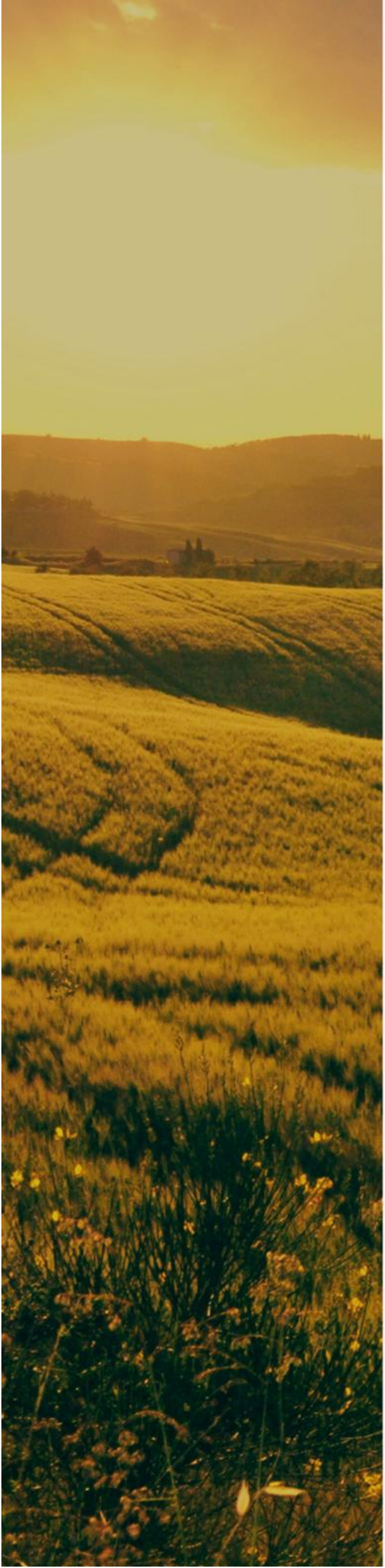


ALLEANZA TERRITORIALE
CARBON NEUTRALITY
Siena

BILANCIO DELLE EMISSIONI DEI GAS AD EFFETTO SERRA

HIGHLIGHTS 2022

PROVINCIA DI SIENA

Conforme al *Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Inventories (GPC)*

GREENHOUSE GAS PROTOCOL

HIGHLIGHTS 2022

A cura di:

UNIVERSITÀ DI SIENA 1240

ecodynamicsgroup

FMPS 30 1995 2025 Fondazione Monte dei Paschi di Siena

Provincia di Siena

ALLEANZA TERRITORIALE CARBON NEUTRALITY: Siena
Presidente: Prof. Simone Bastianoni, Università di Siena
Redazione e elaborazione dati: Dott.ssa Michela Marchi, Università di Siena
Grafica: Dott.ssa Fabiola Tropea, Università di Siena
Responsabile Scientifico: Prof. Federico Maria Pulselli, Università di Siena

HIGHLIGHTS

“Bilancio delle emissioni dei gas ad effetto serra per il territorio della Provincia di Siena”

Anno 2022

Dal 2008 il Progetto REGES (Riduzione delle Emissioni di Gas a Effetto Serra) ha monitorato le emissioni di gas serra nella Provincia di Siena (2006-2022) per supportare strategie di mitigazione. Con il trasferimento delle competenze ambientali alla Regione Toscana nel 2016, è nata l'Alleanza Territoriale Carbon Neutrality: Siena nel 2017, coinvolgendo istituzioni locali per consolidare azioni a lungo termine sulla riduzione delle emissioni.

Dal 2011 il territorio ha raggiunto emissioni nette pari a zero grazie all'assorbimento delle emissioni da parte degli ecosistemi locali. Il progetto REGES integra monitoraggio, verifica (ISO 14064-1, GHG Protocol) e politiche ambientali attraverso un *loop* iterativo tra Università di Siena, ente certificatore e amministrazione locale, con il supporto economico della Fondazione Monte dei Paschi (FMPS) (Figura 1).

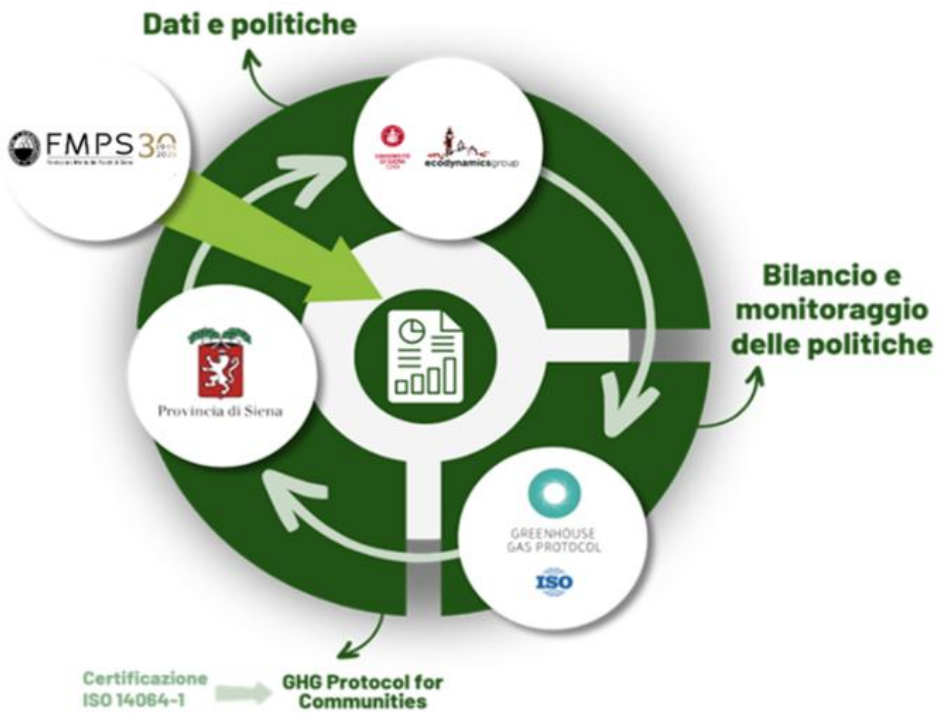
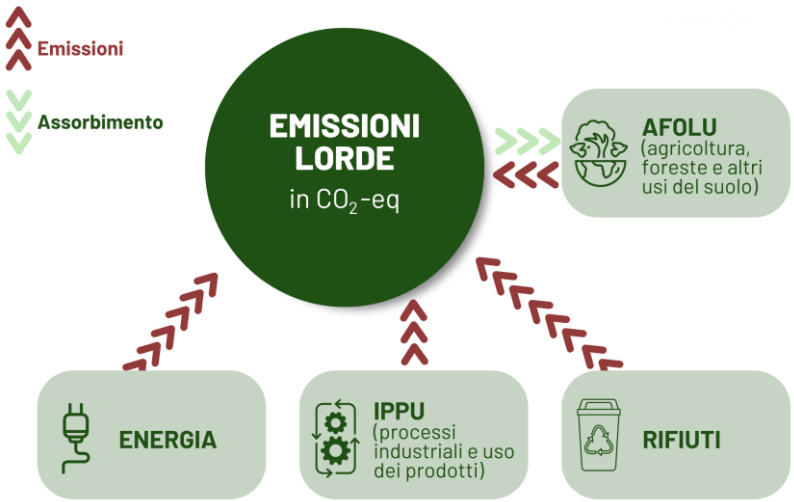


Figura 1 Loop iterativo tra Università, ente certificatore ed ente amministrativo locale, grazie al supporto economico della Fondazione Monte dei Paschi.

Gli inventari dei gas serra del periodo 2006-2015 sono stati verificati da RINA Services S.p.A. secondo lo standard ISO 14064-1 (2012). I bilanci dal 2016 al 2021, pur non certificati, sono stati redatti seguendo gli stessi criteri, con l'intenzione di riprendere la verifica in futuro. Per garantire maggiore credibilità, il bilancio del 2022 è stato sottoposto a verifica secondo il *Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Inventories* (GPC) (GHG Protocol, 2021), con la certificazione da parte di DNV Business Assurance Italy S.r.l.
L'anno 2022 ha visto numerose implementazioni rispetto agli studi precedenti ed è conforme allo standard GPC. Per questo motivo, in seguito alla verifica e validazione da parte di un ente esterno, rappresenta la nuova baseline, costituendo un nuovo punto di partenza per i futuri confronti.

METODOLOGIA DI CALCOLO: IL BILANCIO DEI GAS SERRA

L'inventario dei gas serra al 2022, redatto secondo le "*2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*" e il "*2019 IPCC Refinement*", contabilizza le emissioni dei principali gas serra regolamentati dal Protocollo di Kyoto, utilizzando i *Global Warming Potential* a 100 anni (GWP_{100}) del *Sixth Assessment Report*.
Le emissioni sono suddivise nei settori: 1) Energia; 2) Processi Industriali e Uso dei Prodotti (IPPU); 3) Rifiuti; 4) Agricoltura, Foreste e Altri Usi del Suolo (AFOLU), l'unico capace di assorbire CO_2 (Figura 2).
Le emissioni sono espresse in tonnellate di anidride carbonica equivalente (t CO_2eq).
I settori di emissione, a loro volta, sono suddivisi in sotto-categorie, come è riportato in maniera sintetica in Figura 3.



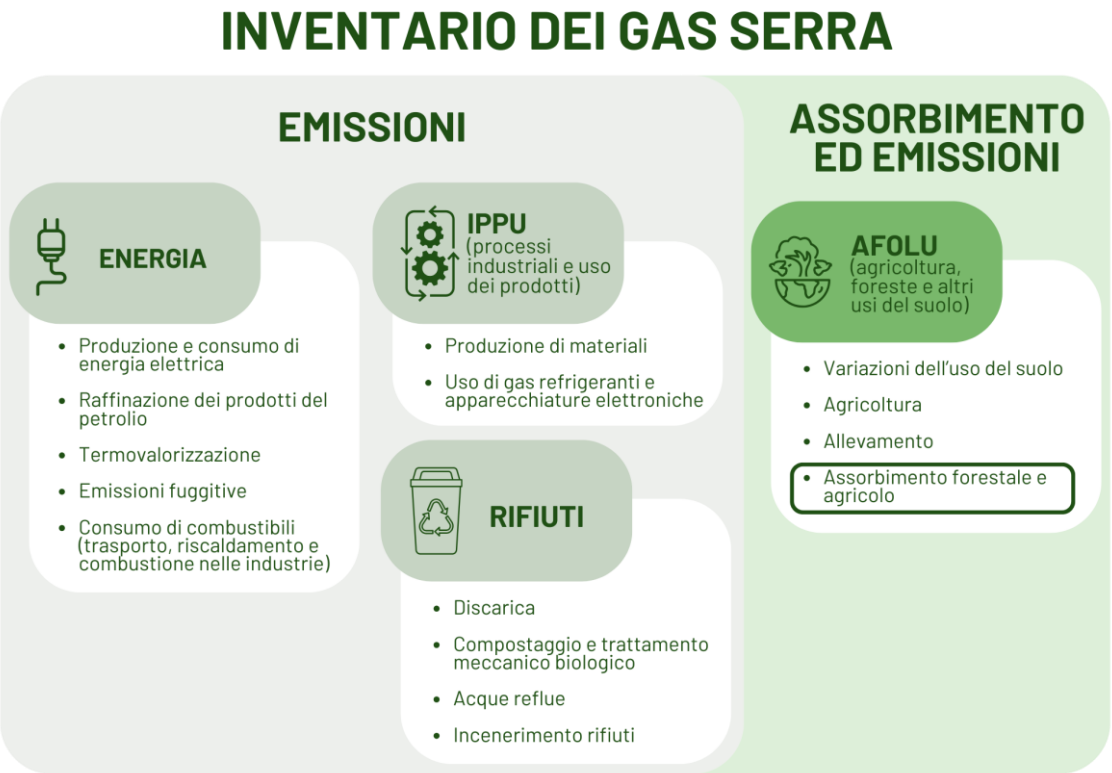


Figura 2 Settori di emissione contabilizzati nella metodologia IPCC 2006 e 2019.
Figura 3 Sotto-categorie di emissione che caratterizzano i vari settori di emissione.

L'inventario dei gas serra della Provincia di Siena per l'anno 2022, elaborato secondo la metodologia IPCC, è stato successivamente verificato e validato da un ente terzo indipendente (DNV Business Assurance Italy S.r.l.) in conformità con lo standard Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Inventories (GPC), versione 1.1 (GHG Protocol, 2021).

Nel caso dell'IPCC, le emissioni sono classificate per settore e fonte (ad esempio energia, rifiuti, agricoltura, ecc.), ma non viene specificato chi utilizza effettivamente le risorse o consuma l'energia, cioè gli utilizzatori finali (Figura 3). Al contrario, nel GPC, il settore Energia viene suddiviso in categorie più dettagliate, come "Energia stazionaria" e "Trasporti", con sottocategorie specifiche che permettono di risalire agli utilizzatori finali dell'energia, come le famiglie, le aziende, il settore terziario o i trasporti on-road e off-road (Figura 4). Inoltre, il GPC prevede la rendicontazione delle emissioni biogeniche, distinguendole per settore, come l'agricoltura, la silvicoltura o la gestione dei rifiuti (Figura 4). Sebbene tali emissioni non siano conteggiate nel

totale dei gas serra antropogenici, la loro identificazione contribuisce a una rappresentazione più completa delle dinamiche emissive locali.

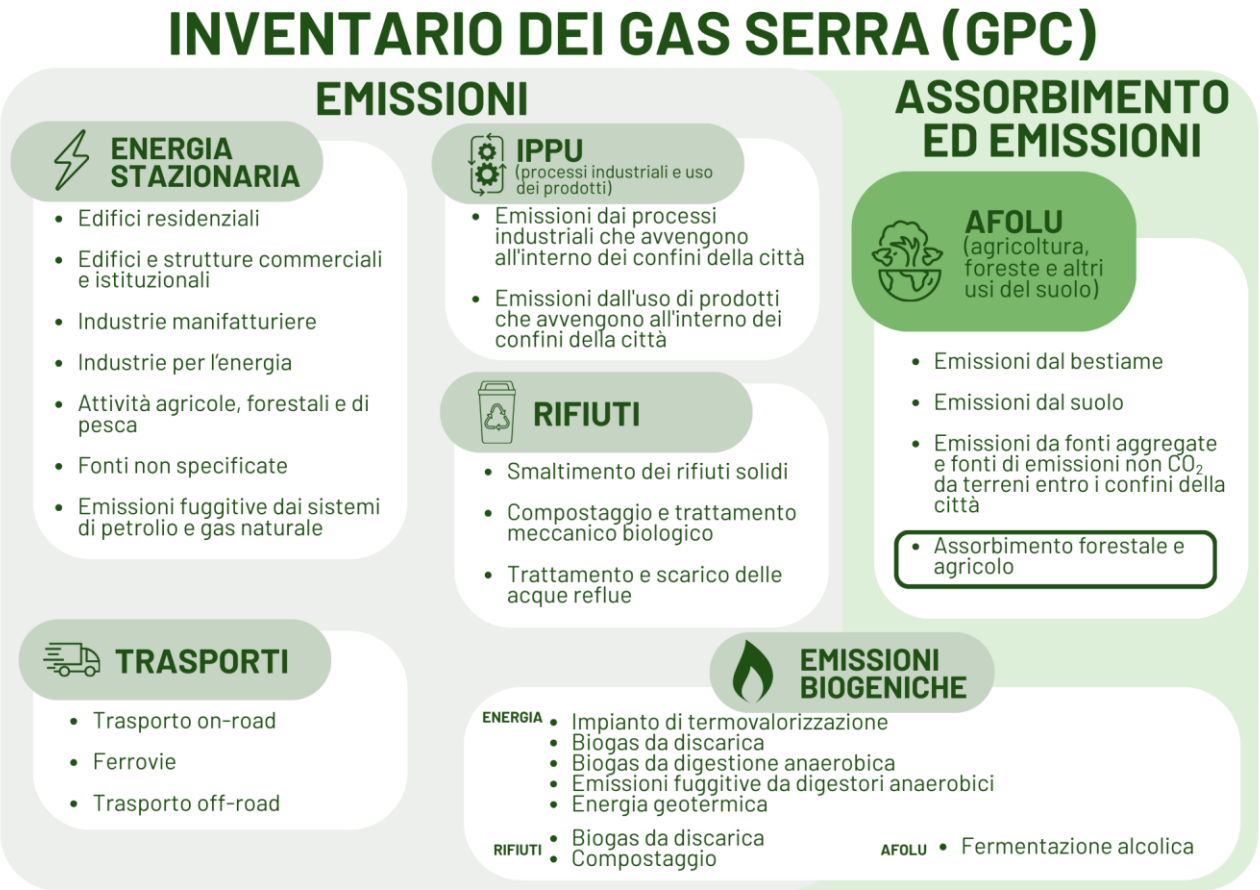


Figura 4 Schema di lavoro per il bilancio dei gas serra secondo il GPC.

Le attività che si svolgono all'interno di un territorio possono generare emissioni di gas serra che si verificano sia all'interno che all'esterno dei confini del sistema. Per distinguerle, il GPC raggruppa queste emissioni in tre SCOPE in base al luogo in cui avvengono: SCOPE 1, SCOPE 2 o SCOPE 3 (Tabella 1).

Tabella 1 Definizioni degli SCOPE per gli inventari dei gas serra.

SCOPE	Definizione
SCOPE 1	Emissioni di gas serra da fonti situate all'interno dei confini amministrativi.
SCOPE 2	Emissioni di gas serra che si verificano come conseguenza dell'uso di elettricità, calore, vapore/raffreddamento forniti dalla rete di distribuzione nazionale.
SCOPE 3	Tutte le altre emissioni di gas serra che si verificano al di fuori dei confini del sistema a seguito di attività che hanno luogo all'interno del sistema stesso.

Questo *framework*, che contempla sia la contabilizzazione di tutte le emissioni che la loro classificazione in SCOPE, offre agli Amministratori la possibilità di scegliere tra due livelli di rendicontazione: BASIC o BASIC+. Il livello BASIC monitora le emissioni di SCOPE 1 e SCOPE 2 provenienti da energia stazionaria e elettricità/vapore importati dalla rete nazionale, insieme alle emissioni di SCOPE 1 e SCOPE 3 da rifiuti. Il livello BASIC+ prevede anche la contabilizzazione delle emissioni da IPPU e da trasporto transfrontaliero, oltre alle emissioni e le rimozioni dal settore AFOLU. Laddove queste fonti siano significative e rilevanti per il sistema analizzato, devono essere rendicontate nell'ambito del livello BASIC+.

IL BILANCIO DEI GAS SERRA DELLA PROVINCIA DI SIENA

Nel 2006 la Provincia di Siena aveva un abbattimento delle emissioni lorde del 72%. Il bilancio netto pari a zero è stato raggiunto nel 2011 con un abbattimento del 102, mantenendosi costantemente in equilibrio negli anni successivi. Nel 2022 l'abbattimento ha raggiunto il 107%, con una capacità di assorbimento superiore alle emissioni lorde, pari a 1.333.742 tonnellate di CO_2eq, un valore tra il minimo del 2020 (pandemia di COVID-19) e il massimo del 2019 (Figura 5).

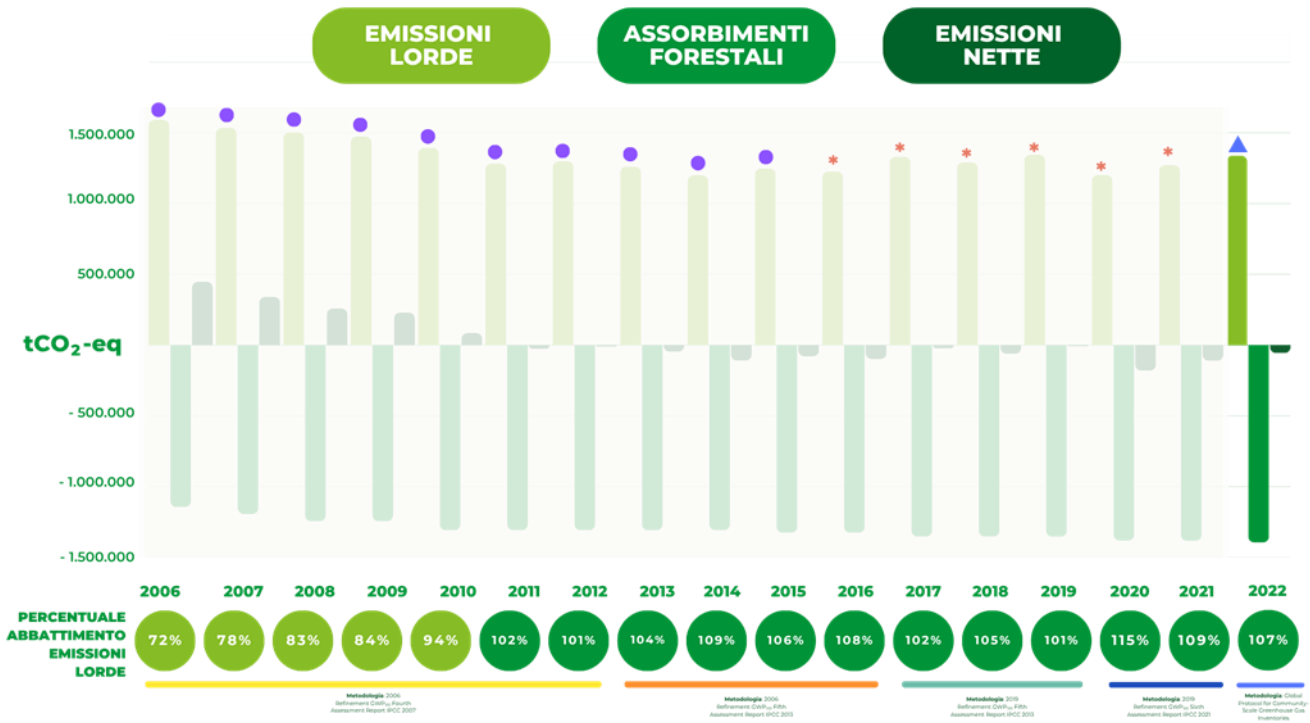


Figura 5 Bilancio dei gas serra della Provincia di Siena (2006-2022).

NOTA: I bilanci dal 2006 al 2012 sono stati redatti secondo le Linee Guida IPCC 2006 e i GWP_{100} pubblicati sul Fourth Assessment Report (IPCC, 2007) (___), mentre quelli dal 2013 al 2016 utilizzando i GWP_{100} aggiornati nel Fifth Assessment Report (IPCC, 2013) (___). I bilanci del 2017-2019 si contraddistinguono per il raffinamento nelle Linee Guida (IPCC, 2019) (___), mentre per il 2020-2022 è stato utilizzato il Sixth Assessment Report (IPCC, 2021) (___). (●) I bilanci al 2006-2015 sono stati verificati e validati in conformità allo standard ISO 14064-1 da parte di Rina Services S.p.A. (*) I bilanci al 2015-2021 non sono stati certificati, ma sono stati redatti in assoluta continuità con quelli degli anni precedenti. (▲) Il bilancio al 2022 è sottoposto all'iter di verifica e validazione secondo il *Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Inventories* (GPC), sotto la supervisione di DNV Business Assurance Italy S.r.l. (___).

Nel 2022, il settore Energia è stato il principale responsabile delle emissioni lorde in Provincia di Siena, con il trasporto su gomma (44%) e il riscaldamento (25%) come principali fonti. Il 75% delle emissioni lorde è dovuto all'uso di combustibili fossili, il 15% all'allevamento e alle pratiche agricole, il 7% ai rifiuti solidi e alla gestione dei fanghi di depurazione, e infine il 3% alla produzione industriale e all'uso di sostanze chimiche (Figura 6).

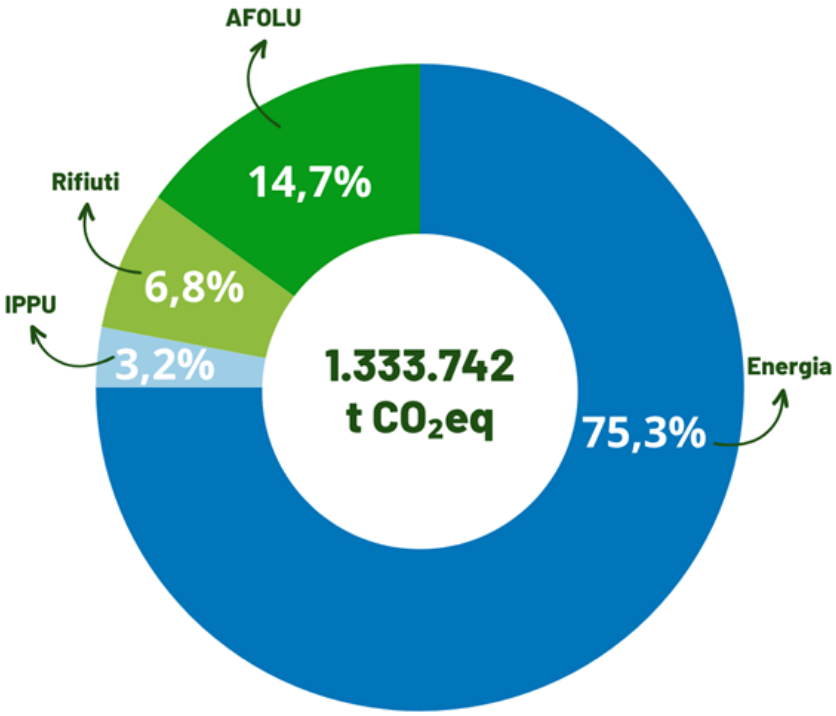


Figura 6 Ripartizione percentuale delle emissioni lorde della Provincia di Siena (anno 2022).

La Provincia di Siena, con bassa densità industriale e un'economia basata sull'agricoltura e sui servizi, ha il 45% del territorio coperto da boschi e produce l'84% dell'energia elettrica da fonti rinnovabili, grazie alla geotermia (GSE, 2023). Le centrali geotermiche contribuiscono a ridurre le emissioni di anidride carbonica, con un impatto netto nullo (Lenzi et al., 2021; Sbrana et al., 2020, 2021). Nel 2022, le emissioni nette pro-capite sono -0,36 t CO_2eq, molto inferiori alla media italiana, grazie alla geotermia, agli assorbimenti forestali e alla bassa densità di popolazione e industrie (Tabella 2).

Tabella 2 Indicatore delle emissioni per abitante.

Emissione per abitante	Territorio	Fonte	t CO_2eq (abitante)$^{-1}$
Emissioni pro-capite LORDE **Emissioni pro-capite NETTE**	Provincia di Siena (anno 2022)	Progetto REGES, 2025	**5,11** **-0,36**
Emissioni pro-capite LORDE **Emissioni pro-capite NETTE**	Italia (anno 2022)	SinaNET, 2022	**6,98** **6,63**

Dal 2006 al 2011 la Provincia di Siena è riuscita a bilanciare pienamente le emissioni antropiche con gli assorbimenti naturali, compensando completamente i gas serra e raggiungendo un equilibrio virtuoso. Tuttavia, senza nuove politiche di mitigazione, il mantenimento di questo importante traguardo è a rischio. Fattori come l'aumento dei consumi e il controllo meno puntuale del sistema forestale potrebbero ridurre il surplus di assorbimenti. È quindi essenziale coinvolgere cittadini, aziende ed enti privati nell'Alleanza Carbon Neutrality per proseguire gli sforzi di riduzione delle emissioni.

Il totale delle emissioni lorde della Provincia di Siena per l'anno 2022 ammonta a 1.333.742 tonnellate di CO_2 equivalente, come riportato nella Tabella 3. Le emissioni dirette (Scope 1) rappresentano quasi il totale, con 1.332.677 t CO_2eq, mentre le emissioni indirette da Scope 3 risultano molto limitate (1.065 t CO_2eq). Lo Scope 2, relativo ai consumi di energia elettrica e calore importati, risulta pari a zero, in quanto la produzione locale da fonti rinnovabili supera i consumi, rendendo non necessario l'approvvigionamento dalla rete nazionale.

Tabella 3 Summary delle emissioni antropogeniche della Provincia di Siena (anno 2022) suddivise per Ambito (Scope 1, 2 e 3).

SCOPE	Gas serra					
	CO_2	CH_4	N_2O	HFCs	SF_6	Totale
	t CO_2eq	t CO_2eq	t CO_2eq	t CO_2eq	t CO_2eq	t CO_2eq
Scope 1	1,075,193	174,150	41,877	40,147	1,549	1,332,916
Scope 2	0	0	0	0	0	0
Scope 3	0	176	650	0	0	827
TOTALE	**1,075,193**	**174,326**	**42,527**	**40,147**	**1,549**	**1,333,742**

Gli assorbimenti forestali, pari a -1.427.280 t CO_2, risultano superiori alle sole emissioni antropogeniche (1.333.742 t CO_2eq), generando una capacità di compensazione pari al 107%.

Se si includono nel bilancio anche le emissioni biogeniche (97.946 t CO_2), oltre a quelle antropogeniche (1.333.742 t CO_2eq), si ottiene un totale complessivo di 1.431.689 t CO_2. In questo caso, gli assorbimenti

forestali ne compensano il 99,7%, avvicinandosi così a una condizione di quasi completa neutralizzazione delle emissioni locali.

Bibliografia

- GHG Protocol, 2021. Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Inventories. An Accounting and Reporting Standard for Cities (Version 1.1). https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/GPC_Full_MASTER_RW_v7.pdf.
- GSE, 2023. Rapporto Statistico 2021 – Energia da fonti rinnovabili in Italia.
- IPCC, 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, IGES, Japan.
- IPCC, 2007. Climate Change 2007 – The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report dell'IPCC.
- IPCC, 2013. Climate Change 2013 - The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report dell'IPCC.
- IPCC, 2019. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- IPCC, 2021. Climate Change 2021 - The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report dell'IPCC.
- ISO, 2012. Greenhouse gases. Part 1, Part 2, Part 3.
- Lenzi, A., Paci, M., Giudetti, G., Gambini, R., 2021. Tracing Ancient Carbon Dioxide Emission in the Larderello Area by Means of Historical Boric Acid Production Data. Energies 14, 4101.
- Progetto REGES, 2025. Bilancio delle emissioni dei gas ad effetto serra per il territorio della Provincia di Siena, Verifica e Certificazione – Anno 2022. Volume 17, 165 pp.232 pp.
- Sbrana, A., Lenzi, A., Paci, M., Gambini, R., Sbrana, M., Ciani, V., Marianelli, P., 2021. Analysis of Natural and Power Plant CO_2 Emissions in the Mount Amiata (Italy) Volcanic–Geothermal Area Reveals Sustainable Electricity Production at Zero Emissions. Energies 14, 4692.
- Sbrana, A., Marianelli, P., Belgiorno, M., Sbrana, M., Ciani, V., 2020. Natural CO_2 degassing in the Mount Amiata volcanic–geothermal area. Journal of Volcanology and Geothermal Research 397, 106852.
- SinaNET, 2022. Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2022. National Inventory Report. http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sinanet/serie_storiche_emissioni/CRF%201990-20010/view.