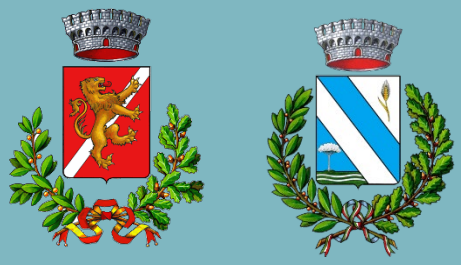
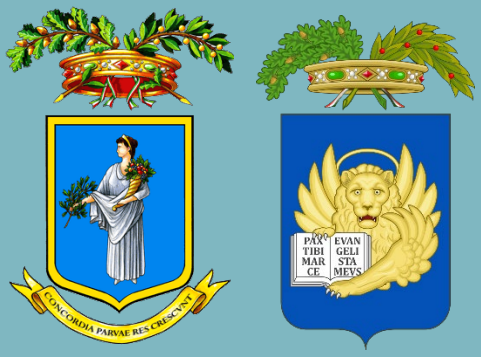
LAND LIVE

SESTO AL REGHENA E CINTO CAOMAGGIORE



PROVINCIA DI PORDENONE E VENEZIA



IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO DA 55,94 MWp

Istanza di valutazione di impatto ambientale per la costruzione e l'esercizio di impianti di produzione di energia elettrica alimentati da fonti rinnovabili ai sensi dell'art. 23 D.lgs. n.152/2006

IMMOBILE	Comune di Sesto al Reghena	Foglio 16, particella 206 Foglio 25, particella 383 Foglio 26, particella 74, 304, 308 Foglio 27, particella 487
	Comune di Cinto Caomaggiore	Foglio 1, particella 89, 90, 176, 180, 182, 210

PROGETTO: **VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE**	OGGETTO **DOC27 – RELAZIONE CARBON FOOTPRINT**	SCALA --
REVISIONE - DATA	VERIFICATO	APPROVATO
REV.00 - 07/12/2023		
IL RICHIEDENTE	BLUSOLAR SESTO AL REGHENA 1 S.R.L. PESCARA (PE) VIA CARAVAGGIO 125 CAP 65125 C.F. 02276560683 FIRMA _____	Blusolar Sesto Al Reghena 1 srl
IL PROGETTISTA	Ing. Riccardo Valz Gris FIRMA _____	Firmato digitalmente da **Riccardo Valz Gris** CN = Valz Gris Riccardo C = IT
TEAM DI PROGETTO	Arch. Andrea Zegna Land Live srl 20124 Milano - Citycenter Regus - Via Lepetit 8/10 Tel. +39 02 0069 6321 13900 Biella - Via Repubblica 41 Tel. +39 015 32838 - Fax +39 015 30878	LAND LIVE

I N D I C E

I N D I C E 1

1. PREFAZIONE 3

2. PREMESSA 4

3. LCA E LE 4 FASI DELL'ANALISI DEL CICLO DI VITA 5

3.1 METODOLOGIA LCA 5
3.2 DEFINIZIONI DI OBIETTIVO E AMBITO 5
3.3 ANALISI DELL'INVENTARIO 7
3.4 VALUTAZIONE DI IMPATTO 8
3.5 INTERPRETAZIONE 9
3.6 IL SOFTWARE E LA BANCA DATI 10
3.7 DATABASE DI INVENTARIO 10
3.8 CARBON FOOTPRINT 11

4. APPLICAZIONE LCA PER UN CAMPO FOTOVOLTAICO A TERRA 12

4.1 Introduzione allo studio 12

5. STIMA LCA PER IL PROGETTO "BLUSOLAR SESTO AL REGHENA 1 S.R.L." 13

5.1 Fase 1 – Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione 14
5.2 Fase 2 – Analisi dell'inventario 14
5.2.1 Processo: realizzazione dell'impianto fotovoltaico da 55,94 MWp su terreno 15
Variazioni di Progetto 15
5.2.2 Processo: mercato per la realizzazione di un pannello fotovoltaico monocristallino 16
5.2.3 Processo: realizzazione di un pannello fotovoltaico monocristallino 16
Variazioni di progetto 16
5.2.4 Processo: mercato del diesel utilizzato per le macchine da cantiere 16
5.2.5 Processo: diesel utilizzato per le macchine da cantiere 17
Variazioni di progetto 17
5.2.6 Processo: mercato degli inverter 500 kW 17
5.2.7 Processo: realizzazione degli inverter da 500 kW 17
Variazioni di progetto 17
5.2.8 Processo: mercato fornitura elettrica in bassa 18
Variazioni di progetto 18
5.2.9 Processo: mercato per l'installazione dell'impianto fotovoltaico da 55,94 MWp su terreno 18
5.2.10 Processo: installazione dell'impianto fotovoltaico da 55,94 MWp su terreno 18
Variazioni di progetto 18
5.2.11. Processo: mercato per l'installazione elettrica dell'impianto fotovoltaico da 55,94 MWp 19
5.2.12. Processo: installazione elettrica per l'impianto fotovoltaico da 55,94 MWp 19
5.2.13. Processo: piantumazione alberi 19
Variazioni di progetto 19
5.2.14. Processo: mercato per scavi con minipale 20
5.2.15. Processo: scavi con minipale 20

Variazioni di progetto 20
5.2.16. Processo: mercato per il reinterro con minipale 20
5.2.17. Processo: reinterro con minipale 20
5.2.18. Processo: mercato del cavo elettrico, cavo a tre conduttori 21
5.2.19. Processo: realizzazione del cavo a tre conduttori 21
Variazioni di progetto 21
5.2.20. Processo: produzione del calcestruzzo per costruzione cabine 21
5.2.21. Processo: Step-Up 21
5.3. Fase 3 – Valutazione dell'impatto 22
5.4. Fase 4 – Interpretazione 22
Confronto con casi studio 24
6. CONCLUSIONI 28

1. PREFAZIONE

Il fotovoltaico diviene un elemento positivo del paesaggio non solo 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.

Il presente modello, frutto di ricerca e sviluppo interni, ha lo scopo di avviare un metodo di lavoro efficace, chiaro e rassicurante rispetto agli obiettivi generali dei progetti sulle energie rinnovabili.

Ing. Riccardo Valz Gris - Land Live Srl

2. PREMESSA

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 55,94 MWp e delle relative opere connesse (infrastrutture impiantistiche e civili), ubicato nei territori dei Comuni di Sesto al Reghena e di Cinto Caomaggiore in provincia di Pordenone e di Venezia.

Il fine della relazione è quello di fornire stime della *Carbon Footprint* e dell'Environmental *Payback Time* dell'impianto in oggetto.

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

3.1 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*).[1] 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).[2]

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

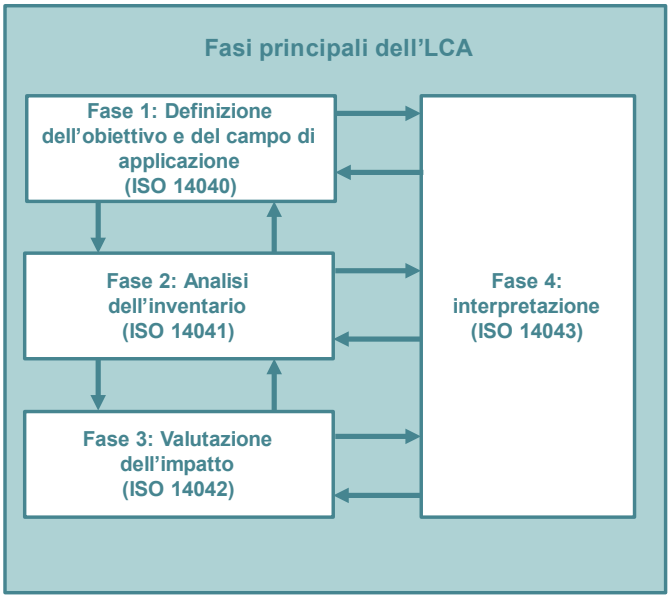


Figura 1 - Fasi principali LCA.

3.2 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.

[1] Hammond, G. P. & Winnett, A. B. 2006. "Interdisciplinary perpespectives on environmental appraisal and valuation techniques", Proceedings of Institute of Civil Engineers, Waste and Resource Management, vol. 159, pp. 117-130

[2] ISO 2006a. Environmental management -life cycle assessment -principles an_ framework. Second Edition, EN ISO 14040, International Standards Organisation (ISO), London.

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 calcolatiti 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 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;

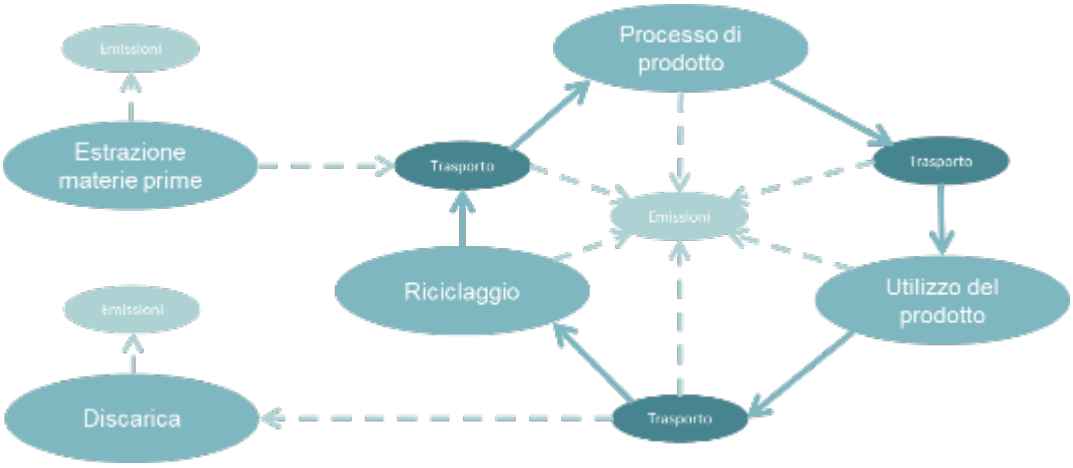


Figura 2 - Flussi del ciclo della vita di un prodotto.

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

[3] Curran, M., 2006. Life Cycle Assessment: Principles and Practice. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, USA.

3.3 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.

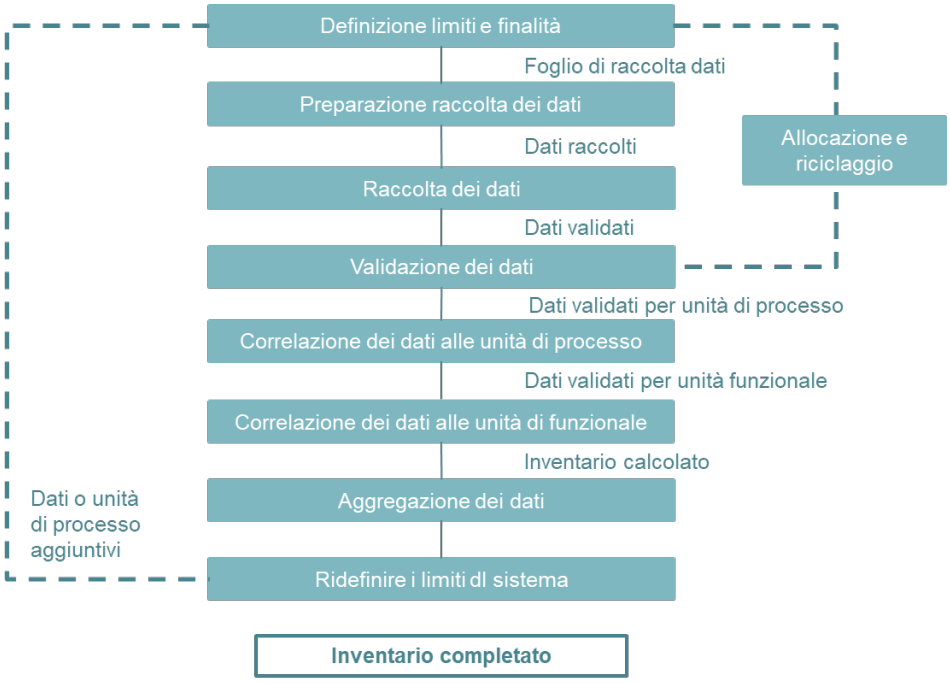


Figura 3 - Struttura per la costituzione dell'inventario.

Dall'analisi effettuata è emerso che la migliore soluzione impiantistica, per il sito prescelto, è quella monoassiale ad inseguitore di rollio. Tale soluzione, oltre ad avere costi di investimento e di gestione contenuti, comparabili con quelli degli impianti fissi, permette comunque un significativo incremento della producibilità dell'impianto in relazione al suolo interessato, permettendo al contempo l'utilizzo agricolo del terreno sottostante.

Tale scelta progettuale si ritine la migliore in alternativa di impianti fissi (minore produzione rispetto all'uso del suolo) e alla scelta di impianti biassiali, di maggiore resa energetica, ma superiore impatto sia in termini di altezza dei moduli che di dimensione dei supporti, quindi in generale di maggiore impatto visivo e ambientale.

3.4 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:

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.

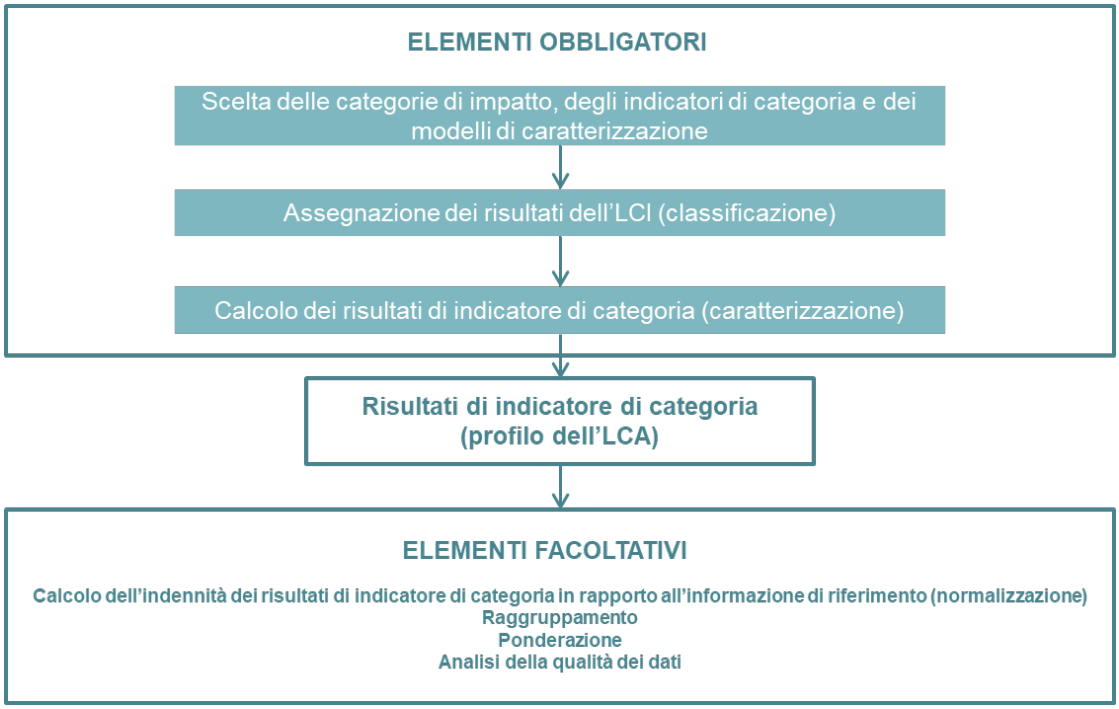


Figura 4 - Elementi necessari per studio dell'LCA.

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 CO2eq., mentre l'acidificazione è misurata in kg di SO2eq. 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.

3.5 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)*[3]. L'interpretazione dei risultati LCIA dovrebbe anche dimostrare che i risultati indicano potenziali effetti.

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

[3] ISO 2006b. Environmental management -life cycle assessment – requirements and guidelines. Second Edition, EN ISO 14044, International Standards Organisation (ISO), London.

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.

3.6 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)[4] li descrive come:

- 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.

3.7 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.

[4] McManus, M.C. 2001. Life Cycle Assessment of Rapesee_ an_ Mineral Oil Base_ Flui__ower ystems. PhD Thesis, University of Bath.

3.8 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_2 equivalente (tCO_2eq).

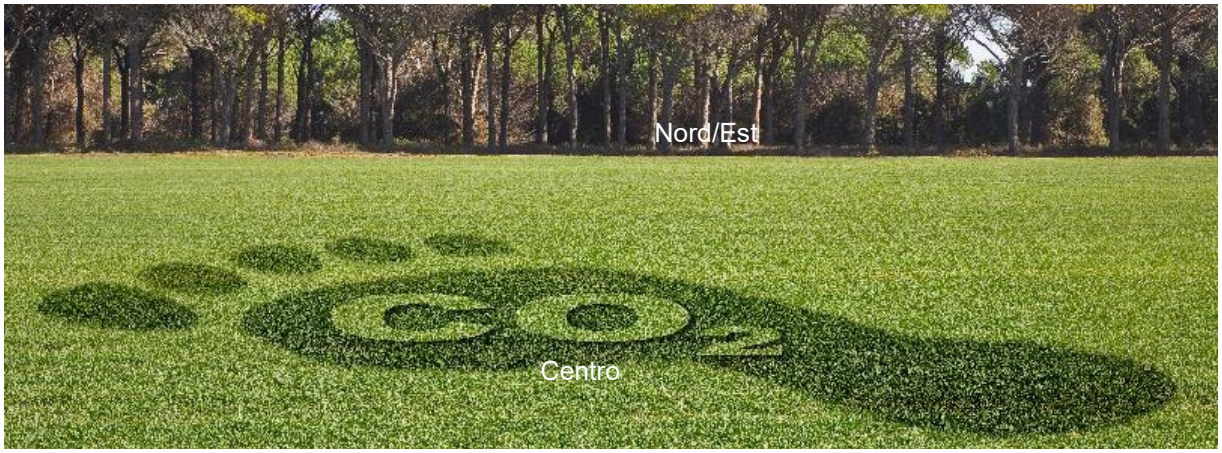
Si mira dunque alla riduzione dei gas che contribuiscono complessivamente al riscaldamento climatico globale.

L'unità di misura (tonnellate di CO_2 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_2), 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.



4. 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.

4.1 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.[5] 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[6].

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.

[5] Il fine vita del fotovoltaico in Italia – Implicazioni socioeconomiche ed ambientali di Patrizia Corrias, Bruna Felici, Umberto Ciorba

[6] 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 (accessed 23.01.2012)

5. STIMA LCA PER IL PROGETTO "BLUSOLAR SESTO AL REGHENA 1 S.R.L."

L'impianto in oggetto prevede l'installazione di pannelli fotovoltaici (moduli) in silicio monocristallino della potenza unitaria di 590 Wp, montati su strutture portanti ad inseguimento monoassiali (tracker) posti su un terreno di proprietà privata che si estende su un'area complessiva di circa 69 ettari.

Il progetto prevede una potenza complessivamente installata di 55,94 MWp. L'impianto è suddiviso in due lotti, le cui posizioni baricentriche distano tra loro circa 1,6 km. Il Lotto 1 ha una potenza installata pari a 38,80 MWp mentre il Lotto 2 di 17,14 MWp.
Per configurazione ed installazione il lotto 1 viene progettato come campo "agrivoltaico", mentre il lotto 2 come campo fotovoltaico.

Sono previsti complessivamente 154 inverter da 300 kW ciascuno, di questi 110 inverter sono installati nel Lotto 1 e sono ripartiti tra 5 cabine di trasformazione prefabbricate e i rimanenti 44 sono ripartiti tra altre 2 cabine di trasformazione prefabbricate.

La cabina di consegna del Lotto 1 è collegata alla Step-Up tramite un breve cavidotto MT interrato della lunghezza di 30 m circa.
La cabina di smistamento del Lotto 2 è collegata alla Step-Up tramite un cavidotto MT interrato della lunghezza di 2,5 km circa.
L'energia prodotta dall'impianto sarà veicolata tramite un cavidotto AT a 132 kV interrato della lunghezza di 150 m circa che collega la Step-Up interna al lotto 1 con la CP di e-Distribuzione, adiacente al campo.

La produzione di energia dell'impianto fotovoltaico al primo anno è pari a 78,23 GWh.

Figura 5 - Immagine satellitare dell'area di installazione dell'impianto

5.1 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 55,94 MWp. Dunque, l'unità funzionale dello studio è la realizzazione di "Un impianto da 55,94 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 monoscristallino;
- 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 dei cavidotti di media tensione interni al campo e del cavidotto di alta tensione esterno;
- Realizzazione della Step-Up di progetto.

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.

5.2 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 *TAV19 – 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.

5.2.1 Processo: realizzazione dell'impianto fotovoltaico da 55,94 MWp su terreno[7]

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 55,94 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 590 Wp. 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 154 inverter da 300 kW; quindi, si ipotizzano 83 inverter da 500 kW. Inoltre, si tiene in considerazione la piantumazione degli alberi per la creazione delle barriere del verde, l'utilizzo del materiare per la realizzazione delle cabine di campo, e dei cavidotti interrati.

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 monoscristallino;
- struttura di montaggio a terra aperta;
- Inverter da 500 kW;
- Impianto elettrico 55,94 MWp;
- Piantumazione degli alberi
- Cabine di consegna e smistamento
- Scavi e reinterri per la realizzazione dei cavidotti
- I cavidotti di MT e il cavidotto AT

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

- 244.920,71 m^2 *photovoltaic panel, single-Si wafer*
- 733.486,68 MJ di *diesel, burned in building machine*
- 3.444,51 kWh di *electricity, low voltage*
- n. 83 inverter da 500 kW
- 594.927,34 m^2 *photovoltaic mounting system for 55,94 MWp*
- n. 96 *photovoltaics, electric installation for 55,94 MWp module, open ground*
- n. 8.485 piantumazioni tra specie arboree e cespugliose
- 4.068,35 m^3 di scavi e di reinterro per la realizzazione dei cavidotti di MT e del cavidotto di AT
- 4.068,35 m^3 di scavi e di reinterro per la dismissione dei cavidotti cavidotto di MT e del cavidotto di AT

[7] 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)

- 107,8 m^3 di calcestruzzo per la realizzazione della cabina di consegna sita nel Lotto 1, della cabina di smistamento sita nel Lotto 2 e dei n.7 basamenti delle cabine di trasformazione prefabbricate interne ad entrambi i lotti
- 1 Step-Up nella quale sono compresi: trasformatore, edificio in c.a. e cavidotto in AT (con scavo e reinterro, sia in fase di realizzazione che di dismissione)

5.2.2 Processo: mercato per la realizzazione di un pannello fotovoltaico monocristallino

Questa è un'attività di mercato. Il processo ha come unità 1 m^2.

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 Suntech. 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.

5.2.3 Processo: realizzazione di un pannello fotovoltaico monocristallino[8]

Dati grezzi di elaborazione dell'unità per 1 m^2 di pannello fotovoltaico.

Indagato per la produzione di pannelli solari e laminati con 60 celle solari a 156*156 cm^2 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.

5.2.4 Processo: mercato del diesel utilizzato per le macchine da cantiere[9]

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).

[8] 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)

[9] 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.

5.2.5 Processo: diesel utilizzato per le macchine da cantiere[10]

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.

5.2.6 Processo: mercato degli inverter 500 kW[11]

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 3.000 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.

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

5.2.7 Processo: realizzazione degli inverter da 500 kW[12]

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 3.000 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 154 inverter tipo Huawei di potenza pari a 300 kW. Dunque, la stima tiene conto di 83 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 166 inverter (cambiandoli dopo 15 anni) per l'intera durata della vita dell'impianto.

---

[10] 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

[11] 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

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

5.2.8 Processo: mercato fornitura elettrica in bassa[13]

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 stati considerati i Processi legati ai mercati di energia in bassa tensione dell'Asia e dell'Europa. Il consumo di energia che viene riportato all'interno del calcolo è stato ricavato mediante una stima fatta a partire da un impianto da 3 kWp.

5.2.9 Processo: mercato per l'installazione dell'impianto fotovoltaico da 55,94 MWp su terreno[14]

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.

5.2.10 Processo: installazione dell'impianto fotovoltaico da 55,94 MWp su terreno[15]

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

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.

[13] 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

[14] 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

[15] Dataset di riferimento: market for 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

5.2.11. Processo: mercato per l'installazione elettrica dell'impianto fotovoltaico da 55,94 MWp[16]

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.

5.2.12. Processo: installazione elettrica per l'impianto fotovoltaico da 55,94 MWp[17]

Questo set di dati rappresenta la produzione di diversi componenti dell'impianto elettrico per una centrale fotovoltaica da 55,94 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.

5.2.13. Processo: piantumazione alberi[18]

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.

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

Il numero totale di alberi da piantumare nel Lotto 1 è stato stimato in numero di 8.485, suddivisi tra specie cespugliose (6.191) ed arboree (2.294).

[16] 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

[17] 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/0B340076-C1AE-40DA-8B5D-FF89A877B77B/06590A66-662A-4885-8494-AD0CF410F956

[18] 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

5.2.14. Processo: mercato per scavi con minipale[19]

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 m^3 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.

5.2.15. Processo: scavi con minipale[20]

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 scavi no dig previsti all'interno del progetto per il superamento degli ostacoli come canali irrigui, rogge, in quanto secondo lo studio avviato da TIM insieme al laboratorio CSELT di Torino[21], la tecnologia no dig è meno impattante (circa del 50%) rispetto agli scavi tradizionali.

5.2.16. Processo: mercato per il reinterro con minipale[22]

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 m^3 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.

5.2.17. Processo: reinterro con minipale[23]

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

---

[19] 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

[20] 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

[21] 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

[22] 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

[23] 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)

5.2.18. Processo: mercato del cavo elettrico, cavo a tre conduttori[24]

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.

5.2.19. Processo: realizzazione del cavo a tre conduttori[25]

Questo processo rappresenta la produzione di 1 metro di cavo in media tensione da 18/30 kV con guaina in filo di rame. 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.

Variazioni di progetto

I valori sono stati calcolati per ogni conduttore delle linee di MT e AT facendo delle stime a partire dai data set disponibili dei cavi di sezione 16 mm^2.

5.2.20. 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.

5.2.21. Processo: Step-Up

Questo processo risulta essere una stima per la realizzazione della Step-Up futura necessaria per la trasformazione di energia in MT/AT. All'interno del processo viene considerato l'edificio in ca e il trasformatore in MT/AT. Le apparecchiature elettromeccaniche non sono state inserite a causa di mancanza di dati.

[24] 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

[25] 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

5.3. FASE 3 – VALUTAZIONE DELL'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 terreste e della temperatura degli oceani negli ultimi decenni.

Il fattore di caratterizzazione è il potenziale di riscaldamento globale (GWP).
L'unità di riferimento viene espressa in kilogrammi ci anidride carbonica equivalenti [kgCO_2eq].
Il metodo utilizzato per la valutazione è ILCD 2011 Midpoint + (International Reference Life Data System).

5.4. 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 109.604.946 kgCO_2eq per la realizzazione, utilizzo per i 30 anni e dismissione del parco fotovoltaico da 55,94 MWp.

Dalla *TAV20 – SANKEY DIAGRAM* 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 31,5% che risulta essere a valle di tutto il processo per la produzione dei pannelli fotovoltaici che ha un impatto di circa i 59,3% su tutto il processo. Il ramo opposto del diagramma che risulta essere circa il 37,4% 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 59,3% dei kgCO_2eq ottenuti dalla simulazione, e la produzione complessiva dei kWh nei 30 anni di vita dell'impianto fotovoltaico (2.141,63 GWh)[26] si stima l'impronta di carbonio del singolo pannello circa pari a 0,030 kg/kWh.

Per quanto riguarda la realizzazione e la dismissione degli elettrodotti interrato di Media ed Alta Tensione che si sviluppano su circa 5,4 km (MT) e 2,5 km (AT), sono stati estrapolati dall'analisi gli elementi necessari e si stimano 87.684 kgCO_2eq. Questo dato messo a confronto con i kg di CO_2eq totali per la realizzazione e dismissione impatta solo per meno dello 0,1%.

Il calcolo della producibilità elettrica è stato effettuato sulla base dell'energia prodotta nei 30 anni di vita dell'impianto fotovoltaico. Non prevedendo revamping e considerando il decadimento delle prestazioni dei moduli fotovoltaici indicato dal costruttore, la produzione complessiva è la seguente:

[26] Si tiene conto di un decadimento delle prestazioni dei moduli pari al -0,4% annuo, come indicato da scheda tecnica del costruttore. La producibilità al primo anno e il decadimento delle prestazioni dei moduli nei 30 anni sono stati valutati utilizzando il software di calcolo PVSyst.

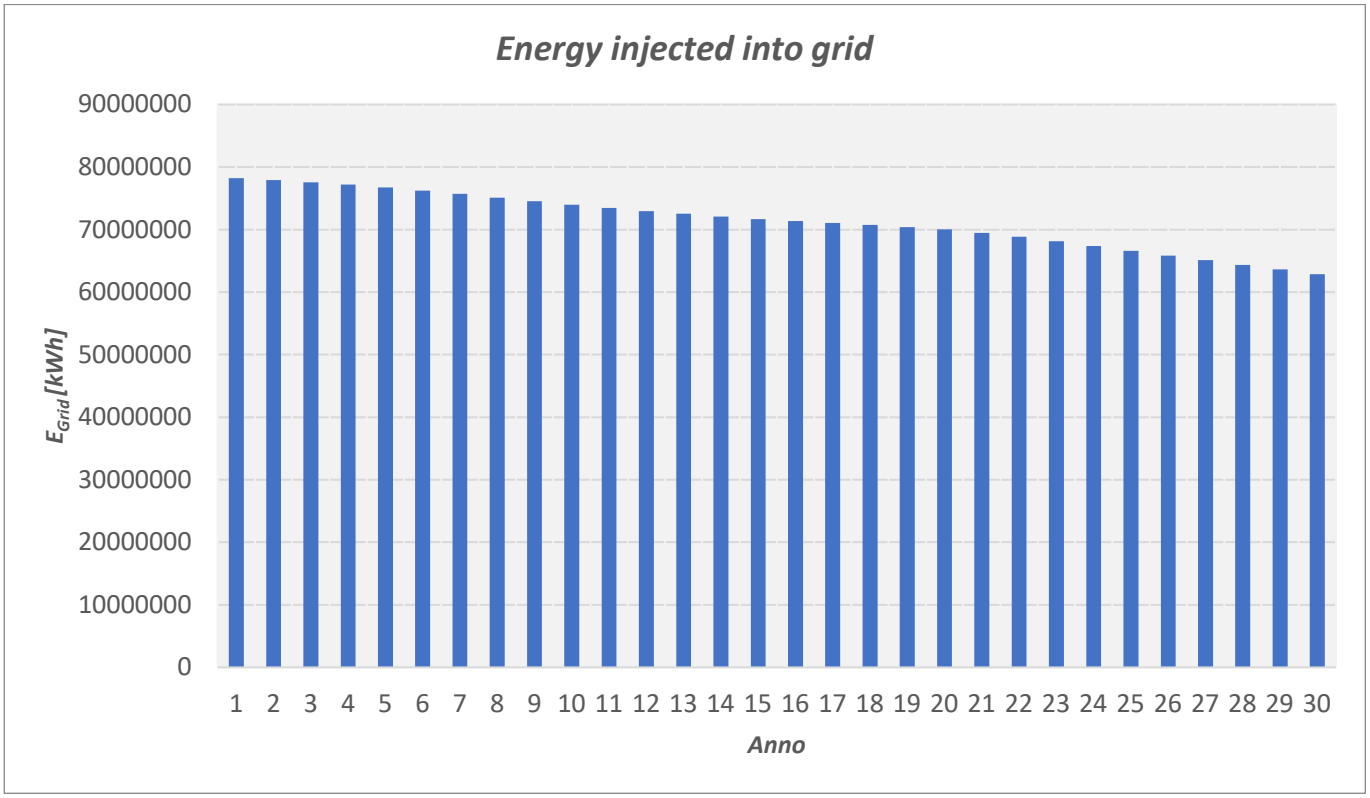


Figura 6 - Energia immessa in reta nei 30 anni di vita dell'impianto

Anno	Produzione [kWh]
1	78 231 997
2	77 920 573
3	77 568 359
4	77 176 182
5	76 744 138
6	76 246 466
7	75 690 537
8	75 116 134
9	74 536 292
10	73 963 860
11	73 438 899
12	72 966 734
13	72 518 178
14	72 092 103
15	71 687 436
16	71 341 594
17	71 043 477
18	70 734 752
19	70 396 470
20	70 009 597
21	69 488 597
22	68 832 761
23	68 123 613
24	67 375 279

Anno	Produzione [kWh]
25	66 601 588
26	65 842 960
27	65 105 641
28	64 362 854
29	63 614 642
30	62 861 121
Totale	**2 141 632 834**

Si stima una producibilità elettrica netta complessiva nei 30 anni pari a circa: 2.141,63 GWh.

Si calcola l'indice di sostenibilità EROEI *Energy Return On Energy Investment* ossia *Ritorno Energetico sull'Investimento Energetico*, risultato del rapporto tra la somma delle energie, espresso nell'unità di misura del Sistema Internazionale, che un impianto produrrà durante il suo esercizio (*Energia Ricavata*) e la sommatoria delle quantità energie che sono necessarie per costruire, esercire e poi smantellare l'impianto (*Energia Investita* o *Energia Consumata*).

L'indice di sostenibilità è dato dal seguente rapporto:

$$EROEI = \frac{\sum_1^{30} Eenrgia\ ricavata}{\sum_1^{30} Energia\ investita}$$

dove l'*Energia Investita* è data dalla somma di tutte le forme di energia impiegate come input risultato dell'analisi LCA:

Energy, gross calorific value, in biomass	*40.872.892*	*MJ*
Energy, gross calorific value, in biomass, primary forest	*173.062*	*MJ*
Energy, kinetic (in wind), converted	*17.781.848*	*MJ*
Energy, solar, converted	*80.360*	*MJ*
Energy, geothermal, converted	*1.929.703*	*MJ*
Energy, potential (in hydropower reservoir), converted	*147.626.809*	*MJ*
Energia investita	***208.464.675***	***MJ***

e l'*Energia Ricavata* è l'energia elettrica prodotta dall'impianto nei 30 anni: 2.141,63 GWh = 7.709.878.202 MJ.

Ipotizzando un incremento del 10,6%[27] sull'*Energia Investita* per tenere conto dell'energia spesa in fase di esercizio dell'impianto, risulta un indice EROEI pari a: 33,44.

Confronto con casi studio

In questo sottoparagrafo di analizzano due casi studio. Il primo è uno studio guidato dall'Università di Utrecht[28] 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_2. 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[29] dove si considera l'intera vita di un pannello fotovoltaico su un tetto i kg/kWh di CO_2 risultano pari a 0,053.

I risultati di progetto si pongono tra dei due studi riportati (0,030 kg/kWh). 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

[27] Verifica di assoggettabilità alla VIA (screening) – Progetto di un impianto fotovoltaico a terra – Potenza 16.95 MW – *Relazione di calcolo convenienza energetica* – Archest S.r.l.

[28] "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

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

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_2.
Dai risultati inoltre risulta evidente che l'attività di cantiere ha un ruolo marginale, inquanto il suo impatto risulta minore dell'1%.

Nella seguente Figura 7 viene riportato il grafico dove vengono analizzati i 5 processi che risultano essere più impattanti secondo la categoria di impatto di *Climate Change.*

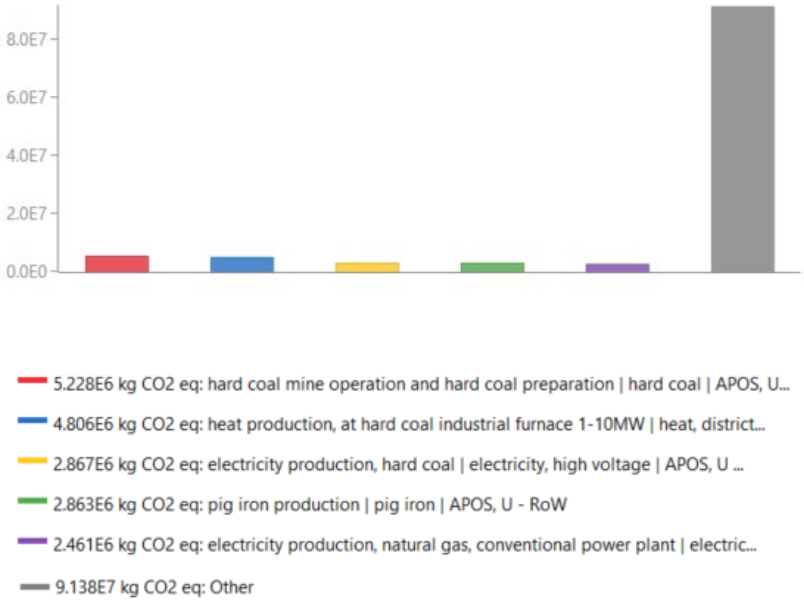


Figura 7 - Top 5 processi che incidono di più all'interno della categoria di impatto *Climate Change.*

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[30] 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.

[30] Il fine vita del fotovoltaico in Italia – Implicazioni socio-economiche ed ambientali di Patrizia Corrias, Bruna Felici, Umberto Ciorba

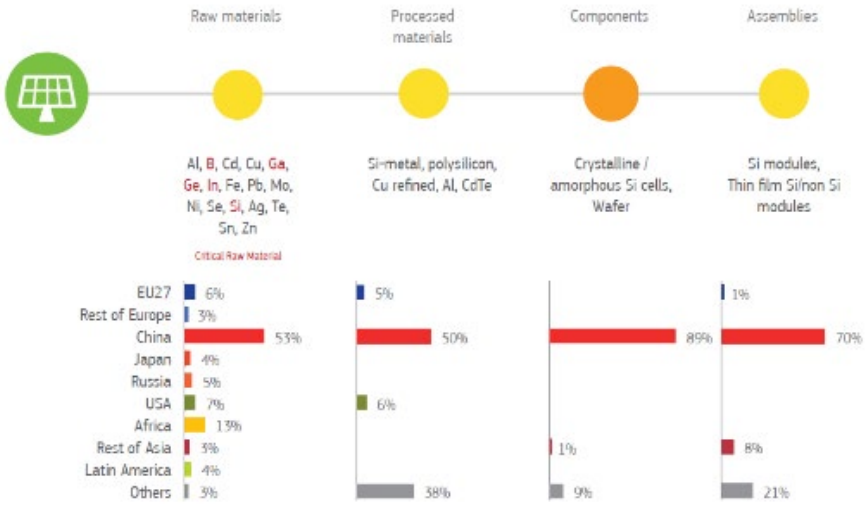


Figura 8 - Attori chiave e rischi approvvigionamento (fonte European Commission, 2020c).

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.

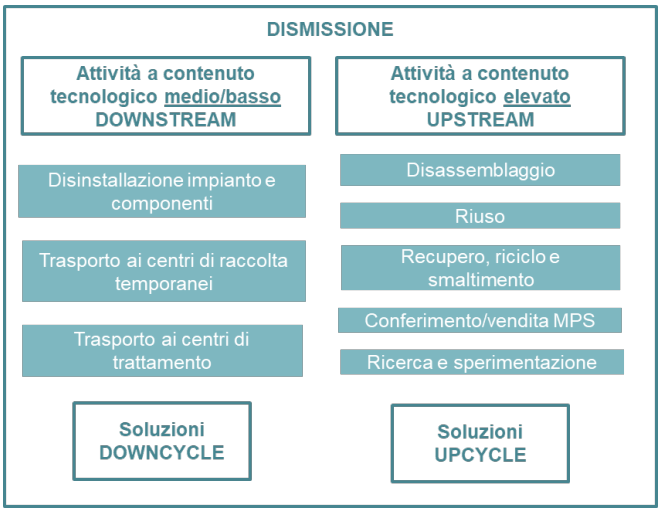


Figura 9 - Dismissione impianti tecnologici (DOWNSTREAM e UPSTREAM).

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 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.

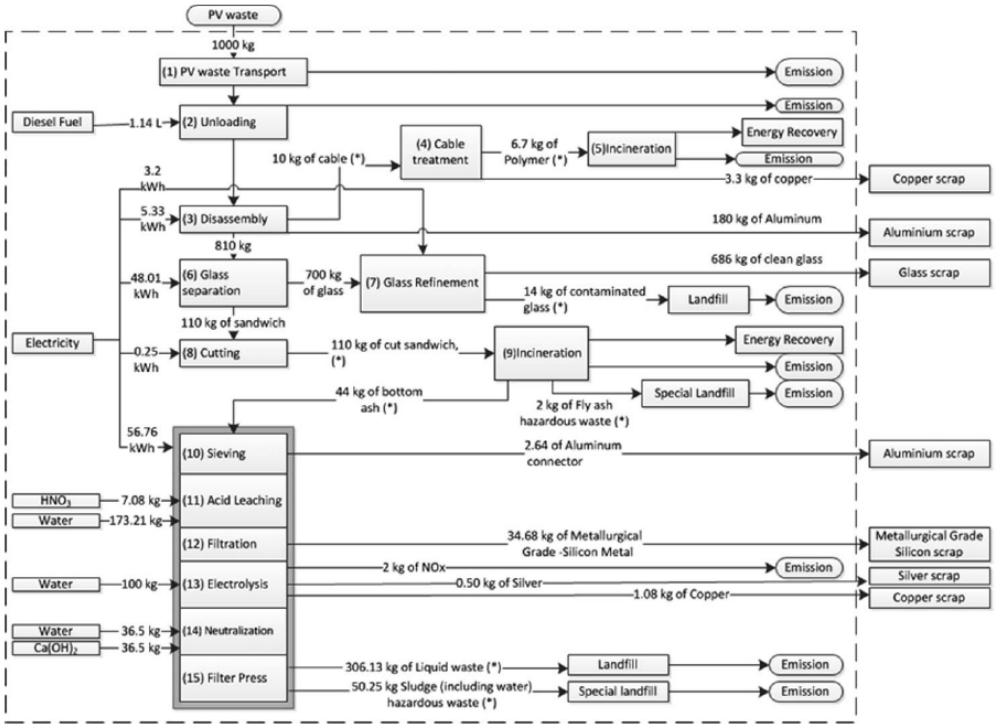


Figura 10 - Diagramma di flusso relativo al trattamento dei rifiuti da fotovoltaico (Latussa C.L. et al.2016a).[31]

Secondo le stime e i business plan elaborati da SASIL, il quantitativo annuo di pannelli FV da trattare per rendere sostenibile il processo è di circa 7.000 t/anno, quantitativo che entro i prossimi anni 40 verrà sicuramente raggiunto.

Il valore calcolato dell'indice EROEI è confrontabile con quanto riportato in letteratura per impianti fotovoltaici. I valori sono compresi in un ampio range che va da 8,1 a 34,7[32] a seconda della taglia e del tipo di installazione.

[31] https://123dok.org/article/processi-trattamento-fine-fotovoltaico-italia-implicazioni-socio-economich.wq2gpm2y

[32] Khagendra P. Bhandari, Jennifer M. Collier e Randy J. Ellingson, *Energy payback time (EPBT) and energy return on energy invested (EROI) of solar photovoltaic systems: A systematic review and meta-analysis*, in Renewable and Sustainable Energy Reviews.

6. CONCLUSIONI

In conclusione, si riporta la stima complessiva dei risparmi di kg di CO_2/kWh. Prendendo in considerazione la produzione di energia (kWh) nei 30 anni di vita dell'impianto e valutando i kg CO_2/kWh:

- risparmiati dai fattori di emissione atmosferica nel settore elettrico nazionale che si stimano circa 0,2733 kg di CO_2/kWh[33];
- emessi derivanti dalla realizzazione dell'impianto da 55,94 MWp stimate a 0,051 kg di CO_2/kWh;
- compensati dalla piantumazione degli alberi[34], circa pari a 20 kg di CO_2/albero quindi si ha un recupero annuo di circa 45,88 tonnellate di CO_2.

Quest'ultimo punto evidenzia l'importanza di tutelare il patrimonio forestale inserito nel proprio ecosistema.
Dalla curva riportata in Figura 11 è possibile valutare il risparmio di kg di CO_2 totale nei 30 anni di vita dell'impianto, che nel caso studio risultano essere pari a **4.360.121.161 kg di CO_2**, oltre che il risparmio si stima anche l'EPBT, che risulta essere compreso **tra i 6 e i 7 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 meno di 7 anni sui 30 anni di vita dell'impianto; questo significa che per circa un quarto della vita l'impianto fotovoltaico sarà impiegato per il recupero della CO_2 necessaria per la sua realizzazione la restante parte è tutta CO_2 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.

[33] 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

[34] 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 CO2 all'anno. https://blog.ecolstudio.com/emissioni-co2-assorbimento-alberi/

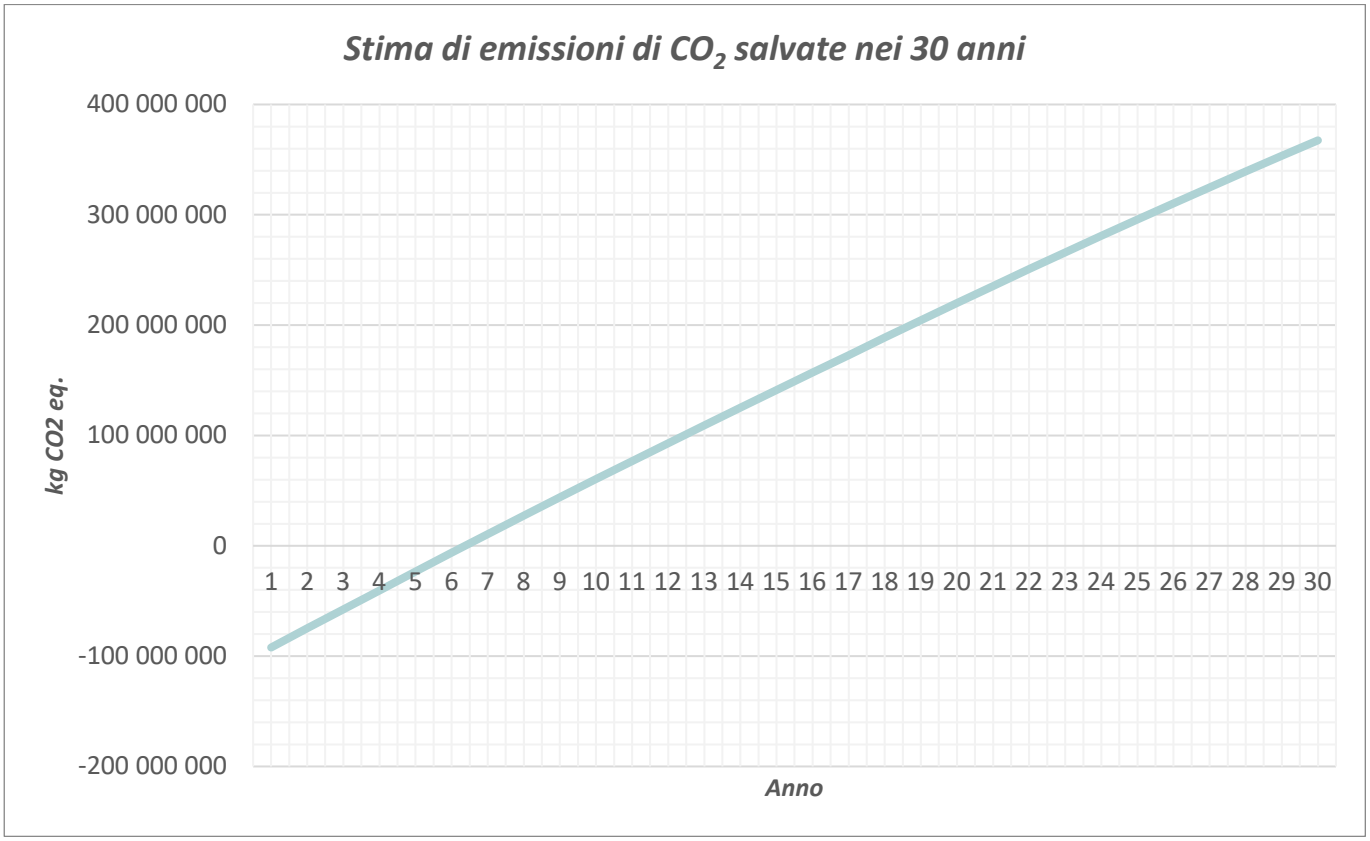


Figura 11 – Stima di risparmi di CO_2 nei 30 anni di vita dell'impianto fotovoltaico.