



ALLEANZA TERRITORIALE  
CARBON NEUTRALITY  
Siena

2021

# SUMMARY REPORT

BILANCIO DELLE  
EMISSIONI DEI GAS  
AD EFFETTO SERRA  
PROVINCIA DI SIENA



**FMPS**  
Fondazione Monte dei Paschi di Siena



Provincia di Siena



ecodynamicsgroup



## SUMMARY REPORT

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

Anno 2021

Dal 2008 il Progetto REGES (Riduzione delle Emissioni di Gas a Effetto Serra) ha prodotto inventari dei gas serra in serie storica (2006-2021), validati ISO 14064-1, per offrire un supporto allo sviluppo di azioni strategiche volte alla mitigazione del cambiamento climatico in Provincia di Siena. Il Progetto REGES è stato supportato dalla Fondazione Monte dei Paschi di Siena (FMPS) prima indirettamente (il finanziamento era gestito dall'Amministrazione Provinciale di Siena), poi direttamente.

Le competenze della Provincia di Siena in tema di gestione energetica derivano da un Decreto-legge del 1998 sulla base del quale, in via volontaria ed in coerenza con la propria politica ambientale, la Provincia di Siena approvò il Piano Energetico Provinciale attivato nel 2003. A partire dal 2008 la Provincia di Siena avviò un Piano di Indirizzo Energetico, coordinato con quello regionale. L'ultimo Piano Energetico provinciale fu approvato (in maniera autonoma) nel 2012 con l'obiettivo generale di ridurre e progressivamente azzerare il bilancio delle emissioni di gas serra, facendo riferimento alle procedure della Certificazione ISO 14064-1. Per effetto dell'evoluzione normativa sul riordino delle funzioni e delle competenze delle Province a statuto ordinario, a seguito della Legge Delrio e della successiva Legge Regionale 3 marzo 2015 n. 22, dal 1° gennaio 2016 le competenze in tema di Energia ed Ambiente non sono più affidate alla Provincia di Siena stessa ma alla Regione Toscana. Poiché l'Amministrazione provinciale ha perso le proprie competenze gestionali, è stata istituita l'Alleanza per la Carbon Neutrality: Siena a partire dal 26 maggio 2017. L'iniziativa di lanciare un'esperienza di Alleanza a livello locale, coinvolgendo vari attori del territorio, nasce dalla collaborazione tra la FMPS, l'Università di Siena, la Provincia di Siena, il Comune di Siena e la Regione Toscana.

Con lo scopo di mantenere e migliorare le performances ambientali del territorio senese, l'Alleanza vuole consolidare ed assicurare la programmazione di azioni rivolte alla mitigazione degli impatti nel lungo periodo, così da consentire a tutti i soggetti interessati di partecipare a vario titolo all'intervento di riduzione delle emissioni di gas serra. L'intenzione dei fondatori, infatti, è di estendere l'alleanza anche ad altre organizzazioni (pubbliche e private) della Regione Toscana, o ad altre realtà territoriali, e rendere l'intervento



**FMPS**  
Fondazione Monte dei Paschi di Siena



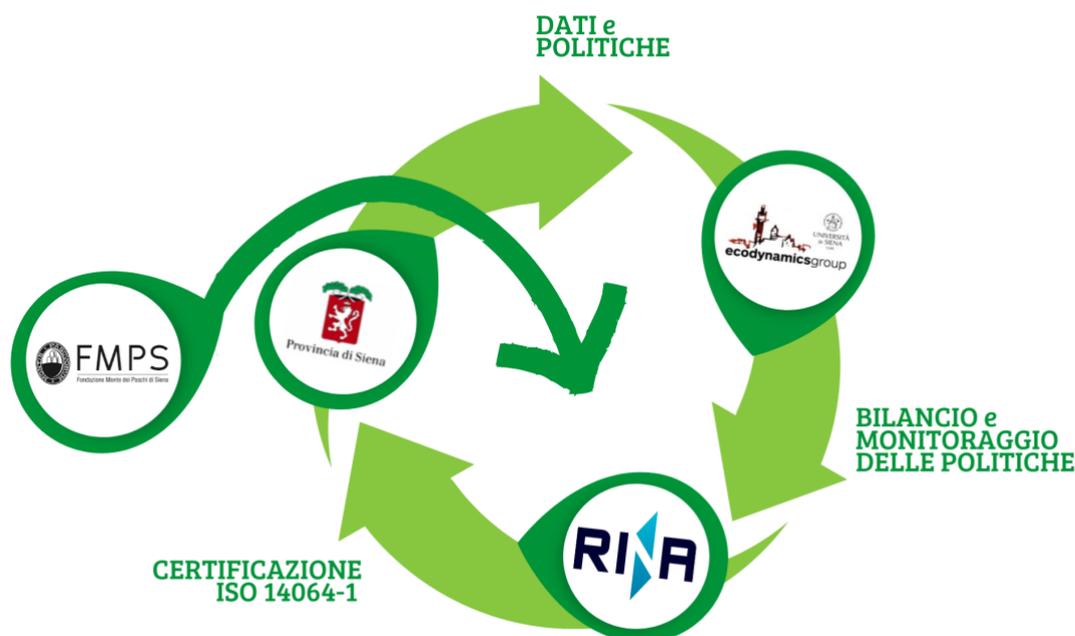
Provincia di Siena



ecodynamicsgroup

il più possibile conosciuto, partecipato e condiviso dalla cittadinanza, dagli enti pubblici, dai soggetti del mondo economico e dal settore terziario, attraverso la predisposizione di politiche ambientali programmate. Nel 2011 è stato raggiunto l'ambizioso traguardo della *Carbon Neutrality*: infatti, le emissioni provocate dalle attività umane svolte nel territorio senese da quel punto in poi sono risultate completamente riassorbite dagli ecosistemi locali (foreste, colture arboree perenni e bambuseti).

Il Progetto REGES combina tre elementi in loop (Figura 1): 1) analisi/monitoraggio delle emissioni e assorbimento di gas serra (Ecodynamics Group dell'Università di Siena); 2) verifica/validazione (ente certificatore RINA Services S.p.A.); 3) politiche ambientali (Amministrazione Provinciale di Siena).



**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 al 2006-2014 sono stati verificati e validati secondo la normativa UNI EN ISO 14064-1, dall'ente per le certificazioni ambientali RINA Services S.p.A. Invece, i bilanci al 2015-2021 non sono stati sottoposti all'iter di certificazione. Questo è accaduto per effetto della riorganizzazione delle competenze delle Province a statuto ordinario (Legge Delrio); infatti, a partire dal 2016 la Provincia di Siena non ha più potuto coprire il ruolo di organizzazione, come soggetto che richiede la verifica e validazione dei propri



inventari dei gas serra. Tuttavia, gli inventari al 2015-2021, attualmente non certificati, sono stati redatti in assoluta continuità con quelli degli anni precedenti, allo scopo di riprendere il meccanismo di verifica e validazione appena possibile e nel caso in cui fosse ritenuto necessario.

Questo *Summary Report* illustra i risultati del bilancio dei gas serra della Provincia di Siena all'anno 2021.

È importante sottolineare che nel 2021 le conseguenze dell'emergenza sanitaria della Pandemia di COVID-19 caratterizzavano ancora il quadro economico e sociale delle Nazioni. La recessione globale è stata violenta e di breve durata, con un rimbalzo favorito dalle misure di sostegno e una ripresa dell'economia in tutte le principali attività produttive. Infatti, nel 2020 l'economia mondiale aveva sperimentato una profonda e inattesa recessione legata alla diffusione della pandemia, contrastata con l'attuazione di severe misure di contenimento del virus. All'inizio dell'anno 2020 si è registrato un crollo dell'attività economica in quasi tutti i Paesi, seguito da un forte rimbalzo nei mesi estivi. Nei primi mesi del 2021 in Europa le attività avevano subito una nuova flessione a causa dell'introduzione di ulteriori misure di contrasto dell'emergenza sanitaria; però a partire da maggio in poi, c'è stata una ripresa e consolidamento delle attività economiche (EU, 2022a;b). Le varie fasi dell'emergenza sanitaria hanno influenzato in maniera differente le attività umane ed economiche: molti comparti avevano pienamente recuperato i propri guadagni ma altri (come ad esempio il turismo), erano rimasti svantaggiati, non riuscendo ad uguagliare i livelli che caratterizzavano il periodo precrisi.

Nello specifico, in questo inventario dei gas serra sono stati evidenziati gli effetti dovuti alla ripresa post pandemia di COVID-19, identificando come il consolidamento di vari settori economici possa aver influito sulle emissioni di gas serra del territorio della Provincia di Siena rispetto agli anni precedenti.

## **METODOLOGIA DI CALCOLO: IL BILANCIO DEI GAS SERRA**

L'inventario dei gas serra è stato redatto secondo le "2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories" e il "2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines", contabilizzando le emissioni dei principali gas serra regolamentati dal Protocollo di Kyoto: anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e protossido di azoto (N<sub>2</sub>O). Inoltre, sono stati utilizzati i valori di *Global Warming Potential* a 100 anni (GWP<sub>100</sub>) pubblicati nel *Sixth Assessment Report* dell'IPCC, visto che ad oggi sono i più recenti e aggiornati. In particolare, il *Sixth Assessment Report* presenta una distinzione tra i GWP<sub>100</sub> relativi al metano (CH<sub>4</sub>) rilasciato in atmosfera, indicando valori diversi nel caso di emissioni che derivano da consumo di combustibili fossili o da attività



**FMPS**  
Fondazione Monte dei Paschi di Siena



Provincia di Siena



**ecodynamicsgroup**

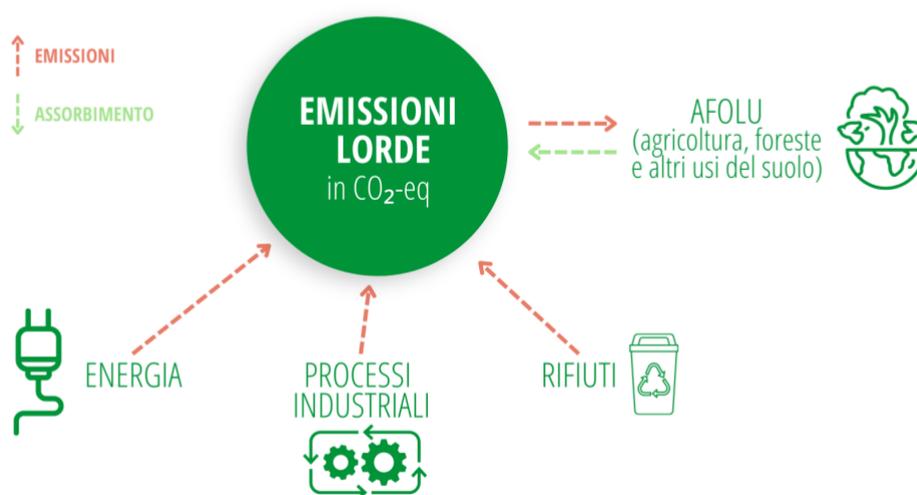


UNIVERSITÀ  
DI SIENA  
1240

naturali, come per esempio la fermentazione enterica degli animali e la decomposizione dei rifiuti urbani biodegradabili in discarica (29,8 vs 27,2).

Gli impatti climalteranti del territorio sono inventariati a partire dai settori di emissione di provenienza:

- 1) Energia,
- 2) Processi Industriali,
- 3) Rifiuti,
- 4) Agricoltura, Foreste e Altri Usi del Suolo - AFOLU (Figura 2).



**Figura 2** Settori di emissione contabilizzati nella metodologia IPCC 2006 e 2019. Solo il settore AFOLU ha possibilità di assorbire la CO<sub>2</sub>

I settori di emissione, a loro volta, sono suddivisi in sotto-categorie d'impatto, come è riportato in maniera sintetica in Figura 3.

La stima delle emissioni è stata eseguita applicando la seguente equazione di base:

$$E_i/anno = DA_i \times FE_i$$

dove:

$E_i/anno$  sono le emissioni di gas serra rilasciate in atmosfera da una determinata attività umana in un certo anno solare (kg gas serra/anno);

$DA_i$  è il dato di attività (es. quantità di combustibili fossili consumata, t combustibile);

$FE_i$  è il fattore di emissione per unità di attività e per specifico gas serra (t CO<sub>2</sub>/t combustibile, t CH<sub>4</sub>/t combustibile, t N<sub>2</sub>O/t combustibile).

Ad ogni attività la metodologia associa un fattore di emissione ( $FE$ ). Questo rappresenta un coefficiente che quantifica il tasso di emissione o di rimozione di un gas serra per unità di attività.

## INVENTARIO DEI GAS SERRA

### EMISSIONI

#### Energia

Produzione e consumo di energia elettrica  
Consumo di combustibili  
Raffinazione dei prodotti del petrolio  
Termovalorizzazione  
Emissioni fuggitive  
Consumo di combustibili (trasporto, Riscaldamento e combustione nelle industrie)

#### Processi industriali

Produzione di materiali

#### Rifiuti

Discarica  
Compostaggio e trattamento meccanico biologico  
Acque reflue  
Incenerimento rifiuti

### ASSORBIMENTO ED EMISSIONI

#### AFOLU

Variazioni dell'uso del suolo  
Agricoltura  
Allevamento  
Assorbimento forestale e agricolo

**Figura 3** Sotto-categorie d'impatto che caratterizzano i vari settori di emissione.

Il modello di calcolo, proposto dalla metodologia IPCC, prevede il prodotto tra le emissioni di differenti gas serra e i corrispettivi GWP<sub>100</sub>, ottenendo gli impatti espressi in CO<sub>2</sub> equivalenti (CO<sub>2eq</sub>).

L'inventario è stato redatto seguendo un criterio geografico (fatta eccezione per il consumo di energia elettrica, quando importata) e basato su un approccio *bottom-up*, vale a dire che i dati sono stati raccolti nell'area di Siena e non sono frutto di semplice riproporzione di dati a livello regionale o nazionale.

### IL BILANCIO DEI GAS SERRA DELLA PROVINCIA DI SIENA

Nel 2006, anno per il quale è stato certificato il primo inventario dei gas serra, la percentuale degli abbattimenti delle emissioni lorde era del 72%. Il 2006 rappresenta anche l'anno di riferimento (o *baseline*) del monitoraggio. Nel 2011 la Provincia di Siena ha raggiunto la *Carbon Neutrality* con una percentuale di

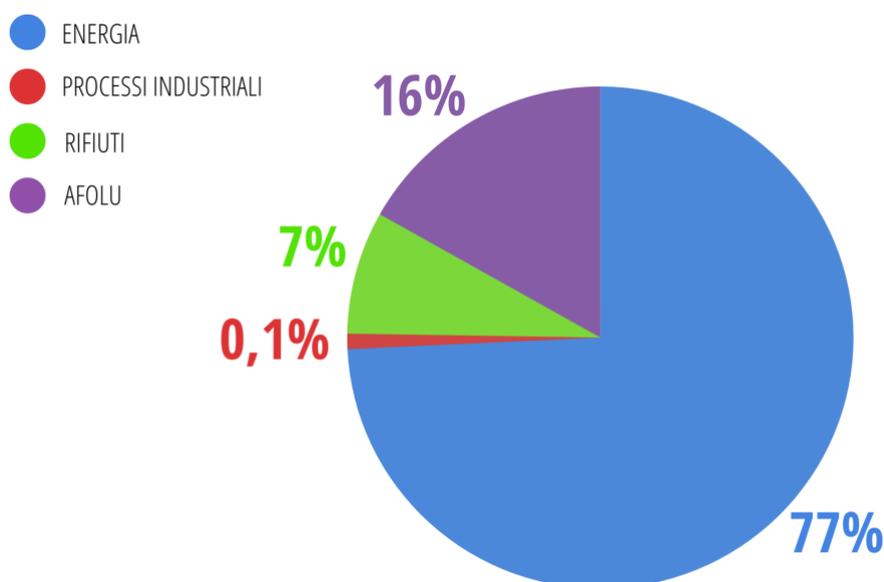
abbattimento del 102%, e un andamento oscillante (ma sempre dentro la neutralità) negli anni successivi. Nel 2021 il bilancio dei gas serra (Emissioni lorde – Assorbimento forestale = Emissioni nette) mostra il 109% dell'abbattimento (Figura 4).

Ciò sta ad indicare che la capacità di assorbimento della Provincia di Siena nell'anno 2021 è stata maggiore rispetto alle emissioni che sono avvenute all'interno dei suoi confini territoriali.

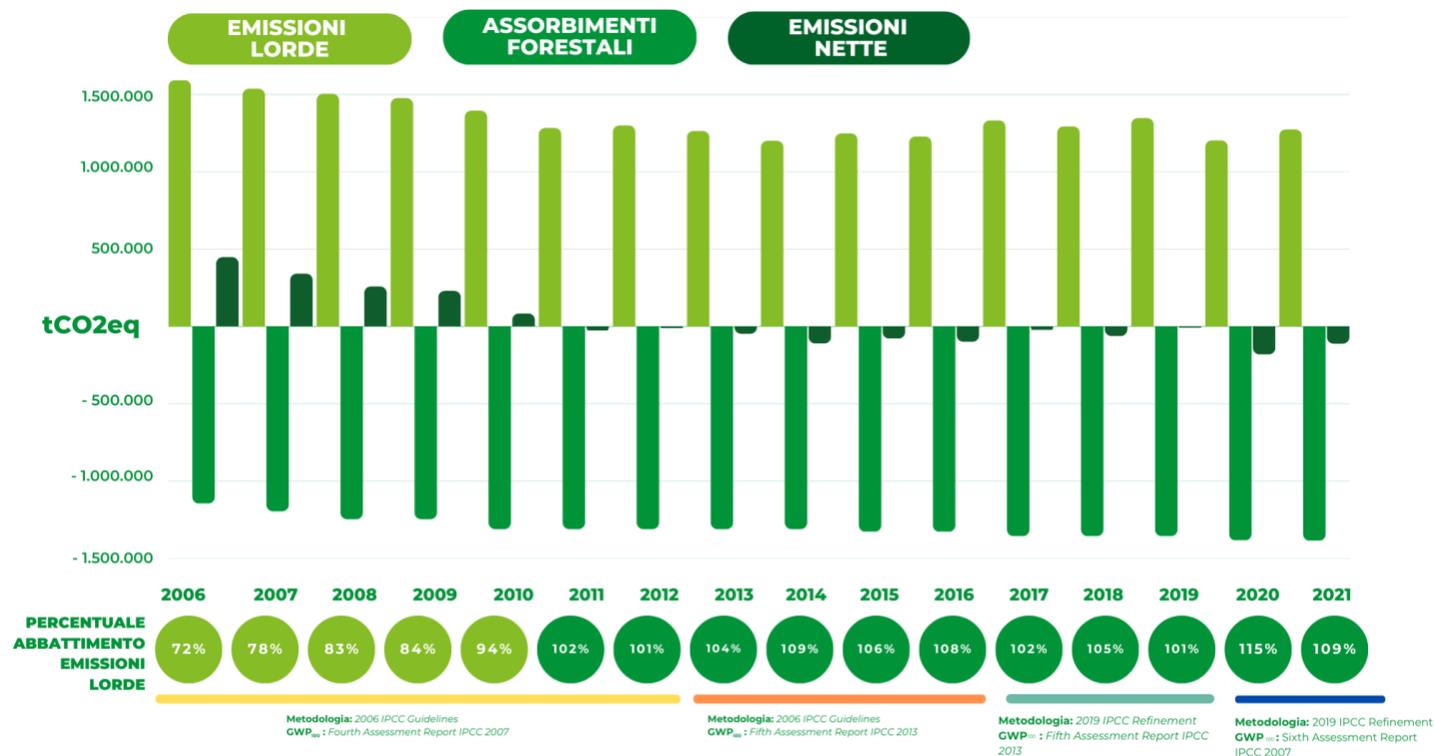
Nel 2021 la Provincia di Siena ha rilasciato in atmosfera 1.272.220 tonnellate di CO<sub>2</sub>eq, quantitativo che si colloca a circa metà strada tra le emissioni del 2019 e del 2020 (vedi Figura 4).

Le emissioni all'anno 2021 sono dovute:

- 77% all'uso di combustibili fossili;
- 16% all'allevamento (fermentazione enterica e gestione del letame) e alle pratiche agricole (applicazione di azoto al suolo, utilizzo di urea, incendi boschivi e tagli forestali);
- 7% ai rifiuti solidi e alla gestione dei fanghi di depurazione dell'acqua;
- 0,1% alla produzione di materiali nelle industrie manifatturiere (Figura 5).



**Figura 5** Ripartizione percentuale delle emissioni lorde della Provincia di Siena (anno 2021).



**Figura 4** Bilancio dei gas serra della Provincia di Siena (2006-2021).

**NOTA:** I bilanci dal 2006 al 2012 sono stati redatti secondo le Linee Guida IPCC 2006 e i GWP<sub>100</sub> pubblicati sul *Fourth Assessment Report* (IPCC, 2007), mentre quelli dal 2013 al 2016 utilizzando i GWP<sub>100</sub> 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 2020-2021 è stato utilizzato il *Sixth Assessment Report* (IPCC, 2021). I bilanci al 2015-2021 non sono stati certificati ISO 14064-1, ma sono stati redatti in assoluta continuità con quelli degli anni precedenti.

In Tabella 1 sono mostrate le emissioni dei gas serra per sotto-categoria, evidenziando che il trasporto (44%), il riscaldamento degli edifici pubblici e privati (28%), la perdita di carbonio da tagli/incendi boschivi (8%) e lo smaltimento dei rifiuti in discarica (7%) sono i maggiori responsabili degli impatti complessivi.

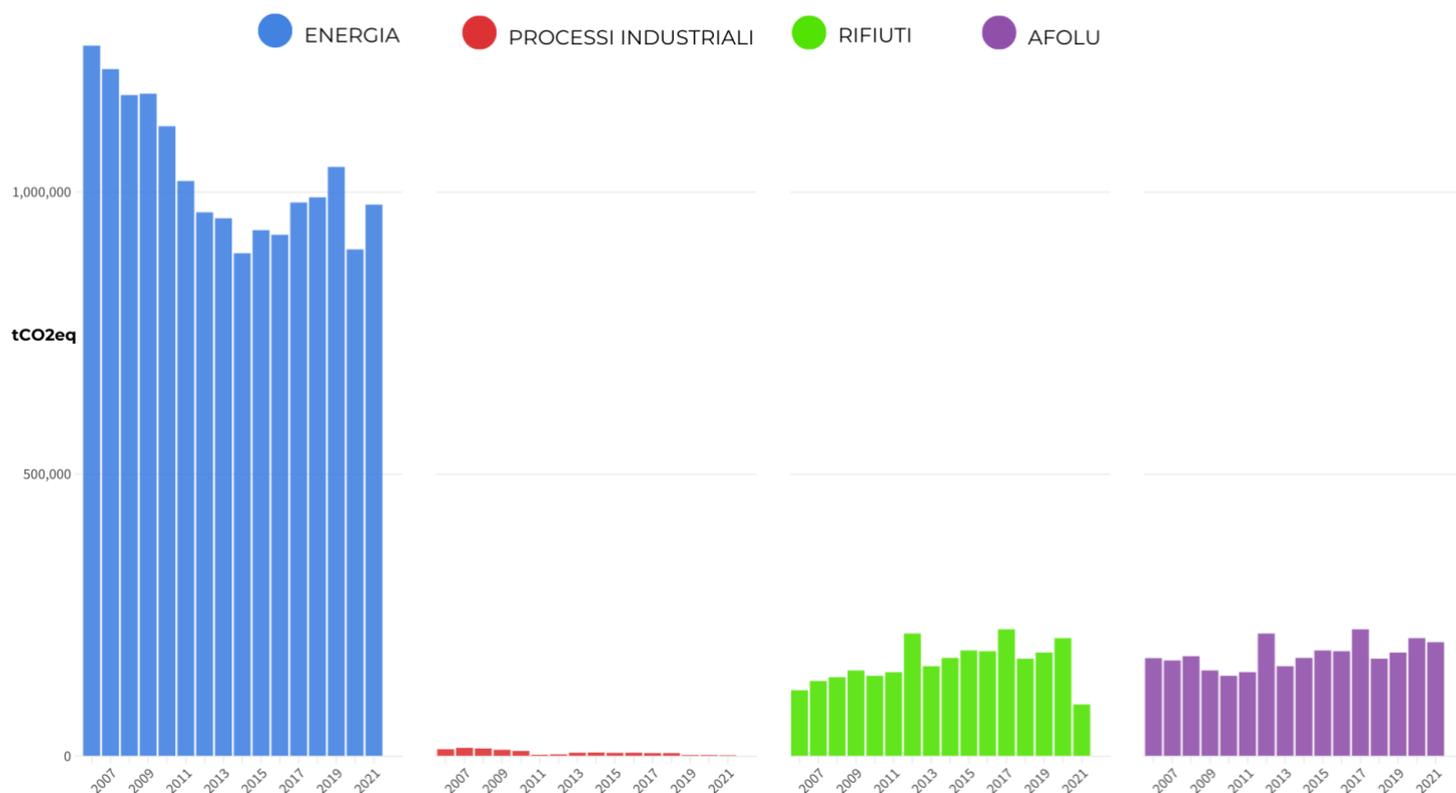
Inoltre, gli assorbimenti sono -1.383.017 t CO<sub>2</sub>-eq, determinando emissioni nette pari a -110.797 t CO<sub>2</sub>-eq e un abbattimento percentuale del 109%.

**Tabella 1** Emissioni dei gas serra per sotto-categoria di emissione (anno 2021).

<b>Attività</b>	<b>t CO<sub>2</sub>-eq (anno)<sup>-1</sup></b>	<b>% sul totale</b>
<b>ENERGIA</b>	<b>977.670</b>	<b>76,8</b>
Trasporto	561.591	44,1
Riscaldamento	350.823	27,6
Combustione industriale e commerciale	21.798	1,7
Energia elettrica (da termovalorizzatore)	27.514	2,2
Emissioni fuggitive dalla rete del gas naturale	15.944	1,3
<b>PROCESSI INDUSTRIALI</b>	<b>1.557</b>	<b>0,1</b>
Produzione di laterizi	0	0,0
Produzione di vetro e cristallo	1.557	0,1
<b>RIFIUTI</b>	<b>91.303</b>	<b>7,2</b>
Discarica	83.844	6,6
Acque reflue	4.443	0,3
Compostaggio	1.944	0,2
Impianto di selezione	1.071	0,1
<b>AFOLU</b>	<b>201.690</b>	<b>15,9</b>
Perdita di carbonio (tagli e incendi boschivi)	97.476	7,7
Variazione di uso del suolo	845	0,1
Uso di urea	35.498	2,8
Fermentazione enterica	29.947	2,4
Gestione del letame	31.998	2,5
Addizione di azoto (N) al suolo	5.926	0,5
<b>Emissioni Lorde</b>	<b>1.27.220</b>	<b>100</b>
<b>Assorbimenti</b>	<b>-1.383.017</b>	
<b>Emissioni Nette</b>	<b>-110.797</b>	
<b>% di abbattimento</b>	<b>108,7%</b>	

Le attività con emissioni più elevate rappresentano le *key categories*, cioè le principali sorgenti di gas climalteranti, suggerendo i settori sui quali concentrare efficaci strategie ambientali per la riduzione degli impatti.

La Figura 6 mostra la serie storica (2006-2021) delle emissioni lorde della Provincia di Siena, suddivise per settore di attività. Possiamo notare che quelle del settore energia, dopo un progressivo aumento nel triennio 2017-2019, sono notevolmente diminuite nel 2020 per poi aumentare di nuovo nel 2021.



**Figura 6** Serie storica delle emissioni lorde per i quattro settori dell'inventario dei gas serra.

**NOTA:** I bilanci dal 2006 al 2012 sono stati redatti secondo le Linee Guida IPCC 2006 e i GWP<sub>100</sub> pubblicati sul *Fourth Assessment Report* (IPCC, 2007), mentre quelli dal 2013 al 2016 utilizzando i GWP<sub>100</sub> 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 2020-2021 è stato utilizzato il *Sixth Assessment Report* (IPCC, 2021). I bilanci al 2015-2021 non sono stati certificati ISO 14064-1, ma sono stati redatti in assoluta continuità con quelli degli anni precedenti.

In particolare, le emissioni del 2021 sono in aumento del 5,9% rispetto all'anno precedente, a causa della ripresa del settore energia (+8,9%), mentre le altre attività hanno mostrato una modesta diminuzione.

Entrando nel dettaglio, il 2019 era stato l'anno con emissioni più alte dal momento in cui la Provincia di Siena è divenuta Carbon Neutral (2011). Il 2020 viene ricordato, invece, come quello con emissioni più basse tra gli



anni studiati fino a questo momento (2006-2021), a causa delle restrizioni dettate dal Governo centrale per il contenimento della pandemia di COVID-19. Nel 2021 c'è stata una ripresa delle principali attività, che si sono nuovamente riconsolidate dopo il disastro sanitario, anche se alcuni settori economici (come, per esempio, il turismo) non sono riusciti a raggiungere i livelli precisi. Viste queste dinamiche, le emissioni lorde al 2021, in particolare quelle del settore energia, si sono posizionate a metà strada tra quelle del 2019 e del 2020.

La Tabella 2 mostra le emissioni lorde in serie storica per settore e sottocategoria d'impatto.

In sintesi, le principali considerazioni da mettere in evidenza per il 2021, rispetto all'anno precedente e in relazione alla pandemia di COVID-19, sono:

- Un aumento delle emissioni dal settore dei trasporti. Dobbiamo, infatti, ricordare che nel 2021 le restrizioni per il contenimento della pandemia di COVID-19 sono state un po' meno severe e hanno interessato un periodo più breve dell'anno rispetto al 2020. Questo fattore ha permesso un maggiore spostamento di persone da un territorio all'altro, determinando l'aumento delle emissioni che si sono sommate a quelle dovute al trasporto merci, regolarmente effettuato sia nel 2020 che nel 2021. Inoltre, dobbiamo ricordare che durante il 2021 i cittadini hanno ridotto il loro tasso di utilizzo dei mezzi pubblici, preferendo mezzi stradali individuali come automobili e motocicli (Openpolis, 2021). Questa scelta può essere almeno in parte riconducibile al maggiore rischio di contagio da COVID-19 in seguito alla permanenza sui mezzi pubblici, a contatto con un elevato numero di persone, ma potrebbe anche essere dovuta all'accessibilità e alla diffusione del servizio di trasporto pubblico locale (ANFIA, 2020). Tuttavia, l'utilizzo meno assiduo dei mezzi pubblici, da parte di alcune persone che prima della pandemia ne usufruivano regolarmente, lascia ipotizzare un correlato aumento delle emissioni, in quanto si prediligevano i mezzi privati, nonostante che il trasporto pubblico fosse stato comunque garantito;
- Un più alto consumo di energia elettrica, prodotta da fonti alternative, dovuto alla ripresa della maggior parte delle attività economiche (specialmente industria e servizi). Infatti, nel 2021 sono stati ridotti lo smart working e la didattica a distanza, inoltre, le attività manifatturiere hanno visto una ricrescita dopo la flessione all'anno precedente;
- Un incremento dell'uso di combustibili fossili per le attività industriali, che in generale nel 2021 hanno visto una ripresa. Infatti, nel 2020 era garantito solo l'effettuarsi a pieno regime delle attività



- alimentari e farmaceutiche, mentre altri tipi di produzione erano state caratterizzate da un forte calo;
- Un minor quantitativo di rifiuti solidi urbani conferiti in discarica a causa di un aumento della percentuale di raccolta differenziata e a un ridotto numero di turisti presenti nel territorio, attività economica che nel 2021 non aveva pareggiato i livelli precisi;
  - Una riduzione del numero di capi allevati, probabilmente perché nel 2021 ne erano stati macellati di più rispetto al 2020. Inoltre, nel 2021 è diminuito il numero di allevamenti presenti;
  - Una riduzione delle emissioni da pratiche agricole, probabilmente a causa della diminuzione dell'acquisto nei negozi al dettaglio dei prodotti a km zero, fatti localmente, a favore di alimenti da agricoltura convenzionale di vasta scala.

Nel 2021 le emissioni lorde pro-capite della Provincia di Siena sono più basse di quelle nazionali (4,8 vs 6,6 t CO<sub>2</sub>-eq/abitante) e sono diminuite rispetto al 2006 (anno di riferimento) ad indicare che la provincia si trova in una condizione ambientale favorevole.

Infatti, l'area amministrativa di Siena ha una bassa densità di popolazione e di attività industriali, e allo stesso tempo è caratterizzata da una vasta area forestale (circa il 45% della superficie totale è rappresentata da boschi) e da un'economia basata su agricoltura e terziario. Anche lo sfruttamento della risorsa geotermica è una peculiarità dell'area, che contribuisce alla produzione di energia elettrica da fonti alternative ai combustibili fossili. La produzione complessiva della provincia è più alta della domanda energetica. Attualmente, gli inventari dei gas serra dell'Italia e di altri Paesi della Comunità Europea non considerano le emissioni di CO<sub>2</sub> da produzione di energia elettrica da centrali geotermiche, quindi, queste sono state omesse anche nel caso della Provincia di Siena (Ármansson et al., 2005; Bravi e Basosi, 2014).

Questo perché le emissioni di CO<sub>2</sub> dovute allo sfruttamento del fluido geotermico possono essere viste come una parte dei cicli che includono vulcani e altri fenomeni naturali (putizze, soffioni, ...), e poiché queste emissioni fanno parte di processi biogeochimici spontanei, la CO<sub>2</sub> rilasciata dalle centrali geotermoelettriche (oggi) è compensata da una riduzione (futura) delle emissioni naturali dai siti geotermici (Lenzi et al., 2021; Sbrana et al., 2020, 2021).

Gli assorbimenti sono aumentati lentamente negli anni, mostrando nel 2021 un incremento del 21% rispetto alla *baseline*. Dobbiamo considerare che in questo studio abbiamo inserito anche gli assorbimenti di CO<sub>2</sub> dovuti alle foreste di bambù gigante, introdotte in Provincia di Siena solo di recente (INDACO<sub>2</sub>, 2019; Marchi et al., 2023).



In questo studio al 2021, è stato possibile ricostruire la variazione dello stock di carbonio nella biomassa in tipi di suolo che hanno cambiato la loro destinazione d'uso negli ultimi 14 anni (2007-2021), ricorrendo ad una serie storica di Mappe Corine Land Cover aggiornate periodicamente. In Provincia di Siena nell'arco temporale considerato hanno cambiato destinazione di utilizzo 4.641,14 ha di suolo all'anno, che nel 2021 hanno determinato la perdita di 1.617 t C (cioè, 5.926 t CO<sub>2</sub>).

Per mancanza di dati primari, nell'inventario dei gas serra al 2021 abbiamo adottato una nuova metodologia di calcolo per quantificare il legname tagliato negli interventi boschivi (De Salvador, 2022; Andreoli, 2023). Abbiamo, infatti, utilizzato le informazioni riportate sulle richieste per le autorizzazioni ai tagli, concesse alle imprese forestali dalla Regione Toscana (Direzione Agricoltura e Sviluppo rurale), anziché il dato primario (cioè, il volume di legname rimosso), fornito direttamente dal Gruppo Carabinieri Forestale di Siena, come fatto nei precedenti inventari dei gas serra (2006-2020). Possiamo, però, affermare in maniera cautelativa che il livello di incertezza associato al dato di attività è aumentato (da 10% a 50%), perché siamo stati costretti a stimare la superficie realmente coinvolta nei tagli forestali.

In questo inventario dei gas serra al 2021 sono state introdotte per la prima volta le emissioni da digestione anaerobica. Il livello di incertezza attribuito al dato di attività per i biodigestori è elevato (50%) in quanto avevamo come informazione diretta solo la produzione di biogas ed elettricità di un impianto collocato nel Comune di Sovicille. Le informazioni relative a tutti gli altri impianti di digestione anaerobica presenti nel territorio senese sono state stimate utilizzando il report del Gestore Servizi Energetici (GSE), relativo alla produzione di energia elettrica in Italia da fonti rinnovabili (GSE, 2023).

In questo inventario dei gas serra al 2021, le categorie di emissione con un livello d'incertezza cumulativa elevato (<95%) sono rimaste le stesse, rispetto a quelle dell'anno precedente, scambiandosi in alcuni casi semplicemente di posto a causa di lievi oscillazioni registrate nei risultati. Tuttavia, affinché si riesca a discutere in maniera univoca i valori ottenuti, creando dei confronti omogenei nella serie storica, sarebbe necessario che le informazioni siano fornite nel modo più accurato possibile e che, magari, provenissero dalla stessa fonte in tutti gli inventari dei gas serra elaborati. Questo renderebbe i risultati più solidi e utili per suggerire politiche ambientali, particolarmente efficaci nella mitigazione delle emissioni climalteranti.

Figura 4 e Figura 6 ci aiutano a capire l'evolversi dei risultati nel tempo. Il fatto di essere riusciti tra il 2006 e il 2011 a colmare completamente il divario tra emissioni antropiche e assorbimenti naturali è certamente molto incoraggiante, soprattutto perché, per gran parte, si è trattato di un risultato "di governo" del



territorio. Tuttavia, non è detto che l'avanzo di bilancio che si è creato si mantenga automaticamente; al contrario il surplus di assorbimento potrebbe assottigliarsi in presenza di molteplici fattori che vanno da una eventuale ripresa economica, con conseguente aumento dei consumi, al semplice lasciare il sistema abbandonato a sé stesso, senza continuare l'opera iniziata sulla scorta dei risultati di questo progetto.

L'avanzo di bilancio si è fortemente amplificato nell'anno 2020 a causa degli effetti dovuti alla pandemia da COVID-19; tuttavia, la ripresa del 2021 è stata limitata dalle restrizioni sanitarie che caratterizzavano ancora i primi mesi dell'anno. In futuro la situazione potrebbe peggiorare (registrando emissioni molto più elevate), anche se nel prossimo bilancio dei gas serra al 2022 ipotizziamo che i risultati risentiranno degli effetti connessi alla guerra tra Russia e Ucraina, che ha portato l'Europa sull'orlo della recessione con l'aumento dei prezzi dei combustibili e la conseguente riduzione dei consumi energetici.

Il dinamismo di questi aspetti ci deve spingere a non adagiarsi sui risultati ottenuti in passato, ma a continuare ad impegnarci. Infatti, la Provincia di Siena potrebbe perdere la condizione di *Carbon Neutrality* nei prossimi anni, nel caso in cui non venissero applicate nuove politiche di mitigazione, e sarebbe una perdita molto grave vista l'unicità del risultato ottenuto.

A tale proposito è necessario e urgente tener conto di questo e coinvolgere prima possibile i cittadini, le aziende e gli enti privati a aderire all'*Alleanza per la Carbon Neutrality: Siena* ([www.carbonneutralsiena.it](http://www.carbonneutralsiena.it)), così da mettere in atto politiche per la riduzione dei gas serra, trascinando il numero più alto possibile di individui/soggetti e decuplicare gli effetti positivi che alcune buone politiche (a livello pubblico) hanno generato in passato.



**Tabella 2** Dettaglio delle emissioni lorde per settore di attività e per sottocategoria di emissione in serie storica\*.

Attività	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Variazione 2006-2021	Variazione 2020-2021
	Gg CO <sub>2eq</sub> (anno) <sup>-1</sup>																	
<b>Settore Energia</b>	<b>1.288</b>	<b>1.218</b>	<b>1.172</b>	<b>1.174</b>	<b>1.117</b>	<b>1.020</b>	<b>964</b>	<b>953</b>	<b>891</b>	<b>932</b>	<b>924</b>	<b>981</b>	<b>991</b>	<b>1.044</b>	<b>898</b>	<b>978</b>	<b>-24,1%</b>	<b>8,9%</b>
<i>Trasporto</i>	741	703	687	666	612	618	557	548	523	530	537	559	566	626	510	562	-24,2%	10,1%
<i>Riscaldamento</i>	438	400	393	386	391	343	353	352	313	341	327	351	356	351	331	351	-19,9%	5,9%
<i>Industria</i>	45	42	35	24	26	25	24	25	23	24	25	23	22	23	19	22	-51,1%	15,9%
<i>Energia elettrica</i>	64	72	57	97	88	34	29	28	32	38	36	40	38	35	22	28	-57,3%	23,7%
<i>Emissioni fuggitive</i>	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	8	8	9	16	16	---	1,7%
<b>Settore Processi Industriali</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>1</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>-87,0%</b>	<b>-9,7%</b>
<b>Settore Rifiuti</b>	<b>117</b>	<b>133</b>	<b>140</b>	<b>137</b>	<b>124</b>	<b>111</b>	<b>114</b>	<b>143</b>	<b>127</b>	<b>122</b>	<b>111</b>	<b>119</b>	<b>123</b>	<b>115</b>	<b>92</b>	<b>91</b>	<b>-21,7%</b>	<b>-0,7%</b>
<i>Inceneritore</i>	0	0	0,338	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	---	
<i>Discarica</i>	101	121	126	124	108	95	98	126	114	107	96	111	115	107	84	84	-17,1%	0,2%
<i>Acque reflue</i>	14	10	12	12	14	14	13	15	11	12	12	6	6	6	5	4	-68,2%	-15,2%
<i>Compost</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	27,7%	11,8%
<i>Impianto di selezione</i>	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	1	1	---	-20,6%
<b>Settore Agricoltura</b>	<b>174</b>	<b>170</b>	<b>177</b>	<b>152</b>	<b>142</b>	<b>149</b>	<b>217</b>	<b>159</b>	<b>174</b>	<b>187</b>	<b>186</b>	<b>225</b>	<b>173</b>	<b>184</b>	<b>209</b>	<b>202</b>	<b>16,1%</b>	<b>-3,6%</b>
<i>Perdita di carbonio (C)</i>	32	15	25	28	26	28	99	26	67	52	48	104	48	62	77	97	209,0%	26,0%
<i>Uso di Urea</i>	5	6	6	3	4	3	4	3	1	2	3	1	1	1	1	1	-83,2%	-28,6%
<i>Fermentazione enterica</i>	47	49	49	46	44	43	40	53	54	53	55	54	52	53	37	35	-24,7%	-4,8%
<i>Gestione del letame</i>	18	16	16	15	14	14	13	16	17	15	15	29	38	36	43	30	64,7%	-30,1%
<i>Addizione di azoto (N) al suolo</i>	72	83	81	59	55	61	62	61	36	64	65	36	35	32	43	32	-55,4%	-26,4%
<i>Variazione di uso del suolo</i>	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	7	6	---	-14,3%
<b>Emissioni Lorde</b>	<b>1.590</b>	<b>1.534</b>	<b>1.490</b>	<b>1.474</b>	<b>1.392</b>	<b>1.282</b>	<b>1.298</b>	<b>1.261</b>	<b>1.199</b>	<b>1.247</b>	<b>1.227</b>	<b>1.330</b>	<b>1.291</b>	<b>1.345</b>	<b>1.201</b>	<b>1.272</b>	<b>-20,0%</b>	<b>5,9%</b>

\* **NOTA:** I bilanci dal 2006 al 2012 sono stati redatti secondo le Linee Guida IPCC 2006 e i GWP<sub>100</sub> pubblicati sul *Fourth Assessment Report* (IPCC, 2007), mentre quelli dal 2013 al 2016 utilizzando i GWP<sub>100</sub> 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 2020-2021 è stato utilizzato il *Sixth Assessment Report* (IPCC, 2021). I bilanci al 2015-2021 non sono stati certificati ISO 14064-1, ma sono stati redatti in assoluta continuità con quelli degli anni precedenti.

## Bibliografia

- Andreoli, A., 2022. Il bilancio del carbonio della Provincia di Parma: applicazione del metodo IPCC. Tesi di Laurea Magistrale in “Ecologia ed Etologia per la Conservazione della Natura” (Università degli Studi di Parma).
- ANFIA, 2020. DOSSIER Trasporto passeggeri e mobilità: FOCUS sul trasporto collettivo su gamma. Associazione Nazionale Filiera Industria Automobilistica.
- Ármannsson, H., Fridriksson, T., Kristjánsson, B.R., 2005. CO<sub>2</sub> emissions from geothermal power plants and natural geothermal activity in Iceland. *Geothermics*, 34, 286-296.
- Bravi, M., Basosi, R., 2014. Environmental impact of electricity from selected geothermal power plants in Italy. *Journal of Cleaner Production* 66, 301-308.
- De Salvador, C., 2021. Studio e stima della capacità di assorbimento di CO<sub>2</sub> di sistemi vegetali nel contesto della contabilità dei gas serra a livello sub-nazionale. Tesi di Laurea Magistrale in “Ecotossicologia e Sostenibilità Ambientale” (Università degli Studi di Siena).
- EU, 2022a. Global CO<sub>2</sub> emissions rebound in 2021 after temporary reduction during COVID lockdown. [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/global-co2-emissions-rebound-2021-after-temporary-reduction-during-covid19-lockdown-2022-10-14\\_en#:~:text=Emissions%20across%20the%20world,just%200.36%25%20below%202019%20levels](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/global-co2-emissions-rebound-2021-after-temporary-reduction-during-covid19-lockdown-2022-10-14_en#:~:text=Emissions%20across%20the%20world,just%200.36%25%20below%202019%20levels).
- EU, 2022b. CO<sub>2</sub> emissions of all world countries – Report 2022. [https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report\\_2022](https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2022).
- GSE, 2023. Rapporto Statistico 2021 – Energia da fonti rinnovabili in Italia.
- INDACO<sub>2</sub>, 2020. Assorbimento di CO<sub>2</sub> di un bambusetto gestito da Forever Bambù e coltivato in Italia. Report a cura di Elena Neri, Riccardo Maria Pulselli, Michela Marchi.
- 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.
- Marchi, M., Marchettini, N., Neri, E., Esposito, G., Niccolucci, V., Pulselli, F.M., Lajo, M., Rissone, E., Pulselli, R.M., 2023. Carbon Footprint offset of a managed Bamboo plantation in temperate regions. *Sustainable Production and Consumption* 40, 220-235. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.05.025>.
- Openpolis, 2021. Con la pandemia si è ridotta la frequenza dell’uso di mezzi pubblici. <https://www.openpolis.it/con-la-pandemia-si-e-ridotta-la-frequenza-nelluso-di-mezzi-pubblici/>.
- Sbrana, A., Lenzi, A., Paci, M., Gambini, R., Sbrana, M., Ciani, V., Marianelli, P., 2021. Analysis of Natural and Power Plant CO<sub>2</sub> Emissions in the Mount Amiata (Italy) Volcanic–Geothermal Area Reveals Sustainable Electricity Production at Zero Emissions. *Energies* 14, 4692.
- Sbrana, A., Marianelli, P., Belgiorio, M., Sbrana, M., Ciani, V., 2020. Natural CO<sub>2</sub> degassing in the Mount Amiata volcanic–geothermal area. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 397, 106852.

*Il SUMMARY REPORT è realizzato nell’ambito dell’iniziativa “ALLEANZA TERRITORIALE CARBON NEUTRALITY: Siena” (Presidente: Prof. Simone Bastianoni, Università di Siena).*

*La redazione del Summary Report e l’elaborazione dei dati sono a cura della Dott.ssa Michela Marchi di Ecodynamics Group, Università di Siena.*

*La parte grafica del Summary Report è stata curata dalla Dott.ssa Fabiola Tropea di Ecodynamics Group, Università di Siena.*

*Responsabile Scientifico: Prof. Federico Maria Pulselli, Università di Siena.*