476	0,476
Bulgaria	0,229	0,237	0,291	0,277	0,296	0,309	0,308	0,315	0,322
Cipro	0,326	0,332	0,326	0,346	0,379	0,384	0,380	0,387	0,384
Rep. Ceca	0,276	0,258	0,316	0,298	0,296	0,313	0,320	0,335	0,337
Germania	0,328	0,346	0,378	0,378	0,387	0,392	0,395	0,400	0,399
Danimarca	0,362	0,361	0,348	0,357	0,350	0,297	0,306	0,292	0,296
Estonia	0,297	0,294	0,300	0,335	0,350	0,309	0,346	0,343	0,325
Grecia	0,324	0,353	0,366	0,368	0,361	0,384	0,438	0,411	0,394
Spagna	0,365	0,369	0,408	0,454	0,487	0,428	0,438	0,435	0,430
Finlandia	0,397	0,406	0,389	0,365	0,372	0,352	0,346	0,338	0,358
Francia	0,381	0,357	0,343	0,317	0,314	0,343	0,375	0,387	0,367
Croazia	0,305	0,292	0,319	0,342	0,370	0,331	0,344	0,368	0,351
Ungheria	0,234	0,293	0,298	0,331	0,343	0,347	0,356	0,371	0,372
Irlanda	0,382	0,385	0,403	0,427	0,461	0,467	0,476	0,476	0,492
Italia	0,408	0,414	0,419	0,399	0,405	0,397	0,406	0,415	0,409
Lituania	0,360	0,117	0,214	0,240	0,262	0,330	0,258	0,219	0,192
Lussemburgo	0,254	0,255	0,243	0,475	0,474	0,391	0,293	0,281	0,271
Lettonia	0,208	0,150	0,218	0,229	0,333	0,311	0,311	0,344	0,380
Malta	0,188	0,290	0,331	0,315	0,314	0,394	0,362	0,451	0,510
Paesi Bassi	0,419	0,395	0,409	0,410	0,442	0,433	0,444	0,456	0,462
Polonia	0,258	0,315	0,334	0,338	0,342	0,351	0,354	0,356	0,362
Portogallo	0,382	0,385	0,416	0,427	0,426	0,398	0,403	0,425	0,411
Romania	0,199	0,220	0,252	0,286	0,294	0,321	0,319	0,329	0,324
Svezia	0,295	0,268	0,234	0,235	0,276	0,233	0,235	0,235	0,235
Slovenia	0,282	0,303	0,332	0,329	0,334	0,373	0,393	0,382	0,376
Slovacchia	0,296	0,266	0,326	0,306	0,272	0,280	0,284	0,288	0,319
Regno Unito	0,374	0,389	0,430	0,424	0,441	0,419	0,463	0,465	0,467

Tabella A1.23 – *Rendimento elettrico dopo scorporo dell'energia dei combustibili destinati alla produzione di calore nel parco termoelettrico.*

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	0,406	0,414	0,441	0,453	0,469	0,464	0,480	0,484	0,484
Austria	0,453	0,424	0,487	0,498	0,540	0,509	0,533	0,529	0,535
Belgio	0,376	0,399	0,447	0,457	0,510	0,527	0,541	0,550	0,551
Bulgaria	0,381	0,393	0,379	0,346	0,364	0,372	0,373	0,366	0,368
Cipro	0,326	0,332	0,326	0,346	0,379	0,384	0,381	0,388	0,385
Rep. Ceca	0,381	0,386	0,411	0,402	0,445	0,454	0,465	0,482	0,479
Germania	0,371	0,381	0,417	0,431	0,443	0,444	0,449	0,459	0,459
Danimarca	0,563	0,565	0,572	0,682	0,681	0,756	0,708	0,727	0,704
Estonia	0,556	0,393	0,358	0,383	0,388	0,353	0,393	0,388	0,378
Grecia	0,324	0,353	0,368	0,371	0,366	0,391	0,446	0,417	0,401
Spagna	0,366	0,369	0,408	0,454	0,487	0,428	0,438	0,435	0,430
Finlandia	0,575	0,586	0,674	0,685	0,620	0,710	0,708	0,715	0,685
Francia	0,381	0,384	0,439	0,439	0,384	0,439	0,478	0,485	0,481
Croazia	0,394	0,415	0,410	0,435	0,493	0,448	0,457	0,535	0,548
Ungheria	0,316	0,368	0,404	0,429	0,438	0,434	0,451	0,456	0,461
Irlanda	0,382	0,385	0,403	0,427	0,461	0,467	0,476	0,476	0,492
Italia	0,410	0,416	0,426	0,460	0,484	0,495	0,511	0,519	0,517
Lituania	0,683	0,713	0,675	0,646	0,663	0,741	0,720	0,738	0,736
Lussemburgo	0,254	0,255	0,324	0,555	0,556	0,546	0,550	0,549	0,557
Lettonia	0,805	0,783	0,776	0,837	0,844	0,781	0,819	0,798	0,752
Malta	0,188	0,290	0,331	0,315	0,314	0,394	0,362	0,451	0,510
Paesi Bassi	0,471	0,518	0,545	0,532	0,567	0,533	0,543	0,561	0,567
Polonia	0,426	0,443	0,450	0,458	0,457	0,457	0,465	0,469	0,474
Portogallo	0,387	0,392	0,432	0,454	0,485	0,441	0,445	0,461	0,455
Romania	0,749	0,508	0,488	0,443	0,423	0,436	0,444	0,438	0,421
Svezia	0,826	0,820	0,774	0,775	0,807	0,791	0,799	0,773	0,770
Slovenia	0,373	0,398	0,407	0,404	0,411	0,471	0,492	0,481	0,475
Slovacchia	0,453	0,407	0,448	0,488	0,528	0,498	0,521	0,537	0,537
Regno Unito	0,377	0,392	0,435	0,424	0,441	0,419	0,463	0,465	0,467

Tabella A1.24 – *Rendimento totale delle centrali termoelettriche cogenerative.*

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	0,558	0,578	0,619	0,630	0,615	0,609	0,617	0,619	0,623
Austria	0,525	0,545	0,727	0,758	0,769	0,783	0,796	0,786	0,793
Belgio	0,464	0,550	0,881	0,709	0,813	0,690	0,693	0,699	0,686
Bulgaria	0,598	0,611	0,622	0,623	0,759	0,800	0,813	0,831	0,809
Cipro				0,416	0,514	0,762	0,760	0,712	0,735
Rep. Ceca	0,665	0,594	0,683	0,606	0,491	0,500	0,509	0,525	0,518
Germania	0,915	0,989	0,806	0,726	0,703	0,688	0,682	0,677	0,719
Danimarca	0,596	0,630	0,660	0,712	0,715	0,796	0,754	0,777	0,770
Estonia	0,533	0,410	0,668	0,715	0,801	0,802	0,822	0,755	0,719
Grecia	0,434	0,416	0,443	0,407	0,387	0,346	0,338	0,373	0,350
Spagna	0,372	0,328	0,680	0,704	0,596	0,636	0,671	0,661	0,648
Finlandia	0,825	0,802	0,848	0,838	0,856	0,863	0,872	0,845	0,839
Francia	0,589	0,554		0,779	0,634	0,665	0,691	0,692	0,695
Croazia	0,753	0,690	0,637	0,656	0,674	0,727	0,703	0,655	0,660
Ungheria	0,712	0,753	0,777	0,759	0,792	0,705	0,722	0,713	0,708
Irlanda	0,337	0,355	0,404	0,464	0,579	0,608	0,630	0,624	0,636
Italia	0,496	0,537	0,505	0,583	0,578	0,610	0,609	0,609	0,604
Lituania	0,682	0,725	0,683	0,691	0,675	0,763	0,780	0,821	0,849
Lussemburgo		0,352	0,458	0,886	0,870	0,798	0,810	0,814	0,820
Lettonia	0,809	0,783	0,773	0,839	0,844	0,776	0,809	0,784	0,753
Malta									
Paesi Bassi	0,484	0,547	0,659	0,686	0,672	0,684	0,680	0,682	0,671
Polonia	0,486	0,460	0,463	0,479	0,472	0,473	0,479	0,485	0,489
Portogallo	0,432	0,416	0,565	0,663	0,715	0,677	0,667	0,657	0,659
Romania	0,459	0,600	0,622	0,656	0,698	0,739	0,727	0,724	0,710
Svezia	0,872	0,863	0,829	0,820	0,826	0,824	0,825	0,803	0,805
Slovenia	0,395	0,427	0,459	0,452	0,455	0,519	0,536	0,525	0,725
Slovacchia	0,532	0,489	0,545	0,561	0,564	0,541	0,562	0,574	0,564
Regno Unito	0,301	0,348	0,470	0,501	0,495	0,293	0,367	0,389	0,381

Tabella A1.25 – Rendimento elettrico delle centrali cogenerative.

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	0,257	0,293	0,332	0,349	0,357	0,355	0,361	0,368	0,369
Austria	0,338	0,339	0,303	0,314	0,352	0,313	0,342	0,313	0,327
Belgio	0,343	0,413	0,429	0,416	0,482	0,459	0,472	0,496	0,491
Bulgaria	0,164	0,170	0,219	0,220	0,222	0,212	0,223	0,247	0,275
Cipro				0,416	0,504	0,597	0,600	0,561	0,584
Rep. Ceca	0,170	0,159	0,277	0,247	0,288	0,308	0,311	0,329	0,329
Germania	0,000	0,000	0,000	0,340	0,361	0,385	0,389	0,396	0,399
Danimarca	0,361	0,354	0,344	0,357	0,350	0,297	0,306	0,292	0,296
Estonia	0,297	0,294	0,189	0,202	0,252	0,228	0,224	0,245	0,209
Grecia	0,434	0,416	0,403	0,381	0,369	0,327	0,318	0,351	0,329
Spagna	0,368	0,328	0,680	0,704	0,596	0,636	0,671	0,661	0,648
Finlandia	0,410	0,418	0,386	0,363	0,356	0,346	0,338	0,332	0,351
Francia	0,589	0,174	0,306	0,269	0,268	0,296	0,297	0,302	0,306
Croazia	0,196	0,226	0,245	0,306	0,362	0,264	0,291	0,368	0,325
Ungheria	0,138	0,130	0,197	0,329	0,332	0,323	0,324	0,354	0,348
Irlanda	0,337	0,355	0,404	0,464	0,579	0,608	0,630	0,624	0,636
Italia	0,496	0,537	0,505	0,372	0,384	0,377	0,385	0,392	0,385
Lituania	0,360	0,117	0,214	0,240	0,262	0,330	0,258	0,219	0,192
Lussemburgo		0,352	0,278	0,304	0,302	0,295	0,302	0,278	0,266
Lettonia	0,208	0,150	0,218	0,229	0,333	0,311	0,311	0,344	0,380
Malta									
Paesi Bassi	0,419	0,401	0,378	0,422	0,428	0,408	0,408	0,421	0,421
Polonia	0,258	0,315	0,334	0,336	0,340	0,350	0,353	0,354	0,361
Portogallo	0,358	0,372	0,427	0,401	0,394	0,385	0,381	0,377	0,368
Romania	0,189	0,205	0,217	0,254	0,258	0,263	0,248	0,269	0,264
Svezia	0,294	0,266	0,232	0,233	0,276	0,233	0,235	0,235	0,235
Slovenia	0,288	0,305	0,326	0,326	0,328	0,374	0,394	0,382	0,276
Slovacchia	0,293	0,242	0,338	0,311	0,267	0,275	0,279	0,285	0,313
Regno Unito	0,301	0,348	0,470	0,501	0,495	0,293	0,367	0,389	0,381

Tabella A1.26 – *Rendimento elettrico dopo scorporo dell'energia dei combustibili destinati alla produzione di calore nelle centrali termoelettriche cogenerative.*

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	0,542	0,551	0,605	0,619	0,600	0,592	0,602	0,605	0,606
Austria	0,521	0,511	0,661	0,719	0,755	0,767	0,785	0,777	0,784
Belgio	0,413	0,502	0,730	0,686	0,815	0,699	0,702	0,716	0,703
Bulgaria	0,464	0,691	0,575	0,514	0,725	0,779	0,787	0,813	0,768
Cipro				0,416	0,510	0,757	0,759	0,705	0,735
Rep. Ceca	0,648	0,595	0,677	0,594	0,481	0,489	0,498	0,514	0,505
Germania				0,681	0,659	0,652	0,651	0,650	0,680
Danimarca	0,590	0,593	0,591	0,682	0,684	0,757	0,709	0,728	0,705
Estonia	0,556	0,393	0,684	0,728	0,796	0,799	0,818	0,752	0,722
Grecia	0,439	0,416	0,443	0,409	0,388	0,346	0,336	0,373	0,350
Spagna	0,373	0,329	0,682	0,704	0,596	0,636	0,671	0,661	0,648
Finlandia	0,760	0,765	0,843	0,835	0,856	0,858	0,863	0,840	0,836
Francia	0,589	0,543	0,893	0,743	0,588	0,622	0,664	0,670	0,689
Croazia	0,529	0,530	0,528	0,594	0,650	0,655	0,644	0,642	0,648
Ungheria	0,877	0,951	0,813	0,759	0,797	0,704	0,723	0,716	0,707
Irlanda	0,337	0,355	0,404	0,464	0,579	0,608	0,630	0,624	0,636
Italia	0,522	0,556	0,548	0,555	0,564	0,604	0,608	0,609	0,603
Lituania	0,683	0,713	0,675	0,646	0,663	0,741	0,720	0,738	0,736
Lussemburgo		0,352	0,430	0,897	0,877	0,805	0,818	0,817	0,817
Lettonia	0,805	0,783	0,776	0,839	0,848	0,781	0,819	0,798	0,752
Malta						0,650			
Paesi Bassi	0,472	0,530	0,645	0,683	0,669	0,672	0,683	0,695	0,682
Polonia	0,426	0,443	0,450	0,465	0,459	0,460	0,467	0,471	0,476
Portogallo	0,420	0,422	0,563	0,648	0,703	0,637	0,618	0,604	0,607
Romania	0,711	0,703	0,692	0,639	0,647	0,714	0,701	0,699	0,670
Svezia	0,846	0,837	0,815	0,815	0,822	0,793	0,801	0,774	0,772
Slovenia	0,395	0,420	0,411	0,411	0,412	0,472	0,493	0,482	0,735
Slovacchia	0,547	0,494	0,544	0,528	0,552	0,509	0,534	0,548	0,549
Regno Unito	0,464	0,433	0,556	0,501	0,495	0,293	0,367	0,389	0,381

Tabella A1.27 – Rendimento elettrico delle centrali termoelettriche non cogenerative.

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	0,370	0,376	0,399	0,398	0,412	0,405	0,421	0,424	0,421
Austria	0,404	0,342	0,433	0,441	0,448	0,390	0,379	0,418	0,412
Belgio	0,365	0,373	0,415	0,421	0,431	0,442	0,448	0,460	0,463
Bulgaria	0,333	0,311	0,334	0,307	0,323	0,338	0,336	0,332	0,333
Cipro	0,326	0,332	0,326	0,346	0,378	0,382	0,379	0,386	0,382
Rep. Ceca	0,339	0,340	0,341	0,339	0,337	0,339	0,365	0,371	0,382
Germania	0,371	0,381	0,417	0,391	0,397	0,395	0,397	0,402	0,399
Danimarca	0,370	0,417	0,417	0,305	0,296	0,235	0,259	0,272	0,264
Estonia			0,332	0,363	0,366	0,326	0,370	0,364	0,353
Grecia	0,322	0,352	0,363	0,365	0,359	0,411	0,497	0,432	0,421
Spagna	0,365	0,374	0,369	0,421	0,466	0,390	0,390	0,393	0,381
Finlandia	0,371	0,380	0,401	0,371	0,408	0,386	0,391	0,377	0,388
Francia	0,378	0,378	0,362	0,354	0,337	0,377	0,424	0,436	0,412
Croazia	0,366	0,363	0,372	0,370	0,381	0,383	0,387	0,368	0,418
Ungheria	0,277	0,344	0,351	0,332	0,350	0,361	0,376	0,381	0,387
Irlanda	0,383	0,385	0,403	0,426	0,454	0,455	0,464	0,464	0,480
Italia	0,401	0,398	0,393	0,417	0,428	0,419	0,433	0,445	0,442
Lituania									
Lussemburgo	0,254	0,233	0,158	0,522	0,524	0,469	0,270	0,287	0,287
Lettonia				0,126	0,322				
Malta	0,188	0,290	0,331	0,315	0,314	0,393	0,197	0,319	0,391
Paesi Bassi	0,427	0,205	0,457	0,393	0,465	0,456	0,474	0,487	0,501
Polonia		0,400	0,282	0,375	0,395	0,394	0,407	0,413	0,414
Portogallo	0,384	0,388	0,414	0,432	0,438	0,402	0,410	0,437	0,425
Romania		0,279	0,336	0,332	0,331	0,363	0,374	0,370	0,361
Svezia	0,314	0,396	0,301	0,325	0,326	0,331	0,331	0,237	0,313
Slovenia	0,230	0,287	0,380	0,355	0,405	0,259	0,266	0,259	0,426
Slovacchia	0,303	0,317	0,296	0,262	0,350	0,380	0,385	0,370	0,420
Regno Unito	0,369	0,381	0,418	0,418	0,437	0,432	0,472	0,474	0,476

Tabella A1.28 – *Rendimento totale del parco elettrico.*

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	0,427	0,431	0,447	0,457	0,479	0,490	0,502	0,506	0,512
Austria	0,691	0,694	0,778	0,743	0,780	0,811	0,829	0,820	0,828
Belgio	0,359	0,371	0,397	0,398	0,429	0,476	0,442	0,449	0,483
Bulgaria	0,458	0,430	0,409	0,404	0,438	0,449	0,446	0,432	0,430
Cipro	0,326	0,332	0,326	0,346	0,381	0,404	0,400	0,407	0,406
Rep. Ceca	0,443	0,441	0,456	0,429	0,434	0,443	0,454	0,466	0,459
Germania	0,413	0,417	0,428	0,452	0,471	0,506	0,511	0,532	0,541
Danimarca	0,581	0,613	0,661	0,733	0,737	0,843	0,802	0,827	0,820
Estonia	0,533	0,410	0,408	0,424	0,435	0,422	0,456	0,443	0,437
Grecia	0,338	0,377	0,390	0,402	0,412	0,471	0,522	0,486	0,486
Spagna	0,396	0,393	0,425	0,471	0,523	0,480	0,494	0,472	0,492
Finlandia	0,551	0,567	0,603	0,609	0,616	0,638	0,643	0,644	0,632
Francia	0,374	0,378	0,393	0,385	0,378	0,386	0,397	0,397	0,401
Croazia	0,603	0,680	0,638	0,645	0,724	0,717	0,712	0,722	0,767
Ungheria	0,381	0,400	0,437	0,439	0,445	0,418	0,428	0,427	0,429
Irlanda	0,402	0,401	0,420	0,450	0,497	0,549	0,545	0,557	0,586
Italia	0,433	0,443	0,449	0,494	0,523	0,545	0,553	0,555	0,564
Lituania	0,463	0,435	0,447	0,459	0,754	0,891	0,925	0,969	0,987
Lussemburgo									
Lettonia	0,867	0,848	0,845	0,892	0,887	0,810	0,843	0,858	0,800
Malta	0,188	0,290	0,331	0,315	0,314	0,412	0,401	0,477	0,536
Paesi Bassi	0,476	0,528	0,568	0,562	0,589	0,572	0,576	0,595	0,601
Polonia	0,492	0,467	0,470	0,480	0,477	0,488	0,496	0,505	0,506
Portogallo	0,485	0,461	0,511	0,504	0,643	0,587	0,624	0,579	0,612
Romania	0,491	0,573	0,560	0,565	0,544	0,564	0,576	0,555	0,552
Svezia	0,531	0,540	0,579	0,549	0,604	0,598	0,601	0,598	0,595
Slovenia	0,414	0,434	0,463	0,442	0,486	0,514	0,530	0,510	0,525
Slovacchia	0,430	0,430	0,425	0,435	0,466	0,443	0,458	0,462	0,463
Regno Unito	0,370	0,378	0,410	0,409	0,443	0,459	0,492	0,506	0,516

Tabella A1.29 – *Rendimento elettrico del parco elettrico.*

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	0,359	0,374	0,394	0,395	0,415	0,430	0,439	0,443	0,449
Austria	0,631	0,623	0,688	0,639	0,654	0,672	0,687	0,681	0,689
Belgio	0,347	0,358	0,370	0,375	0,389	0,431	0,409	0,419	0,446
Bulgaria	0,268	0,283	0,326	0,325	0,345	0,366	0,362	0,360	0,370
Cipro	0,326	0,332	0,326	0,346	0,381	0,403	0,399	0,406	0,405
Rep. Ceca	0,291	0,279	0,327	0,316	0,319	0,337	0,341	0,357	0,357
Germania	0,337	0,355	0,378	0,390	0,406	0,444	0,447	0,465	0,470
Danimarca	0,368	0,369	0,378	0,405	0,403	0,463	0,443	0,453	0,452
Estonia	0,297	0,294	0,300	0,337	0,355	0,325	0,358	0,357	0,337
Grecia	0,338	0,377	0,388	0,398	0,409	0,465	0,516	0,480	0,481
Spagna	0,396	0,393	0,425	0,471	0,523	0,480	0,494	0,472	0,492
Finlandia	0,419	0,429	0,422	0,404	0,410	0,434	0,429	0,432	0,437
Francia	0,374	0,375	0,368	0,356	0,363	0,371	0,380	0,379	0,384
Croazia	0,441	0,516	0,524	0,534	0,616	0,590	0,595	0,579	0,627
Ungheria	0,275	0,309	0,311	0,331	0,347	0,352	0,357	0,364	0,365
Irlanda	0,402	0,401	0,420	0,450	0,497	0,549	0,545	0,557	0,586
Italia	0,433	0,443	0,449	0,420	0,441	0,451	0,457	0,460	0,467
Lituania	0,338	0,283	0,300	0,312	0,360	0,514	0,506	0,518	0,479
Lussemburgo									
Lettonia	0,448	0,403	0,468	0,487	0,520	0,415	0,435	0,568	0,497
Malta	0,188	0,290	0,331	0,315	0,314	0,412	0,400	0,477	0,536
Paesi Bassi	0,415	0,394	0,409	0,413	0,449	0,452	0,464	0,482	0,492
Polonia	0,264	0,323	0,342	0,346	0,350	0,372	0,377	0,382	0,385
Portogallo	0,480	0,456	0,493	0,466	0,580	0,532	0,574	0,532	0,559
Romania	0,232	0,282	0,332	0,385	0,401	0,445	0,454	0,444	0,452
Svezia	0,497	0,470	0,503	0,462	0,474	0,488	0,481	0,484	0,480
Slovenia	0,365	0,383	0,410	0,391	0,430	0,455	0,471	0,451	0,464
Slovacchia	0,339	0,347	0,372	0,354	0,358	0,353	0,362	0,361	0,377
Regno Unito	0,370	0,378	0,410	0,409	0,443	0,459	0,492	0,506	0,516

Tabella A1.30 – *Contenuto di energia dei combustibili utilizzati nel settore termoelettrico nei principali Paesi europei (ktep).*

Combustibile	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28									
Antracite, BKB	1.332	539	611	4.996	3.363	3.494	1.897	1.654	1.536
Carbone e altri solidi	164.446	148.217	136.405	137.938	112.636	105.130	89.548	82.287	73.628
Lignite	98.229	85.756	81.791	83.043	76.324	74.777	70.552	70.833	68.251
Coke	289	-	-	-	1	3	-	-	0
Prodotti petroliferi	61.030	58.729	45.133	39.584	28.083	20.460	20.064	19.581	18.367
<i>di cui torba e scisto</i>	<i>5.818</i>	<i>4.575</i>	<i>3.952</i>	<i>4.381</i>	<i>5.344</i>	<i>3.908</i>	<i>3.973</i>	<i>4.024</i>	<i>4.103</i>
Gas naturale	49.138	60.959	94.327	126.582	140.539	88.931	106.309	114.260	108.100
Gas derivati	8.006	6.964	8.420	8.911	8.535	8.538	8.293	8.385	8.274
Biomasse	2.172	3.648	5.456	12.451	19.568	24.354	24.460	25.198	26.383
Bioliquidi	-	-	-	419	908	1.057	1.005	959	961
Biogas	334	795	1.744	3.333	6.931	12.318	12.646	12.769	12.696
Rifiuti rinnovabili	1.245	2.069	3.021	4.917	6.561	8.091	8.507	8.682	8.681
Rifiuti non rinnovabili	1.952	3.339	4.353	5.680	7.301	8.879	9.845	9.715	9.671
Totale	388.173	371.015	381.259	427.855	410.751	356.030	353.126	354.322	336.549
Germania									
Antracite, BKB	1.092	465	404	2.005	1.940	2.055	782	747	1.060
Carbone e altri solidi	33.504	35.184	32.549	29.006	25.514	24.446	24.585	19.748	17.386
Lignite	46.057	35.907	34.157	34.688	32.310	34.404	33.274	32.812	32.124
Coke	289	-	-	-	-	-	-	-	-
Prodotti petroliferi	3.342	2.369	1.421	2.449	1.677	1.265	1.212	1.190	1.016
<i>di cui torba e scisto</i>	<i>-</i>								
Gas naturale	10.614	10.273	11.095	15.886	17.700	11.940	15.210	16.116	15.496
Gas derivati	2.430	1.742	1.796	2.024	2.272	2.314	2.449	2.486	2.409
Biomasse	111	386	330	1.769	2.648	3.040	2.902	2.853	2.954
Bioliquidi	-	-	-	19	196	74	70	72	78
Biogas	152	255	439	673	3.116	5.631	5.699	5.691	5.719
Rifiuti rinnovabili	562	588	709	1.371	1.821	2.147	2.318	2.341	2.222
Rifiuti non rinnovabili	1.000	1.437	1.681	1.371	2.434	2.663	2.865	2.848	2.543
Totale	99.151	88.606	84.581	91.262	91.628	89.980	91.365	86.905	83.008

Tabella A1.30 - segue

Combustibile	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
Spagna									
Antracite, BKB	153	-	-	1.770	89	1.078	693	532	218
Carbone e altri solidi	10.733	13.360	16.751	14.678	5.483	10.790	8.031	10.298	9.127
Lignite	3.103	1.833	1.480	1.178	-	-	-	-	-
Coke	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prodotti petroliferi	2.193	3.692	4.497	5.302	3.506	3.562	3.420	3.240	2.977
<i>di cui torba e scisto</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gas naturale	273	753	2.685	10.798	14.621	8.260	8.086	9.929	8.979
Gas derivati	216	234	391	342	218	300	237	283	284
Biomasse	56	93	284	732	648	1.203	1.190	1.282	1.254
Bioliquidi	-	-	-	-	-	-	-	-	3
Biogas	-	54	106	277	204	202	193	201	203
Rifiuti rinnovabili	40	93	115	189	174	250	230	253	250
Rifiuti non rinnovabili	48	135	190	189	174	250	230	253	321
Totale	16.815	20.246	26.497	35.456	25.118	25.893	22.310	26.270	23.614
Francia									
Antracite, BKB	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carbone e altri solidi	6.942	5.569	6.473	6.404	4.444	2.784	2.454	3.038	1.999
Lignite	759	529	108	-	-	-	-	-	-
Coke	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prodotti petroliferi	1.641	1.236	1.246	2.897	1.652	1.590	1.687	1.692	1.473
<i>di cui torba e scisto</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gas naturale	437	551	3.000	5.463	6.712	3.835	5.814	6.632	5.159
Gas derivati	923	706	1.002	835	656	733	564	610	604
Biomasse	162	219	168	637	1.279	1.249	1.494	1.484	1.518
Bioliquidi	-	-	-	-	-	1	1	0	0
Biogas	17	19	68	192	375	561	578	587	618
Rifiuti rinnovabili	63	445	620	848	927	960	1.008	1.035	1.070
Rifiuti non rinnovabili	63	445	620	848	952	1.091	1.115	1.130	1.155
Totale	11.008	9.719	13.305	18.124	16.997	12.805	14.715	16.207	13.595
Italia									
Antracite, BKB	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carbone e altri solidi	6.737	5.244	6.044	10.399	9.035	9.801	7.960	7.253	6.404
Lignite	264	43	1	-	-	-	-	-	-
Coke	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prodotti petroliferi	21.531	25.009	18.954	12.079	7.365	4.522	4.315	4.164	4.103
<i>di cui torba e scisto</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gas naturale	8.075	9.375	18.689	28.283	27.855	20.362	22.735	24.986	23.111
Gas derivati	896	859	979	1.302	1.112	608	767	655	652
Biomasse	2	8	106	780	852	1.673	1.747	1.728	1.722
Bioliquidi	-	-	-	-	572	940	905	861	835
Biogas	1	23	131	324	506	1.827	1.831	1.849	1.827
Rifiuti rinnovabili	11	28	86	556	778	846	871	853	847
Rifiuti non rinnovabili	25	45	115	611	818	881	907	889	881
Totale	37.542	40.633	45.105	54.333	48.892	41.460	42.036	43.239	40.382

Tabella A1.30 - segue

Combustibile	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
Polonia									
Antracite, BKB	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carbone e altri solidi	28.852	23.256	22.935	23.535	22.984	19.880	20.246	20.224	20.295
Lignite	13.185	12.622	12.054	12.747	11.397	12.125	11.573	11.861	11.124
Coke	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Prodotti petroliferi	1.248	409	436	565	562	405	432	393	377
<i>di cui torba e scisto</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gas naturale	71	63	299	1.070	973	1.235	1.482	1.798	2.209
Gas derivati	602	425	540	488	792	990	968	913	926
Biomasse	249	22	70	372	1.510	2.249	1.711	1.282	1.314
Bioliquidi	-	-	-	-	0	2	1	1	1
Biogas	-	3	9	13	66	150	173	196	205
Rifiuti rinnovabili	-	-	-	-	-	-	8	34	37
Rifiuti non rinnovabili	124	89	21	13	17	32	96	133	196
Totale	44.330	36.888	36.365	38.803	38.302	37.066	36.689	36.834	36.683
Svezia									
Antracite, BKB	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carbone e altri solidi	537	535	334	282	292	191	123	149	157
Lignite	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coke	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prodotti petroliferi	326	923	409	546	740	178	239	187	271
<i>di cui torba e scisto</i>	52	162	128	226	305	109	120	114	178
Gas naturale	130	272	215	198	700	174	246	102	146
Gas derivati	123	134	225	292	230	185	191	226	229
Biomasse	294	1.107	1.696	2.509	3.344	2.972	3.227	3.434	3.407
Bioliquidi	-	-	-	28	67	10	19	15	22
Biogas	-	15	20	23	13	5	5	5	5
Rifiuti rinnovabili	53	110	137	225	628	844	767	809	756
Rifiuti non rinnovabili	80	165	231	372	439	580	726	765	716
Totale	1.543	3.261	3.266	4.476	6.452	5.139	5.543	5.691	5.707
Regno Unito									
Antracite, BKB	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carbone e altri solidi	47.681	35.966	28.010	31.024	24.427	17.414	7.246	5.241	4.003
Lignite	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coke	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prodotti petroliferi	7.252	4.009	1.288	1.171	1.057	562	523	499	407
<i>di cui torba e scisto</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gas naturale	1.114	11.634	25.117	25.666	29.184	16.455	23.067	22.135	21.157
Gas derivati	554	427	882	971	651	769	532	510	481
Biomasse	-	112	161	950	1.122	3.305	3.303	3.576	4.117
Bioliquidi	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Biogas	134	287	754	1.406	1.786	2.189	2.364	2.383	2.328
Rifiuti rinnovabili	49	118	245	301	426	634	782	829	983
Rifiuti non rinnovabili	29	103	144	540	339	863	1.192	1.020	1.158
Totale	56.812	52.656	56.601	62.028	58.992	42.189	39.009	36.192	34.635

Tabella A1.31 – Produzione lorda di energia elettrica da impianti di combustione per combustibile nei principali Paesi europei (TWh). La produzione totale comprende l'energia elettrica da pompaggi.

Combustibile	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28									
Antracite, BKB	2	1	1	21	13	15	8	6	6
Carbone e altri solidi	659	609	575	581	482	452	383	353	315
Lignite	338	320	344	341	313	314	299	302	292
Coke	1	-	-	-	0	0	-	-	0
Prodotti petroliferi	244	246	195	160	107	79	79	75	71
<i>di cui torba e scisto</i>	20	16	14	17	20	14	15	15	15
Gas naturale	193	268	480	668	765	492	611	664	623
Gas derivati	31	26	34	36	34	33	33	33	33
Biomasse	11	15	20	44	70	91	92	95	99
Bioliquidi	-	-	-	2	5	5	5	5	5
Biogas	1	2	6	13	32	60	61	62	61
Rifiuti rinnovabili	2	4	7	12	17	21	21	22	23
Rifiuti non rinnovabili	5	9	12	14	19	23	26	25	27
Totale	1.487	1.501	1.674	1.892	1.858	1.587	1.618	1.642	1.554
Germania									
Antracite, BKB	1	1	0	9	8	9	3	3	5
Carbone e altri solidi	141	147	143	127	111	110	111	91	80
Lignite	168	141	153	153	145	153	148	147	144
Coke	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Prodotti petroliferi	10	9	5	12	9	6	6	6	5
<i>di cui torba e scisto</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gas naturale	40	43	52	74	90	63	82	88	83
Gas derivati	11	7	7	10	11	12	11	12	11
Biomasse	0	0	1	7	10	11	11	11	11
Bioliquidi	-	-	-	0	1	0	0	0	0
Biogas	0	1	2	4	18	33	34	34	33
Rifiuti rinnovabili	1	1	2	3	5	6	6	6	6
Rifiuti non rinnovabili	4	5	6	3	6	7	7	7	7
Totale	378	356	372	402	413	410	420	404	386

Tabella A1.31 - segue

Combustibile	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
Spagna									
Antracite, BKB	0	-	-	8	0	5	3	2	1
Carbone e altri solidi	48	58	73	65	25	47	33	43	36
Lignite	12	8	6	5	-	-	-	-	-
Coke	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prodotti petroliferi	9	15	23	24	17	17	17	16	14
<i>di cui torba e scisto</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gas naturale	2	4	20	79	95	52	53	64	58
Gas derivati	1	1	2	2	1	1	1	1	1
Biomasse	0	1	1	2	3	4	4	4	4
Bioliquidi	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Biogas	-	0	0	1	1	1	1	1	1
Rifiuti rinnovabili	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Rifiuti non rinnovabili	0	0	1	0	1	1	1	1	1
Totale	71	87	126	187	142	129	114	133	118
Francia									
Antracite, BKB	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carbone e altri solidi	29	22	27	28	23	12	10	13	8
Lignite	2	2	0	-	-	-	-	-	-
Coke	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prodotti petroliferi	9	8	7	8	6	7	7	7	6
<i>di cui torba e scisto</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gas naturale	3	4	12	23	24	21	35	41	31
Gas derivati	4	2	4	3	3	3	2	2	2
Biomasse	1	1	1	1	1	3	3	3	4
Bioliquidi	-	-	-	-	-	0	0	0	0
Biogas	0	0	0	0	1	2	2	2	2
Rifiuti rinnovabili	0	0	1	2	2	2	2	2	2
Rifiuti non rinnovabili	0	0	1	2	2	2	2	2	2
Totale	49	40	53	67	62	51	64	73	58
Italia									
Antracite, BKB	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carbone e altri solidi	31	24	26	44	40	43	36	33	28
Lignite	1	0	0	-	-	-	-	-	-
Coke	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prodotti petroliferi	103	121	86	47	22	13	12	12	11
<i>di cui torba e scisto</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gas naturale	40	47	101	149	153	111	126	140	129
Gas derivati	4	3	4	6	5	2	3	2	2
Biomasse	0	0	0	2	2	4	4	4	4
Bioliquidi	-	-	-	-	3	5	5	4	4
Biogas	0	0	1	1	2	8	8	8	8
Rifiuti rinnovabili	0	0	0	1	2	2	2	2	2
Rifiuti non rinnovabili	0	0	1	1	2	2	3	2	2
Totale	178	196	220	252	230	191	199	209	192

Tabella A1.31 - segue

Combustibile	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
Polonia									
Antracite, BKB	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carbone e altri solidi	76	77	82	87	88	78	79	79	81
Lignite	55	54	53	55	49	53	51	52	49
Coke	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Prodotti petroliferi	2	2	2	3	3	2	2	2	2
<i>di cui torba e scisto</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gas naturale	0	0	1	5	5	6	8	10	13
Gas derivati	1	1	2	1	2	2	3	2	2
Biomasse	0	0	0	1	6	9	7	5	5
Bioliquidi	-	-	-	-	0	0	0	0	0
Biogas	-	0	0	0	0	1	1	1	1
Rifiuti rinnovabili	-	-	-	-	-	-	0	0	0
Rifiuti non rinnovabili	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totale	133	135	141	153	152	151	151	152	154
Svezia									
Antracite, BKB	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carbone e altri solidi	1	2	2	1	1	0	0	0	0
Lignite	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coke	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prodotti petroliferi	1	4	2	2	3	0	1	0	1
<i>di cui torba e scisto</i>	0	0	0	1	1	0	0	0	0
Gas naturale	0	1	0	1	3	0	1	0	0
Gas derivati	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Biomasse	2	2	4	7	10	9	10	10	10
Bioliquidi	-	-	-	0	0	0	0	0	0
Biogas	-	0	0	0	0	0	0	0	0
Rifiuti rinnovabili	0	0	0	1	2	2	2	2	2
Rifiuti non rinnovabili	0	0	0	1	1	1	2	2	2
Totale	5	10	9	12	21	14	15	16	16
Regno Unito									
Antracite, BKB	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carbone e altri solidi	205	154	120	135	108	76	31	23	17
Lignite	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coke	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prodotti petroliferi	35	17	8	5	5	2	2	2	1
<i>di cui torba e scisto</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gas naturale	5	64	148	153	176	95	143	137	131
Gas derivati	2	1	2	2	1	1	1	1	1
Biomasse	-	0	1	3	5	19	20	21	24
Bioliquidi	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Biogas	0	1	3	5	6	6	6	6	6
Rifiuti rinnovabili	0	0	1	1	2	3	3	3	4
Rifiuti non rinnovabili	0	0	1	3	1	4	5	4	5
Totale	247	238	283	306	303	206	210	196	188

Tabella A1.32 – Produzione lorda di elettricità da fonti rinnovabili al netto dell'apporto da pompaggi nei principali Paesi europei (TWh).

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28									
Idroelettrico	290,0	331,9	356,9	313,3	376,9	342,3	351,0	300,2	349,8
Geotermico	3,2	3,5	4,8	5,4	5,6	6,6	6,7	6,7	6,7
Eolico	0,8	4,1	22,2	71,0	150,1	303,5	304,0	361,9	377,4
Solare termico	-	-	-	-	0,8	5,6	5,6	5,9	4,9
Solare fotovoltaico	0,0	0,0	0,1	1,5	22,5	102,8	105,9	113,5	123,0
Mareomotrice	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Bioenergie	14,3	21,4	34,1	70,1	123,7	177,8	179,8	183,7	188,4
Totale	308,9	361,4	418,5	461,7	680,1	939,1	953,4	972,5	1.050,6

Germania									
Idroelettrico	17,4	21,8	21,7	19,6	21,0	19,0	20,5	20,1	18,0
Geotermico	-	-	-	-	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2
Eolico	0,1	1,7	9,4	27,8	38,5	80,6	79,9	105,7	110,0
Solare termico	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Solare fotovoltaico	0,0	0,0	0,1	1,3	11,7	38,7	38,1	39,4	45,8
Mareomotrice	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bioenergie	1,6	2,4	4,3	14,7	33,9	50,3	50,9	50,9	50,9
Totale	19,1	25,9	35,5	63,4	105,2	188,8	189,7	216,3	224,8

Spagna									
Idroelettrico	25,5	23,1	28,3	18,4	42,3	28,1	36,4	18,3	34,3
Geotermico	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eolico	0,0	0,3	4,7	21,2	44,3	49,3	48,9	49,1	50,9
Solare termico	-	-	-	-	0,8	5,6	5,6	5,9	4,9
Solare fotovoltaico	0,0	0,0	0,0	0,0	6,4	8,3	8,1	8,5	7,9
Mareomotrice	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bioenergie	0,5	1,0	1,5	2,7	4,0	5,8	5,7	6,1	5,9
Totale	26,0	24,4	34,5	42,3	97,8	97,1	104,6	87,9	103,9

Francia									
Idroelettrico	53,9	73,1	66,4	51,5	62,7	55,6	60,8	50,0	65,3
Geotermico	-	-	-	-	-	0,1	0,1	0,1	0,1
Eolico	0,0	0,0	0,0	1,0	9,9	21,4	21,4	24,6	28,6
Solare termico	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Solare fotovoltaico	-	0,0	0,0	0,0	0,6	7,8	8,7	9,6	10,6
Mareomotrice	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Bioenergie	1,4	1,8	2,5	3,4	4,4	6,5	7,5	7,8	8,3
Totale	55,8	75,5	69,4	56,3	78,2	91,8	99,0	92,6	113,4

Tabella A1.32 – segue

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	
Italia									
Idroelettrico	31,6	37,8	44,2	36,1	51,1	45,5	42,4	36,2	48,8
Geotermico	3,2	3,4	4,7	5,3	5,4	6,2	6,3	6,2	6,1
Eolico	0,0	0,0	0,6	2,3	9,1	14,8	17,7	17,7	17,7
Solare termico	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Solare fotovoltaico	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	22,9	22,1	24,4	22,7
Mareomotrice	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bioenergie	0,1	0,2	1,4	4,7	9,4	19,4	19,5	19,4	19,2
Totale	34,9	41,5	50,9	48,4	77,0	108,9	108,0	103,9	114,4

Polonia									
Idroelettrico	1,4	1,9	2,1	2,2	2,9	1,8	2,1	2,6	2,0
Geotermico	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eolico	-	0,0	0,0	0,1	1,7	10,9	12,6	14,9	12,8
Solare termico	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Solare fotovoltaico	-	-	-	-	-	0,1	0,1	0,2	0,3
Mareomotrice	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bioenergie	0,1	0,1	0,2	1,5	6,3	9,9	8,0	6,5	6,5
Totale	1,5	2,0	2,3	3,8	10,9	22,7	22,8	24,1	21,6

Svezia									
Idroelettrico	72,5	68,1	78,6	72,8	66,4	75,3	62,0	65,1	62,2
Geotermico	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eolico	0,0	0,1	0,5	0,9	3,5	16,3	15,5	17,6	16,6
Solare termico	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Solare fotovoltaico	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,4
Mareomotrice	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bioenergie	1,9	2,4	4,1	7,5	12,2	10,8	11,5	12,1	11,9
Totale	74,5	70,6	83,1	81,2	82,1	102,5	89,1	95,1	91,2

Regno Unito									
Idroelettrico	5,2	4,8	5,1	4,9	3,6	6,3	5,4	5,9	5,5
Geotermico	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eolico	0,0	0,4	0,9	2,9	10,3	40,3	37,2	49,6	56,9
Solare termico	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Solare fotovoltaico	-	-	0,0	0,0	0,0	7,5	10,4	11,5	12,9
Mareomotrice	-	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bioenergie	0,6	1,6	3,9	9,1	12,3	28,5	28,7	30,0	32,9
Totale	5,8	6,9	10,0	16,9	26,2	82,6	81,6	97,0	108,1

Tabella A1.33 – Altri parametri della produzione e distribuzione di energia elettrica per i principali Paesi europei (TWh).

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28									
Saldo Imp/exp	46	21	23	16	8	14	18	10	28
Produzione elettrica lorda	2.595	2.743	3.035	3.326	3.367	3.240	3.266	3.297	3.277
Consumi ausiliari	162	159	162	173	169	163	165	169	164
Destinata ai pompaggi	28	29	41	48	43	41	41	43	40
Perdite di distribuzione	176	201	217	220	212	208	206	205	209
Consumo interno lordo	2.641	2.764	3.058	3.342	3.374	3.254	3.285	3.307	3.305
Consumi finali	2.161	2.257	2.528	2.783	2.838	2.756	2.789	2.809	2.812
<i>Industria</i>	994	961	1.060	1.131	1.031	1.017	1.030	1.045	1.050
<i>Agricoltura e Pesca</i>	49	40	40	44	51	55	56	57	56
<i>Servizi</i>	444	519	635	740	839	821	827	831	829
<i>Residenziale</i>	609	657	718	802	849	798	811	810	811
<i>Trasporti</i>	62	67	70	64	60	61	62	63	64
<i>Non specificato</i>	4	13	5	3	7	3	3	2	2

Germania									
Saldo Imp/exp	1	5	3	-5	-15	-48	-51	-52	-49
Produzione elettrica lorda	550	537	577	623	633	648	650	654	643
Consumi ausiliari	41	38	38	40	39	38	36	35	34
Destinata ai pompaggi	5	6	6	10	9	8	7	8	8
Perdite di distribuzione	24	25	34	29	24	26	26	27	27
Consumo interno lordo	551	542	580	619	618	600	600	601	594
Consumi finali	455	451	483	523	533	515	518	519	513
<i>Industria</i>	216	205	212	231	229	229	231	232	231
<i>Agricoltura e Pesca</i>	0	0	0	0	6	6	5	5	5
<i>Servizi</i>	88	103	125	138	144	141	142	141	137
<i>Residenziale</i>	137	127	130	141	142	129	128	128	128
<i>Trasporti</i>	14	16	16	13	12	11	12	12	12
<i>Non specificato</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Spagna									
Saldo Imp/exp	0	4	4	-1	-8	0	8	9	11
Produzione elettrica lorda	152	167	224	294	302	281	275	276	274
Consumi ausiliari	7	8	10	12	11	11	10	11	11
Destinata ai pompaggi	1	2	5	6	4	5	5	4	3
Perdite di distribuzione	14	16	19	26	27	27	27	24	25
Consumo interno lordo	152	172	229	293	293	281	282	285	286
Consumi finali	126	141	188	242	245	232	233	239	238
<i>Industria</i>	63	61	86	105	73	76	78	81	79
<i>Agricoltura e Pesca</i>	4	5	5	5	4	6	6	6	5
<i>Servizi</i>	25	30	50	64	84	74	73	75	75
<i>Residenziale</i>	30	36	44	63	76	70	70	71	75
<i>Trasporti</i>	4	4	4	5	3	4	4	4	4
<i>Non specificato</i>	0	6	0	0	4	2	2	2	1

Tabella A1.33 – Segue

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	
Francia									
Saldo Imp/exp	-45	-70	-69	-60	-31	-64	-42	-40	-63
Produzione elettrica lorda	421	494	540	576	569	580	564	562	582
Consumi ausiliari	20	22	24	26	25	24	24	24	24
Destinata ai pompaggi	5	4	7	7	7	7	7	7	7
Perdite di distribuzione	28	30	30	32	35	36	37	39	39
Consumo interno lordo	375	424	470	516	539	515	523	522	519
Consumi finali	302	343	385	423	444	438	446	443	440
<i>Industria</i>	115	124	135	140	117	123	125	124	124
<i>Agricoltura e Pesca</i>	2	3	3	7	8	9	9	9	9
<i>Servizi</i>	81	95	106	125	145	139	140	139	138
<i>Residenziale</i>	97	109	129	138	162	155	161	159	158
<i>Trasporti</i>	7	8	9	10	10	11	11	11	10
<i>Non specificato</i>	0	5	3	2	3	1	1	1	1

Italia									
Saldo Imp/exp	35	37	44	49	44	46	37	38	44
Produzione elettrica lorda	217	241	277	304	302	283	290	296	290
Consumi ausiliari	12	12	13	13	11	11	10	11	10
Destinata ai pompaggi	5	6	9	9	4	2	2	2	2
Perdite di distribuzione	16	18	19	21	21	20	19	19	18
Consumo interno lordo	251	279	321	353	346	329	327	334	334
Consumi finali	215	238	273	301	299	287	286	292	293
<i>Industria</i>	111	120	142	145	128	113	113	116	116
<i>Agricoltura e Pesca</i>	4	4	5	5	6	6	6	6	6
<i>Servizi</i>	40	50	57	74	86	92	92	93	94
<i>Residenziale</i>	53	57	61	67	70	66	64	65	65
<i>Trasporti</i>	7	8	9	10	11	11	11	11	12
<i>Non specificato</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Polonia									
Saldo Imp/exp	-1	-3	-6	-11	-1	0	2	2	6
Produzione elettrica lorda	136	139	145	157	158	165	167	170	170
Consumi ausiliari	13	12	13	13	14	14	15	16	15
Destinata ai pompaggi	3	3	3	2	1	1	1	1	1
Perdite di distribuzione	11	18	14	15	12	11	9	10	9
Consumo interno lordo	135	136	139	146	156	165	169	173	176
Consumi finali	96	90	98	105	119	128	133	136	140
<i>Industria</i>	43	44	40	41	41	49	51	55	56
<i>Agricoltura e Pesca</i>	9	6	5	2	2	2	2	2	2
<i>Servizi</i>	19	17	28	33	44	45	48	47	49
<i>Residenziale</i>	20	18	21	25	29	28	29	29	29
<i>Trasporti</i>	5	5	5	4	3	3	3	3	3
<i>Non specificato</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella A1.33 – Segue

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	
Svezia									
Saldo Imp/exp	-2	-2	5	-7	2	-23	-12	-19	-17
Produzione elettrica lorda	147	148	145	158	149	162	156	164	163
Consumi ausiliari	4	4	4	4	3	3	3	4	4
Destinata ai pompaggi	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Perdite di distribuzione	9	10	11	12	11	7	9	9	11
Consumo interno lordo	145	147	150	151	151	140	144	145	146
Consumi finali	120	125	129	131	131	125	127	127	128
<i>Industria</i>	<i>54</i>	<i>52</i>	<i>57</i>	<i>58</i>	<i>54</i>	<i>50</i>	<i>50</i>	<i>51</i>	<i>51</i>
<i>Agricoltura e Pesca</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>
<i>Servizi</i>	<i>24</i>	<i>26</i>	<i>25</i>	<i>26</i>	<i>27</i>	<i>28</i>	<i>29</i>	<i>28</i>	<i>28</i>
<i>Residenziale</i>	<i>38</i>	<i>42</i>	<i>42</i>	<i>43</i>	<i>46</i>	<i>43</i>	<i>45</i>	<i>45</i>	<i>45</i>
<i>Trasporti</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
<i>Non specificato</i>	<i>0</i>								

Regno Unito									
Saldo Imp/exp	12	16	14	8	3	21	18	15	19
Produzione elettrica lorda	320	334	377	398	382	333	338	336	331
Consumi ausiliari	20	17	16	18	16	17	21	23	24
Destinata ai pompaggi	3	2	3	4	4	4	4	4	3
Perdite di distribuzione	25	27	31	28	27	29	26	27	27
Consumo interno lordo	332	350	391	407	385	354	356	351	350
Consumi finali	274	295	329	349	329	304	304	300	300
<i>Industria</i>	<i>101</i>	<i>101</i>	<i>114</i>	<i>116</i>	<i>105</i>	<i>93</i>	<i>93</i>	<i>92</i>	<i>93</i>
<i>Agricoltura e Pesca</i>	<i>4</i>								
<i>Servizi</i>	<i>71</i>	<i>80</i>	<i>90</i>	<i>99</i>	<i>97</i>	<i>94</i>	<i>94</i>	<i>93</i>	<i>92</i>
<i>Residenziale</i>	<i>94</i>	<i>102</i>	<i>112</i>	<i>126</i>	<i>119</i>	<i>108</i>	<i>108</i>	<i>105</i>	<i>105</i>
<i>Trasporti</i>	<i>5</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>4</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>5</i>	<i>5</i>	<i>5</i>
<i>Non specificato</i>	<i>0</i>								

APPENDICE 2

Tabella A2.1 – *Contenuto di energia dei combustibili per la generazione di calore da impianti dedicati (ktep).*

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	25.694	20.793	19.276	19.758	21.802	19.154	19.931	20.295	19.356
Austria	335	423	547	602	869	950	981	1.032	924
Belgio	9	6	39	20	5	8	3	3	3
Bulgaria	2.803	1.419	324	368	304	225	235	255	231
Cipro	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rep. Ceca	1.186	1.379	956	898	940	652	713	719	704
Germania	-	1.985	1.198	3.747	4.324	3.576	3.535	3.533	2.848
Danimarca	832	626	416	476	763	958	989	909	954
Estonia	1.542	499	451	487	445	301	383	417	352
Grecia	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Spagna	-								
Finlandia	662	567	1.070	1.268	1.585	1.406	1.680	1.482	1.567
Francia	510	199	156	308	1.670	1.789	1.955	1.972	2.003
Croazia	78	72	83	104	98	68	67	52	50
Ungheria	1.158	785	471	624	467	783	738	767	717
Irlanda	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Italia	-	-	-	-	110	128	137	386	423
Lituania	1.818	1.074	652	518	498	557	572	608	591
Lussemburgo	-	-	1	3	4	6	8	11	11
Lettonia	2.560	891	570	476	356	203	228	448	426
Malta	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Paesi Bassi	274	958	1.343	1.331	603	486	452	400	254
Polonia	10.560	5.997	4.167	3.450	3.722	2.670	2.853	2.794	2.756
Portogallo	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Romania	-	1.834	1.740	826	688	477	373	463	547
Svezia	1.039	1.169	1.136	1.268	1.483	1.164	1.212	1.169	1.178
Slovenia	65	76	80	89	57	44	41	51	47
Slovacchia	265	835	675	715	496	325	312	287	262
Regno Unito	-	-	3.201	2.181	2.314	2.379	2.464	2.537	2.509

Tabella A2.2 – Calore prodotto da impianti dedicati (TWh).

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	227,2	200,0	185,0	183,4	203,4	180,0	189,5	192,4	187,2
Austria	3,1	4,4	5,1	5,4	8,0	9,3	9,4	9,9	9,1
Belgio	0,1	0,0	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bulgaria	28,4	15,3	3,6	3,6	3,3	2,4	2,4	2,7	2,5
Cipro	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rep. Ceca	10,3	13,5	9,7	8,7	9,9	6,7	7,3	7,4	7,3
Germania	-	22,2	12,4	34,1	38,8	31,0	31,3	31,3	27,6
Danimarca	8,7	6,7	4,2	5,1	8,4	10,8	11,1	10,3	10,8
Estonia	15,1	5,1	4,4	4,8	4,2	2,8	3,3	3,6	3,1
Grecia	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Spagna	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Finlandia	6,9	6,5	10,7	12,9	16,3	14,4	17,1	14,8	15,8
Francia	2,8	0,9	0,9	1,7	16,6	17,4	19,0	18,6	19,3
Croazia	0,7	0,7	0,8	1,0	0,9	0,6	0,6	0,5	0,5
Ungheria	9,5	7,0	5,0	6,1	4,2	8,3	7,9	8,2	7,5
Irlanda	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Italia	-	-	-	-	0,8	1,0	1,1	3,8	4,1
Lituania	16,6	10,4	6,3	4,9	4,8	5,2	5,8	6,1	5,9
Lussemburgo	-	-	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
Lettonia	21,0	8,4	5,5	4,6	3,3	1,8	2,0	4,5	4,2
Malta	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Paesi Bassi	2,8	8,7	12,3	13,0	6,0	4,7	4,3	3,8	2,6
Polonia	87,6	54,5	40,0	32,3	36,1	26,3	28,7	28,4	28,0
Portogallo	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Romania	-	17,4	17,3	7,7	5,7	3,7	3,8	4,7	5,6
Svezia	10,6	12,2	11,6	13,2	14,7	12,4	12,5	12,0	11,9
Slovenia	0,6	0,8	0,8	0,8	0,6	0,4	0,4	0,5	0,4
Slovacchia	2,3	5,3	5,8	7,3	5,0	3,3	3,2	2,8	2,5
Regno Unito	-	-	28,4	15,9	15,8	17,4	18,0	18,3	18,3

Tabella A2.3 – Emissione di gas serra per la produzione di calore da impianti dedicati (Mt CO_{2eq}).

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	87,1	64,1	55,1	53,0	59,0	47,0	48,3	48,6	45,7
Austria	0,9	1,0	1,2	1,2	1,5	1,6	1,7	1,7	1,5
Belgio	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bulgaria	8,6	4,0	0,8	0,9	0,8	0,5	0,5	0,6	0,6
Cipro	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rep. Ceca	3,9	4,4	2,8	2,5	2,4	1,6	1,8	1,8	1,7
Germania	-	4,8	2,8	9,6	12,2	9,8	9,5	9,5	7,6
Danimarca	2,3	1,5	0,9	0,9	1,4	1,7	1,8	1,6	1,6
Estonia	4,7	1,4	1,1	1,1	1,0	0,6	0,7	0,8	0,7
Grecia	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0
Spagna	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Finlandia	2,1	1,7	2,9	3,4	4,2	3,4	4,1	3,3	3,5
Francia	2,0	0,8	0,6	0,5	4,3	3,8	4,0	3,9	3,8
Croazia	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1
Ungheria	3,7	2,3	1,1	1,9	1,5	2,1	1,8	2,1	1,9
Irlanda	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Italia	-	-	-	-	0,1	0,1	0,1	0,7	0,8
Lituania	5,0	3,0	1,7	1,1	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9
Lussemburgo	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Lettonia	7,6	2,4	1,3	1,0	0,7	0,3	0,4	0,8	0,8
Malta	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Paesi Bassi	0,6	2,3	3,3	3,3	1,6	1,1	1,0	0,9	0,6
Polonia	41,2	23,7	16,1	13,1	14,2	10,2	10,8	10,6	10,4
Portogallo	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Romania	-	5,1	4,4	2,0	1,7	1,1	0,9	1,1	1,3
Svezia	3,4	2,8	2,4	2,4	2,5	1,5	1,7	1,6	1,5
Slovenia	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Slovacchia	0,7	2,7	2,0	1,7	1,1	0,7	0,7	0,6	0,5
Regno Unito	-	-	9,2	5,8	6,2	5,5	5,7	5,9	5,8

Tabella A2.4 – *Fattore di emissione di gas serra per la produzione di calore da impianti dedicati (g CO_{2eq} / kWh).*

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	383,2	320,5	297,8	289,2	289,9	261,0	254,6	252,7	244,2
Austria	281,2	227,6	226,8	228,2	186,9	175,3	177,1	176,6	167,6
Belgio	387,2	279,7	257,9	939,2	118,7	636,9	8,0	29,5	28,1
Bulgaria	302,2	263,8	224,3	247,7	231,3	223,5	225,0	223,7	220,3
Cipro									
Rep. Ceca	374,5	324,1	290,8	285,5	246,5	243,8	242,1	240,2	238,2
Germania		214,2	229,6	280,1	315,4	314,2	302,3	303,7	276,0
Danimarca	261,2	225,2	220,5	173,5	168,4	159,6	158,1	150,3	148,2
Estonia	311,8	264,6	252,4	235,7	247,4	228,2	206,0	212,4	222,8
Grecia									
Spagna									
Finlandia	297,5	264,0	270,0	260,5	260,8	234,6	238,7	223,0	222,1
Francia	719,3	823,8	713,8	314,3	260,6	221,2	212,4	207,9	194,0
Croazia	294,7	280,0	307,0	293,1	294,8	262,8	255,0	260,8	253,3
Ungheria	383,0	322,9	223,7	310,1	360,9	254,3	223,0	251,8	255,7
Irlanda									
Italia					131,5	110,8	110,6	189,7	190,1
Lituania	303,1	285,6	269,3	226,2	202,8	163,7	150,5	152,4	156,3
Lussemburgo			292,7	222,6	198,3	166,3	186,2	208,1	200,9
Lettonia	362,8	287,3	238,3	221,6	211,6	186,0	178,3	188,0	189,3
Malta									
Paesi Bassi	227,0	265,3	269,5	256,0	269,8	244,5	242,9	243,3	216,4
Polonia	470,7	433,7	402,2	404,9	393,3	386,0	377,8	372,2	370,5
Portogallo									
Romania		293,2	252,3	262,6	298,3	312,0	242,5	231,6	232,7
Svezia	317,0	225,3	202,8	179,4	170,3	119,8	134,0	131,9	126,0
Slovenia	296,4	244,6	223,6	248,2	214,3	232,4	208,0	214,7	226,4
Slovacchia	326,1	517,2	350,7	231,7	218,7	209,0	207,4	216,7	213,1
Regno Unito			322,7	367,5	392,7	317,2	317,9	321,3	316,9

Tabella A2.5 – *Rendimento di conversione degli impianti dedicati alla produzione di calore.*

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
EU28	0,760	0,827	0,825	0,798	0,802	0,808	0,818	0,815	0,832
Austria	0,787	0,887	0,804	0,777	0,796	0,842	0,824	0,824	0,851
Belgio	0,782	0,718	0,831	0,292	0,659	0,320	0,504	0,521	0,520
Bulgaria	0,871	0,925	0,948	0,849	0,929	0,907	0,872	0,916	0,933
Cipro									
Rep. Ceca	0,747	0,839	0,868	0,837	0,904	0,879	0,884	0,880	0,886
Germania		0,962	0,889	0,783	0,771	0,746	0,762	0,762	0,833
Danimarca	0,903	0,916	0,863	0,913	0,949	0,966	0,965	0,977	0,977
Estonia	0,844	0,882	0,846	0,846	0,808	0,791	0,747	0,751	0,756
Grecia									
Spagna									
Finlandia	0,897	0,991	0,864	0,878	0,883	0,881	0,873	0,856	0,866
Francia	0,469	0,409	0,472	0,488	0,853	0,836	0,836	0,811	0,830
Croazia	0,807	0,875	0,775	0,799	0,757	0,801	0,825	0,809	0,828
Ungheria	0,709	0,769	0,906	0,839	0,779	0,912	0,920	0,918	0,904
Irlanda									
Italia					0,619	0,698	0,710	0,837	0,842
Lituania	0,784	0,832	0,825	0,820	0,836	0,806	0,877	0,859	0,856
Lussemburgo			0,732	0,780	0,791	0,817	0,805	0,786	0,809
Lettonia	0,705	0,813	0,831	0,826	0,795	0,763	0,763	0,860	0,839
Malta									
Paesi Bassi	0,890	0,778	0,790	0,840	0,855	0,824	0,819	0,816	0,889
Polonia	0,714	0,782	0,825	0,806	0,834	0,848	0,865	0,875	0,874
Portogallo									
Romania		0,814	0,857	0,798	0,708	0,661	0,887	0,881	0,875
Svezia	0,879	0,899	0,878	0,899	0,852	0,914	0,889	0,883	0,867
Slovenia	0,815	0,853	0,885	0,802	0,884	0,869	0,910	0,880	0,793
Slovacchia	0,744	0,547	0,737	0,876	0,871	0,879	0,875	0,828	0,830
Regno Unito			0,762	0,626	0,587	0,630	0,628	0,622	0,628

