

GENNAIO 2026

**LIO ENERGY TAURUS S.R.L.**

Via Arrigo Boito 8, 20121 Milano

P.IVA/C.F.: 14219040962

**IMPIANTO AGRIVOLTAICO AVANZATO  
DENOMINATO "NOVI DI MODENA" DA 24 MW**

**COMUNE DI NOVI DI MODENA (MO)**

ELABORATI AMBIENTALI

**ELABORATO R05**

**LIFE CYCLE ASSESSMENT**

**Montana**

**Coordinamento**

Eleonora Lamanna

Simone Demonti

**Codice elaborato**

3651\_7334\_NOV\_R05\_Rev0\_LCA

**Montana S.p.A.**

Via Angelo Carlo Fumagalli 6, 20143 Milano

Tel. +39 02 54 11 81 73 | Fax +39 02 54 12 98 90

Milano (Sede Certificata ISO) | Brescia | Palermo | Cagliari | Roma | Siracusa

C. F. e P. IVA 10414270156

Cap. Soc. 600.000,00 €

[www.montanambiente.com](http://www.montanambiente.com)



## Memorandum delle revisioni

Cod. Documento	Data	Tipo revisione	Redatto	Verificato	Approvato
3651_7334_NOV_R05_Rev0_LCA	01/2026	Seconda emissione	M.Branchi	E.Lamanna	C.Pluchino

**Visto**

*Il Direttore Tecnico*  
Alberto Angeloni



## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>4</b>
1.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE DEL SITO .....	5
1.2 INQUADRAMENTO CATASTALE IMPIANTO .....	6
<b>2. SCOPO DEL LAVORO .....</b>	<b>7</b>
2.1 OBIETTIVO DELLO STUDIO .....	7
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>9</b>
3.1 SOFTWARE UTILIZZATO .....	9
3.2 UNITÀ FUNZIONALE.....	10
3.3 LIBRERIE SELEZIONATE .....	10
3.3.1 Database di inventario (LCI) .....	10
3.3.2 Metodi di valutazione dell’impatto.....	11
<b>3.4 INDIVIDUAZIONE DEL SISTEMA E DEI SUOI CONFINI .....</b>	<b>12</b>
3.4.1 Fasi di progetto .....	12
<b>4. CARATTERIZZAZIONE DELL’IMPIANTO E ANALISI DI INVENTARIO .....</b>	<b>14</b>
4.1 FASE DI PRODUZIONE (FASI A1, A2, A3) .....	14
4.2 FASE DI TRASPORTO E COSTRUZIONE (FASI A4-A5).....	15
4.3 FASE OPERATIVA E MANUTENZIONE (FASE B1 – B5) .....	16
4.4 FASE DI DISMISSIONE (FASE C1 – C4) .....	17
<b>5. STIMA DELLA CARBON FOOTPRINT (GHG/GWPT) .....</b>	<b>19</b>
5.1 CALCOLO DEL FATTORE DI EMISSIONE SPECIFICO.....	19
5.2 CONFRONTO CON DATI DI LETTERATURA .....	20
<b>6. CONCLUSIONI .....</b>	<b>22</b>



## 1. PREMESSA

Il proponente e soggetto responsabile è la società **LIO ENERGY TAURUS S.R.L.**, corrente in Milano (MI) – Via Arrigo Boito, 8 – n. iscrizione REA MI 2766635 – P.IVA 14219040962 – Amministratore Unico e Legale Rappresentante Sig. Luca Raineri.

Nello specifico il progetto presentato prevede la realizzazione di un impianto agrivoltaico composto da 29631 pannelli fotovoltaici (moduli) in silicio monocristallino della potenza unitaria di 810 Wp di potenza pari a **24 MW**; esteso su un'area catastale complessiva di circa 40,11 ha.

L'impianto sarà del tipo grid connected e l'energia elettrica prodotta sarà convogliata in antenna a 36 kV su un ampliamento della Stazione Elettrica (SE) della RTN a 380/132 kV denominata "Carpi Fossoli", come da preventivo avente codice pratica n. 202501649.

Il progetto prevede le seguenti opere:

- Generatore fotovoltaico, suddiviso in n. 2 sottocampi
- Elettrodotto interrato MT 36 kV
- Raccordi con linea AT esistente "Carpi Fossoli"

In data 22/12/2025 sono pervenute alla scrivente le richieste di integrazione formulate da ARPAE nell'ambito del procedimento in corso di cui al protocollo regionale n. 227975 di cui il seguente elaborato ne costituisce la **Life Cycle Assessment (LCA)**

Contestualmente alle integrazioni richieste da ARPAE la proponente ha rivisto il tracciato del cavidotto di connessione con un percorso migliorativo rispetto al tracciato trasmesso in prima istanza che non interessa il centro abitato del Comune di Novi di Modena (Figura 1)



Figura 1: Confronto fra la prima e la seconda configurazione

## 1.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE DEL SITO

Il progetto in esame è ubicato in alcuni terreni del Comune di Novi di Modena in provincia di Modena (MO). Le opere di connessione interesseranno, oltre al comune di Novi di Modena, anche il comune di Carpi.

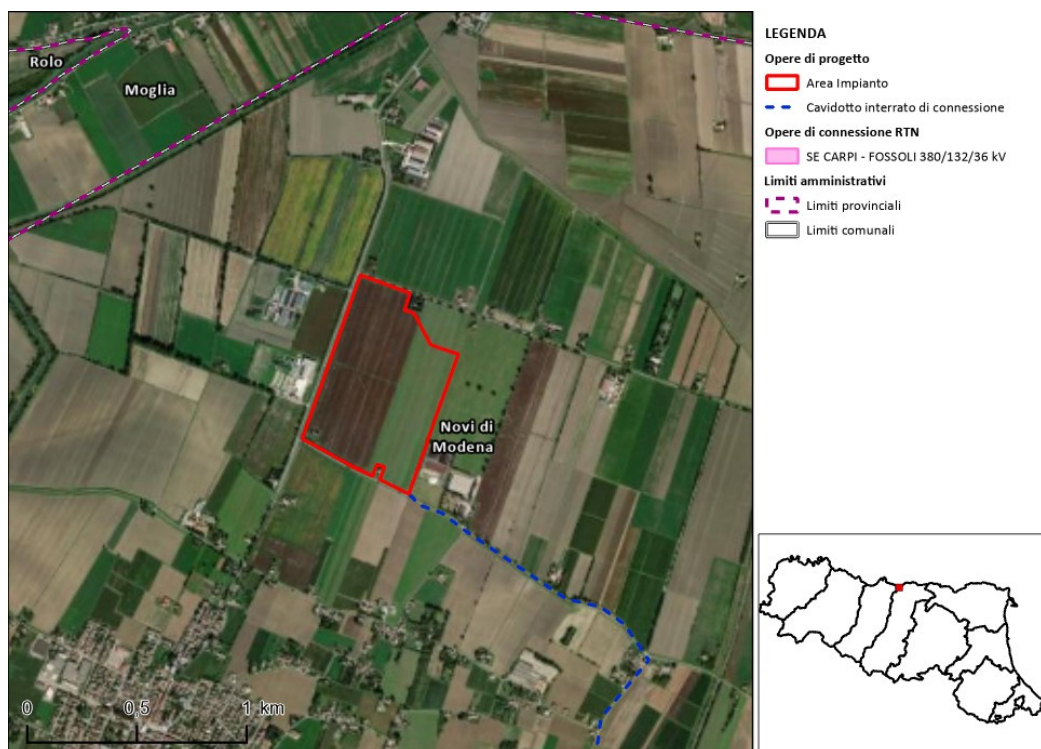


Figura 1.2: Localizzazione dell'impianto

Nello specifico nell'area deputata all'installazione dell'impianto fotovoltaico in oggetto risulta localizzata in località Via Valle Bassa. Il contesto territoriale è prevalentemente agricolo, caratterizzato da coltivazioni a seminativo, con assenza di nuclei abitati significativi e presenza limitata di edifici sparsi. I centri abitati più prossimi sono Fornace di Novi e Moglia.

## 1.2 INQUADRAMENTO CATASTALE IMPIANTO

Le aree oggetto del seguente studio sono censite al catasto terreni del Comune di Novi di Modena (MO). Si riporta di seguito l'elenco delle particelle contrattualizzate.

*Tabella 1.1: Inquadramento catastale del sito*

FOGLIO	PARTICELLA	PORZIONE	SUPERFICIE CATASTALE			SUPERFICIE DISPONIBILE		
			ha	are	ca	ha	are	ca
13	2	AA	0	4	0	0	4	0
		AB	0	0	87	0	0	87
13	9		19	19	40	19	19	40
13	56		0	63	0	0	63	0
13	59		1	12	16	1	12	16
13	71		0	24	40	0	24	40
13	72		0	0	87	0	0	87
13	81		13	28	52	13	28	52
13	83		5	57	70	5	57	70

## 2. SCOPO DEL LAVORO

### 2.1 OBIETTIVO DELLO STUDIO

Obbiettivo principale dello studio LCA è la quantificazione degli “impatti” dell’opera mediante la stima, calcolata nel corso dell’intero ciclo di vita, del valore di uno o più indicatori a seguito delle emissioni e del consumo di risorse provocati durante l’intero ciclo di vita di un impianto. Si deve dunque far riferimento a modelli che individuano e caratterizzano la correlazione esistente fra certi tipi di emissione e altri tipi di impatto ambientale.

In linea generale, le categorie di impatto significative per la caratterizzazione di un kWh elettrico sono riportate in Tabella 2.1, insieme alle unità di misura suggerite per la caratterizzazione degli indici più comunemente utilizzati per le categorie di impatto prese in considerazione.

La richiesta di integrazioni oggetto del presente documento riguarda in particolare la quantificazione degli impatti in termini di bilancio di CO<sub>2</sub> emessa/evitata.

Tabella 2.1: Categoria di impatto

Categoria di impatto	Unità di misura
Consumo di risorse energetiche	MJ/kWh
Consumo di risorse non energetiche	g/kWh
Riscaldamento globale	g CO <sub>2</sub> eq./kWh
Acidificazione	mol H <sup>+</sup> eq./kWh
Danno alla fascia di ozono	g CFC11 eq./kWh
Eutrofizzazione	g O <sub>2</sub> eq./kWh
Formazione di smog fotochimico	g etilene eq./kWh
Produzione di rifiuti	g/kWh

Con riferimento alla lista di indicatori primari di impatto ambientale previsti dalla Tabella 3 della EN15804:2019, l’indicatore utilizzato sarà il “Climate change” (kg di CO<sub>2</sub>eq emessi in atmosfera), quale indicatore associato al “GWP-Total”, Total Global Warming Potential (Potenziale Totale di Riscaldamento Globale).





prospetto 3 Indicatori di impatto ambientale essenziali		
Categoria di impatto	Indicatore	Unità (espressa per unità funzionale o unità dichiarata)
Cambiamento climatico – totale <sup>a)</sup>	Potenziale di riscaldamento globale (GWP-totale)	kg CO <sub>2</sub> eq.
Cambiamento climatico - fossile	Potenziale di riscaldamento globale dei combustibili fossili (GWP-fossile)	kg CO <sub>2</sub> eq.
Cambiamento climatico - biogenico	Potenziale di riscaldamento globale biogenico (GWP-biogenico)	kg CO <sub>2</sub> eq.
Cambiamento climatico - uso del suolo e variazione d'uso del suolo <sup>b)</sup>	Potenziale di riscaldamento globale, uso del suolo e variazione d'uso del suolo (GWP-luluc)	kg CO <sub>2</sub> eq.
Riduzione dello strato di ozono	Potenziale di riduzione dello strato di ozono stratosferico(ODP)	kg CFC 11 eq.
Acidificazione	Potenziale di acidificazione, eccedenza accumulata (AP)	mol H <sup>+</sup> eq.
Eutrofizzazione dell'acqua dolce	Potenziale di eutrofizzazione, frazione di nutrienti che raggiungono il compartimento finale dell'acqua dolce (EP-acqua dolce)	kg P eq.
Eutrofizzazione dell'acqua marina	Potenziale di eutrofizzazione, frazione di nutrienti che raggiungono il compartimento finale dell'acqua marina (EP-marina)	kg N eq.
Eutrofizzazione terrestre	Potenziale di eutrofizzazione, eccedenza accumulata (EP-terrestre)	mol N eq.
Formazione di ozono fotochimico	Potenziale di formazione di ozono troposferico(POCP);	kg NMVOC eq.
Esaurimento delle risorse abiotiche - minerali e metalli <sup>c)</sup>	Potenziale di esaurimento abiotico delle risorse non fossili (ADP-minerale e metalli)	kg Sb eq.
Esaurimento delle risorse abiotiche - combustibili fossili <sup>d)</sup>	Potenziale di esaurimento abiotico delle risorse fossili (ADP- fossili)	MJ, potere calorifico netto
Consumo d'acqua	Potenziale di deprivazione dell'acqua (utente), consumo idrico ponderato in base alla deprivazione (WDP)	m <sup>3</sup> world eq. deprived
<p>a) Il potenziale di riscaldamento globale (GWP-totale) è la somma (vedere punto C.2) di</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— GWP-fossile</li> <li>— GWP-biogenico</li> <li>— GWP-luluc</li> </ul> <p>b) È consentito omettere il GWP-luluc come informazione separata se il suo contributo è &lt; 5 % del GWP-totale rispetto ai moduli dichiarati, escluso il modulo D.</p> <p>c) Il potenziale di esaurimento abiotico è calcolato e dichiarato in due indicatori diversi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— ADP-minerale e metalli include tutte le risorse di materiali abiotici non rinnovabili (cioè ad eccezione delle risorse fossili);</li> <li>— ADP-fossile include tutte le risorse fossili e include l'uranio.</li> </ul> <p>d) modello di riserva finale del modello ADP-minerali&amp;metalli</p>		

Figura 2.1: Categoria di impatto previste da norma UNI 15804 relativa alle dichiarazioni ambientali di prodotto (EPD).



### 3. METODOLOGIA

Lo studio è stato condotto con riferimento alle “Linee guida per studi LCA di sistemi agrivoltaici” (di seguito identificate come “linee guida”) utilizzando i principali riferimenti standardizzati previsti dall’unico riferimento tecnico attualmente reperibile nella normativa nazionale, rappresentato dal Decreto 5 Agosto 2024 “Dotazione dei criteri ambientali minimi per l’affidamento del servizio di progettazione ed esecuzione dei lavori di costruzione, manutenzione e adeguamento delle infrastrutture stradali (CAM Strade)” in cui, al par. 1.3.2, viene indicato che gli studi LCA previsti dalla Relazione di Sostenibilità dell’opera del progetto di fattibilità tecnico-economica, PFTE, (art. 9, commi c, e, d, All. 17 d.lgs. 36/2023) devono essere condotti, al livello pertinente per l’applicazione, secondo le seguenti norme:

- UNI EN 15643 - Sostenibilità delle costruzioni. Quadro di riferimento per la valutazione degli edifici e delle opere di ingegneria civile.
- UNI EN 17472 - Sostenibilità delle costruzioni. Valutazione della sostenibilità delle opere di ingegneria civile. Metodi di calcolo.
- UNI EN 15804 - Sostenibilità delle costruzioni. Dichiarazioni ambientali di prodotto. Regole quadro per categoria di prodotto.

L’analisi della letteratura di settore indica che gran parte delle emissioni di gas serra associate al ciclo di vita dell’impianto sono collegate alla produzione dei materiali dei componenti dell’impianto stesso. È dunque possibile valutare l’impatto dell’impianto conoscendo la quantità dei materiali principali che lo costituiscono ed i mezzi di trasporto (e relativo carburante) impiegati. Riportando dunque la quantità totale dei principali materiali individuati in tabella e moltiplicandola per il “peso climatico” unitario di ciascuno di essi si ottiene una stima del potenziale di riscaldamento globale collegato all’impianto nella sua totalità. Dividendo questo valore per il quantitativo totale di energia prodotta nell’intero ciclo di vita dell’impianto si ottiene il peso (espresso in g CO<sub>2</sub>eq/kWh) del kWh prodotto. Questo risultato potrà essere confrontato con i valori di letteratura in modo da individuare il posizionamento delle performance dell’impianto in valutazione.

Come previsto dalle linee guida, lo studio LCA si compone delle seguenti fasi principali, sviluppate nei successivi paragrafi quali:

- definizione del campo di applicazione;
- raccolta dati e analisi d’inventario;
- valutazione dell’impatto.

#### 3.1 SOFTWARE UTILIZZATO

Per lo svolgimento dell’analisi LCA è stato utilizzato il software SimaPro, versione 10.2.0.3.

Si tratta di un software professionale per la modellazione del ciclo di vita, ampiamente utilizzato in ambito accademico e industriale, che consente di rappresentare sistemi complessi mediante l’approccio “processo per processo” (unit process) e di collegare tutti i flussi di materia ed energia lungo le diverse fasi del ciclo di vita.

In questo studio, SimaPro è stato impiegato per:

- costruire il modello del parco agrivoltaico da 24 MWp sia a livello di impianto complessivo, sia a livello di singole fasi progettuali (produzione, trasporto e costruzione, esercizio/manutenzione, dismissione);
- utilizzare i database LCI integrati, in particolare il database ecoinvent (sistema allocation, cut-off), selezionando i processi più rappresentativi per i principali componenti dell’impianto agrivoltaico

(moduli fotovoltaici, sistemi di montaggio, cavi in BT/MT, inverter, rete di connessione in media tensione, materiali ausiliari e trattamenti di fine vita);

- applicare il metodo di valutazione EN 15804 + A2, con particolare attenzione alla categoria di impatto Climate Change (GWP totale, kg CO<sub>2</sub> eq), in coerenza con le Linee Guida nazionali per gli studi LCA dei sistemi agrivoltaici e con la normativa regionale di riferimento.

L'utilizzo di SimaPro ha permesso di strutturare il modello in maniera modulare (per fasi di vita e per sottosistemi) e di ricondurre i risultati finali all'unità funzionale definita, pari a 1 kWh di energia elettrica prodotta e immessa in rete dal parco agrivoltaico, descritta nel capitolo successivo.

### 3.2 UNITÀ FUNZIONALE

L'unità funzionale (UF) è definita come "la prestazione quantificata di un sistema di prodotto da utilizzare come unità di riferimento in uno studio di valutazione del ciclo di vita". Lo scopo dell'unità funzionale è quindi quello di "fornire un riferimento a cui legare i flussi in entrata e in uscita" dal sistema indagato.

Gli indicatori stimati vengono dunque rapportati e standardizzati rispetto all'unità funzionale di riferimento.

Per la generazione di elettricità l'unità funzionale è individuata in 1 kWh di elettricità, al netto dell'autoconsumo dell'impianto, prodotta e distribuita all'utente finale garantendo l'integrazione della valutazione relativa alla localizzazione.

### 3.3 LIBRERIE SELEZIONATE

Per la modellazione del ciclo di vita del parco eolico sono state utilizzate le librerie di dati e di metodi già integrate all'interno di SimaPro facendo riferimento a diversi parametri descritti di seguito.

#### 3.3.1 Database di inventario (LCI)

Lo studio si basa principalmente sul database ecoinvent 3, nella seguente configurazione di sistema:

- System model: *allocation, cut-off by classification*
- Formato dei processi: *unit process, Cut-off, U/S*

Questa scelta è motivata da diversi aspetti:

- Ampia copertura settoriale: ecoinvent fornisce dataset dedicati alla produzione dei moduli fotovoltaici in silicio cristallino, dei sistemi di montaggio per impianti a terra, degli inverter e delle infrastrutture di rete, oltre ai principali materiali da costruzione (acciaio, calcestruzzo, plastiche, vetro, rame, ecc.), ai trasporti e ai trattamenti di fine vita (riciclo, discarica, incenerimento).
- Coerenza con l'approccio modulare EN 15804: il modello cut-off attribuisce al sistema in studio gli impatti associati alla produzione dei materiali "vergini" e alla gestione dei rifiuti generati, senza assegnare crediti per eventuali benefici del riciclo a valle; questa impostazione è coerente con l'interpretazione adottata nel presente lavoro per la scomposizione in fasi A–C.
- Rappresentatività geografica adeguata: in assenza di dataset specificamente italiani, si è fatto ricorso ai processi {RER} (Rest of Europe) e {GLO} (Global) come proxy per il contesto nazionale. Tale scelta è ritenuta accettabile alla scala di un impianto agrivoltaico utility-scale, poiché le



differenze geografiche più rilevanti (ad esempio nel mix elettrico di produzione dei moduli) sono già internalizzate nei processi ecoinvent.

All'interno di ecoinvent sono stati selezionati, tra gli altri, i seguenti insiemi di processi (qui richiamati a livello di categoria):

- Moduli fotovoltaici: processi di produzione di pannelli FV multi-cristallini (photovoltaic panel production, multi-Si wafer, RER), utilizzati come base per la modellazione dei moduli da 810 Wp in progetto e adattati tramite scaling in funzione della superficie totale installata.
- Sistemi di montaggio: processi per mounting system di impianti FV a terra (photovoltaic mounting system production, open ground), impiegati per rappresentare le strutture in acciaio e alluminio dei tracker, anch'essi scalati in funzione della superficie dei moduli.
- Componenti elettrici di potenza: processi di produzione di inverter (es. inverter production, 500 kW, RER) e, ove opportuno, processi di costruzione della rete in media tensione (transmission network construction, electricity, medium voltage), utilizzati per la modellazione della parte elettrica di conversione e connessione alla rete.
- Materiali e combustibili: processi market for... per acciaio, calcestruzzo, plastiche, vetro, rame e altri materiali ausiliari, nonché processi di combustione del gasolio in macchinari da cantiere (diesel, burned in building machine, non-road), impiegati per rappresentare i consumi di cantiere nelle fasi A5 e, ove previsto, nelle attività di manutenzione.
- Trasporti: processi di trasporto su gomma (camion merci di diverse portate, con unità in t·km), utilizzati per modellare il trasferimento dei principali componenti dall'hub logistico al sito (fase A4) e, in modo semplificato, eventuali spostamenti connessi alle attività operative.
- Trattamenti di rifiuti: processi market for waste... per calcestruzzo armato, metalli, plastiche, vetro, rifiuti elettronici e oli esausti, impiegati per rappresentare le destinazioni a fine vita dei componenti principali nell'ambito della fase C1–C4.

Per la definizione dei quantitativi (masse, lunghezze di cavi, potenze degli inverter, ecc.) si è fatto riferimento al computo metrico estimativo e alla documentazione progettuale dello Studio di Impatto Ambientale, integrati da letteratura tecnica. I profili ambientali (consumi di risorse, emissioni in aria, acqua e suolo) sono stati assunti direttamente dalle librerie ecoinvent associate ai processi selezionati.

### **3.3.2 Metodi di valutazione dell'impatto**

Per la fase di valutazione dell'impatto ambientale (LCIA) è stata utilizzata la libreria di metodi integrata in SimaPro, selezionando in particolare il metodo EN 15804 + A2 specifico per prodotti e opere da costruzione, in linea con le norme europee di riferimento.

All'interno di tale metodo è stata considerata, come indicatore principale, la categoria Climate change – GWP totale (espresso in kg CO<sub>2</sub> eq) che rappresenta l'insieme delle emissioni climalteranti associate alle diverse fasi del ciclo di vita dell'impianto agrivoltaico rapportate all'unità funzionale definita.



### 3.4 INDIVIDUAZIONE DEL SISTEMA E DEI SUOI CONFINI

La definizione dei confini del sistema indagato consiste nel selezionare quali processi/operazioni (per esempio produzione di materiali, trasporto, produzione di energia ecc.) e flussi (emissioni, rifiuti ecc.) devono essere tenuti in considerazione.

Uno studio del ciclo di vita dell'energia eolica deve essere esteso sia alla fase di produzione che a quella di distribuzione dell'elettricità.

Ogni impianto deve essere valutato singolarmente relativamente alle seguenti fasi in cui il ciclo di vita può essere suddiviso: costruzione, trasporto, fase produttiva e fine vita degli impianti.

Nel modello LCA di base la producibilità specifica dell'impianto (1629 kWh/kWp/anno) è stata assunta costante nel tempo, come da stima riportata nello Studio di Impatto Ambientale. Non è stata quindi implementata una curva esplicita di decadimento annuale della potenza di picco dei moduli.

La letteratura tecnica relativa ai moduli in silicio cristallino riporta tipicamente tassi di decadimento dell'ordine di 0,3–0,7 %/anno; tali valori sono alla base delle garanzie di prestazione dei principali produttori (che di norma assicurano almeno il 80–85 % della potenza nominale al 25° anno). Ciò significa che, nell'arco dei 30 anni considerati nello studio, la producibilità reale potrebbe ridursi progressivamente rispetto al valore iniziale.

In prima approssimazione, un decadimento costante della producibilità comporterebbe una riduzione dell'energia elettrica complessivamente prodotta nell'arco di vita e, di conseguenza, un aumento proporzionale del fattore di emissione espresso in gCO<sub>2</sub>eq/kWh. Tuttavia, anche ipotizzando un tasso di decadimento conservativo (ad es. 0,5 %/anno), l'aumento del fattore di emissione resterebbe contenuto e il risultato finale rimarrebbe pienamente all'interno dell'intervallo di valori riportati in letteratura per impianti fotovoltaici utility-scale. Per semplicità e in coerenza con i dati di producibilità forniti nella documentazione progettuale, si è quindi mantenuto nel modello un valore medio annuo costante, segnalando esplicitamente questa assunzione tra le fonti di incertezza dello studio.

#### 3.4.1 Fasi di progetto

Come previsto dalle indicazioni delle Linee Guida, l'analisi esclude la valutazione delle prestazioni economiche (LCC) e sociali dell'opera, limitando così l'applicazione della richiamata norma alla sola valutazione della prestazione ambientale.

Nel dettaglio, con riferimento alle fasi standardizzate definite dalla norma UNI EN ISO 15643 per l'analisi del ciclo di vita, lo studio ha preso in considerazione le emissioni generate nelle seguenti principali fasi così articolare (Tabella 3.1):

- Fasi A1-A2-A3: produzione dei componenti;
- Fase A4 - A5: trasporto dei componenti presso il sito, costruzione (viabilità di accesso, fondazioni, ecc.) e messa in posa degli aerogeneratori;
- Fase B1 - B5: produzione e manutenzione (Fase di utilizzo);
- Fasi C1-C4: dismissione.



Tabella 3.1: Discretizzazione delle fasi di realizzazione di un'opera secondo la norma UNI EN ISO 15643.

FASE DI PRODUZIONE			FASE DI COSTRUZIONE		FASE DI UTILIZZO					FASE DI FINE VITA			
FORNITURA DEI MATERIALI	TRASPORTO	PRODUZIONE	TRASPORTO	COSTRUZIONE	B1	B2	B3	B4	B5	DEMOLIZIONE	TRASPORTO	TRASFORMAZIONE DEI RIFIUTI PER IL RIUTILIZZO, IL RICICLAGGIO E IL RECUPERO ENERGETICO	SMALTIMENTO
					UTILIZZO	MANUTENZIONE	RIPARAZIONE	SOSTITUZIONE	RIFACIMENTO				
					B6 CONSUMO ENERGETICO IN FASE DI FUNZIONAMENTO								
					B7 CONSUMO IDRICO IN FASE DI FUNZIONAMENTO								
					B8 UTILIZZO DA PARTE DELL'UTENTE								
A1	A2	A3	A4	A5						C1	C2	C3	C4

## 4. CARATTERIZZAZIONE DELL'IMPIANTO E ANALISI DI INVENTARIO

### 4.1 FASE DI PRODUZIONE (FASI A1, A2, A3)

La fase di produzione (A1–A3) comprende l'approvvigionamento delle materie prime, la lavorazione e la fabbricazione dei materiali utilizzati per la realizzazione del campo agrivoltaico, con particolare riferimento a:

- moduli fotovoltaici in silicio cristallino;
- sistemi di montaggio su struttura a terra (tracker);
- componentistica elettrica principale (inverter, rete in media tensione);
- materiali da costruzione per le opere civili ed elettriche accessorie (cavidotti, plinti, recinzioni, viabilità interna).

Un aspetto metodologico importante, alla base della modellazione, è che alcuni dataset ecoinvent utilizzati per i componenti chiave (moduli FV, sistemi di montaggio, inverter, rete MT) non rappresentano solo la produzione iniziale, ma descrivono originariamente l'intero ciclo di vita tecnico dell'apparecchiatura, includendo insieme:

- la fase di produzione (materiali, energia, trasporti a monte);
- la fase di smaltimento / trattamento a fine vita, attraverso flussi di rifiuto verso processi *market for waste...* (vetro, metalli, plastiche, calcestruzzo, rifiuti elettronici, ecc.).

Per i moduli fotovoltaici il riferimento principale è il processo ecoinvent *"photovoltaic panel production, multi-Si wafer, RER | Cut-off, U"*, che descrive la produzione di 1 m<sup>2</sup> di pannello multicristallino montato e incorniciato, includendo nei flussi originali anche la gestione a fine vita.

Per utilizzare questo dataset solo per la fase di produzione (A1–A3) è stata creata una copia specifica, in cui sono stati mantenuti tutti gli input di materiali ed energia (vetro, silicio, alluminio, incapsulanti, elettricità di processo, ecc.) e gli eventuali usi/trasformazioni del suolo, mentre sono stati azzerati tutti gli output di rifiuti e rottami. Tali flussi di rifiuto sono stati invece conservati in una seconda copia del dataset, utilizzata per la fase C1–C4, costruita in modo complementare (solamente rifiuti e trattamenti, senza materiali in ingresso).

La quantità di moduli modellata nella fase A1–A3 è stata ricavata dalla documentazione progettuale: superficie totale di **100.229,5 m<sup>2</sup>**, corrispondente a 29.631 moduli da 810 Wp ciascuno.

Lo stesso approccio è stato adottato per i sistemi di montaggio, utilizzando il dataset *"photovoltaic mounting system production, for 570 kWp open ground module, GLO | Cut-off, U"*, che rappresenta la produzione delle strutture metalliche per l'installazione a terra di 1 m<sup>2</sup> di pannelli. Anche in questo caso il dataset originario include alcune ipotesi di fine vita: per la fase A1–A3 è stata usata una copia contenente solo gli input di materiali (acciaio zincato, alluminio, ecc.), mentre gli output di rifiuti (plastiche, calcestruzzo, ecc.) sono stati spostati nella copia dedicata alla fase C1–C4. La superficie di riferimento è, anche qui, 100.229,5 m<sup>2</sup>, in modo da mantenere coerenza tra moduli e strutture di supporto.

Per gli inverter è stato preso come riferimento il processo *"inverter production, 500 kW, RER | Cut-off, U"*, rappresentativo della produzione di un inverter di potenza nominale 500 kW. Considerata la potenza complessiva dell'impianto (24.001,11 kWp) e la configurazione di campo, il numero di inverter equivalenti è stato ottenuto tramite scalatura lineare (rapporto tra potenza totale e taglia unitaria di 500 kW). Anche qui il dataset è stato duplicato: una copia utilizzata per la produzione (A1–A3), mantenendo tutti gli input di materiali ed energia, e una copia utilizzata per la dismissione (C1–C4), nella quale sono stati mantenuti solo i flussi di rifiuto e trattamento (rifiuti elettronici, metalli, ecc.).



Per quanto riguarda la rete in media tensione interna e di connessione, si è fatto riferimento al dataset *“transmission network construction, electricity, medium voltage, RoW | Cut-off, U”*, che descrive i materiali e le infrastrutture associate a 1 km di rete MT. Anche in questo caso si è proceduto alla separazione tra fase di produzione (A1–A3) e fase di fine vita (C1–C4) tramite due copie complementari del dataset, mentre i quantitativi (km di rete) sono stati ricavati dalla progettazione del collegamento alla stazione RTN.

Le altre opere civili ed elettriche (cavidotti, plinti di fondazione minori, recinzioni, viabilità interna, basamenti di cabine e power station) sono state modellate tramite processi *market for...* di materiali (calcestruzzo, acciaio, inerti, conglomerati bituminosi o misti granulati, ecc.), utilizzando come base i quantitativi riportati nel computo metrico estimativo. Nella selezione dei materiali si è posta particolare attenzione a non duplicare elementi già internalizzati nei dataset standard (ad esempio parti di fondazione o di struttura metallica già comprese nei processi di mounting system), così da evitare doppi conteggi.

Si è scelto di non intervenire sugli eventuali input energetici che, nei dataset originali, coprono anche quote di energia legate alle fasi di assemblaggio o smontaggio in fabbrica: tali contributi sono quantitativamente ridotti rispetto alle masse di materiali coinvolte e la loro attribuzione alla fase A1–A3, anziché ad A5 o C, rappresenta una semplificazione conservativa ritenuta accettabile rispetto al livello di dettaglio richiesto dallo studio.

## **4.2 FASE DI TRASPORTO E COSTRUZIONE (FASI A4-A5)**

La fase di trasporto (A4) riguarda il trasferimento delle principali componenti dell’impianto agrivoltaico dal polo logistico finale (magazzino/area industriale di arrivo) al sito di installazione. In assenza di indicazioni più specifiche nella documentazione progettuale, è stata assunta una distanza media di 40 km, rappresentativa del percorso su gomma tra l’hub di approvvigionamento e l’area di cantiere.

Sono state considerate in questa fase le seguenti categorie di componenti:

- moduli fotovoltaici (circa 100.229,5 m<sup>2</sup> di superficie complessiva, pari a 29.631 moduli da 810 Wp);
- sistemi di montaggio a terra (tracker in acciaio e alluminio);
- cavi in corrente continua e in media tensione;
- inverter e apparecchiature di conversione (power station, quadri, trasformatori MT/BT).

Le masse complessive di queste componenti sono state ricavate dal computo metrico estimativo e dalla documentazione progettuale, ottenendo un ordine di grandezza di circa 2.400 t complessive di materiali da movimentare. Il trasporto è stato modellato in SimaPro tramite un processo di trasporto merci su gomma di tipo Euro 6 (ad es. *transport, freight, lorry 16–32 t, EURO6 {RER}*), espresso in t·km e calcolato come prodotto tra la massa totale trasportata e la distanza media di 40 km.

L’approvvigionamento delle materie prime e dei semilavorati a monte (metalli, vetro, plastiche, silicio, ecc.) non è stato modellato tramite trasporti specifici nella fase A4, poiché tali flussi risultano già internalizzati nei dataset ecoinvent di produzione dei moduli, delle strutture di montaggio e degli altri componenti principali. In A4 è quindi rappresentato solo il “trasporto locale” delle componenti finite verso il sito di installazione, evitando doppi conteggi sui trasporti a monte.

La fase di costruzione (A5) comprende le attività di cantiere necessarie alla realizzazione dell’impianto, quali:

- movimentazione terra per cavidotti e plinti/locali tecnici;
- installazione delle strutture di montaggio (infissione o posa dei pali, montaggio delle traverse);





- posa dei cavi e delle canalizzazioni;
- installazione di inverter, quadri e power station;
- realizzazione delle opere civili minori (viabilità interna, recinzioni, basamenti).

Dal punto di vista LCA, gli impatti della fase A5 sono stati modellati in funzione del consumo complessivo di gasolio dei macchinari di cantiere (escavatori, pale, autocarri, gru telescopiche, ecc.) arrivando ad un consumo complessivo dell'ordine di  $1,6 \cdot 10^7$  MJ di energia sotto forma di gasolio per l'intera fase di costruzione dell'impianto agrivoltaico. In SimaPro questo flusso è stato rappresentato mediante il processo ecoinvent "*diesel, burned in building machine {RER}*", che incorpora sia le emissioni dirette di combustione sia una quota degli impatti a monte (estrazione e raffinazione del combustibile).

Altri contributi di cantiere (oli lubrificanti dei mezzi, piccoli ausiliari, imballaggi, ecc.) non sono stati modellati in modo esplicito, in quanto di ordine di grandezza inferiore rispetto agli impatti associati ai materiali (fase A1–A3) e al consumo di gasolio dei macchinari. Sulla base della letteratura e delle analisi di sensitività, l'approssimazione adottata è ritenuta conservativa e adeguata al livello di dettaglio richiesto dallo studio.

#### 4.3 FASE OPERATIVA E MANUTENZIONE (FASE B1 – B5)

La fase di utilizzo dell'impianto agrivoltaico comprende le attività di esercizio, monitoraggio e manutenzione dei moduli fotovoltaici, dei sistemi di montaggio e della componente elettrica (inverter, quadri, power station e rete MT). Le manutenzioni ordinarie riguardano principalmente ispezioni visive, verifiche elettriche, eventuali interventi correttivi su stringhe/moduli e sugli inverter, oltre alle operazioni di pulizia dei moduli secondo quanto previsto dal progetto.

Dal punto di vista LCA, gli impatti della fase B sono stati modellati in modo selettivo, concentrandosi sugli elementi che, sulla base della letteratura, hanno il maggiore peso in termini di impronta climatica:

- **Sostituzione degli inverter.**

Gli inverter presentano una vita utile inferiore rispetto ai moduli fotovoltaici: in linea con la pratica corrente per impianti utility-scale, si è assunto un rimpiazzo completo degli inverter a metà vita dell'impianto (circa al 15° anno). In SimaPro ciò è stato rappresentato mediante un processo dedicato alla fase B che include, come input, una quantità di inverter pari a quella installata in fase A1–A3, utilizzando lo stesso dataset ecoinvent (*inverter production, 500 kW, RER*) impiegato per la produzione. In questo modo la fase operativa incorpora l'onere ambientale associato alla produzione della "seconda generazione" di inverter necessaria al prolungamento della vita tecnica dell'impianto a 30 anni.

- **Consumo d'acqua per il lavaggio dei moduli.**

In coerenza con lo Studio di Impatto Ambientale, il lavaggio dei moduli viene effettuato con sola acqua, senza detergenti, con un consumo pari a 2 L/m<sup>2</sup> ogni 4 mesi. Rapportando tale valore alla superficie totale dei moduli (100.229,5 m<sup>2</sup>) e all'intera vita utile, si ottiene un volume complessivo dell'ordine di 18.000 m<sup>3</sup> di acqua. Questo flusso è stato rappresentato attraverso un processo di produzione e distribuzione di acqua potabile (*tap water, at user, RER*), associato alla fase B7 ("consumo idrico in fase di funzionamento"), rilevante soprattutto per l'indicatore di uso delle risorse idriche e marginale ai fini del GWP.

Altri aspetti della fase B quali:

- piccoli consumi di gasolio o di carburante per i mezzi utilizzati nelle ispezioni periodiche,
- consumi elettrici ausiliari degli edifici di servizio,
- interventi manutentivi minori sulla carpenteria o sui cavidotti,
- eventuali attività agricole connesse alla gestione della coltura sottostante,

non sono stati modellati in modo esplicito per mancanza di dati LCI affidabili e coerenti con il livello di dettaglio dello studio. La letteratura e le analisi di sensitività svolte indicano comunque che, in un impianto fotovoltaico utility-scale, il contributo di tali voci al Global Warming Potential è nettamente inferiore rispetto a quello della produzione dei moduli e delle strutture, e la loro esclusione non altera le conclusioni complessive dello studio.

#### **4.4 FASE DI DISMISSIONE (FASE C1 – C4)**

La fase di dismissione dell'impianto agrivoltaico prevede lo smontaggio controllato dei moduli, delle strutture di montaggio, delle apparecchiature elettriche (inverter, quadri, trasformatori), dei cavidotti e delle infrastrutture accessorie, con l'obiettivo di:

- massimizzare il recupero e il riciclo dei materiali (metalli, vetro, componenti elettroniche);
- garantire il corretto conferimento dei rifiuti non riciclabili presso impianti autorizzati;
- ripristinare, per quanto possibile, le condizioni morfologiche e agronomiche originarie dei terreni agricoli interessati.

In linea generale, le principali operazioni previste sono:

- Smontaggio dei moduli fotovoltaici dagli inseguitori e stoccaggio temporaneo in area di cantiere; successivo invio a impianti specializzati per il trattamento di pannelli FV, con recupero di vetro, alluminio e metalli, e corretta gestione delle frazioni residue.
- Smontaggio delle strutture di montaggio (traverse, pali e profili metallici), con taglio o estrazione dei pali infissi nel terreno e conferimento delle parti metalliche a recupero presso impianti di riciclo dei rottami ferrosi/non ferrosi.
- Rimozione degli inverter, dei quadri elettrici e delle power station, con avvio a recupero dei componenti metallici e trattamento come rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE) delle parti elettroniche.
- Gestione delle infrastrutture di rete interna e dei cavidotti, con rimozione dei cavi dove tecnicamente ed economicamente fattibile, oppure messa in sicurezza in situ e ripristino dei cavidotti e dei pozzetti, secondo quanto previsto dal progetto di dismissione.
- Ripristino delle opere civili e dei terreni agricoli, tracciando e rimuovendo, ove necessario, le fondazioni superficiali e le pavimentazioni di servizio, riempiendo gli scavi con materiale idoneo, ricollocando il terreno vegetale precedentemente asportato e ripristinando le sistemazioni agronomiche funzionali alla ripresa delle attività agricole.

Ai fini della modellazione LCA, la fase C1–C4 è stata rappresentata utilizzando in maniera sistematica i flussi di rifiuto già presenti nei dataset ecoinvent di riferimento, opportunamente separati dalla fase di produzione. Come descritto nel paragrafo 4.1, i dataset di base per moduli, sistemi di montaggio, inverter e rete MT (ad es. *photovoltaic panel production, multi-Si wafer, RER; photovoltaic mounting system production, open ground; inverter production, 500 kW, RER; transmission network construction, electricity, medium voltage*) includono, all'interno dello stesso processo, sia la produzione delle componenti, sia la gestione a fine vita



mediante numerosi output di tipo Waste collegati a processi market for waste... che modellano trasporto, riciclo, incenerimento o discarica.

Per mantenere coerenza con l'approccio modulare EN 15804, per ciascuno di questi componenti sono stati costruiti due processi complementari:

- un processo "A1–A3", contenente solo gli input di materiali ed energia;
- un processo "C1–C4", contenente esclusivamente i flussi di rifiuto e trattamento (vetro di scarto, rottami metallici, plastiche, calcestruzzo, rifiuti elettronici, ecc.).

Nel modello di fase C dell'impianto, i processi di fine vita sono stati chiamati con quantitativi coerenti con quelli adottati in fase A1–A3 (stessa superficie di moduli e mounting, stessa lunghezza di rete MT, numero di inverter pari alla somma di quelli installati inizialmente e di quelli sostituiti nel corso della vita utile). In tal modo, il sistema "chiude" il ciclo di vita riportando a fine vita tutte le masse immesse in fase di produzione e di manutenzione.

Non è stato introdotto un ulteriore consumo specifico di gasolio per lo smantellamento, poiché i dataset ecoinvent utilizzati per il trattamento rifiuti e per la costruzione delle infrastrutture includono già una quota di energia associata alle operazioni di recupero e demolizione. Per evitare il rischio di doppio conteggio, si è quindi deciso di non aggiungere ulteriori processi di combustione di gasolio in fase C; l'energia "di cantiere" legata alle operazioni di dismissione è implicitamente considerata nei processi di trattamento dei rifiuti.

Le attività di ripristino morfologico e vegetazionale del sito (spianamenti finali, ricollocazione del terreno vegetale, risemina di essenze erbacee coerenti con il contesto agronomico) sono state considerate principalmente a livello qualitativo. Una parte degli effetti materiali (rimozione di calcestruzzo, inerti e componenti metallici) è già inclusa nei flussi di rifiuto menzionati; non è stato invece costruito un inventario dedicato per le operazioni di rinverdimento, in quanto il loro contributo atteso al GWP è marginale rispetto alle masse di materiali gestite nella produzione e dismissione dei componenti principali.

## 5. STIMA DELLA CARBON FOOTPRINT (GHG/GWPt)

La Carbon Footprint, letteralmente impronta di carbonio, è un indicatore che permette di stimare gli impatti ambientali causati dalle attività di origine antropica in termini di effetti sul fenomeno di “*climate change*” e, quindi, sul riscaldamento globale.

In particolare, l’indicatore *Climate Change* utilizzato per l’implementazione del metodo, stima le emissioni di gas serra espresse in kg di CO<sub>2</sub> equivalenti permettendo di identificare la Carbon Footprint complessiva.

Dai calcoli condotti, la Carbon Footprint stimata per il ciclo di vita dell’impianto agrivoltaico in progetto è risultata pari a  **$3,18 \times 10^7$  Kg CO<sub>2</sub>eq**

### 5.1 CALCOLO DEL FATTORE DI EMISSIONE SPECIFICO

Il modello LCA è stato costruito inizialmente a scala di impianto, considerando l’intero ciclo di vita del parco agrivoltaico da 24.001,11 kWp su una vita utile di progetto pari a 30 anni.

Per ricondurre i risultati all’unità funzionale prescelta (1 kWh di energia elettrica prodotta e immessa in rete), è stata innanzitutto determinata l’energia totale prodotta dall’impianto nell’arco dei 30 anni, a partire dai dati di producibilità riportati nello Studio di Impatto Ambientale:

- potenza installata: 24.001,11 kWp
- producibilità specifica: 1.629 kWh/kWp-anno
- produzione annua: 39.098.000 kWh/anno

Da questi parametri si ottiene un’energia complessiva di vita  **$E_{vita}$**  pari a  **$1,17 \times 10^9$  kWh**.

Il fattore di emissione specifico è stato quindi ricavato in modo diretto tramite Simapro come rapporto tra le emissioni totali di gas a effetto serra associate all’impianto sull’intero ciclo di vita e l’energia elettrica netta complessivamente prodotta nello stesso periodo.

Espresso per l’unità funzionale adottata il risultato corrisponde a circa: **27,1 g CO<sub>2</sub> eq per kWh**, valore che include congiuntamente il contributo di tutte le fasi modellate nello studio.

#### *Scelta della vita utile dell’impianto (30 anni)*

Le Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici assumono, per semplicità e omogeneità tra i progetti, una vita utile di riferimento pari a 20 anni. In questo studio LCA si è scelto di adottare un orizzonte temporale pari a 30 anni, coerente con:

- le garanzie di prodotto e di prestazione oggi offerte dai principali produttori di moduli, che arrivano tipicamente a 25–30 anni;
- l’evidenza empirica riportata dalla letteratura tecnica internazionale (ad es. report nell’ambito del programma IEA PVPS), che documenta come i moduli in silicio cristallino possano rimanere in esercizio per periodi anche superiori ai 30 anni, mantenendo prestazioni energetiche ancora significative;
- la pratica corrente degli operatori di mercato, per i quali una vita tecnica di 25–30 anni rappresenta il riferimento usuale per gli impianti utility-scale.



L'estensione dell'orizzonte di analisi a 30 anni non è finalizzata a "migliorare artificialmente" i risultati, bensì a rappresentare in modo più fedele la durata tecnica attesa dell'investimento. È importante sottolineare che, se si applicasse lo stesso inventario di ciclo di vita a un orizzonte conservativo di 20 anni (lasciando invariata la fase di costruzione), le emissioni totali di CO<sub>2</sub>eq verrebbero ripartite su un quantitativo di energia prodotta minore, con un semplice effetto di scala:

- scenario base (30 anni): 27,1 gCO<sub>2</sub>eq/kWh;
- scenario conservativo (20 anni): valore incrementato di un fattore pari a  $30/20 \approx 1,5$ , ossia circa 41 gCO<sub>2</sub>eq/kWh.

Anche nello scenario a 20 anni, il fattore di emissione rimarrebbe comunque di un ordine di grandezza inferiore rispetto alle emissioni specifiche delle centrali termoelettriche convenzionali ( $\approx 460$  gCO<sub>2</sub>eq/kWh riferiti alla sola produzione da fonti fossili, dati ISPRA). La scelta di 30 anni va dunque letta come un'ipotesi tecnica realistica e non ottimistica, mentre il confronto con lo scenario a 20 anni dimostra che la gerarchia tra le alternative (impianto agrivoltaico vs mix fossile) non cambia al variare dell'orizzonte temporale.

## 5.2 CONFRONTO CON DATI DI LETTERATURA

Fra le diverse categorie di impatto, il riscaldamento globale è sicuramente l'effetto ambientale di scala globale più significativo per l'attività di produzione di energia elettrica. I quantitativi di gas serra emessi durante il ciclo di vita di un impianto vengono normalmente espressi in grammi di CO<sub>2</sub> equivalenti, attraverso un'operazione di standardizzazione basata sui "potenziali di riscaldamento globale" (GWPs, Global Warming Potentials). Questi potenziali sono calcolati per ciascun gas serra tenendo conto della sua capacità di assorbimento delle radiazioni e del tempo della sua permanenza nell'atmosfera, con "tempo orizzonte" di 100 anni (GWP100).

Nella tabella seguente (Tabella 5.1) sono riassunti alcuni dati di letteratura riportati nelle Linee Guida, relativi al range di variabilità e alla media delle emissioni di gas serra durante l'intero ciclo di vita di alcune fonti energetiche, sia fossili sia rinnovabili. Per il fotovoltaico viene indicato un valore medio pari a 90 gCO<sub>2</sub>eq/kWh, con un intervallo di variabilità compreso tra 15 e 560 gCO<sub>2</sub>eq/kWh; per confronto, l'eolico presenta una media di 25 gCO<sub>2</sub>eq/kWh, mentre le tecnologie fossili mostrano valori dell'ordine di 543 gCO<sub>2</sub>eq/kWh per il gas naturale e 1004 gCO<sub>2</sub>eq/kWh per il carbone.

L'impianto agrivoltaico in progetto presenta un fattore di emissione pari a 27,1 gCO<sub>2</sub>eq/kWh, riferito all'intero ciclo di vita (produzione dei componenti, trasporto e costruzione, esercizio/manutenzione e dismissione). Tale valore:

- rientra pienamente nel range di variabilità riportato per il fotovoltaico;
- è nettamente inferiore al valore medio di 90 gCO<sub>2</sub>eq/kWh indicato dalle Linee Guida;
- risulta comparabile alle migliori prestazioni riportate per le tecnologie rinnovabili (ordine di grandezza analogo ai valori di letteratura per l'eolico onshore).

Il posizionamento nella parte bassa dell'intervallo è attribuibile principalmente all'elevata producibilità specifica del sito, alla configurazione utility-scale dell'impianto e alla vita utile considerata (30 anni), che consentono di ripartire gli impatti di costruzione su un elevato output energetico complessivo.

Tabella 5.1: Potenziale di riscaldamento globale di alcune fonti energetiche.

Fonti	Media (g CO2 eq./kWh)	Min (g CO2 eq./kWh)	Max (g CO2 eq./kWh)
Fotovoltaico	90	15	560
Eolico	25	7	130
Idroelettrico	41	1	200
Geotermico	170	150	1000
Carbone	1004	980	1200
Gas	543	510	760



## 6. CONCLUSIONI

L'analisi del ciclo di vita condotta sul parco agrivoltaico da 24 MW conferma il ruolo strategico delle fonti rinnovabili nella riduzione delle emissioni di gas serra e nel raggiungimento degli obiettivi nazionali di decarbonizzazione.

Anche tenendo conto delle emissioni associate alle fasi di produzione dei moduli, delle strutture di montaggio, delle opere elettriche e civili, alle attività di cantiere, alla sostituzione degli inverter e alla gestione di fine vita, la Carbon Footprint per l'intero ciclo di vita dell'impianto in progetto è pari a  **$3,18 \times 10^7$  Kg CO<sub>2</sub>eq** con un fattore di emissione complessivo pari a **27,1 gCO<sub>2</sub>eq/kWh**.

Se confrontato con le tecnologie convenzionali a fonte fossile, questo valore evidenzia una riduzione superiore al 95 % delle emissioni specifiche rispetto al carbone ( $\approx 1000$  gCO<sub>2</sub>eq/kWh) e al gas naturale ( $\approx 540$  gCO<sub>2</sub>eq/kWh), come riportato in Tabella 5.1. Anche in scenari più conservativi (ad es. vita utile più breve o decadimento più marcato della producibilità), il fotovoltaico agrivoltaico manterrebbe un vantaggio ambientale molto marcato rispetto alla generazione termoelettrica tradizionale contribuendo significativamente alla transizione verso un sistema energetico più pulito e sostenibile in linea con gli obiettivi del PNIEC, il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima, che mira a ridurre le emissioni di gas serra e a promuovere un mix energetico a basse emissioni di carbonio entro il 2030.