



INGEGNERIA AMBIENTALE



# CARBON FOOTPRINT

NUOVO IMPIANTO AGRIVOLTAICO DA 15,1056 MWp NEL  
COMUNE DI ALESSANDRIA (AL)

*Ricerca e sviluppo: Ing. Francesca Imbrogno*

*Coordinamento: Ing. Riccardo Valz Gris*

**LAND LIVE srl – Società per l'Ingegneria**  
Sede legale – via Lepetit 8 - 20124 Milano  
Sede operativa – via Repubblica 41 - 13900 Biella  
C.F./P.IVA 12236320961  
Email [info@landlive.it](mailto:info@landlive.it)  
Web [www.landlive.it](http://www.landlive.it)



## INDICE

<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>6</b>
<b>LCA E LE 4 FASI DELL'ANALISI DEL CICLO DI VITA .....</b>	<b>7</b>
<i>Metodologia LCA .....</i>	7
<i>Definizioni di obiettivo e ambito.....</i>	8
<i>Analisi dell'inventario .....</i>	10
<i>Valutazione di Impatto .....</i>	11
<i>Interpretazione.....</i>	13
<i>Il software e la banca dati .....</i>	14
<i>Database di inventario .....</i>	15
<i>Carbon Footprint.....</i>	16
<b>APPLICAZIONE LCA PER UN CAMPO FOTOVOLTAICO A TERRA .....</b>	<b>17</b>
<i>Introduzione allo studio.....</i>	17
<b>STIMA LCA PER IL PROGETTO DI ALESSANDRIA (AL).....</b>	<b>19</b>
<i>Fase 1 – Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione.....</i>	20
<i>Fase 2 – Analisi dell'inventario.....</i>	21
Processo: realizzazione dell'impianto fotovoltaico da 15,1056 MWp su terreno .....	22
Variazioni di Progetto .....	22
Processo: mercato per la realizzazione di un pannello fotovoltaico monocristallino .....	23
Processo: realizzazione di un pannello fotovoltaico monocristallino .....	24
Variazioni di progetto .....	24
Processo: mercato del diesel utilizzato per le macchine da cantiere .....	24
Processo: diesel utilizzato per le macchine da cantiere.....	25
Variazioni di progetto .....	25
Processo: mercato degli inverter da 500kW.....	25
Processo: realizzazione dell'inverter da 500kW.....	26
Variazioni di progetto .....	26
Processo: mercato fornitura elettrica in bassa .....	26



Variazioni di progetto .....	26
Processo: mercato riferito all'installazione dell'impianto fotovoltaico da 15,1056 MWp su terreno .....	27
Processo: installazione dell'impianto fotovoltaico da 15,1056 MWp su terreno .....	27
Variazioni di progetto .....	27
Processo: mercato dell'installazione elettrica necessaria per la realizzazione dell'impianto fotovoltaico da 15,1056 MWp .....	28
Processo: installazione elettrica necessaria per la realizzazione dell'impianto fotovoltaico da 15,1056 MWp .....	28
Processo: piantumazione alberi .....	28
Variazioni di progetto .....	29
Processo: mercato per scavi con minipale .....	29
Processo: scavi con minipale .....	30
Variazioni di progetto .....	30
Processo: mercato per il reinterro con minipale .....	30
Processo: reinterro con minipale .....	31
Processo: mercato del cavo elettrico, cavo a tre conduttori .....	31
Processo: realizzazione del cavo a tre conduttori .....	31
Variazioni di progetto .....	32
Processo: produzione del calcestruzzo per costruzione cabine .....	32
<i>Fase 3 – Valutazione dell'impatto</i> .....	32
Classificazione delle categorie di impatto .....	32
Caratterizzazione o "modellizzazione" dei dati di inventario .....	32
<i>Fase 4 – Interpretazione</i> .....	32
Confronto con casi studio .....	35
<b>CONCLUSIONI</b> .....	<b>41</b>



## INDICE DELLE FIGURA

Figura 1 - Fasi principali LCA .....	8
Figura 2 - Flussi del ciclo della vita di un prodotto .....	9
Figura 3 - Struttura per la costituzione dell'inventario .....	11
Figura 4 - Elementi necessari per studio dell'LCA .....	12
Figura 5 - Energia immessa in rete nei 30 anni di vita dell'impianto -Dati esportati dal software di calcolo PVSyst .	33
Figura 6 - Top 5 processi che incidono di più all'interno della categoria di impatto Climate Change .....	36
Figura 7 - Attori chiave e rischi approvvigionamento (fonte European Commission, 2020c) .....	37
Figura 8 - Dismissione impianti tecnologici (DOWNSTREAM e UPSTREAM) .....	38
Figura 9 - Diagramma di flusso relativo al trattamento dei rifiuti da fotovoltaico (Fonte: Latussa C.L. et al.2016a) ..	40
Figura 10 – Stima di risparmi di CO <sub>2</sub> nei 30 anni di vita dell'impianto fotovoltaico .....	42

## **Prefazione**

*Il fotovoltaico diviene un elemento positivo del paesaggio non solo se se ne cura il disegno integrato nel contesto ambientale, ma anche se diviene un elemento culturale legato alla vita di tutti i giorni, il concreto collegamento con l'energia del cielo, utile a noi persone con i piedi ben per terra. Il tutt'uno, insieme al contesto ambientale, che consente una lettura del nostro essere e del nostro agire in modo armonico.*

*Esiste pertanto un metodo per misurare e verificare l'impatto di un progetto fotovoltaico integrato, un metodo dotato di sostanza ma che si applica in modo convenzionale per superare le difficoltà al reperimento dei dati specifici di ogni ciclo di trasformazione. Il Life Cycle Assessment (LCA) rappresenta una metodologia convenzionale utile a questo scopo ed in questo breve documento se ne affrontano alcune linee guida essenziali e soprattutto viene sviluppata un'applicazione su un campo fotovoltaico a terra in progetto.*

*Land Live è una società di ingegneria nata per affrontare i temi della sostenibilità, della progettazione paesaggistica e delle energie rinnovabili. In questo contesto, il presente studio rappresenta un elemento innovativo finora non previsto dai contenuti obbligatori delle verifiche di impatto ambientale. Tuttavia, la normativa europea indica una chiara tendenza ad evolvere in questa direzione.*

***Francesca Imbrogno**, ingegnere energetico, ha pertanto costruito il presente modello per accompagnare non solo questo progetto esemplificativo, quanto avviare un metodo di lavoro efficace, chiaro e rassicurante rispetto agli obiettivi generali dei progetti sulle energie rinnovabili.*

Land Live srl



*Francesca Imbrogno*

**LAND LIVE srl – Società per l'Ingegneria**  
 Sede legale – via Lepetit 8 - 20124 Milano  
 Sede operativa – via Repubblica 41 - 13900 Biella  
 C.F./P.IVA 12236320961  
 Email info@landlive.it  
 Web www.landlive.it



## **INTRODUZIONE**

---

Il presente elaborato costituisce l'analisi della carbon footprint del progetto agrivoltaico per la produzione di energia elettrica da fonte solare della potenza complessiva pari a 15,1056 MWp e delle relative opere connesse (infrastrutture impiantistiche e civili), ubicato nel territorio del Comune di Alessandria (AL) su terreni agricoli.

La relazione è stata redatta a riscontro delle richieste di integrazione ricevute da parte del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza (commissione tecnica PNRR-PNIEC - Prot. 0000021 del 02/01/2023).

Il fine della relazione è quello di fornire una stima sull'impronta di carbonio, dell'environmental payback time in modo da avere una valutazione completa sull'atmosfera e sul clima.



# LCA E LE 4 FASI DELL'ANALISI DEL CICLO DI VITA

---

## Metodologia LCA

L'analisi del ciclo di vita (LCA) è uno strumento di gestione ambientale che valuta l'impatto ambientale di un prodotto o sistema durante tutta la sua vita, dalla "culla alla tomba". È ampiamente riconosciuto che per valutare le conseguenze ambientali di un prodotto o di un'attività, si deve considerare l'impatto che risulta da ogni fase del suo ciclo di vita (*Hammond & Winnett, 2006*).<sup>1</sup> C'è un ampio consenso nella comunità scientifica che l'LCA è una delle migliori metodologie per la valutazione degli oneri ambientali. Esistono diverse definizioni di LCA, ma tutte essenzialmente seguono l'International Organization for Standardization (ISO) che definisce l'LCA come la "*compilazione e valutazione degli input, degli output e dei potenziali impatti ambientali di un sistema di prodotto durante il suo ciclo di vita*" (ISO, 2006a).<sup>2</sup>

Ci sono quattro fasi principali nel processo LCA mostrate nella Figura 1 e descritte nelle sezioni seguenti:

---

<sup>1</sup> Hammond, G. P. & Winnett, A. B. 2006. "Interdisciplinary perspectives on environmental appraisal and valuation techniques", *Proceedings of Institute of Civil Engineers, Waste and Resource Management*, vol. 159, pp. 117-130

<sup>2</sup> ISO 2006a. Environmental management -life cycle assessment -principles and framework. Second Edition, EN ISO 14040, International Standards Organisation (ISO), London.

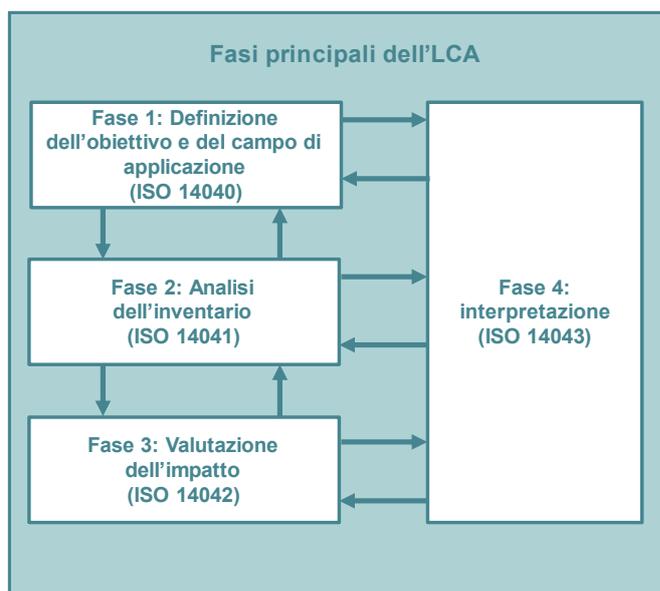


Figura 1 - Fasi principali LCA

## Definizioni di obiettivo e ambito

La definizione dell'obiettivo e dell'ambito di una LCA fornisce una descrizione del sistema di prodotto in termini di confini del sistema, scopo e unità funzionale.

L'obiettivo di uno studio LCA specifica l'applicazione prevista dei risultati successivi, le ragioni per la generazione di questi risultati e i destinatari dello studio. Lo scopo di uno studio LCA stabilisce la sua copertura definendo la natura del prodotto in esame e riassumendo il livello di dettaglio con cui viene esaminato<sup>3</sup>.

La scelta dell'**unità funzionale** è importante in quanto consente un confronto diretto tra beni e servizi alternativi. Lo scopo principale di un'unità funzionale è fornire gli input e gli output calcolati in relazione del flusso di riferimento (ISO, 2006a). Questo flusso di riferimento deve essere definito per ogni unità di processo ed è necessario per garantire la comparabilità dei risultati dell'LCA. L'unità funzionale di solito non è solo una quantità di materiale, i professionisti LCA generalmente confrontano una quantità di un prodotto o servizio consegnato che il prodotto fornisce. LCA viene condotta definendo i sistemi di prodotto come modelli che

<sup>3</sup> Curran, M., 2006. Life Cycle Assessment: \_rinciples an\_ \_ractice. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, USA.

combinano unità di processo, le quali descrivono elementi chiave mediante l'utilizzo di uno o più flussi di prodotto intermedi o flussi elementari (ISO, 2006a).

Il **confine del sistema** definisce i processi unitari da includere nel sistema. Nello stabilire il confine del sistema, viene tracciata una linea immaginaria attorno al ciclo di vita. I confini per un sistema in LCA dovrebbero essere fissati nel modo più ampio possibile. I processi coinvolti nell'estrazione delle materie prime e nella produzione di materiali ausiliari (intermedi) devono essere inclusi oltre alla contabilizzazione dei flussi energetici e materiali del prodotto primario. I materiali ausiliari sono utilizzati indirettamente nella fabbricazione del prodotto finale. Anche lo smaltimento, i sottoprodotti e i rifiuti sono inclusi nel limite del ciclo di vita. A un livello semplice, i confini dei sistemi possono essere utilizzati per indicare se l'analisi dell'inventario fa parte di un cosiddetto studio LCA "dalla culla alla tomba" o "dalla culla al cancello" (Curran, 2006).

Quando si definisce il confine del sistema, le principali fasi del ciclo di vita, i processi unitari e i flussi che vengono presi in considerazione includono quanto segue (ISO, 2006a):

- acquisizione di materie prime;
- input e output nella sequenza principale di produzione/lavorazione;
- distribuzione/trasporto;
- produzione e utilizzo di combustibili, elettricità e calore;
- uso e manutenzione dei prodotti;
- smaltimento rifiuti e prodotti di processo;
- recupero di prodotti usati (compresi riutilizzo, riciclaggio e recupero energetico);
- fabbricazione di materiali ausiliari;
- fabbricazione, manutenzione e smantellamento di beni strumentali;

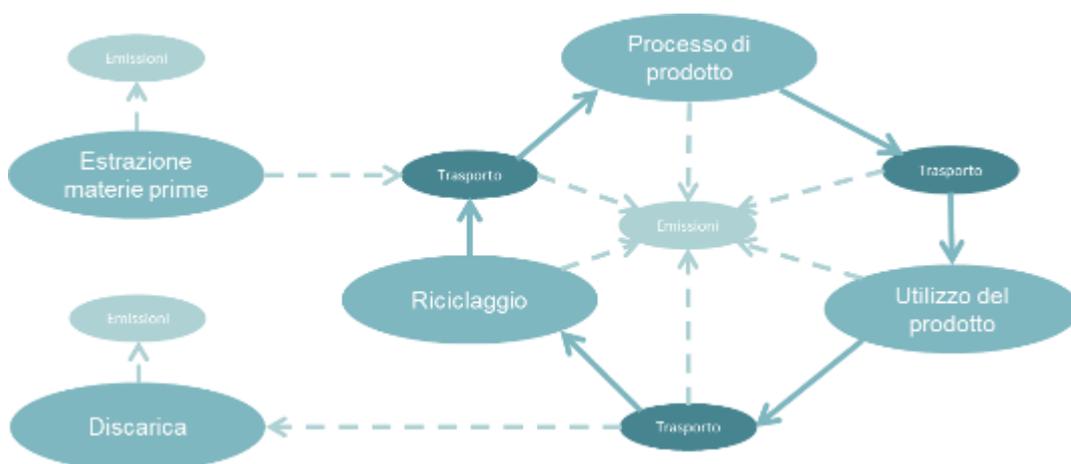


Figura 2 - Flussi del ciclo della vita di un prodotto



Nella fase dell'obiettivo e dell'ambito è utile creare un diagramma di flusso che incorpori tutti i possibili impatti ed effetti dello studio.

## Analisi dell'inventario

L'analisi dell'inventario rappresenta il cuore della LCA, prevede la raccolta dei dati e le procedure di calcolo per quantificare gli input e gli output rilevanti di un sistema di prodotti e generare l'inventario del ciclo di vita (LCI). La catena di processo è la sequenza di attività specifiche coinvolte nella produzione, nell'uso e nello smaltimento finale del prodotto in esame. I dati per ciascun processo unitario all'interno del confine del sistema possono essere classificati in intestazioni principali, tra cui:

- input energetici, input di materie prime, input ausiliari e altri input fisici;
- prodotti, coprodotti e rifiuti;
- emissioni nell'aria, scarichi nell'acqua e nel suolo;
- altri aspetti ambientali.

La raccolta dei dati è l'attività più impegnativa e dispendiosa in termini di tempo nell'esecuzione di una LCA. Tuttavia, esistono numerosi database che forniscono dati di inventario su vari materiali e processi. La raccolta dati è quindi solitamente suddivisa in due tipologie principali:

- dati in primo piano (o primari)
- dati di sfondo (o secondari)

I dati in primo piano si riferiscono ai dati specifici ottenuti direttamente dalla modellazione di un sistema di prodotti. Questi dati primari vengono solitamente ottenuti tramite società e attraverso misurazioni o analisi dirette. Di solito sono i dati che descrivono un particolare sistema di prodotti. I dati di base sono dati per materiali generici, energia, trasporti e sistemi di gestione dei rifiuti, che sono generalmente dati trovati in banche dati e letteratura. Per produrre l'inventario del ciclo di vita (LCI) è necessaria una combinazione di dati in primo piano e di sfondo.

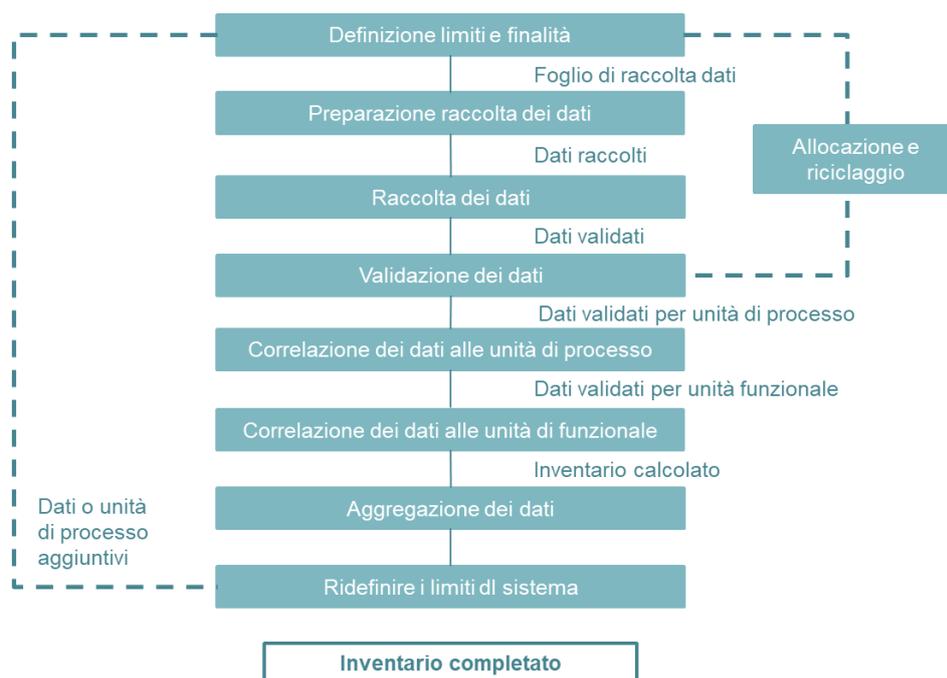


Figura 3 - Struttura per la costituzione dell'inventario

## Valutazione di Impatto

Il Life Cycle Impact Assessment (LCIA) ha lo scopo di mettere in relazione tutti i dati valutati all'interno dell'inventario. La valutazione dell'impatto è il luogo in cui vengono valutati gli effetti effettivi sugli oneri ambientali selezionati. Lo scopo principale di LCIA è convertire i risultati dell'inventario in informazioni più appropriate per l'ambiente. LCIA presenta quindi informazioni sugli impatti sull'ambiente, anziché solo informazioni sulle emissioni e sull'uso delle risorse. Un altro scopo, spesso trascurato, è quello di aggregare le informazioni provenienti da LCI in un numero inferiore di parametri. La fase di valutazione dell'impatto è suddivisa in diversi elementi. Ogni LCA deve includere almeno la classificazione e la caratterizzazione. Se tali procedure non vengono applicate, lo studio può essere denominato solo "inventario del ciclo di vita".

I principali elementi completati nei casi di studio LCA includono:

- **Classificazione:** significa semplicemente aggregare i dati di inventario in base al tipo di impatto ambientale a cui contribuiscono.
- **Caratterizzazione:** è dove vengono calcolati i contributi relativi delle emissioni e dei consumi di risorse a ciascun impatto ambientale.
- **Normalizzazione:** qui i risultati vengono resi adimensionali per consentire il confronto dell'importanza relativa di ciascuna categoria di impatto.

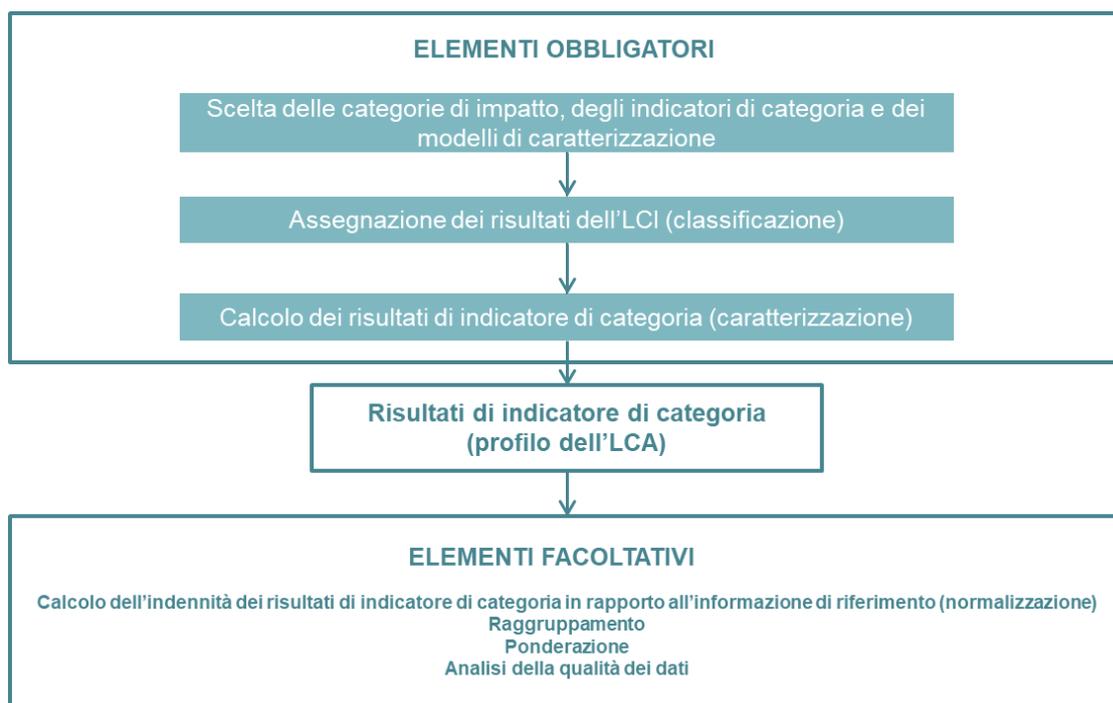


Figura 4 - Elementi necessari per studio dell'LCA

La valutazione è un processo soggettivo che assegna valori o pesi relativi agli impatti al fine di facilitare i confronti. Non viene utilizzato in questo studio in quanto non raccomandato dagli standard ISO. La classificazione è dove i dati dell'inventario sono assegnati alle categorie di impatto ambientale.

Le categorie di impatto sono diverse, alcune di queste sono di seguito elencate:

- Effetto serra;
- Acidificazione;
- Eutrofizzazione;
- Ecotossicità
- Tossicità umana e ambientale;
- Assottigliamento dell'ozono stratificato;
- Smog fotochimico;
- Smog invernale.

I dati di inventario possono essere assegnati a più di una categoria di impatto. Una volta definite le categorie di impatto e assegnati i risultati LCI a queste categorie di impatto, è necessario definire i fattori di caratterizzazione. Questi fattori riflettono il contributo relativo di un risultato LCI al risultato dell'indicatore della categoria di impatto. In ogni classe ci sono numerosi diversi tipi di emissioni, ognuno dei quali ha effetti diversi in termini di data categoria di impatto, ad es. GHG e i loro diversi potenziali di riscaldamento globale (GWP). Viene quindi eseguita una fase di



caratterizzazione che consente di confrontare e sommare direttamente queste emissioni. In questa fase viene prodotto un elenco di categorie di impatto ambientale alle quali può essere assegnato un unico numero. I dati caratterizzati sono molto difficili da confrontare direttamente a causa delle loro unità di misura molto diverse. Ad esempio, i GHG sono misurati in kg di CO<sub>2</sub>eq., mentre l'acidificazione è misurata in kg di SO<sub>2</sub>eq. Per superare il problema del confronto delle categorie di impatto può essere utilizzata la fase di normalizzazione. L'utilizzo di risultati normalizzati consente un confronto dell'importanza di ciascuna categoria di impatto. La normalizzazione confronta i dati caratterizzati con alcuni parametri, ovvero il risultato della categoria di impatto viene confrontato con un sistema di riferimento. Normalmente questa è la quantità di emissioni create da un paese o una regione, durante un certo periodo. Questo numero è spesso molto grande e quindi può essere diviso per il numero di persone nel paese o nella regione. Gli equivalenti delle emissioni delle persone possono essere confrontati con le emissioni del prodotto o sistema per determinarne la significatività rispetto a tutte le altre emissioni. Le emissioni possono anche essere confrontate con i limiti nazionali.

I due scopi principali dell'utilizzo della fase di normalizzazione sono:

1. Le categorie di impatto che contribuiscono solo in minima parte rispetto ad altre categorie di impatto possono essere escluse, consentendo così di concentrarsi sugli impatti significativi in cui potrebbero essere apportati miglioramenti.
2. I risultati normalizzati mostrano l'ordine di grandezza dei problemi ambientali generati dal ciclo di vita dei prodotti, rispetto ai carichi ambientali totali in Europa.

## Interpretazione

L'interpretazione è la fase dell'LCA in cui vengono considerati insieme i risultati dell'analisi dell'inventario e la valutazione dell'impatto. Questa fase utilizza le informazioni raccolte nello studio per identificare e implementare aree di potenziale miglioramento. Secondo la ISO 14040, la fase di interpretazione dovrebbe fornire risultati coerenti con l'obiettivo e l'ambito definiti; i risultati dovrebbero essere interpretati; le conclusioni dovrebbero essere raggiunte; le limitazioni dovrebbero essere spiegate; e raccomandazioni fornite (ISO, 2006b)<sup>4</sup>. L'interpretazione dei risultati LCIA dovrebbe anche dimostrare che i risultati indicano potenziali effetti

---

<sup>4</sup> ISO 2006b. Environmental management -life cycle assessment – requirements and guidelines. Second Edition, EN ISO 14044, International Standards Organisation (ISO), London.



ambientali e che non prevedono impatti effettivi sugli endpoint di categoria. Curran (2006) identifica tre passaggi chiave per interpretare i risultati della LCA:

1. Individuazione delle problematiche significative in base a LCI e LCIA.
2. Valutazione che tiene conto dei controlli di completezza, sensibilità e coerenza.
3. Conclusioni, raccomandazioni e resoconti.

Questi tre passaggi aiutano a fornire un approccio sistematico costruttivo all'interpretazione del ciclo di vita. Le questioni significative possono includere parametri di inventario (ad es. consumo energetico, emissioni, rifiuti, ecc.); indicatori della categoria di impatto (ad es. impatti sulla salute, esaurimento delle risorse, ecc.); e contributi essenziali per le fasi del ciclo di vita (es. estrazione di materie prime, lavorazione, trasporto, ecc.). La fase di valutazione stabilisce la fiducia e l'affidabilità dei risultati della LCA. È qui che viene eseguita l'analisi di sensitività che valuta l'importanza relativa delle assunzioni fatte nello studio. Infine, si traggono conclusioni e si formulano raccomandazioni.

## Il software e la banca dati

Le principali attrattive dell'utilizzo del software Open LCA, che è stato scelto dal team di progettazione, possono essere riassunte come:

- Fornisce una struttura organizzata all'interno della quale eseguire calcoli, spesso di natura molto ripetitiva;
- Consente di gestire in modo semplice e veloce una notevole mole di dati;
- Di solito contiene database estesi per eseguire calcoli;
- Consente di utilizzare diverse metodologie di valutazione dell'impatto del ciclo di vita;
- I risultati possono essere presentati in modo strutturato e facilmente comprensibile.

È quindi chiaro che, a causa della grande quantità di dati necessari per una LCA, l'utilizzo del software è molto vantaggioso. Tuttavia, è necessaria una certa cautela in quanto vi sono anche alcuni possibili svantaggi nell'utilizzo del software.

McManus (2001)<sup>5</sup> li descrive come:

---

<sup>5</sup> McManus, M.C. 2001. Life Cycle Assessment of Rapeseed\_ an\_ Mineral Oil Base\_ Fluid\_ower systems. PhD Thesis, University of Bath.



- Il problema della scatola nera: i risultati possono essere generati molto facilmente e rapidamente e gli utenti potrebbero pensare che i risultati siano accurati e completi quando non lo sono.
- Mancata comprensione del processo: le persone non formate possono facilmente produrre "LCA" senza comprendere il processo, il che potrebbe portare alla produzione di LCA imprecise.
- Qualità dei dati: i risultati possono essere ottenuti non appena i dati vengono inseriti in un database, ma ciò non garantisce la loro utilità o accuratezza.

## Database di inventario

Esistono diversi database LCI che sono molto utili per fornire dati di base per gli studi LCA. I dati (di base) disponibili sono strutturati in modo tale da consentire all'utente di visualizzare (per qualsiasi dato materiale o processo) tutti i materiali e gli input energetici, i prodotti, i co-prodotti, i rifiuti e le emissioni nell'aria, nell'acqua e nel suolo.

Ulteriori informazioni sono fornite anche sulle fonti dei dati e sulla qualità dei dati. Ciò fornisce un insieme di dati molto trasparente e completo che è semplice da usare. Questo è importante in quanto è necessario prestare attenzione quando si utilizzano i dati in background, poiché l'utente non ha raccolto personalmente i dati.

Ecoinvent è un set di dati di inventario completo.

Le caratteristiche chiave del database Ecoinvent possono essere riassunte come:

- Copre una gamma molto ampia di dati;
- Applicazione coerente dei confini e dell'allocazione del sistema;
- Ben documentato con ampi rapporti di base disponibili;
- Specifica coerente dei dati di incertezza;
- Gli aggiornamenti regolari possono essere acquistati presso il centro Ecoinvent.



## Carbon Footprint

L’LCA è la base per un consumo e una produzione sostenibile ed è un supporto per andare a definire la Carbon Footprint (impronta di carbonio) che rappresenta la quantità di emissioni di gas serra generate nell’intero ciclo di vita di un prodotto o un servizio.

Il risultato della quantificazione è il totale delle emissioni di GHG (Greenhouse Gases) connesse viene espresso in termini di tonnellate di CO<sub>2</sub> equivalente (tCO<sub>2</sub>eq).

Si mira dunque alla riduzione dei gas che contribuiscono complessivamente al riscaldamento climatico globale.

L’unità di misura (tonnellate di CO<sub>2</sub> equivalente) utilizzata per la contabilizzazione delle emissioni di gas serra permette di “pesare insieme” emissioni di GHG diversi, caratterizzati da differenti effetti climalteranti e si calcola:

$$[tCO_2eq] = [t_{gas}] \cdot [GWP_{gas}]$$

Il GWP è il Global Warming Potential o “potenziale di riscaldamento globale”. Esso è specifico per ciascun gas e ne esprime il contributo all’effetto serra relativamente all’anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), il cui GWP è uguale a 1. Ogni valore di GWP è calcolato per uno specifico intervallo di tempo (20, 100 o 500 anni). Maggiore è il GWP, maggiore è il contributo all’effetto serra.

All’interno della norma internazionale ISO 14067 vengono specificati i principi e le linee guida per la quantificazione e la comunicazione dell’impronta di carbonio.





# **APPLICAZIONE LCA PER UN CAMPO FOTOVOLTAICO A TERRA**

---

L'analisi descritta nel presente report è stata condotta per quantificare e gestire la carbon footprint di un campo fotovoltaico installato su terreno agricolo in Italia in modo da fornire una stima delle principali emissioni del progetto in esame (dall'estrazione delle materie prime allo smaltimento dell'apparecchiatura) e del Energy Pay Back Time (EPBT) in termini ambientali del progetto.

## **Introduzione allo studio**

L'Italia negli ultimi anni si è distinta per la produzione del fotovoltaico; dai dati che emergono dal report di ITALIA SOLARE nel 2021 è stato registrato un incremento di installazioni fotovoltaiche rispetto agli anni precedenti, si parla infatti di 936,38 MW arrivando ad una potenza complessiva di 22 565,52 MW di energia generata da fonte solare su territorio nazionale. Questi dati però risultano essere ancora insufficienti per permettere l'indipendenza dalle fonti fossili.<sup>6</sup> La sfida, infatti, non riguarda solo l'incremento delle installazioni fotovoltaiche, un altro fattore di interesse è legato anche all'utilizzo e riutilizzo delle materie prime necessarie per la produzione dei pannelli.

La missione dei nuovi impianti dovrà essere infatti in linea con il modello delle 4R (Ridurre, Riusare, Riciclare e recuperare) dell'economia circolare.

Lo studio è stato impostato e rimodellato sulla base di un progetto di un impianto fotovoltaico da 570 kWp installato su terreno agricolo, con pannelli policristallini.

L'impianto di riferimento da cui sono stati estrapolati i dati di riferimento è un impianto fotovoltaico su terreno di Edisun Power AG in Spagna con produzione annuale di 847.5 MWh<sup>7</sup>.

---

<sup>6</sup> Il fine vita del fotovoltaico in Italia – Implicazioni socioeconomiche ed ambientali di Patrizia Corrias, Bruna Felici, Umberto Ciorba

<sup>7</sup> Source of the image: Edisun Power Europe Ltd. 2012. Our facilities. Spain. Solarpark El Tesoro, 568.9 kWp. Alcolea del Rio (Andalusia) 2008. [http://www.edisunpower.com/en/home-en/about\\_edisun\\_power/our-facilities/spain/solarpark-el-tesoro-en](http://www.edisunpower.com/en/home-en/about_edisun_power/our-facilities/spain/solarpark-el-tesoro-en) (accessed 23.01.2012)



Come base per il nostro progetto risulta essere molto utile, in quanto, considera un impianto simile al nostro anche se di dimensioni ridotte.

Più avanti verranno analizzate le modifiche apportate al modello presente all'interno della libreria Ecoinvent 3.8.

La tecnologia su cui si basano i dataset utilizzati per il calcolo dell'impronta di carbonio dell'impianto di progetto si basa su una tecnologia attuale per il montaggio di pannelli o laminati, installazioni elettriche e altri componenti come inverter, cablaggio e piantumazione degli alberi per le mitigazioni perimetrali.





## STIMA LCA PER IL PROGETTO DI ALESSANDRIA (AL)

---

L'impianto in oggetto prevede l'installazione di pannelli fotovoltaici (moduli) in silicio monocristallino della potenza unitaria di 600 Wp, su un terreno prevalentemente pianeggiante di estensione di circa 24 ettari avente destinazione agricola.



I pannelli saranno montati su strutture a inseguimento monoassiale (tracker) in configurazione monofilare ed ogni tracker (struttura portante dei pannelli) sarà composto da 24 moduli.

Inoltre, ci saranno 10 cabine inverter: n. 9 da 1090 kW e n. 1 da 2750 kW. Il progetto prevede una potenza complessiva installata di 15,1056 MWp.

**LAND LIVE srl – Società per l'Ingegneria**  
Sede legale – via Lepetit 8 - 20124 Milano  
Sede operativa – via Repubblica 41 - 13900 Biella  
C.F./P.IVA 12236320961  
Email [info@landlive.it](mailto:info@landlive.it)  
Web [www.landlive.it](http://www.landlive.it)



L'energia prodotta dall'impianto sarà veicolata tramite un cavidotto MT interrato della lunghezza di 1,945 km alla cabina di consegna ubicata vicino alla sottostazione di Alta tensione esistente "Aulara".

La produzione annuale di energia dell'impianto durante il primo anno è di 24.023,10 MWh.

## **Fase 1 – Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione**

L'obiettivo di questo studio è quello di realizzare una valutazione della Carbon Footprint dell'impianto fotovoltaico che vada a indicare le quantità delle emissioni climalteranti causate e la stima dell'Energy Pay Back Time (EPBT) in termini ambientali dalla realizzazione del progetto oggetto di studio.

Questo studio risulta essere uno strumento per individuare e quantificare i consumi di materie prime e di energia nelle fasi del ciclo della vita dell'impianto fotovoltaico di progetto più impattanti per la realizzazione dell'impianto fotovoltaico da 15,1056 MWp. Dunque, l'unità funzionale dello studio è la realizzazione di "Un impianto da 15,1056 MWp".

Lo studio tiene conto delle componenti necessarie per l'installazione di un impianto fotovoltaico con una durata di 30 anni e le componenti analizzate sono:

- Pannello Monocristallino;
- Struttura di montaggio a terra aperta;
- Inverter;
- Impianto elettrico;
- Costruzione delle cabine in c.a.;
- Piantumazione alberi;
- Scavo e reinterro per la realizzazione e per la dismissione del cavidotto in media.

Ogni elemento prevede all'interno del set dell'approvvigionamento dei materiali, del trasporto, dell'utilizzo e della dismissione (*Cradle to Grave* – dalla Culla alla Tomba)).

Nell'analisi dell'inventario vengono analizzate le varianti di progetto e le stime effettuate al fine di rendere lo studio realistico. In alcuni casi a causa di mancanza di dati presenti in letteratura non ne sono state valutate alcune fasi.



## Fase 2 – Analisi dell’inventario

In questa fase vengono raccolti i dati necessari per la valutazione ambientale dell’attività in esame

Le fonti su cui vengono basate le stime e i calcoli sono basati sul database *Ecoinvent 3.8*.

All’interno della “*TAV\_CFP2 – Model Graph*” allegata al report si riportano i flussi dei prodotti di maggiore rilievo e impatto esportati da OpenLCA.

Nei successivi sottoparagrafi si analizzeranno: la raccolta dei dati, le modifiche e le stime effettuate affinché il modello rappresenti verosimilmente la realtà.

Le informazioni sono suddivise per unità di processo e vengono analizzate a partire da ciò che è l’unità funzionale, vale a dire la realizzazione dall’impianto fino ad arrivare ai singoli processi che vanno a comporre l’impianto di progetto.



## **Processo: realizzazione dell'impianto fotovoltaico da 15,1056 MWp su terreno<sup>8</sup>**

Questo processo nella sua forma originaria rappresentava l'installazione di un impianto fotovoltaico con una capacità di 570 kWp e una durata di 30 anni installata nel 2008 in una posizione media del mondo.

Parte dall'acquisto dei componenti necessari per l'impianto fotovoltaico su terreno e si conclude con l'installazione dell'impianto.

Include tutti i componenti per l'installazione di un impianto fotovoltaico fuori terra da 15,1056 MWp (moduli, sistema di montaggio, installazione elettrica, inverter, recinzione, ecc.) e il consumo di energia per il montaggio.

Questo set di dati non include alcun trattamento di fine vita poiché è incluso nei processi sottostanti. Questo set di dati non include alcun uso del suolo poiché questo è già considerato nel set di dati del sistema di montaggio.

### ***Variazioni di Progetto***

Nello studio in letteratura i pannelli utilizzati sono pannelli policristallino. Nel caso studio i pannelli tipo scelti sono di tipo monocristallino da 600 Wp. L'azienda dei pannelli adottati nella progettazione ha sede centrale in Cina. Oltre tutto il database si basa su uno studio del 2012 dove le tecnologie erano diverse. Sappiamo che i parametri fotovoltaici cambiano rapidamente, infatti le tecnologie del 2012 si potrebbero dire superate.

Viene fatta una semplificazione per quanto riguarda la struttura di montaggio a terra aperta, in quanto non è una struttura a inseguimento. Il numero di inverter si basa sugli inverter disponibili all'interno della libreria. All'interno del progetto sono presenti n. 10 inverter: n.9 di questi da 1090 kW e n. 1 da 2750 kW; quindi, di ipotizzano 23 inverter da 500 kW. Inoltre, si tiene in considerazione la piantumazione degli alberi per la creazione delle barriere del verde, l'utilizzo del materiale per la realizzazione delle cabine di campo, dei cavidotti interrati.

---

<sup>8</sup> Dataset di riferimento: photovoltaic plant construction, 570kWp, multi-Si, on open ground | photovoltaic plant, 570kWp, multi-Si, on open ground (<https://v38.ecoquery.ecoinvent.org/Details/PDF/A987566B-E19C-433C-8500-F4F28A665A81/06590A66-662A-4885-8494-AD0CF410F956>)



Viene indicata la posizione “Italia” all’interno del processo del dataset reso disponibile da Ecoinvent.

L'impianto è costituito dalle seguenti parti infrastrutturali (rappresentate da processi unitari nel database):

- Pannello monocristallino;
- struttura di montaggio a terra aperta;
- Inverter da 500 kW;
- Impianto elettrico 15,1056 MWp;
- Piantumazione degli alberi
- Cabine interne ed esterne al campo
- Scavi e reinterri per la realizzazione del cavidotto
- Il cavidotto MT

La stima tiene conto dei dati disponibili all’interno del database e i dati disponibili in letteratura:

- 65.036 m2 fotovoltaic panel, single-Si wafer
- 197.997 MJ di diesel, burned in building machine
- 930 kWh di electricity, low voltage
- n. 23 Inverter 500 kW
- 160.594 m2 fotovoltaic mounting system for 15,1056 MWp
- 27 fotovoltaics, electric installation for 15,1056 MWp module, open ground
- 570 piante
- 1393,33 m<sup>3</sup> di scavi e di reinterro per la realizzazione del cavidotto
- 1393,33 m<sup>3</sup> di scavi e di reinterro per la dismissione del cavidotto
- 131,1 m<sup>3</sup> di calcestruzzo per la realizzazione delle n 3 cabine interne al campo e n. 1 cabina di consegna.

### **Processo: mercato per la realizzazione di un pannello fotovoltaico monocristallino**

Questa è un'attività di mercato. Il processo ha come unità 1 m2

Rappresenta anche il trasporto al consumatore e le perdite durante tale processo, se del caso. la geografia coperta dal mercato è inclusa.

Questa attività inizia alle porte delle attività che producono “pannello fotovoltaico, monocristallino”, all’interno della geografia della Cina, questo perché si ipotizza l’utilizzo dei pannelli Longi Solar. Questa attività si conclude con la fornitura di “pannello fotovoltaico, monocristallino” ai consumatori di questo prodotto.

Il trasporto è incluso.

Le perdite di prodotto durante il trasporto si intendono trascurabili e pertanto non sono incluse.

LAND LIVE srl – Società per l’Ingegneria  
Sede legale – via Lepetit 8 - 20124 Milano  
Sede operativa – via Repubblica 41 - 13900 Biella  
C.F./P.IVA 12236320961  
Email info@landlive.it  
Web www.landlive.it



## **Processo: realizzazione di un pannello fotovoltaico monocristallino**<sup>9</sup>

Dati grezzi di elaborazione dell'unità per 1 m<sup>2</sup> di pannello fotovoltaico.

Indagato per la produzione di pannelli solari e laminati con 60 celle solari a 156\*156 cm<sup>2</sup> con una capacità di 224 Wp.

Le dimensioni, la quantità e la capacità delle celle potrebbero differire tra i diversi produttori.

Produzione della matrice cellulare, taglio delle lamine e lavaggio del vetro, produzione del laminato, isolamento. Cornice in alluminio del pannello. Smaltimento dopo fine vita. I dati per le emissioni dirette nell'aria e nell'acqua non erano disponibili. Ci si può aspettare che una piccola quantità di composti organici volatili venga emessa dal processo di laminazione.

## ***Variazioni di progetto***

La simulazione effettuata è stata approssimata con i dati in letteratura in quanto nella realtà il progetto prevede pannelli differenti che utilizzano tecnologie attuali e migliori. Dunque, in questo caso si fa una stima svantaggiosa.

## **Processo: mercato del diesel utilizzato per le macchine da cantiere**<sup>10</sup>

Questa è un'attività di mercato. Questo mercato descrive l'uso di un combustibile fossile. Viene utilizzato come combustibile liquido e proviene dalla distillazione di olio pesante. Questo scambio fornisce il servizio di bruciare 1 MJ di diesel in un macchinario edile. I servizi comprendono anche le emissioni (in atmosfera) e la produzione e fornitura di carburante. 1 MJ equivale a 0,0234 kg di diesel (LHV di diesel circa 42,8 MJ/kg).

---

<sup>9</sup> Dataset di riferimento: photovoltaic panel production, single-Si wafer | photovoltaic panel, single-Si wafer | APOS, U (<https://v38.ecoquery.ecoinvent.org/Details/PDF/E2450022-26B3-4583-8570-4AE9E678BB27/06590A66-662A-4885-8494-AD0CF410F956>)

<sup>10</sup> Dataset di riferimento: market for diesel, burned in building machine | diesel, burned in building machine | APOS, U (<https://v38.ecoquery.ecoinvent.org/Details/PDF/0263BB58-6731-412D-9CD8-7D7B1FE99A21/06590A66-662A-4885-8494-AD0CF410F956>)



Questa attività inizia alle porte delle attività che producono il diesel e si conclude con la fornitura di gasolio ai consumatori di questo prodotto. Il trasporto o lo smarrimento sono considerati irrilevanti per questo prodotto.

**Processo: diesel utilizzato per le machine da cantiere<sup>11</sup>**

Questo processo si basa sui dati inclusi nel rapporto Oekoinventare von Energiesystemen 1996.

Il consumo di diesel e le emissioni sono aggiornati utilizzando il "database Offroad" svizzero e applicati all'anno 2000.

Include gli input delle macchine utilizzate in fase di cantiere per la realizzazione dell'impianto, olio lubrificante e consumo di carburante e alcune emissioni atmosferiche misurate come output.

***Variazioni di progetto***

Il valore di progetto inserito si basa su una stima effettuata sulla base dei valori disponibili in letteratura e di progetto.

**Processo: mercato degli inverter da 500kW<sup>12</sup>**

Questa è un'attività di mercato ed include anche il trasporto al consumatore e le perdite durante tale processo. Si tratta di un'infrastruttura mobile, che rappresenta il prodotto di un inverter che viene utilizzato per convertire la tensione in corrente continua in tensione in corrente alternata negli apparecchi comuni. Ha una massa totale di circa 3000 kg, una capacità di 0,5kW e una durata di 15 anni. La sua produzione rappresenta tutti i materiali necessari per costruirlo, il consumo di energia durante la produzione, il confezionamento e il fine vita. Questa attività inizia alle porte delle attività che producono 'inverter, 500kW', all'interno della geografia di Global. Questa attività si conclude con la fornitura di 'inverter, 500kW', ai consumatori di questo prodotto. Il trasporto è incluso.

---

<sup>11</sup> Dataset di riferimento: diesel, burned in building machine | diesel, burned in building machine | APOS, U <https://v38.ecoquery.ecoinvent.org/Details/PDF/A3FB8579-698B-4118-971D-BE9544CBC5FF/06590A66-662A-4885-8494-AD0CF410F956>

<sup>12</sup> Dataset di riferimento: market for inverter, 500kW | inverter, 500kW | APOS, U <https://v38.ecoquery.ecoinvent.org/Details/PDF/CFDEB0DB-9BB5-4FA7-BECC-C02F38DB5DED/06590A66-662A-4885-8494-AD0CF410F956>



Le perdite di prodotto durante il trasporto si intendono trascurabili e pertanto non sono incluse.

### **Processo: realizzazione dell'inverter da 500kW<sup>13</sup>**

Produzione di un inverter (500kW) con un'efficienza del 95,4% (fattore di efficienza totale che include MPP-Tracking) per impianto fotovoltaico. Peso totale circa 3000 kg. Materiali, imballaggi e consumo di elettricità per la produzione di un raddrizzatore inverso. Smaltimento del prodotto dopo l'uso.

### ***Variazioni di progetto***

Questo dato va a stimare ciò che realmente sarà presente all'interno del progetto in esame. All'interno del progetto in esame saranno adottati n. 9 inverter tipo Sinacon di potenza pari a 1090 kW e n. 1 inverter tipo SMA da 2750 kW. Dunque, la stima tiene conto di 23 inverter da 500 kW. Questa stima è stata fatta in quanto in letteratura non erano presenti dati su inverter con potenza superiore di 500 kW.

Il tempo di vita dell'inverter è stimato a 15 anni. Dunque, dalla stima si ipotizzano 46 inverter (cambiandoli dopo 15 anni) per l'intera durata della vita dell'impianto.

### **Processo: mercato fornitura elettrica in bassa<sup>14</sup>**

Questo set di dati è un gruppo di mercato. I gruppi di mercato rappresentano un "mercato dei mercati". Il loro scopo è raggruppare un insieme di mercati in set di dati più ampi e geograficamente rilevanti.

All'interno di questo set di dati viene tenuto conto delle perdite. Questa attività inizia alle porte dei mercati che forniscono "elettricità in bassa tensione", nelle aree geografiche contenute nella geografia di questo set di dati.

### ***Variazioni di progetto***

All'interno del database sono state considerate i Processi legati ai mercati di energia in bassa tensione dell'Asia e dell'Europa. Il consumo di energia che viene

---

<sup>13</sup>Dataset di riferimento: inverter production, 500kW <https://v38.ecoquery.ecoinvent.org/Details/PDF/180A4692-FE29-468E-AA1D-147271F1BB7D/06590A66-662A-4885-8494-AD0CF410F956>

<sup>14</sup> Dataset di riferimento: market group for electricity, low voltage | electricity, low voltage | APOS, U <https://v38.ecoquery.ecoinvent.org/Details/PDF/0BAF9FFC-F700-4624-B583-C393D049C7F9/06590A66-662A-4885-8494-AD0CF410F956>



riportato all'interno del calcolo è stato ricavato mediante una stima fatta a partire da un impianto da 3 kWp.

### **Processo: mercato riferito all'installazione dell'impianto fotovoltaico da 15,1056 MWp su terreno<sup>15</sup>**

Questa è un'attività di mercato. Rappresenta anche il trasporto al consumatore e le perdite durante tale processo. Questa attività inizia alle porte delle attività che producono sistema di montaggio fotovoltaico. Questa attività si conclude con la fornitura del sistema di montaggio fotovoltaico ai consumatori di questo prodotto. Il trasporto o lo smarrimento sono considerati irrilevanti per questo prodotto.

### **Processo: installazione dell'impianto fotovoltaico da 15,1056 MWp su terreno<sup>16</sup>**

Questo processo rappresenta l'installazione del sistema di montaggio necessario per il montaggio a terra aperta di un pannello fotovoltaico da 1 m<sup>2</sup>.

Parte dall'acquisto delle componenti necessarie per il sistema di installazione del campo fotovoltaico. Include l'uso del suolo, i materiali di imballaggio e i materiali della recinzione di protezione. Non include l'utilizzo di elettricità per l'installazione del sistema di montaggio poiché è inserito nel processo analizzato dopo.

L'inventario del ciclo di vita della produzione dei sistemi di montaggio non tiene conto delle emissioni di processo come la polvere, poiché le informazioni non sono disponibili.

### ***Variazioni di progetto***

Le strutture su cui verranno montati i pannelli fotovoltaici verranno inseriti all'interno del terreno mediante palificazione non verranno dunque create le fondazioni in calcestruzzo.

---

<sup>15</sup> Dataset di riferimento: market for photovoltaic mounting system, for 570kWp open ground module | photovoltaic mounting system, for 570kWp open ground module | APOS, U <https://v38.ecoquery.ecoinvent.org/Details/PDF/EA3A2F2E-48C9-4504-AA13-1187B669F2B0/06590A66-662A-4885-8494-AD0CF410F956>

<sup>16</sup> Dataset di riferimento: photovoltaic mounting system production, for 570kWp open ground module | photovoltaic mounting system, for 570kWp open ground module <https://v38.ecoquery.ecoinvent.org/Details/PDF/0973B01C-F372-45AE-AAC3-7FDB558B8381/06590A66-662A-4885-8494-AD0CF410F956>



## **Processo: mercato dell'installazione elettrica necessaria per la realizzazione dell'impianto fotovoltaico da 15,1056 MWp<sup>17</sup>**

Questa è un'attività di mercato. Rappresenta anche il trasporto al consumatore e le perdite durante tale processo. Questa attività inizia con l'infrastruttura costruita pronta per l'uso. Questa attività si conclude con l'infrastruttura resa accessibile agli utenti. Il trasporto o lo smarrimento sono considerati irrilevanti per questo prodotto.

## **Processo: installazione elettrica necessaria per la realizzazione dell'impianto fotovoltaico da 15,1056 MWp<sup>18</sup>**

Questo set di dati rappresenta la produzione di diversi componenti dell'impianto elettrico per una centrale fotovoltaica da 15,1056 MWp, ovvero la scatola dei fusibili, i cavi elettrici e il contatore elettrico. Non viene presa in considerazione la protezione contro i fulmini. L'inverter, come abbiamo visto, è modellato in un processo separato. I dati partono dall'acquisto dei componenti necessari per l'impianto elettrico fotovoltaico. I dati di processo delle apparecchiature elettriche includono materiali da costruzione e trafilatura. Il consumo di energia per la realizzazione degli impianti elettrici è considerato solo con un processo di trafilatura del filo di rame. Include materiali e imballaggi per la produzione di cavi e fusibili.

La lavorazione dei metalli è modellata mediante delle stime. Lo smaltimento del prodotto dopo l'uso è incluso.

## **Processo: piantumazione alberi<sup>19</sup>**

Questo processo è una copia del set di dati CH regionale modellato sul caso studio in oggetto. Il volume di produzione rappresenta la produzione annuale globale. Questo processo rappresenta l'attività di piantumazione di 1 albero.

---

<sup>17</sup> Dataset di riferimento: market for photovoltaics, electric installation for 570kWp module, open ground | photovoltaics, electric installation for 570kWp module, open ground | APOS, U <https://v38.ecoquery.ecoinvent.org/Details/PDF/0B340076-C1AE-40DA-8B5D-FF89A877B77B/06590A66-662A-4885-8494-AD0CF410F956>

<sup>18</sup> Dataset di riferimento: photovoltaics, electric installation for 570kWp module, open ground | photovoltaics, electric installation for 570kWp module, open ground | APOS, U <https://v38.ecoquery.ecoinvent.org/Details/PDF/3C93E05B-73A3-4949-90F3-704AD8AAC8FD/06590A66-662A-4885-8494-AD0CF410F956>

<sup>19</sup> Dataset di riferimento: planting, tree | planting tree | APOS, U <https://v38.ecoquery.ecoinvent.org/Details/PDF/1CD7C2D8-A898-4EBD-AD74-ACA7E93C0D9E/06590A66-662A-4885-8494-AD0CF410F956>



Si riferisce a una situazione media. L'attività inizia con macchinari (trattore 30kW) e infrastrutture per macchinari utilizzati per la semina. Ipotesi: Trasporto dalla fattoria al campo: 0,5 km, 20 alberi per trasporto.

Non sono incluse input come fertilizzanti, fitosanitari o sementi di erba che si riferiscono all'insediamento del frutteto. L'attività termina con 1 albero piantato.

### *Variazioni di progetto*

All'interno del progetto si stima una superficie circa pari a 2,5 ha. La densità presunta degli alberi risulta essere circa 200 alberi a ettaro. Le specie arboree e arbustive impiegate all'interno delle fasce perimetrali e per la zona umida saranno specie vegetali adatte alle condizioni climatiche del sito e soprattutto verranno procurate presso vivai locali.

Viene fatta una stima sul data set disponibile.

Il valore inserito negli input considera la differenza della densità degli alberi a ettaro e gli ettari disponibili per la piantumazione.

### **Processo: mercato per scavi con minipale<sup>20</sup>**

Questa è un'attività di mercato. Rappresenta la realizzazione degli scavi anche il trasporto al consumatore e le perdite durante tale processo. Il servizio "scavo, minipale" prevede lo scavo di 1 m3 di materiale. Include gli input "macchina da costruzione" per infrastrutture, olio lubrificante e consumo di carburante e alcune emissioni atmosferiche misurate come output. Questa attività inizia con la generazione del servizio.

Questa attività si conclude con il servizio fornito ai propri consumatori. Il trasporto o lo smarrimento sono considerati irrilevanti per questo prodotto.

---

<sup>20</sup> Dataset di riferimento: market for excavation, skid-steer loader | excavation, skid-steer loader | APOS, U <https://v38.ecoquery.ecoinvent.org/Details/PDF/140E0333-B696-41DF-A147-0754A00FF291/06590A66-662A-4885-8494-AD0CF410F956>



## **Processo: scavi con minipale<sup>21</sup>**

Questo processo include gli input "macchina da costruzione" per infrastrutture, olio lubrificante e consumo di carburante e emissioni atmosferiche misurate come output

### ***Variazioni di progetto***

In via cautelativa all'interno di questo dato sono stati inclusi anche gli eventuali scavi no dig previsti all'interno del progetto per il superamento degli ostacoli come ad es. canali irrigui, rogge, in quanto secondo lo studio avviato da TIM insieme al laboratorio CSELT di Torino<sup>22</sup>, la tecnologia no dig è meno impattante (circa del 50 %) rispetto agli scavi tradizionali.

## **Processo: mercato per il reinterro con minipale<sup>23</sup>**

Questa è un'attività di mercato. Rappresenta la realizzazione del reinterro degli scavi anche il trasporto al consumatore e le perdite durante tale processo. Il servizio "reinterro, minipale" prevede lo scavo di 1 m3 di materiale. Include gli input "macchina da costruzione" per infrastrutture, olio lubrificante e consumo di carburante e alcune emissioni atmosferiche misurate come output. Questa attività inizia con la generazione del servizio.

Questa attività si conclude con il servizio fornito ai propri consumatori. Il trasporto o lo smarrimento sono considerati irrilevanti per questo prodotto.

---

<sup>21</sup>Dataset di riferimento: excavation, skid-steer loader | excavation, skid-steer loader | APOS, U <https://v38.ecoquery.ecoinvent.org/Details/PDF/9C0072DC-3278-411E-9885-9C7DC9FFB9C5/06590A66-662A-4885-8494-AD0CF410F956>

<sup>22</sup> Articolo: "Tecnologie no dige sviluppo sostenibile" di Paola Finocchi, Tim SpA, presente all'interno della rivista n°2/2019 Italia NODIG, la rivista nazionale delle tecnologie a basso impatto ambientale

<sup>23</sup> Dataset di riferimento: market for excavation, skid-steer loader | excavation, skid-steer loader | APOS, U <https://v38.ecoquery.ecoinvent.org/Details/PDF/140E0333-B696-41DF-A147-0754A00FF291/06590A66-662A-4885-8494-AD0CF410F956>



## **Processo: reinterro con minipale<sup>24</sup>**

Questo processo include gli input "macchina da costruzione" per infrastrutture, olio lubrificante e consumo di carburante e emissioni atmosferiche misurate come output

## **Processo: mercato del cavo elettrico, cavo a tre conduttori<sup>25</sup>**

Questa è un'attività di mercato. Questa attività inizia alle porte delle attività che producono 'cavo, cavo a tre conduttori', all'interno dell'area geografica di italiana. Questa attività si conclude con la fornitura di 'cavo, cavo a tre conduttori', ai consumatori di questo prodotto. Il trasporto è incluso. Le perdite di prodotto durante il trasporto si intendono trascurabili e pertanto non sono incluse.

## **Processo: realizzazione del cavo a tre conduttori<sup>26</sup>**

Questo processo rappresenta la produzione di 1 metro di cavo in media tensione con guaina in filo di alluminio. I dati sono stati ricavati da stime effettuate dal processo originale che prevedeva un cavo elettrico a bassa tensione, utilizzato per le reti di distribuzione e nell'industria. I dati sui materiali sono presi dalla scheda tecnica di un produttore del cavo. Gli sforzi per l'infrastruttura e la produzione si basano su ipotesi proprie e hanno quindi, di conseguenza, maggiori incertezze. Il processo tiene conto del ricevimento di metalli e parti non metalliche fino alle porte della fabbrica. Questo modulo include il materiale, una stima degli sforzi di produzione (trasporti, energia, prodotti chimici di processo) e delle infrastrutture per la produzione di un cavo a tre conduttori utilizzato nella costruzione di nuovi edifici. Non sono incluse informazioni sulle emissioni (aria, acqua) e sui rifiuti.

---

<sup>24</sup>Dataset di riferimento: excavation, skid-steer loader | excavation, skid-steer loader | APOS, U <https://v38.ecoquery.ecoinvent.org/Details/PDF/9C0072DC-3278-411E-9885-9C7DC9FFB9C5/06590A66-662A-4885-8494-AD0CF410F956>

<sup>25</sup>Dataset di riferimento: market for cable, three-conductor cable | cable, three-conductor cable | APOS, U <https://v38.ecoquery.ecoinvent.org/Details/PDF/AF17F80F-BDA8-40C0-BD86-DF77D2147AE5/06590A66-662A-4885-8494-AD0CF410F956>

<sup>26</sup> Dataset di riferimento: cable production, three-conductor cable | cable, three-conductor cable | APOS, U <https://v38.ecoquery.ecoinvent.org/Details/PDF/546A1217-C6F5-4832-818F-DF53E8C0C9C1/06590A66-662A-4885-8494-AD0CF410F956>



## ***Variazioni di progetto***

I valori sono stati calcolati per ogni conduttore da 400 mm<sup>2</sup> e per la densità del rame di 8920 kg/m<sup>3</sup>. Sono state fatte delle stime a partire dai data set disponibili dei cavi di sezione 16 mm<sup>2</sup>.

## **Processo: produzione del calcestruzzo per costruzione cabine**

Questo set di dati contiene la produzione di calcestruzzo da utilizzare per la realizzazione delle cabine elettriche prefabbricate. Nella sua applicazione questo calcestruzzo contiene armature in acciaio o altri metalli ed è esposto all'aria e all'umidità nonché ai cicli di gelo-rugiada. L'attività inizia con gli ingredienti per il calcestruzzo al cancello della fabbrica. Include l'intero processo di produzione per produrre il calcestruzzo preconfezionato, i processi interni (trasporto, ecc.) e le infrastrutture.

## **Fase 3 – Valutazione dell’impatto**

### **Classificazione delle categorie di impatto**

La categoria d'impatto ambientale scelta per lo studio è il riscaldamento globale (*Climate change*), vale a dire il fenomeno osservato in misurazione della temperatura che mostra in media un aumento dell'atmosfera terrestre e della temperatura degli oceani negli ultimi decenni.

### **Caratterizzazione o “modellizzazione” dei dati di inventario**

Il fattore di caratterizzazione è il potenziale di riscaldamento globale (GWP).

L'unità di riferimento viene espressa in kilogrammi di anidride carbonica equivalenti [kgCO<sub>2</sub>eq].

Il metodo utilizzato per la valutazione è ILCD 2011 Midpoint + (International Reference Life Data System).

## **Fase 4 – Interpretazione**

In questa fase vengono interpretati i risultati delle due fasi precedenti, “analisi dell’inventario” e “valutazione dell’impatto”, secondo gli obiettivi e il campo d’applicazione definito all’inizio.

Dalla simulazione si stimano **28.985.600 kgCO<sub>2</sub>eq** per la realizzazione, utilizzo per i 30 anni e dismissione del parco fotovoltaico da 15,1056 MWp.

Dalla “TAV\_CFP1 - Diagramma di Sankey” allegata esportata dal software di calcolo OpenLCA vengono riportati i processi che contribuiscono più del 5 % al *Climate Change* legato alla realizzazione dell'impianti fotovoltaico. Il maggior



impatto è dato dalla produzione di un blocco di silicio monocristallino valore che raggiunge circa il 31,8 % che risulta essere a valle di tutto il processo per la produzione dei pannelli fotovoltaici che ha un impatto di circa i 59,59 % su tutto il processo. Il secondo ramo del diagramma che risulta essere circa il 38,17 % del processo si riferisce all'installazione del sistema necessario per il montaggio, in particolare il processo di produzione dell'alluminio è ciò che impatta maggiormente.

Considerando l'impronta di carbonio generata per la realizzazione dei pannelli (il 59,59 % dei kgCO<sub>2</sub>eq ottenuti dalla simulazione) e la produzione complessiva dei kWh nei 30 anni di vita dell'impianto fotovoltaico 151.632,71 MWh<sup>27</sup> anni si stima l'impronta di carbonio del singolo pannello circa pari a 0,026 kg/kWh.

Il calcolo dei kWh è stato effettuato sulla base dell'energia prodotta nei 30 anni di vita dell'impianto fotovoltaico ossia:

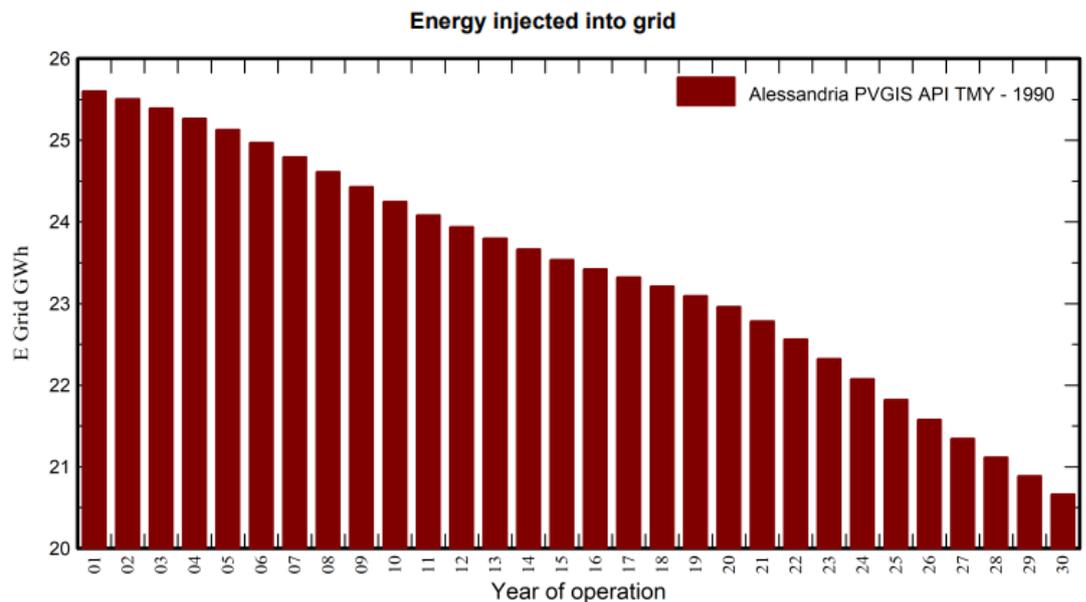


Figura 5 - Energia immessa in rete nei 30 anni di vita dell'impianto -Dati esportati dal software di calcolo PVSyst

<sup>27</sup> Il software di calcolo tiene conto dei dati garantiti dal produttore e per tali condizioni viene calcolato il decadimento della produzione di energia elettrica dei pannelli fotovoltaici che verso metà vita tende a diminuire. Si tiene in considerazione l'ipotesi di un ammodernamento dei pannelli fotovoltaici dopo 12/15 anni e quindi sarà possibile valutare un nuovo bilancio della Carbon Footprint.

Anno	Produzione kWh
1	24.023.102
2	23.934.376
3	23.833.342
4	23.720.136
5	23.595.016
6	23.450.128
7	23.287.740
8	23.119.930
9	22.950.692
10	22.783.800
11	22.632.722
12	22.498.718
13	22.371.192
14	22.249.410
15	22.132.444
16	22.028.966
17	21.935.542
18	21.837.390
19	21.728.932
20	21.605.052
21	21.438.676
22	21.229.956
23	21.004.000
24	20.765.142
25	20.516.956
26	20.273.496
27	20.037.062
28	19.796.244
29	19.550.102
30	19.297.668
<b>totale</b>	<b>659.627.932</b>



## Confronto con casi studio

In questo sottoparagrafo di analizzano due casi studio. Il primo è uno studio guidato dall'Università di Utrecht<sup>28</sup> affrontato nel 2016 nel quale è stato studiato l'EPBT per la produzione di un pannello, ovvero, il tempo per ripagare l'impronta di carbonio generata che risulta essere pari a 0,02 kg/kWh di CO<sub>2</sub>. Questo significa che ipotizzando una vita media del pannello fotovoltaico pari a 25 anni si può stimare il EPBT di circa 2 anni.

Il secondo studio riportato all'interno del blog di otovo<sup>29</sup> dove si considera l'intera vita di un pannello fotovoltaico su un tetto i kg/kWh di CO<sub>2</sub> risultano pari a 0,053.

I risultati di progetto si pongono al centro dei due studi riportati. Dal confronto delle due impronte di carbonio si deduce che nello studio condotto dall'Università di Utrecht si tiene in considerazione solo la produzione del pannello; perciò, meno impattante mentre per quanto riguarda il secondo studio l'impatto è maggiore perché tiene conto di tutto il ciclo della vita del pannello. Il progetto oggetto di studio del report tiene conto della produzione e dello smaltimento a fine vita e dei 30 anni di funzionamento in termini di kWh, però bisogna ricordare che all'interno dell'inventario i pannelli che vengono inseriti non rispecchiano in termini di potenza quelli che realmente andranno inseriti. Ragion per cui risulta essere minore rispetto allo studio riportato da otovo.

Il miglioramento di questi ultimi anni verso una sempre maggiore efficienza energetica e il continuo processo di innovazione nel settore verso un'economia circolare lascia presagire un futuro ancora più verde per il fotovoltaico.

Si deduce che la crescita della capacità di produzione di energia solare riduce l'energia necessaria per la produzione di un pannello e anche le relative emissioni di CO<sub>2</sub>.

Dai risultati inoltre risulta evidente che l'attività di cantiere ha un ruolo marginale, inquanto il suo impatto risulta minore dell'1%.

---

<sup>28</sup> "Re-assessment of net energy production and greenhouse gas emissions avoidance after 40 years of photovoltaics development" Atse Louwen, Wilfried G. J. H. M. van Sark, André P. C. Faaij e Ruud E. I. Schropp

<sup>29</sup> "L'impatto ambientale dei pannelli fotovoltaici" di Roberta Nicora <https://www.otovo.it/blog/impatto-ambientale-pannelli-fotovoltaici/#pannelli-solari-e-carbon-footprint>



Nella seguente Figura 6 viene riportato il grafico dove vengono analizzati i 5 processi che risultano essere più impattanti secondo la categoria di impatto di *Climate Change*.

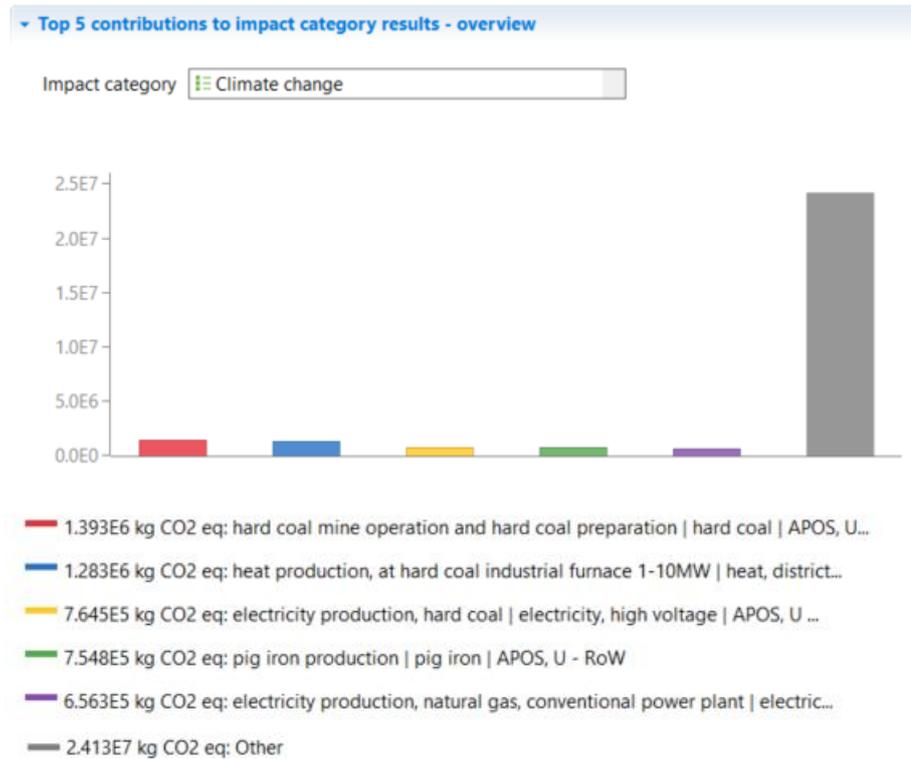


Figura 6 - Top 5 processi che incidono di più all'interno della categoria di impatto *Climate Change*

Si tratta del processo di estrazione e preparazione di combustibile fossile in Cina necessari per l'estrazione delle materie prime come visto nel Diagramma di Sankey.

È da notare anche che il problema non scomparirebbe se i pannelli fossero assemblati in Italia in quanto la silice estratta in Cina dovrebbe comunque essere trasportata in Italia.



Dallo studio effettuato dall'European Commission riportato all'interno della pubblicazione di ENEA<sup>30</sup> si può vedere come la Cina ha un ruolo predominante su tutti gli altri stati in tutte le fasi di produzione dei pannelli fotovoltaici a partire dall'estrazione delle materie prime fino all'assemblaggio di tutti i componenti.

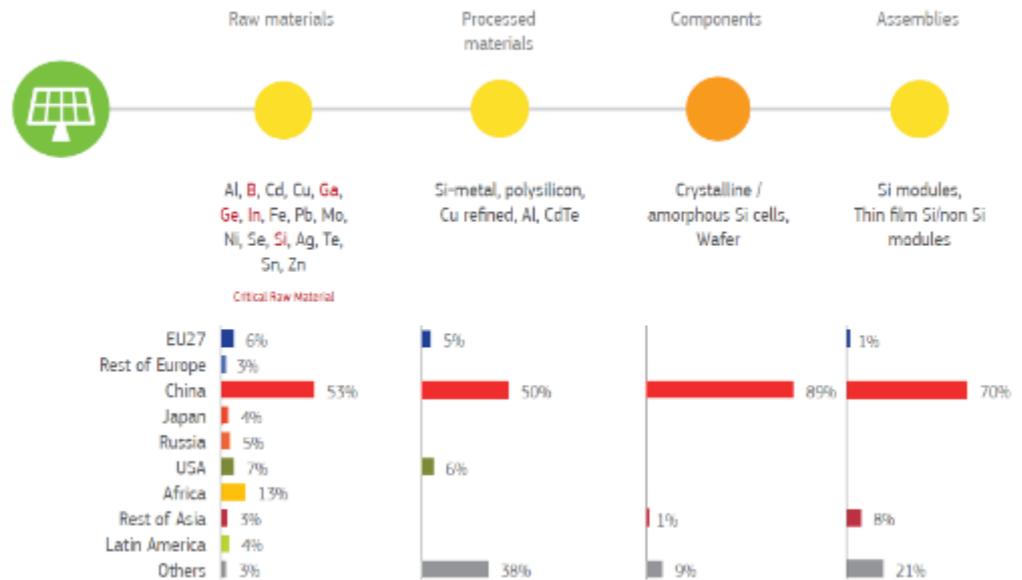


Figura 7 - Attori chiave e rischi approvvigionamento (fonte European Commission, 2020c)

Il problema principale in Europa non è tanto dovuto alla produzione dei pannelli, che viene compensato in parte con l'utilizzo di materie prime seconde (MPS), ma al recupero che risulta essere pari circa al 30 % delle 9 milioni di tonnellate di apparecchiature elettroniche a fine vita e il riciclo (circa l'1%).

Il recupero delle MPS all'interno dei pannelli fotovoltaici è importante perché permette di trovare un equilibrio tra l'insufficienza e la crescita di materiali tecnologici.

<sup>30</sup> Il fine vita del fotovoltaico in Italia – Implicazioni socio-economiche ed ambientali di Patrizia Corrias, Bruna Felici, Umberto Ciorba

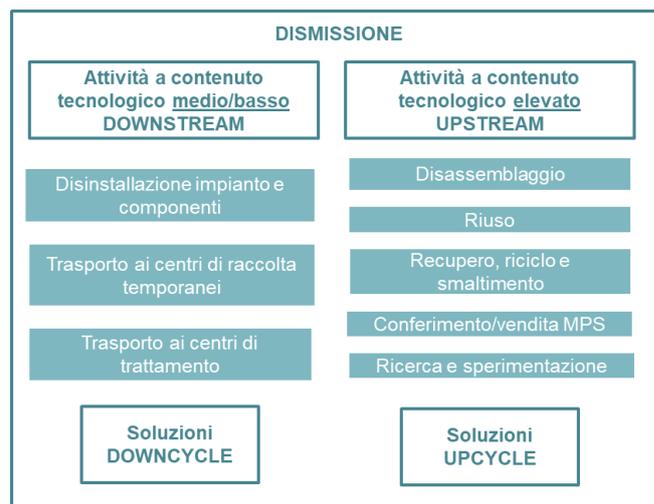


Figura 8 - Dismissione impianti tecnologici (DOWNSTREAM e UPSTREAM)

In Italia, negli ultimi anni, sono state condotte sperimentazioni e studi sul riciclo e recupero dei materiali ad alto contenuto tecnologico. Si cita il progetto FRELP (Full Recovery End of Life Photovoltaic) che pone al centro dello studio un prototipo di impianto di trattamento a fine vite dei pannelli solari in grado di recuperare e riutilizzare il 98-99% dei materiali che li compongono.

Il processo si articola in quattro fasi.

- Prima fase del processo: trattamento meccanico automatizzato che consiste nella separazione della cornice di alluminio, del connettore e della base di

LAND LIVE srl – Società per l'Ingegneria  
Sede legale – via Lepetit 8 - 20124 Milano  
Sede operativa – via Repubblica 41 - 13900 Biella  
C.F./P.IVA 12236320961  
Email info@landlive.it  
Web www.landlive.it



vetro ed è la più importante da un punto di vista del peso perché permette il recupero dell'88% del volume totale (70% vetro e 18% alluminio).

- Seconda fase del processo: trattamento termico che separa il silicio metallico dalla plastica e che permette di recuperare i conduttori in alluminio. Si concentra sul cosiddetto sandwich (plastica e silicio metallico).
- Terza e Quarta fase del processo: trattamento chimico che tratta il restante 4% di silicio che ancora si trova in forma grezza e che al suo interno contiene argento e rame.

Se da un lato le prime due fasi, le più economiche da un punto di vista dell'investimento, da sole consentono il recupero di circa il 90% del peso dei materiali, è solamente con le successive fasi che, sebbene richiedano un investimento più elevato, si assicura la maggior remunerazione dell'investimento, restituendo materie prime di maggior valore.

Si riporta nell'immagine seguente lo studio effettuato che analizza e quantifica i diversi processi alla base del trattamento di recupero FRELP.





## CONCLUSIONI

---

In conclusione, si riporta la stima complessiva dei risparmi di kg di CO<sub>2</sub>/kWh. Prendendo in considerazione la produzione di energia (kWh) nei 30 anni di vita dell'impianto e valutando i kg CO<sub>2</sub>/kWh:

- risparmiati dai fattori di emissione atmosferica nel settore elettrico nazionale che si stimano circa 0,273 kg di CO<sub>2</sub>/kWh<sup>32</sup>;
- emessi derivanti dalla realizzazione dell'impianto da 15,1056 MWp stimate a 0,044 kg di CO<sub>2</sub>/kWh;
- compensati dalla piantumazione degli alberi<sup>33</sup>, circa pari a 20 kg di CO<sub>2</sub>/albero quindi un recupero annuo di 11.400 kg CO<sub>2</sub>.

Quest'ultimo punto evidenzia l'importanza di tutelare il patrimonio forestale inserito nel proprio ecosistema.

Dalla Figura 10 si possono valutare i risparmi di kg di CO<sub>2</sub> che nel caso studio risultano essere pari a 1.560.632.820 kg di CO<sub>2</sub>, oltre i risparmi si stima anche l'EPBT che risulta essere pari a 5/6 anni.

Risulta evidente che il semplice utilizzo dell'impianto fotovoltaico non inquina l'ambiente: è la sua produzione e il successivo smaltimento che hanno un impatto significativo. Questi impatti però vengono ammortizzati in soli 6 anni sui 30 anni di vita dell'impianto; questo significa che per circa un quinto della vita l'impianto fotovoltaico sarà impiegato per il recupero della CO<sub>2</sub> necessaria per la sua realizzazione la restante parte è tutta CO<sub>2</sub> risparmiata.

La tecnologia fotovoltaica al momento risulta essere un tassello fondamentale per la transizione ecologica italiana, al fine di garantire il rispetto dei target europei ma soprattutto la decarbonizzazione. Inoltre, è da tener conto che l'impianto in oggetto sarà un impianto agrivoltaico, nel quale saranno presenti greggi di pecore biellesi e postazioni apistiche.

---

<sup>32</sup> Rapporto ISPRA 2020 – Fattori di emissione atmosferica di gas effetto serra nel settore elettrico nazionale e nei principali Paesi Europei tab.2.4 pag.31

<sup>33</sup> I dati riportati da uno studio pubblicato su "Trens in Plant Science" affrontato dalla James Cook University dimostrano che singolarmente una specie arborea raggiunto la propria maturità collocata all'interno di un contesto naturale e idoneo alla propria specie assorbirà tra i 20 e i 50 kg CO<sub>2</sub> all'anno. <https://blog.ecolstudio.com/emissioni-co2-assorbimento-alberi/>

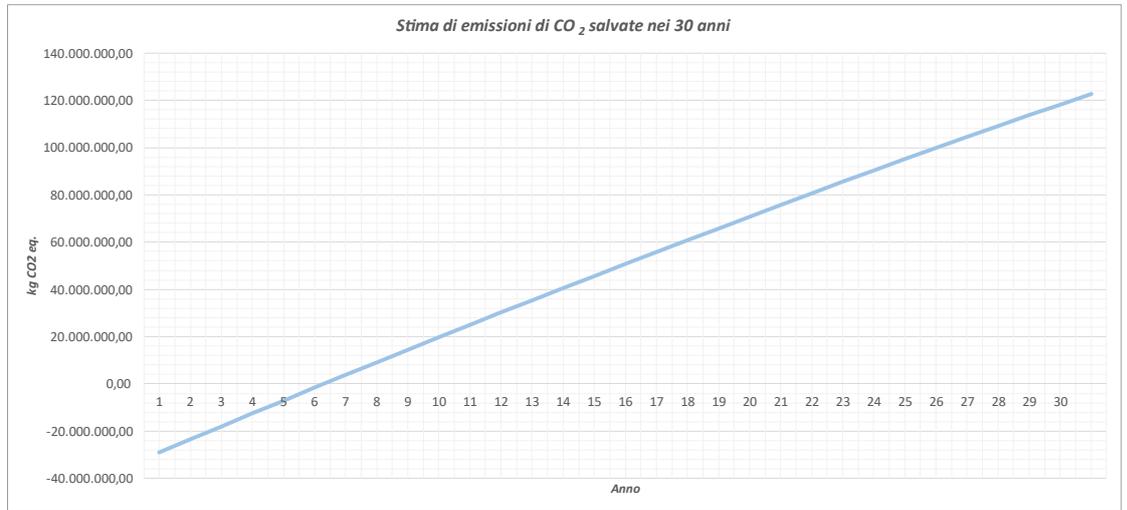


Figura 10 – Stima di risparmi di CO<sub>2</sub> nei 30 anni di vita dell'impianto fotovoltaico



**LAND LIVE srl – Società per l'Ingegneria**  
Sede legale – via Lepetit 8 - 20124 Milano  
Sede operativa – via Repubblica 41 - 13900 Biella  
C.F./P.IVA 12236320961  
Email [info@landlive.it](mailto:info@landlive.it)  
Web [www.landlive.it](http://www.landlive.it)