



Fronius Tauro ECO – Un vantaggio per l'ambiente

Life Cycle Assessment (LCA)

DI Mag. Harald Pilz

to4to
together for tomorrow

 **Fraunhofer**
IZM

© Fronius International GmbH

Versione 01 05/2022

Business Unit Solar Energy / System Technology

Research & Development Technologies

Fronius si riserva tutti i diritti, con particolare riferimento ai diritti di riproduzione, distribuzione e traduzione.

Nessuna parte di quest'opera potrà essere riprodotta in alcun modo senza il consenso scritto di Fronius. Non potrà essere salvata, modificata, riprodotta o distribuita utilizzando un qualsiasi sistema elettrico o elettronico.

Si ricorda che le informazioni pubblicate in questo documento, nonostante sia stato redatto con la massima cura, sono soggette a modifiche e che né l'autore né Fronius si faranno carico di alcuna responsabilità legale.

Le parole di genere si riferiscono indifferentemente alla forma maschile e femminile.

Indice

1	Introduzione: Un sogno sostenibile	4
1.1	Obiettivo	5
1.2	Definizione di analisi LCA	5
1.2.1	Cosa significa LCA?	5
1.2.2	Perchè è utile?	5
1.2.3	L'analisi LCA nel contesto europeo	7
2	LCA: alla ricerca dei dati ambientali	8
2.1	Analisi LCA per Tauro ECO 100	8
2.2	Approvvigionamento	9
2.3	Produzione	10
2.4	Fase di utilizzo	10
2.5	Fine vita	11
3	LCA: le prestazioni ambientali di Tauro ECO 100	12
3.1	L'impronta di carbonio di Tauro ECO 100	12
3.2	Vantaggi di Tauro ECO 100-D	18
4	Conclusioni: un passo avanti	20
4.1	Utilizzo e qualità dell'analisi LCA	20
4.2	I prossimi obiettivi: sulla strada della sostenibilità	21

1 Introduzione: un sogno sostenibile

Negli ultimi decenni, il riscaldamento globale è diventato una delle sfide principali per le società umane. Questo fenomeno dà luogo a molte conseguenze tra cui, solo per citarne alcune, l'intensificazione dei disastri naturali e l'aumento dei rifugiati per motivi climatici, oltre che dei problemi di inquinamento atmosferico. Inoltre, i danni all'ambiente sono associati ad altre importanti questioni, come la perdita di biodiversità, la crisi delle risorse naturali, l'aumento delle epidemie catastrofiche, ecc. Questi rischi sfidano l'equilibrio delle nostre società e mettono in pericolo il futuro dell'umanità. Molti dei rapporti che vengono continuamente pubblicati sul tema, come le analisi di IPCC¹ o del *World Economic Forum*² descrivono la probabilità di tali rischi o la loro percezione da parte delle società umane.

Di conseguenza, vi è l'urgente necessità di affrontare questi grandi problemi. Negli ultimi anni sono state adottate diverse misure e piani ambiziosi per ridurre il più possibile l'impronta ambientale delle nostre società, dei prodotti e dei servizi. In genere, i prodotti e i servizi non dovrebbero più seguire il modello dell'economia lineare (il cosiddetto "take-make-waste"), bensì quello dell'economia circolare, come esplicitato ad esempio nell'Obiettivo di Sviluppo Sostenibile 12 delle Nazioni Unite: "Consumo e produzione responsabili". Inoltre, i vantaggi puramente finanziari non possono più essere gli unici criteri da seguire; anche i fattori di sostenibilità vanno presi in considerazione.

Al fine di limitare il devastante impatto dei cambiamenti climatici, le istituzioni politiche hanno implementato norme, leggi e strategie. Per accompagnare questa evoluzione, e anche per assumersi le proprie responsabilità, Fronius ha identificato nella sostenibilità uno dei suoi valori fondamentali. L'obiettivo Fronius "24 hours of Sun" (24 ore di sole), indica un futuro in cui il 100% della domanda mondiale di energia sarà coperto dalle fonti rinnovabili. Per arrivare a questo traguardo ideale, Fronius si impegna a sviluppare prodotti sostenibili progettati in modo ottimale, prendendo in considerazione tutte le fasi del ciclo di vita. Per raggiungere questo obiettivo e consentire decisioni consapevoli in futuro, è necessaria una comprensione scientifica delle prestazioni di sostenibilità dei prodotti basata su fatti concreti. L'analisi del ciclo di vita (LCA) rappresenta uno degli strumenti scientifici più comuni e standardizzati a livello internazionale per analizzare l'impatto sull'ambiente di un prodotto nel corso della sua vita. Nel 2020 è stato compiuto un nuovo passo significativo con il completamento della prima analisi LCA su una delle famiglie di prodotti Fronius, GEN24 Plus, seguito nel 2022 dall'analisi LCA di un inverter commerciale: Tauro ECO 100 (nelle varianti "D" e "P").

¹ Gruppo intergovernativo sul cambiamento climatico (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC: <https://www.ipcc.ch/reports/> (ultimo accesso 19/04/2021)

² "The Global Risks Report" (2021): http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2021.pdf (ultimo accesso 04/19/2021)

1.1 Obiettivo

L'obiettivo della presente relazione è illustrare il concetto di analisi LCA, la sua applicazione agli inverter Tauro e suoi i risultati e interpretazioni più rilevanti. Essa mira a fornire una panoramica dei risultati più importanti dell'analisi LCA senza entrare in modo troppo approfondito nei calcoli e nei dettagli.

1.2 Definizione di analisi LCA

Nei paragrafi seguenti viene definita l'analisi LCA, le informazioni che si possono trarre da essa e lo sviluppo e utilizzo nel contesto europeo.

1.2.1 Che cosa significa LCA?

L'analisi del ciclo di vita (in inglese, *Life Cycle Assessment* - LCA) è una metodologia scientifica in evoluzione dagli anni '90 il cui obiettivo è quello di condurre analisi ambientali. Il metodo consiste nel produrre un modello dell'impatto ambientale di tutto quanto gira intorno a un prodotto o a un servizio nel corso della sua vita (materiali, energia, emissioni, risorse, ecc.) e mira a fornire un quadro completo delle prestazioni ambientali del prodotto o servizio. La struttura, la validità e la coerenza del quadro sono supportate da due norme ISO (14040 e 14044). Per garantire una visione completa del ciclo di vita, Fronius e il partner LCA to4to³ (sigla che significa "*Together for tomorrow*"), nella persona di Harald Pilz, ha adottato per l'analisi LCA un approccio "dalla culla alla tomba", tenendo conto di tutte le fasi, dall'approvvigionamento alla produzione, all'utilizzo e alla fine del ciclo di vita (in inglese "*End-of-Life*" - EoL), compreso il trasporto (cfr. Figura 1). Per ottimizzare e verificare la qualità dell'analisi LCA di Fronius, è stata condotta su di essa una revisione in collaborazione con Fraunhofer IZM⁴, una delle istituzioni per la sostenibilità dei prodotti elettronici maggiormente conosciute a livello globale. Di conseguenza, la presente analisi LCA fornisce una valutazione olistica, dettagliata e verificata dell'impronta ambientale del prodotto.

1.2.2 Perché è utile?

I risultati LCA ottenuti ci consentono di acquisire una profonda comprensione e conoscenza delle prestazioni ambientali del prodotto e dei suoi potenziali limiti.

³ To4to - <https://www.to4to.at/>

⁴ Website: <https://www.izm.fraunhofer.de/> (ultimo accesso 04/19/2021)

La necessità di dati ambientali sui prodotti è in continuo aumento:

- Poiché Fronius punta a migliorare ulteriormente le prestazioni di sostenibilità dei suoi prodotti esistenti e futuri, è necessario dimostrare, monitorare e comprendere questa evoluzione da un punto di vista scientifico. L'analisi LCA rappresenta uno dei pochi metodi standardizzati e coerenti per produrre un modello dell'impatto ambientale e offre quindi una soluzione credibile. Mediante questa analisi basata su prove scientifiche, Fronius può svolgere un ruolo attivo nell'implementazione e compimento dell'obiettivo "24 ore di sole", al fine di sviluppare soluzioni ancora più sostenibili ed efficienti a vantaggio non solo del cliente, ma anche dell'ambiente.

Per questo motivo, Fronius ha lanciato il programma "*Sustainability by Design*" (sostenibilità a partire dal design) allo scopo di accelerare queste azioni. La presente analisi LCA rappresenta il primo passo di questo programma.

L'aumento della consapevolezza e della domanda di soluzioni sostenibili basate su prove scientifiche può essere osservato anche in relazione a diversi requisiti del mercato fotovoltaico:

- La Commissione europea ha sviluppato e cerca di promuovere linee guida ambientali per i prodotti basate su analisi del ciclo di vita (note come PEFCR: "*Product Environmental Footprint Category Rule*"⁵). Inoltre, sempre la Commissione è impegnata a demistificare tutte le affermazioni sulla sostenibilità che non siano supportate da prove verificate e a preparare i consumatori alla transizione verso un futuro più verde⁶.
- In recenti gare d'appalto per impianti fotovoltaici è stata data priorità ai prodotti a bassa impronta di carbonio. Ad esempio, nel 2021 CRE in Francia ha lanciato una nuova gara d'appalto per un impianto fotovoltaico da 700 MW che impone l'uso di moduli a basso impatto ambientale⁷.
- Sempre più spesso vengono utilizzati database di sostenibilità che promuovono prodotti con prestazioni rispettose dell'ambiente. Esempi in tal senso sono Upcyclea⁸ in Francia o Byggvarubedomningen⁹ in Svezia.
- Le autorità dei singoli paesi sono altresì impegnate a richiedere prove concrete a supporto delle dichiarazioni di sostenibilità, come ad esempio CMA (*Competition*

⁵ Fonte: https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/PEFCR_OEFSR_en.htm#final (ultimo accesso 04/12/2021)

⁶ Fonte: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_269 (ultimo accesso 03/08/2022)

⁷ Fonte: <https://www.pv-magazine.com/2021/02/19/france-launches-700-mw-tender-for-large-scale-pv/> (ultimo accesso 04/19/2021)

⁸ Fonte: <https://www.upcyclea.com/> (ultimo accesso 04/09/2021)

⁹ Fonte: <https://byggvarubedomningen.se/> (ultimo accesso 04/09/2021)

& Markets Authority) nel Regno Unito che impone alle aziende di considerare l'intero ciclo di vita del prodotto, o in Francia l'*Indice de réparabilité* o in Germania la *Lieferkettengesetz* (la legge sulla catena delle forniture)¹⁰.

In questo senso, disporre di un'analisi LCA con un solido fondamento scientifico (a differenza delle "stime approssimative") e verificata da terzi faciliterà il raggiungimento dell'obiettivo "24 ore di sole" supportando Fronius al momento di adottare decisioni consapevoli nel processo di sviluppo.

1.2.3 L'analisi LCA nel contesto europeo

Lungi dal perseguire singole iniziative in modo isolato, Fronius è partecipe di un contesto globale che dimostra una crescente consapevolezza e attenzione all'impronta ambientale dei sistemi energetici. Diversi documenti a livello europeo integrano già oggi linee guida per le valutazioni ambientali, basate tra l'altro sull'approccio dell'analisi LCA. Altre iniziative europee sostengono la necessità di costruire un futuro sostenibile e attuare una transizione energetica efficiente:

- Il *Green Deal* europeo¹¹, adottato nel 2019, stabilisce per l'Europa l'ambizioso obiettivo di diventare climaticamente neutra entro il 2050.
- *Ecodesign* ed *Energy Labelling*¹² due programmi che la Commissione Europea intende attuare entro il 2023-2024, con i corrispondenti marchi che identificheranno i prodotti dalle migliori prestazioni ambientali, mentre quelli non conformi ai requisiti minimi non potranno più essere venduti sul mercato interno UE.
- La legislazione esistente che promuove l'implementazione di sistemi energetici efficienti e sostenibili, come la Direttiva (UE) 2018/2001 sull'uso dell'energia da fonti rinnovabili (rifusione)¹³ o la Tassonomia UE per il Regolamento UE 2020/852 ("Istituzione di un quadro che favorisce gli investimenti sostenibili")¹⁴.

¹⁰ Fonte: CMA: <https://www.gov.uk/government/publications/green-claims-code-making-environmental-claims/environmental-claims-on-goods-and-services> (ultimo accesso 03/08/2022), Francia: <https://www.ecologie.gouv.fr/indice-reparabilite> (ultimo accesso 03/08/2022), Germania: <https://www.bmz.de/de/entwicklungspolitik/lieferkettengesetz> (ultimo accesso 03/08/2022)

¹¹ Fonte: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1576150542719&uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN> (ultimo accesso 04/09/2021)

¹² Per ulteriori informazioni sul processo in corso: <https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau//product-groups/462/documents> (ultimo accesso 04/09/2021)

¹³ Fonte: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2018.328.01.0082.01.ENG&toc=OJ:L:2018:328:TOC (ultimo accesso 04/09/2021)

¹⁴ Fonte: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32020R0852> (ultimo accesso 04/09/2021)

2 LCA: alla ricerca dei dati ambientali

Un elemento chiave è rappresentato dall'acquisizione dei dati rilevanti sul prodotto oggetto dell'analisi LCA. Questo capitolo descrive le diverse fasi del ciclo di vita integrate nel modello e le diverse osservazioni di cui si è tenuto conto.

2.1 Analisi LCA per Tauro ECO 100

A supporto dell'obiettivo "24 ore di sole", Fronius ha esaminato l'inverter Tauro al fine di comprovare le prestazioni e i benefici ambientali associati al prodotto.

A questo proposito, e sulla base delle norme ISO per le analisi LCA (ISO 14040/44), sono state inserite nel modello e analizzate in maniera approfondita le quattro principali fasi del ciclo di vita di un prodotto, cfr. Figura 1:

- Approvvigionamento delle materie prime
- Fase della produzione presso gli stabilimenti Fronius
- Fase dell'utilizzo
- Fase della fine del ciclo di vita (End-of-Life - EoL)

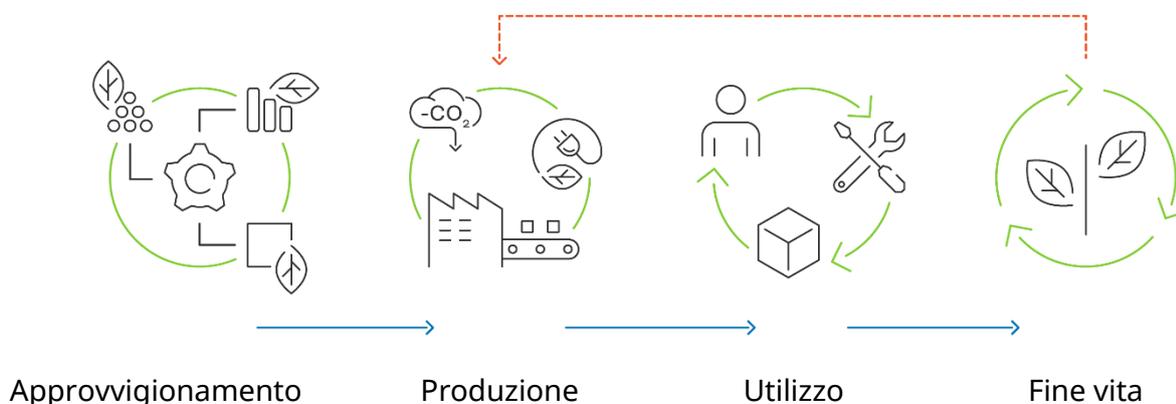


Figura 1: Tauro ECO 100 e le diverse fasi del suo ciclo di vita

I vari indicatori di impatto ambientale sono stati calcolati sulla base delle linee guida PEF/ILCD-2019/EF 3.0 (EPLCA, 2019¹⁵), come ad esempio:

- Il Potenziale di riscaldamento globale (*Global Warming Potential - GWP*), per il modello dell'effetto di riscaldamento provocato dai gas serra emessi dal prodotto nel suo intero ciclo di vita (in kg CO₂ equivalenti). "CO₂ equivalente" è l'unità di misura utilizzata per valutare l'impatto di un prodotto sul GWP. Equivalente significa che diversi gas serra vengono combinati e "tradotti" in effetti equivalenti a quelli della CO₂ sul GWP. Ad esempio, l'emissione di 1 kg di metano (CH₄) equivale a 27,9 kg di CO₂ (in base alla metodologia IPCC)¹⁶.
- La Domanda cumulativa di energia (*Cumulative Energy Demand - CED*), per misurare l'energia diretta e indiretta richiesta durante l'intero ciclo di vita del prodotto (in MJ equivalenti).

L'impatto ambientale di un prodotto non si limita alle sole emissioni di CO₂ o alla domanda di energia, ma comprende anche altri indicatori. Al fine di offrire una visione olistica e completa, l'analisi LCA condotta da Fronius tiene conto anche di indicatori come "l'esaurimento delle risorse metalliche", "la tossicità per l'organismo umano" e "le emissioni di particolato". Tuttavia, per motivi di chiarezza, nei capitoli seguenti, questa relazione si concentrerà sui due indicatori di impatto più noti e importanti: il Potenziale di riscaldamento globale (GWP) e la Domanda cumulativa di energia (CED).

Il database utilizzato nell'analisi LCA dei processi non prioritari (dati secondari) è ecoinvent (versione 3.8 2021¹⁷), uno dei database di inventario del ciclo di vita (*Life Cycle Inventory - LCI*) più completi e comunemente utilizzati a livello globale.

2.2 Approvvigionamento



In primo luogo, la fase di approvvigionamento considera tutti i processi rilevanti, dai processi di estrazione e raffinazione delle materie prime fino alla produzione dei componenti. In questa fase, vi è stato un intenso dialogo e uno sforzo di ricerca in collaborazione con i fornitori, al fine di ottenere il maggior numero possibile di dati primari. La composizione dei materiali dei diversi componenti forniti a Fronius da terzi è stata analizzata e modellata sulla base di dati primari o, qualora necessario, dei dati presenti nel database ecoinvent. I componenti sono stati anche sottoposti ad analisi intensive sulla composizione, al fine di ottenere i risultati più dettagliati possibili. Le

¹⁵ Fonte: <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN/developerEF.xhtml> (ultimo accesso 03/01/2022)

¹⁶ Fonte: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf (tabella 7.SM.7, p.1842, ultimo accesso 03/15/2022)

¹⁷ Fonte: <https://www.ecoinvent.org/> (ultimo accesso 02/16/2022)

analisi hanno interessato in particolare i semiconduttori e l'uso di oro nelle parti elettroniche, e a tale scopo si è provveduto a disassemblare cavi, sezionatori DC, fusibili, ventilatori e altre parti. (cfr. Figura 1 in basso).



Foto 1: Disassemblaggio di un sezionatore CC di Tauro ECO, per l'ulteriore modellazione LCA

2.3 Produzione

La fase di produzione consiste nella fabbricazione di Tauro ECO 100 presso gli stabilimenti Fronius. La produzione di Tauro ECO 100 è stata modellata sulla base di dati primari come, ad esempio, il consumo energetico della linea di produzione, il fabbisogno di pasta di saldatura, la potenziale produzione e gestione dei rifiuti e l'uso degli imballaggi. Alcuni gruppi di dati sono stati estratti dal databaseecoinvent ogniqualvolta fosse necessario per completare la modellazione. Nel complesso, modelli di analisi LCA sono stati sviluppati per i seguenti dispositivi:

- Tauro ECO 100 – D variante (“Direct”) per la configurazione decentralizzata dell'impianto fotovoltaico
- Tauro ECO 100 – P variante (“Precombined”) per la configurazione centralizzata dell'impianto fotovoltaico

2.4 Fase di utilizzo

In secondo luogo, la fase di utilizzo tiene conto del tempo in cui Tauro ECO è attivo in un impianto fotovoltaico e del tempo prevedibile per le riparazioni. Vengono presi in considerazione diversi fattori come:

- La durata dell'inverter, stabilita in un periodo standard di 20 anni.
- I paesi in cui viene utilizzato il sistema. Questo parametro influenza la capacità di produzione di energia dell'impianto fotovoltaico e l'incidenza del trasporto del prodotto.

- Nell'analisi LCA di Tauro ECO sono previste sette opzioni-paese: Australia, Austria, Brasile, Germania, Polonia, Spagna e Italia.
- Le dispersioni dell'inverter: questo valore viene stabilito per ciascun scenario dal software di modellazione PVSol (2022)¹⁸. Rispetto ad alcuni modelli di riferimento standardizzati dell'UE, PVSol non solo fornisce risultati più realistici a seconda del paese e dei parametri, ma consente anche di introdurre margini di sicurezza adeguati all'impianto fotovoltaico (cfr. paragrafo 3.1).
- Il consumo notturno (o in modalità stand-by), necessario per la raccolta dei dati o l'accesso all'interfaccia utente (15 W)
- Il modello comprende anche le riparazioni, in base ai seguenti scenari:
 - Sostituzione dell'unità di potenza
 - Sostituzione della ventola esterna della centralina
 - Sostituzione dell'unità di comunicazione dati
 - Sostituzione della scheda di controllo

Tutte le sostituzioni possono essere eseguite in loco da un montatore e il componente guasto viene smaltito come rifiuto o spedito a Fronius per le riparazioni del caso.

2.5 Fine vita



In terzo e ultimo luogo, la fase di fine vita (EoL) prevede per il prodotto la possibilità di essere smaltito come rifiuto oppure riciclato. A questo fine, per i possibili modelli di fine vita sono stati considerati cinque scenari principali:

- Discarica
- Incenerimento
- Riciclo dei metalli con successivo incenerimento dei residui
- Riciclo senza disassemblaggio (dei componenti principali di Tauro ECO-100¹⁹)
- Riciclo con disassemblaggio (dei componenti principali di Tauro ECO-100)

L'impatto o il beneficio ambientale varia in base allo scenario. Ad esempio, l'opzione dello smaltimento in discarica genera un maggiore impatto ambientale rispetto al riciclo con disassemblaggio (cfr. paragrafo 3.1).

¹⁸ Fonte: <https://valentin-software.com/produkte/pvsol-premium/> (ultimo accesso 02/16/2022)

¹⁹ I pezzi principali sono: 5 componenti in alluminio (dissipatore di calore + 4 lamiere), 3 lamiere zincate, 3 cablaggi, 5 unità di potenza + unità di comunicazione dati + scheda di controllo.

3 LCA: The Environmental Performance of the Tauro ECO 100

Una volta acquisiti tutti i dati rilevanti, nei successivi capitoli descriviamo in maniera più dettagliata le prestazioni ambientali e i risultati dell'analisi LCA di Tauro ECO 100. In particolare, sarà dedicato ampio spazio all'impronta di carbonio e ai vantaggi apportati da Tauro ECO 100.

3.1 L'impronta di carbonio di Tauro ECO 100

Naturalmente, al contrario di una pianta, l'inverter non può rimuovere dall'atmosfera la CO₂ o altri inquinanti nocivi. Tuttavia, una volta collegato in un impianto fotovoltaico, l'inverter consente di produrre molte meno emissioni di CO₂ rispetto all'alternativa presa in considerazione, ovvero la alimentazione di energia elettrica dalla rete. Attraverso questo confronto (impianto fotovoltaico rispetto alla rete pubblica), possiamo valutare la riduzione delle emissioni di CO₂ determinata dall'impiego dell'energia solare.

Nella presente relazione si fa ricorso a uno scenario specifico con l'obiettivo di fornire un'idea concreta di ciò che si può evincere da un modello di analisi LCA²⁰.

Tabella 1: Opzioni di scenario (le opzioni in neretto formano lo scenario considerato nella presente relazione)

1. Fronius Inverter	2. Luogo di impiego	3. Strategia a fine vita	4. Parametri aggiuntivi
<ul style="list-style-type: none"> - Tauro 100-P - Tauro 100-D 	<ul style="list-style-type: none"> - Austria - Germania - Polonia - Brasile - Australia - Spagna - Italia 	<ul style="list-style-type: none"> - Discarica - Incenerimento - Riciclo dei metalli con successivo incenerimento dei residui - Riciclo senza disassemblaggio - Riciclo con disassemblaggio 	<ul style="list-style-type: none"> - Durata d'esercizio prevista: 20 anni - Riparazioni (probabilità media) - Mix di elettricità per i consumi notturni

Inoltre, gli impianti fotovoltaici su scala commerciale sono solitamente progettati "sovradimensionati", ovvero con un margine di sicurezza in termini di capacità dei

²⁰ Lo staff di Fraunhofer IZM non ha potuto esaminare ogni singola variante e valori specifici di scenario a causa della grande complessità e mole di risultati (almeno diverse migliaia di variazioni dettagliate possibili). Ciò nonostante, la struttura generale e la modellizzazione dell'analisi LCA è stata verificata e tutti gli scenari seguono la stessa metodologia, garantendo così la migliore coerenza possibile.

moduli fotovoltaici e range di potenza dell'inverter. In questo scenario, sulla base dell'esperienza di Fronius, è stato fissato un margine di sicurezza standard del 130%, ovvero un Tauro ECO da 100 kW collegato a un impianto fotovoltaico da 130 kWp.

La prospettiva "PV-System"

Per prima cosa, in un'analisi LCA è importante tenere conto dei limiti dei risultati. Ad esempio, l'inverter è solo uno dei tanti componenti di un impianto fotovoltaico. Di seguito viene quindi fornita una panoramica dell'intero impianto per avere un'idea dei contributi dei diversi componenti (moduli, inverter, ecc.). Le informazioni sull'impronta di carbonio dei moduli fotovoltaici sono state acquisite dal database LCA ecoinvent, oltre che tramite le ricerche bibliografiche di Fronius. La Figura 2 fornisce una panoramica a livello di impianto, tenendo presente che le singole quote possono variare leggermente (di qualche punto percentuale) in base ai dati o agli scenari. L'equilibrio dei sistemi ("BoS" in Figura 2) tiene conto dei componenti aggiuntivi necessari per l'impianto fotovoltaico (telaio di supporto, cablaggi, cavi, ecc.).

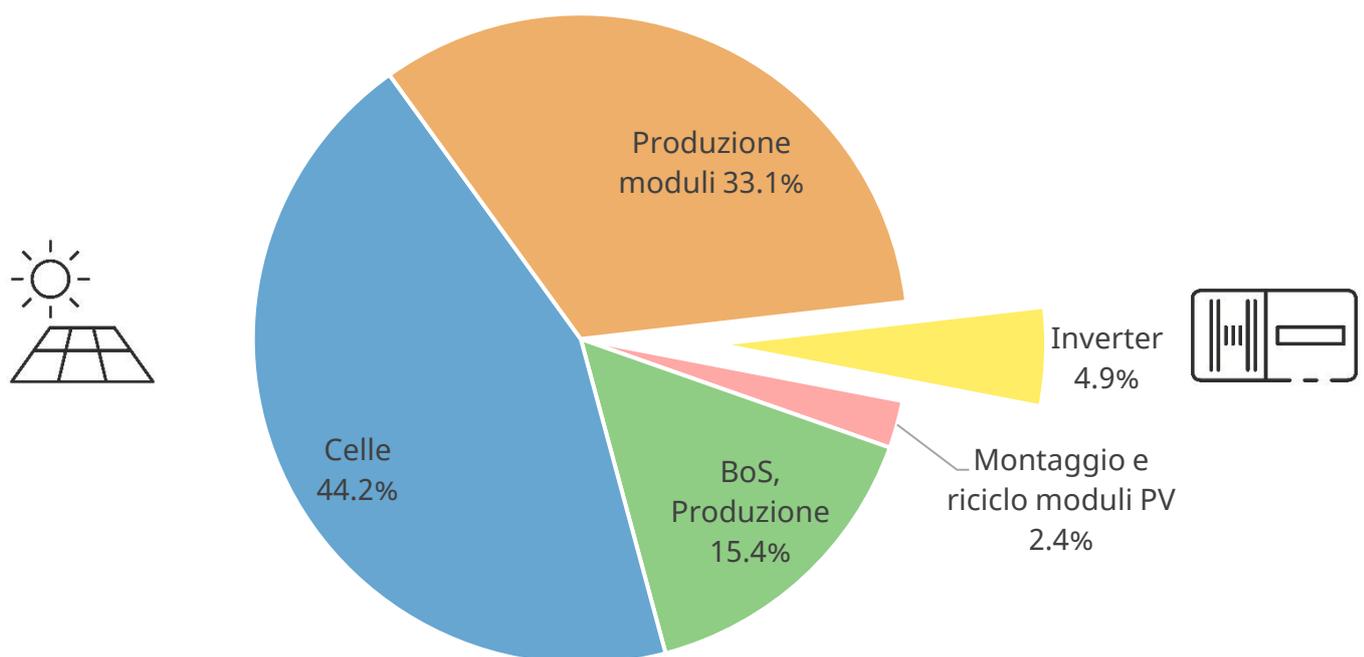


Figura 2: Contributo dell'inverter fotovoltaico (scenario australiano) e dei moduli fotovoltaici all'impronta di carbonio ("PV system perspective")

Nel nostro scenario, l'inverter rappresenta il 4,9% dell'impatto ambientale totale dell'impianto fotovoltaico (a seconda dello scenario può variare tra il 3,5 e il 5,3%). Pertanto, il 4,9% del beneficio ambientale dell'impianto fotovoltaico totale è da attribuire all'inverter.

L'impronta di carbonio di Tauro ECO 100-D nelle diverse fasi del ciclo di vita

Nei grafici seguenti l'attenzione viene posta sull'inverter, oggetto di analisi più dettagliate che hanno consentito di raccogliere dati affidabili di prima mano. Il primo grafico mostra l'impronta di carbonio del solo inverter (collegato all'impianto fotovoltaico) in valori assoluti kg CO₂-eq.

Impronta di carbonio (kg CO₂e)

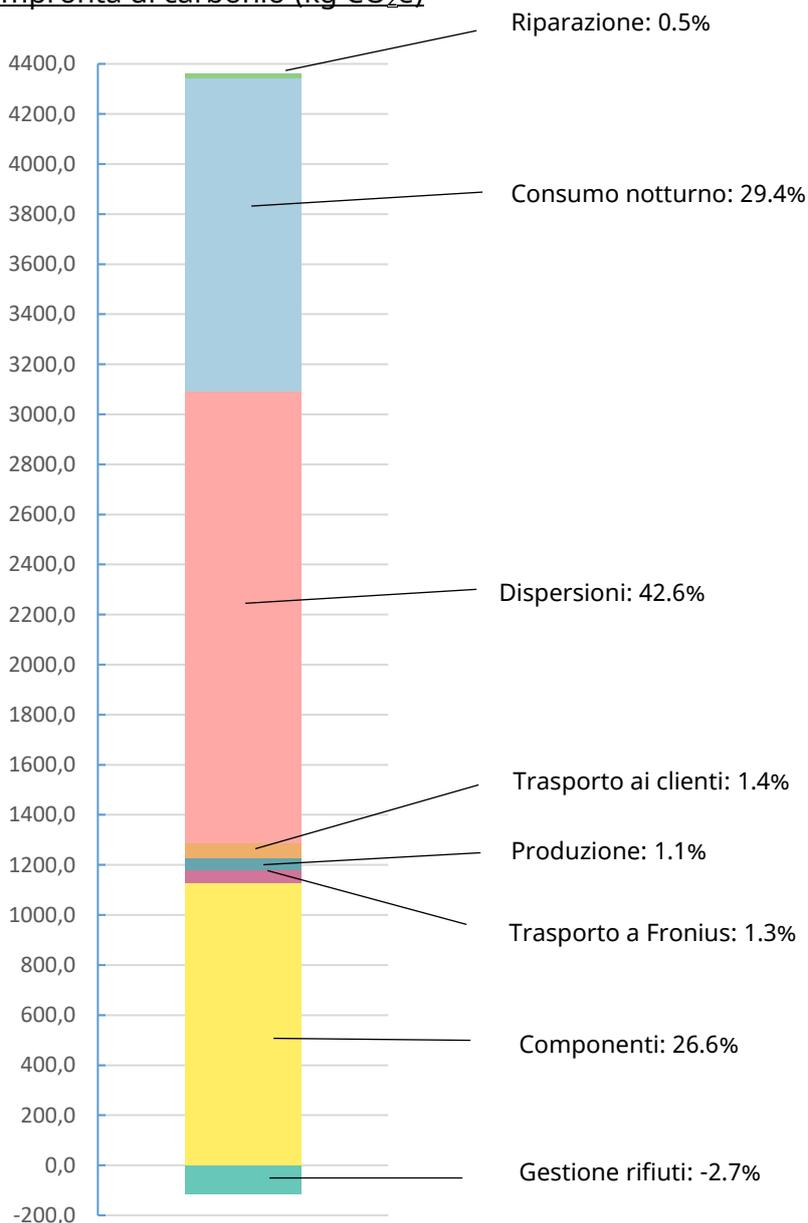


Figura 3: Impronta di carbonio di Tauro ECO 100-D in valori assoluti e in termini di contributo relativo in riferimento alle fasi del ciclo di vita.

Come si osserva in Figura 3, l'impronta di carbonio totale di Tauro ECO 100-D è di 4247,8 kg CO₂-eq (4362,7 kg CO₂-eq che dà luogo a un "credito" ambientale di -114,9 kg CO₂-eq dalla gestione dei rifiuti). Inoltre, da questo grafico si possono trarre diverse importanti conclusioni o interpretazioni:

- Fabbricazione dei componenti: i necessari processi di produzione dei componenti (parti metalliche, componenti elettronici, parti in plastica, ecc.) contribuiscono in modo significativo all'impronta di carbonio dell'inverter. Ciò sottolinea l'importanza dell'impatto della catena degli approvvigionamenti e la conseguente necessità di produrre uno sforzo congiunto unitamente a tutti gli stakeholder lungo la catena stessa con l'obiettivo futuro di continuare a migliorare le prestazioni ambientali degli inverter. In quest'ottica, Fronius ha già adottato misure adeguate, ad esempio oltre il 70% del dissipatore di calore è in alluminio riciclato.
- Fase di produzione: l'assemblaggio dell'inverter nello stabilimento di Fronius rappresenta una piccola percentuale dell'impronta di carbonio totale (1,1% in questo scenario). Ciò dimostra che il processo di assemblaggio di per sé è già ottimizzato. Inoltre, l'energia utilizzata nello stabilimento proviene da fonti energetiche rinnovabili (forniture di energia elettrica verde + impianto fotovoltaico locale). Grazie all'installazione di impianti fotovoltaici nei propri siti produttivi, Fronius produce ogni anno quasi 2.000 MWh di energia solare.
- Trasporto dei componenti a Fronius e trasporto degli inverter da Fronius ai clienti: anche queste fasi formano una quota limitata dell'impronta di carbonio dell'inverter. La ragione principale è che Fronius evita il più possibile il trasporto aereo e favorisce invece il trasporto ferroviario, marittimo e stradale delle merci. Ciò comporta un'impronta di carbonio relativamente ridotta (meno del 3% combinata).
- Dispersioni: ogni prodotto ha la propria impronta di carbonio, che può essere descritta come la CO₂ dispersa da tutti i processi di produzione di base, trasporti e così via (il cosiddetto "zaino ecologico"). Di conseguenza, anche l'elettricità generata da un impianto fotovoltaico è associata a una dispersione di CO₂ (circa 15-80 g CO₂-eq /kWh) che tuttavia è di gran lunga inferiore a quella dell'elettricità della rete (circa 100-1.200 g CO₂-eq/kWh, a seconda del paese). Il modello del Tauro ECO-100 prevede un valore di dispersione, definito dal software PVSol, che tiene conto dei livelli di radiazione solare e del sovradimensionamento dell'impianto fotovoltaico. Nello scenario australiano, la dispersione dell'inverter è fissata al 2,19%, il che significa che una certa quantità di energia elettrica generata dai moduli fotovoltaici, con il relativo zaino ecologico di CO₂, viene dispersa sotto forma di calore. Il 2,19% è un valore relativamente basso (il range va dal 2,12 al 2,48% in base allo scenario), ma l'inverter fotovoltaico ha una durata

utile prevista di 20 anni, il che significa che occorre tenere conto delle dispersioni che si sommano lungo l'intero periodo. Nonostante l'elevata efficienza di Tauro ECO 100 (97,81% in base al modello PVSol), ciò si traduce in dispersioni (nella fase dell'utilizzo) che contribuiscono in modo preponderante all'impronta di carbonio totale (42,6%).

- Consumo notturno: in questo scenario, si presume che l'impianto fotovoltaico sia alimentato dal mix di rete australiano, con una media annuale per l'inverter fotovoltaico di 12,10 ore/giorno in "modalità notturna". A causa dell'impronta di carbonio relativamente elevata del mix di rete australiano, l'impronta di carbonio imputabile al consumo notturno è significativa (1.249,5 kg di CO₂-eq, superiore all'impronta di carbonio di tutti i componenti e della fase di produzione di Tauro, pari al 29,4% dell'impronta di carbonio totale dell'inverter). Tuttavia, se l'elettricità per il consumo notturno viene ricavata da fonti rinnovabili, l'impronta di carbonio del consumo notturno sarà incredibilmente inferiore (circa 56 kg di CO₂-eq, pari a una quota di circa l'1,8%). Pertanto, l'impronta di carbonio imputabile al consumo notturno di energia elettrica dell'inverter fotovoltaico deve essere limitata il più possibile attraverso, ad esempio, forniture di elettricità ottenuta da fonti rinnovabili.
- Riparazioni: il modello prevede diversi scenari di riparazione (cfr. paragrafo 2.4) tra i quali considereremo quello riferito alla probabilità media di riparazioni. L'impatto ambientale positivo di una riparazione, anche se trascurabile (0,5% in questo scenario) è determinato principalmente dalla produzione e dal trasporto del componente da sostituire. In base al tipo di riparazione necessaria, il range dell'impronta di carbonio aggiuntiva è compreso tra 5,91 e 167,7 kg CO₂-eq. Inoltre, le opzioni di riparazione considerate escludono lo "scenario peggiore", ovvero sia la sostituzione in blocco dell'inverter, che aumenterebbe notevolmente l'impronta di carbonio (produzione e trasporto dell'inverter, ecc.). A confronto, la riparazione comporta vantaggi in termini di impronta di carbonio anche dopo 17 anni di utilizzo, dal momento che l'inverter è costruito per una durata standard prevista di 20 anni. Nel concreto, se l'unità di comunicazione dati viene sostituita dopo 10 anni, l'impronta di carbonio relativa alla riparazione sarà di 26,4 kg di CO₂-eq. L'alternativa (sostituzione in blocco dell'inverter) comporterebbe un'impronta di carbonio aggiuntiva di 1.189,9 kg di CO₂-eq (dovuta alla componentistica, produzione e trasporto dell'inverter e gestione dei rifiuti), ovvero un impatto 45 volte maggiore. Pertanto, si può affermare che la riparazione comporta significativi vantaggi ambientali.
- Gestione dei rifiuti: Fronius applica la direttiva RAEE e punta ad aumentare la riciclabilità dei suoi prodotti. Ciò rende possibile l'ottenimento di un credito verde (il valore negativo nel grafico in Figura 3) in quanto contribuisce alla sostituzione e prevenzione di nuove attività di estrazione di materie prime e al minor

fabbisogno energetico. Oltre a promuovere i benefici ambientali, l'uso responsabile e consapevole delle risorse del pianeta rappresenta per Fronius un impegno fondamentale.

Rapporto massa/impronta di carbonio

I risultati dell'analisi LCA sono anche utili per comprendere il contributo relativo di ciascun componente dell'inverter ECO 100-D, come evidenziato nei grafici sottostanti:

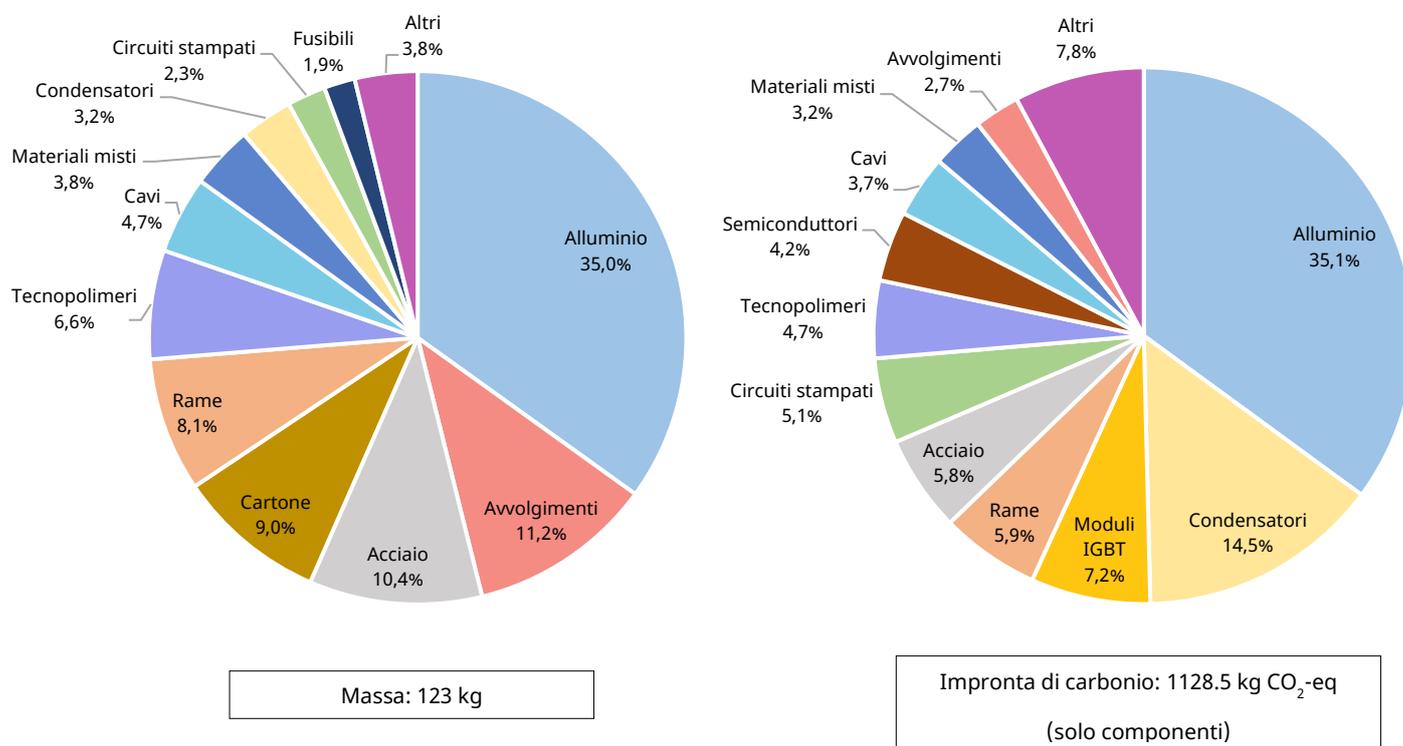


Figura 4: **Contributo dei componenti di Tauro ECO 100-D in termini di massa (a sinistra, in % kg) e di impronta di carbonio (a destra, in % kg CO₂-eq).** La figura indica che alcuni elementi di massa relativamente limitata rappresentano una quota significativa dell'impronta di carbonio.

Come si può osservare in Figura 4, l'alluminio apporta il contributo maggiore in termini di massa e impronta di carbonio di Tauro ECO 100-D. I condensatori sono un caso interessante in quanto rappresentano solo il 3,2% della massa ma sono responsabili del 14,5% dell'impronta di carbonio (i moduli IGBT ancora di più con lo 0,2% della massa e il 7,2% dell'impronta di carbonio). L'analisi LCA evidenzia che gli elementi con una massa ridotta possono avere un impatto ambientale significativo come conseguenza dei

processi ad alta intensità energetica effettuati nelle fasi a monte (produzione, finitura, ecc.). A confronto, gli avvolgimenti hanno una bassa impronta di carbonio (2,7%) in relazione alla loro massa (11,2%).

Gestione a fine vita

Per quanto riguarda la gestione dei rifiuti, i risultati dell'analisi LCA indicano anche che quanto più esteso è il processo di gestione della fine del ciclo di vita, tanto maggiore sarà il vantaggio per l'ambiente, come si osserva nell'istogramma in Figura 5. I valori negativi rappresentano il credito associato alla sostituzione delle materie prime o dell'energia fossile.

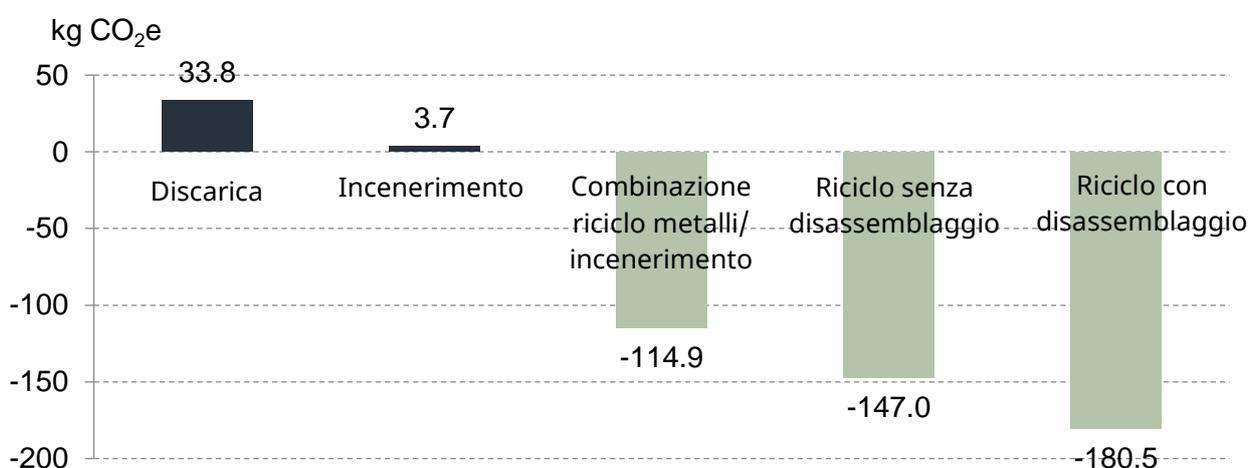


Figura 5: **Costi o vantaggi ambientali della gestione a fine vita di Tauro ECO 100-D.**

L'opzione della discarica comporta emissioni aggiuntive. Il vantaggio ambientale aumenta con il riciclo dei metalli e diventa ottimale con il disassemblaggio.

3.2 Vantaggi di Tauro ECO 100-D

Dopo questa visione d'insieme dell'impronta di carbonio di Tauro ECO 100-D, passiamo a descrivere più in dettaglio i vantaggi del dispositivo.

L'energia elettrica generata da un impianto fotovoltaico equipaggiato con Tauro ECO 100-D in Australia evidenzia un'impronta di carbonio media di **18,1 g CO₂eq/kWh**. A confronto, l'elettricità fornita dal **mix di rete australiano** ha un'impronta di carbonio compresa tra **600 e 950 g CO₂eq/kWh** (circa 35-56 volte superiore a causa, tra le altre cose, dell'impiego di carbone)²¹.

²¹ Media desunta da : <https://www.electricitymap.org/map>, ecoinvent, <http://www.cleanenergyregulator.gov.au/NGER/National%20greenhouse%20and%20energy%20reporting%20data/electricity-sector-emissions-and-generation-data/electricity-sector-emissions-and-generation-data-2020-21>

Facendo una stima approssimativa, le emissioni di CO2 risparmiate dall'impianto fotovoltaico in 20 anni (quindi non solo dall'inverter) equivalgono all'effetto di circa 10.323 alberi messi a dimora²². In rapporto invece alle emissioni di un'auto a benzina con un consumo medio di 5 l/100 km, secondo il databaseecoinvent, un impianto fotovoltaico equipaggiato con Tauro ECO 100-D in Australia comporta nell'arco di 20 anni un risparmio di emissioni di CO2 (calcolato per l'intero impianto fotovoltaico, non solo per l'inverter) equivalenti a una percorrenza di circa **30.791.513 km** in auto. Inoltre, sempre con questo scenario di utilizzo dell'impianto fotovoltaico, il risparmio di emissioni di CO2 equivale a **circa 2018 voli di andata e ritorno Vienna-New York**²³.

In base ai risultati dell'analisi LCA, il **tempo di ammortamento della CO2** (in inglese "*CO2 payback time*", ovvero il tempo necessario affinché le emissioni evitate di CO2 arrivino a compensare le emissioni di CO2 prodotte dal dispositivo) va da **0,4 a 1,9 anni**, a seconda dello scenario. Per lo scenario australiano, il valore è di 0,4 anni. Una volta terminato il tempo di ammortamento, per il resto della sua durata utile **Tauro ECO 100 avrà emissioni di CO2 inferiori rispetto al mix di rete**, generando quindi un impatto positivo per l'ambiente. Se l'inverter Tauro ECO 100 viene utilizzato per 20 anni, la quantità totale di **emissioni di CO2 eq evitate** può arrivare ad essere fino a **52,9 volte superiore** la quantità totale di emissioni di CO2 prodotte lungo l'intero ciclo di vita del dispositivo.

Il **tempo di ammortamento energetico** ("*Energy Payback Time*" o EPBT) invece è compreso tra **0,3 e 0,8 anni** (per il nostro scenario: 0,34 anni). Al termine di questo periodo di tempo, l'impianto fotovoltaico avrà generato una quantità di energia pari a quella assorbita lungo l'intero ciclo di vita (ovverosia la quantità totale di energia necessaria per la sua produzione, trasporto, ecc.). Nel periodo restante, l'impianto fotovoltaico genererà quindi un "surplus di energia" che apporta un **valore aggiunto energetico all'ecosistema**.

Se l'inverter Tauro ECO 100 viene utilizzato per 20 anni, la quantità totale di **energia generata** può essere fino a **62,7 volte superiore** alla quantità totale di energia assorbita lungo l'intero ciclo di vita del dispositivo.

²² Sulla base del documento seguente: Nam et al. 2016: "Allometric Equations for Aboveground and Belowground Biomass Estimations in an Evergreen Forest in Vietnam" (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4910975/>)

²³ Calcoli delle emissioni di volo basati su: https://co2.myclimate.org/en/flight_calculators/new. I dati relativi agli alberi, ai chilometri percorsi in auto e ai viaggi in aereo sono puramente indicativi in quanto non sono basati su valori standardizzati e verificati da terzi (variano a seconda della fonte utilizzata).

4 Conclusioni: un passo avanti

Al termine dell'analisi LCA, di seguito vengono fornite informazioni sull'ulteriore utilizzo dell'analisi stessa e sulle future tappe del percorso di sostenibilità intrapreso da Fronius.

4.1 Utilizzo e qualità dell'analisi LCA

L'analisi LCA di Tauro ECO 100 rappresenta un passo in avanti significativo nel percorso di Fronius verso la sostenibilità, dopo il felice completamento dell'analisi LCA effettuata su GEN24 Plus nel 2020²⁴. Essa ha permesso di acquisire conoscenze specifiche sull'inverter basate su dati di fatto scientifici, che potranno essere utilizzate per sviluppare ulteriori prodotti con un impatto ambientale ancora minore. Inoltre, i risultati dell'analisi evidenziano le impressionanti prestazioni ambientali di Tauro ECO 100 e possono essere fatti valere ovunque vi sia la necessità di soddisfare le esigenze di sostenibilità (specifiche tecniche, capitolati, ecc.).

Poiché le analisi LCA diventeranno sempre più comuni nei prossimi anni, molto probabilmente vi saranno tentativi di confrontare i risultati delle analisi sottoposti da diverse aziende. A questo proposito, sarebbe bene adottare un approccio cauto e critico. I confronti tra analisi LCA possono rivelarsi particolarmente impegnativi, dal momento che può cambiare l'ambito di applicazione del sistema analizzato. Inoltre, la metodologia applicata o le fonti dei dati possono divergere in modo significativo. Non esiste ancora un quadro standardizzato e riconosciuto a livello internazionale per le analisi LCA (soprattutto quando si tratta della metodologia applicata), che, come tale, consenta di ottenere risultati omogenei e direttamente confrontabili. A questo proposito, vi è la necessità di trasparenza e comunicazione riguardo alla modellizzazione della LCA, alla definizione del sistema e alla metodologia applicata. Nonostante le attuali difficoltà sul lato metodologico, Fronius si è sforzata di garantire che i risultati fossero del più alto livello possibile in termini di qualità e validità. L'analisi LCA è stata condotta in collaborazione con Harald Pilz (to4to), un esperto in valutazioni di sostenibilità con una profonda esperienza in materia di LCA. La verifica condotta dall'istituto Fraunhofer IZM nella veste di organismo terzo in base alle norme ISO 14040/44 rappresenta un'ulteriore azione concreta a supporto di questo approccio. La verifica mirava a controllare, confermare e supportare la qualità e la coerenza del lavoro di analisi LCA effettuato da Fronius. Fraunhofer IZM è un'istituzione consolidata e riconosciuta a livello internazionale grazie alle sue conoscenze e competenze nel campo dell'elettronica e dei sistemi fotovoltaici, delle analisi LCA e dei processi di verifica²⁵. Durante la revisione

²⁴ Relazione analisi LCA su GEN24 Plus: https://www.fronius.com/~/downloads/Solar%20Energy/Whitepaper/SE_WP_LCA_GEN24Plus_IT.pdf

²⁵ Esempio di analisi LCA sui telefoni cellulari: https://www.fairphone.com/wp-content/uploads/2020/07/Fairphone_3_LCA.pdf

dell'analisi LCA di Fronius da parte di Fraunhofer IZM sono state svolte ricerche e discussioni approfondite riguardo ai componenti elettronici, ai materiali contenuti e al loro recupero, oltre che alla validità dei dati secondari. Sono state verificate l'analisi LCA e la struttura generale del modello, e il rapporto finale di Fraunhofer IZM è disponibile sul sito web di Fronius:

[Review Report](#)

Inoltre, Fronius partecipa attivamente ai forum organizzati con enti e associazioni europei per promuovere un quadro coerente e uniforme a livello europeo per le analisi LCA. Nel frattempo, è possibile trarre alcune conclusioni o fissare dei termini di confronto purché si eserciti cautela e si valuti caso per caso.

4.2 I prossimi obiettivi: sulla strada della sostenibilità

L'approfondita conoscenza e consapevolezza delle prestazioni ambientali di Tauro ECO 100 conseguita grazie all'analisi LCA ha evidenziato diverse opportunità per incrementare ulteriormente le prestazioni di sostenibilità dei futuri dispositivi Fronius.

Sulla base dei risultati dell'analisi, sarà possibile definire e affrontare i requisiti specifici dei processi di sviluppo del prodotto, confermando l'impegno di Fronius verso la sostenibilità, con una forte enfasi sulla lunga durata, l'efficienza, la riparabilità e le possibilità di riciclo dei dispositivi elettronici prodotti dall'azienda. Inoltre, Fronius prevede di effettuare investimenti con l'obiettivo di ottimizzare ulteriormente l'efficienza energetica e dei materiali lungo la catena degli approvvigionamenti e nelle fasi di produzione e utilizzo mediante il ricorso a prodotti sostenibili e riciclati. In questo modo, le prestazioni andranno a beneficio non solo del cliente, bensì anche dell'ambiente. Fronius punta a migliorare ulteriormente le prestazioni di sostenibilità del proprio portafoglio prodotti.

In conclusione, l'analisi LCA di Tauro ECO 100 ha permesso a Fronius di acquisire una profonda conoscenza delle prestazioni ambientali dei suoi prodotti a diversi livelli (componentistica, processo di produzione, ecc.). Questa analisi può essere utilizzata attivamente per sviluppare prodotti ancora più sostenibili e soddisfare un'ampia varietà di specifiche e requisiti di sostenibilità relativi agli inverter e agli impianti fotovoltaici.

L'analisi LCA rafforzerà la posizione di leadership di Fronius in riferimento alla sostenibilità degli impianti fotovoltaici di sua produzione e potrà supportare l'implementazione di sistemi fotovoltaici rispettosi dell'ambiente sulla base di elementi scientifici concreti. Il livello di dettaglio, la scala dell'ambito, la flessibilità degli scenari e la qualità/trasparenza dell'intero processo di analisi LCA su Tauro ECO 100, che era già iniziato con l'analisi LCA di GEN24 Plus, finora erano stati raramente applicati in altre analisi LCA e rappresentano ad oggi un unicum nel campo degli inverter fotovoltaici.