

INTERREG VI-A ITALIA SLOVENIJA 2021-2027

BeBlue Beyond Bluegrass:

Rafforzare l'agroalimentare sostenibile mediante l'acquaponica

Krepitev trajnostne agroživilske proizvodnje z akvaponiko

D2.2.1. Strumento di valutazione web based delle impronte ambientali.

INTERREG VI-A ITALIA SLOVENIJA 2021-2027

Bando di Capitalizzazione/ Poziv za Kapitalizacijo N. 01/2022R

Project code: ITA-SI0100069 BeBlue

Start date: September 1st, 2023 – Duration 24 months

Partner di progetto/Projektne partnerji:

Il progetto BeBlue è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.

Projekt BeBlue sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.



Università
Ca' Foscari
Venezia



UNIVERZA V LJUBLJANI
University of Ljubljana



Progetto/ Projekt:	Interreg Italia – Slovenia BeBlue – Beyond Bluegrass
No del Progetto / Številka projekta:	ITA-SI0100069
WP	WP2 -Strumenti per la valutazione della sostenibilità ambientale ed economica /
Attività	A2.1 Web-based carbon e water footprint per le aziende acquaponiche
Deliverable	D2.1.1 /Strumento di valutazione web based delle impronte ambientali /
Versione / različica:	1
Data di invio / Datum odpreme:	
Partner responsabile / Odgovorni partner:	UNIVE
Autori/ Avtorji:	Joseph Safi, Roberto Pastres

Tipo di Deliverable / Vrsta končnega izdelka		
R	Documento, Report / Dokument, poročilo	
DEM	Dimostratore, pilota, prototipo - Demo, pilotni projekt, prototip	X
DEC	Websites, videos, etc. / Spletne strani, videoposnetki itd.	
OTHER		

Livello di divulgazione / Stopnja razširjanja		
PU	Pubblico – Javni	X
CO	Confidenziale, solo per i partners di progetto, il segretario tecnico e il Comitato di gestione del programma / zaupno, samo za projektne partnerje, tehničnega sekretarja in odbor za upravljanje programa	

Approvazione del deliverable / Odobritev izročka		
Approvato internamente Interno odobreno		
Approvato dal WP Leader Odobril WP Leader		
Approvato dal coordinatore Odobril koordinator	Roberto Pastres (UNIVE)	

Contatti del coordinator / Kontakti koordinatorja	
Project Coordinator Name	Prof. Roberto Pastres
Project Coordinator Organization	Università Ca' Foscari di Venezia
Address	Via Torino 155, 30172, Mestre (VE) - Italia
E-mail	pastres@unive.it
Project web-site	https://www.ita-slo.eu/it/beblue

BEBLUE IN SINTESI.....	6
LISTA DEGLI ACRONIMI - SEZNAM AKRONIMOV	7
SOMMARIO	8
1. INTRODUZIONE	9
1.1 Scopo del documento e articolazione del deliverable	9
2. LE METODOLOGI LCA e PEF.....	11
2.1 L'impronta ambientale di prodotto o PEF	12
3. GLI IMPIANTI VIRTUALI.....	17
3.1 Impianto per autoconsumo familiare.....	18
3.2 Impianto per produzione plurifamiliare	18
3.3 Impianto commerciale a conduzione familiare	19
4. CALCOLATORE DELLE IMPRONTE CARBONICA E IDRICA	20
4.1 Dati richiesti all'utente.....	20
4.2 Dati forniti dal calcolatore	21
5. CONCLUSIONI	22

Indice Figure e Tabelle

Fig. 1 Fasi dell'analisi del ciclo di vita in accordo con la metodologia ISO (2006).....	12
Fig. 2 Fasi della valutazione dell'impronta ambientale di prodotto, o PEF.	13
Fig. 3 Contributi percentuali ai consumi elettrici dei principali dispositivi, stimati dai dati raccolti in IP-UNIVE	17
Tabella 1: Categorie e Indicatori di impatto da utilizzare per il calcolo della PEF.	14
Tabella 2: Fattori di normalizzazione e pesatura per il calcolo della PEF.	16
Tabella 3:Tipologie di impianti acquaponici selezionabili	17
Tabella 4: Componenti infrastrutturali di un impianto per autoconsumo familiare.....	18
Tabella 5:Componenti infrastrutturali di un impianto per autoconsumo plurifamiliare.	19
Tabella 6: Componenti infrastrutturali di un impianto per autoconsumo plurifamiliare	19
Tabella 7: Dati di ingresso che possono essere inseriti dall'utente.....	21

BeBlue Beyond Bluegrass

Rafforzare l'agroalimentare sostenibile mediante l'acquaponica

D2.2.1 Strumento di valutazione web based delle impronte ambientali

(Versione in italiano)

BEBLUE IN SINTESI

BeBlue - Beyond Bluegrass, contribuisce al raggiungimento dell'obiettivo specifico SO2.6 del programma di cooperazione transfrontaliera Italia-Slovenia: "Promuovere la transizione verso un'economia circolare ed efficiente sotto il profilo delle risorse". Il progetto si propone di facilitare la diffusione dell'acquaponica. Mediante questa tecnologia circolare e sostenibile è possibile la co-produzione di pesce a specie vegetali in sistemi a ricircolo. BeBlue capitalizza i risultati conseguiti dal progetto di cooperazione transfrontaliera BLUEGRASS, (<https://2014-2020.ita-slo.eu/bluegrass>), che introdusse l'acquaponica nell'area di programma,

A tal fine, BeBlue predisporrà strumenti per:

1. ottimizzare la gestione degli impianti acquaponici, mediante la loro digitalizzazione e lo sviluppo di un prototipo di "Digital Twin";
2. dimostrare il potenziale utilizzo di sistemi acquaponici per ottenere prodotti innovativi ad alto valore aggiunto quali: i) macroalghe; ii) salicornia; iii) micro-ortaggi.
3. valutare la sostenibilità ambientale dei prodotti, mettendo a punto un calcolatore in grado di fornire l'impronta ambientale di prodotto (Product Environmental Footprint).
4. Valutare la sostenibilità economica di tali produzioni, mediante un'analisi di mercato, finalizzata a valutare l'accettabilità dell'uso della tecnologia acquaponica da parte di produttori e consumatori, lo sviluppo di uno strumento per valutare il ritorno sugli investimenti dei sistemi acquaponici.
5. Aumentare la conoscenza e visibilità dell'acquaponica tra gli operatori del settore e i potenziali investitori

Il piano di lavoro di BeBlue si articola in 3 pacchetti, o Work Package, i cui obiettivi specifici sono riassunti di seguito. Oltre ad attività di trasferimento tecnologico o networking, essi includono anche attività di comunicazione e divulgazione, mirate a diverse tipologie di potenziali fruitori.

WP1: Oltre Bluegrass: digitalizzazione e diversificazione dei prodotti

Obiettivi: Migliorare gli impianti pilota messi a punto in BLUEGRASS e sviluppare, mettere alla prova e divulgare strumenti digitali per supportare la gestione e l'ottimizzazione di un impianto acquaponico.

WP2: Strumenti per la valutazione della sostenibilità ambientale ed economica.

Obiettivi: Sviluppare strumenti a supporto degli investitori e operatori nella progettazione e gestione di sistemi acquaponici, fornendo linee guida per selezionare prodotti e strumenti web-based per la valutazione della sostenibilità economica e ambientale.

WP3: Networking e valorizzazione

Obiettivi: favorire lo sviluppo e la valorizzazione delle conoscenze generate dal precedente progetto Bluegrass e dalle nuove attività, rinforzando il networking transnazionale con processi partecipativi e diffusione dei risultati.

LISTA DEGLI ACRONIMI

DT	Digital Twin – Gemello Digitale
EF	Environmental Footprint
GH	Serra idroponica – Green House
IP-UNILJU	Impianto pilota acquaponico gestito dall'Università di Ljubljana
IP-UNIVE	Impianto pilota acquaponico gestito dall'Università Ca' Foscari di Venezia
ISO	Organizzazione Internazionale per la standardizzazione - International Organization for Standardization
LCA	Analisi del Ciclo di Vita – Life Cycle Assessment
LCI	Inventario del Ciclo di Vita – Life Cycle Inventory
LCIA	Fase di valutazione degli impatti in LCA – Life Cycle Impact Assessment
OEF	Organisation Environmental Footprint (OEF)
PEF	Impronta ambientale di prodotto – Product Environmental Footprint
PEFCR	Regole di settore per l'impronta ambientale di prodotto – Product Environmental Footprint Category Rules
OEFCR	Regole di settore per l'impronta ambientale delle organizzazioni – Organisation Environmental Footprint Category Rules
RAS	Sistema di acquacoltura a ricircolo - Recirculating Aquaculture System
UE	Unione Europea

SOMMARIO

Il presente documento descrive le principali funzionalità di una piattaforma informatica, che fornisce una valutazione preliminare dell'impronta carbonica e dell'impronta idrica di prodotti acquaponici. Il software elabora inoltre l'impronta ambientale di prodotto o PEF, roduct Environmental Footprint, in base ad alcune ipotesi sulle modalità di confezionamento e spedizione del prodotto al punto di acquisto. La metodologia adottata è basata sull'analisi del ciclo di vita dei co-prodotti di un sistema acquaponico, o LCA. I dati di inventario relativi ai consumi di energia e ai flussi di materia sono stati stimati in base ai risultati ottenuti durante le sperimentazioni condotte negli impianti pilota, descritte in dettaglio nei deliverable D1.1.1, D1.3.1, D1.4.1. Le stime sono state adattate alle diverse tipologie e dimensioni degli impianti utilizzando il prototipo di gemello digitale, o Digital Twin, presentato nel deliverable D1.4.2. In una fase preliminare, LCA è stata applicata all'impianto pilota gestito da LP-UNIVE: in accordo con la letteratura, i risultati hanno evidenziato che circa il 90% dell'impronta carbonica è originata dai consumi energetici: ciò ha consentito di semplificare la metodologia, aggregando i componenti infrastrutturali e i materiali utilizzati. Inoltre, l'analisi delle serie temporali dei consumi energetici dei principali dispositivi, resa possibile dalla messa in opera di un articolato piano di monitoraggio descritto nel Deliverable D4.1.1, ha permesso di identificare i dispositivi che maggiormente sull'impronta carbonica. Su tale base, il calcolatore considera tre tipologie di impianti, classificandoli in base ad intervalli di volumi di produzione attesi: A) impianto per autoconsumo familiare; B) Impianto per gruppi di autoconsumo; C) impianto ad uso commerciale a conduzione familiare.

Per ogni classe, è stata definita una infrastruttura tipica, partendo dal volume produttivo del pesce, ciò consente di valutare il maggior flusso di materia, cioè il mangime per il pesce, e i consumi energetici. La resa annuale in biomassa ittica e vegetale viene calcolata dal prototipo di Digital Twin, assumendo che la temperatura dell'acqua, la temperatura e umidità dell'aria e l'intensità della radiazione solare fotosinteticamente attiva seguano evoluzioni tipiche per l'area di programma.

I risultati preliminari, ottenuti off-line, indicano che il calcolatore fornisce valori in linea con la letteratura e possa quindi venire proposto agli utenti attraverso un'interfaccia facilmente fruibile, che verrà predisposta e resa accessibile gratuitamente in versione trilingue (Italiano - Sloveno e Inglese) da PP6-LegaCoop.

1. INTRODUZIONE

La sostenibilità ambientale dei prodotti alimentari sta divenendo un fattore sempre più rilevante per la loro commercializzazione, soprattutto qualora ci si rivolga principalmente verso segmenti di consumatori particolarmente sensibili a tale tematica. I prodotti di un sistema acquaponico, pesce e verdure, sono salutari ed il loro inserimento nella dieta individuale è altamente raccomandabile, ove non si debbano seguire prescrizioni specifiche legate a patologie. Inoltre, il loro consumo non è limitato da ragioni etnico-religiose. Tuttavia, il tema della loro sostenibilità ambientale è ancora aperto in quanto da un lato la circolarità del sistema consente un indubbio risparmio idrico e da ampie possibilità di chiudere i cicli della materia, recuperando sia dalle acque reflue sia dai fanghi, dall'altro il fabbisogno energetico è significativamente maggiore rispetto alla produzione delle stesse quantità di biomassa in sistemi separati tradizionali. Diviene quindi necessario adottare metodologie consolidate e trasparenti per valutare complessivamente l'impatto ambientale dei prodotti acquaponici. Valutare la sostenibilità è complesso: tuttavia, si vanno diffondendo alcuni indicatori che consentono, in qualche misura, di comparare l'impatto ambientale dei prodotti e, quindi, di modulare scelte alimentari bilanciate in modo da minimizzarne l'impatto ambientale. In particolare, l'impronta carbonica è molto richiesta dai consumatori e già ora viene fornita da alcune aziende produttrici. Meno nota, ma non meno importante in relazione all'adattamento ai cambiamenti climatici è l'impronta idrica. Infine, linee guida emesse dall'Unione Europea definiscono le modalità di calcolo di un indice complessivo di impatto ambientale, denominato Impronta Ambientale di Prodotto, o Product Environmental Footprint – PEF, composto da sedici indicatori di impatto associati ad altrettante categorie di danno. Il calcolo di tali indicatori e indici si basa su una metodologia consolidata e normata denominata Analisi del Ciclo di Vita o Life Cycle Assessment, LCA. L'applicazione di LCA ad uno specifico sistema produttivo è piuttosto complessa, richiedendo un'analisi dettagliata delle componenti infrastrutturali e dei flussi dei consumabili: tuttavia una valutazione speditiva, basata su ragionevoli assunzioni, può comunque fornire indicazioni utili a comparare gli indicatori e indici sopra citati con quelli di prodotti simili ottenuti secondo diverse modalità. Ciò può essere molto utile in fase di progettazione di un prodotto, seguendo i principi del Life Cycle Management: ad esempio, la stima preventiva dell'impronta carbonica, ottenuta analizzando un "impianto virtuale" o il "Digital Twin" di un impianto, può fornire indicazioni utili ad individuare il segmento di consumatori a cui ci si rivolge e, quindi, condizionare ipotesi sul prezzo di vendita. Queste considerazioni possono essere inserite nel business plan relativo al nuovo prodotto.

Per questa ragione, il progetto BeBlue ha previsto lo sviluppo di un calcolatore di impronta ambientale e idrica, a cui sarà affiancato un calcolatore dell'indice PEF: il calcolatore sarà dotata di una interfaccia utente, accessibile gratuitamente in tre lingue (Italiano, Sloveno e Inglese) attraverso una pagina web predisposta da PP6-LegaCoop.

1.1 Scopo del documento e articolazione del deliverable

Questo documento illustra la metodologia adottata per mettere a punto il calcolatore di impronta idrica e carbonica dei prodotti di un sistema acquaponico, delineando le funzionalità dell'interfaccia che ne consentirà la stima. Coerentemente con l'obiettivo di questo rapporto,

il documento si articola nella presente introduzione e in altri tre capitoli. Nel secondo capitolo, vengono presentate le metodologie per l'analisi del ciclo di vita, LCA, su cui si basa il calcolo dell'impronta carbonica e idrica, e la stima dell'impronta ambientale di prodotto, o PEF. Nel capitolo successivo vengono riassunte le caratteristiche delle tre tipologie di impianto per cui è stato programmato il calcolatore. Nel quarto capitolo sono descritte le principali funzionalità del calcolatore e i dati richiesti all'utente. Le principali conclusioni sono esposte nell'ultimo capitolo.

2. LE METODOLOGI LCA e PEF

L'attenzione dei consumatori verso la sostenibilità dei prodotti e servizi di cui fruiscono è in continuo aumento, soprattutto tra alcune fasce particolarmente sensibili verso i temi della protezione dell'ambiente e dell'equità sociale. L'Analisi del Ciclo di Vita, LCA – Life Cycle Assessment nel seguito, si va affermando come uno degli strumenti principali per valutare, in termini quantitativi, la sostenibilità ambientale di prodotti, servizi e organizzazione.

Secondo la normativa ISO 14040 (ISO, 2006), l'LCA comprende quattro fasi, rappresentate in Fig. 1 e brevemente descritte di seguito.

1) Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione (Goal and scope definition)

In questa fase occorre definire in maniera chiara lo scopo e i vari obiettivi dell'analisi che si vuole compiere. Inoltre devono essere definiti anche l'UNITÀ FUNZIONALE E I CONFINI DEL SISTEMA.

- **UNITÀ FUNZIONALE:** è l'unità di riferimento utilizzata per quantificare la prestazione di un sistema produttivo. L'unità funzionale è una misura della funzionalità del sistema studiato e fornisce un riferimento a cui collegare i flussi di materia e di energia entranti e uscenti dal sistema. E' importante sottolineare che i flussi uscenti includono sia i prodotti, nel nostro caso pesce e verdure, sia i rifiuti, ad esempio acque reflue.
- **CONFINI DEL SISTEMA:** occorre determinare quali processi includere nello studio di LCA. La definizione dei confini del sistema si basa in parte su una scelta soggettiva da parte dell'operatore, che deve essere effettuata nel momento in cui vengono stabiliti lo scopo e gli obiettivi dell'analisi.

2) Analisi dell'inventario (Life Cycle Inventory - LCI)

Questa è la fase di raccolta dei dati e può rappresentare il passaggio più critico dello studio. I dati maggiormente affidabili sono quelli direttamente forniti dall'azienda produttrice, ad es. i consumi di energia elettrica annuali di un sistema acquaponico: essi vengono definiti "dati primari". In molti casi, tuttavia, l'inventario deve essere completato avvalendosi di "dati secondari", ricavati da database o dedotti in base a ragionevoli assunzioni. Ad esempio, l'azienda acquaponica non produce il mangime per il pesce e quindi l'impatto ambientale della produzione del mangime dovrà essere calcolato indirettamente in base alla sua composizione. I risultati sono tanto robusti, quanto maggiore è la disponibilità di dati primari. Vi sono numerosi database disponibili, accessibili attraverso i software che consentono di modellare il processo produttivo e calcolare gli indicatori di impatto ambientale, alcuni a pagamento, come Ecoinvent ® v3.8 , altri gratuiti, ad esempio Agribalyse ®, particolarmente indicato per l'applicazione di LCA alla filiera agroalimentare.

3) Valutazione degli impatti (Life Cycle Impact Assessment)

In questa fase vengono definite le Categorie di Impatto (C.I.) maggiormente adeguate a caratterizzare l'impatto ambientale di un prodotto/servizio e le metodologie applicate per il loro calcolo, a partire dai flussi di materia ed energia definiti nell'inventario. Nel corso del

tempo, sono state elaborate diverse metodologie di LCIA: il calcolatore utilizza la metodologia Environmental Footprint – EF, promossa dall'Unione Europea ed utilizzata anche per il calcolo dell' **impronta ambientale di prodotto o PEF** (Product environmental Footprint), descritta nella sezione successiva.

4) Interpretazione e analisi dei risultati

Questa è la fase finale dell'analisi in cui i risultati ottenuti vengono interpretati e discussi, soprattutto per identificare i flussi di materia ed energia che originano gli impatti più rilevanti. In tal modo, è possibile valutare, mediante il modello, gli effetti di ipotesi migliorative del processo produttivo, in grado di ridurre i costi sia ambientali: sovente ciò si traduce anche in una riduzione dei costi operativi. Ad esempio, l'identificazione dei flussi che contribuiscono maggiormente all'impronta carbonica conduce spesso a individuare le fasi più energivore del processo produttivo: misure adeguate di efficientamento energetico riducono quindi sia l'impatto sia i costi.

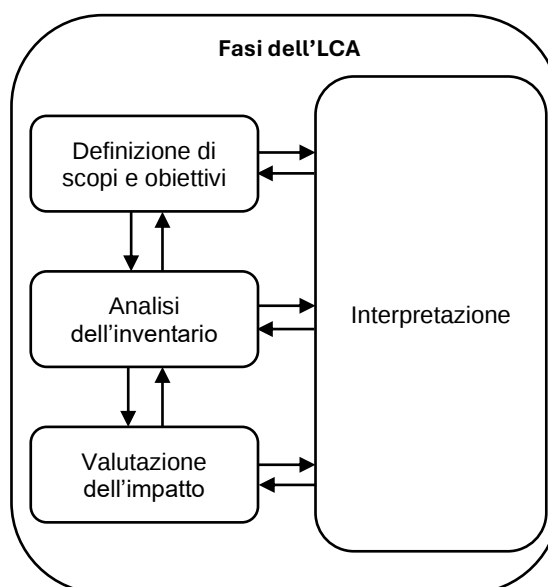


Fig. 1 Fasi dell'analisi del ciclo di vita in accordo con la metodologia ISO (2006)

2.1 L'impronta ambientale di prodotto o PEF

Sebbene la metodologia LCA sia standardizzata, la sua applicazione lascia comunque un certo margine per scelte soggettive riguardanti, ad esempio:

- il sistema oggetto dell'analisi;
- l'allocazione degli impatti tra co-prodotti dello stesso processo produttivo, in questo caso specie ittiche e vegetali;
- la scelta delle categorie ed indicatori di impatto;
- le metodologie per la caratterizzazione dell'impatto.

I risultati di studi LCA relativi a prodotti simili possono quindi essere anche molto diversi tra loro, con evidenti ricadute sulla strategia di comunicazione, di marketing e, infine, sulle scelte del consumatore. Per questo motivo, nel 2013 l'UE ha avviato un ampio sforzo per armonizzare la stima dell'impatto ambientale di prodotti/servizi/organizzazioni (Raccomandazione 2013/179/UE della Commissione), basato su una serie di regole condivise a livello comunitario per l'analisi dell'impronta ambientale, Environmental Footprint-EF, applicabili a prodotti, servizi, aziende ed organizzazioni. Il primo documento di riferimento è l'Allegato II della CR 2013/179/UE che definisce l'impronta ambientale di prodotto, in seguito, **Product Environmental Footprint (PEF)** come "un'analisi multicriteriale delle prestazioni ambientali di un bene o servizio durante tutto il suo ciclo di vita". La PEF ha lo scopo generale di cercare di ridurre gli impatti ambientali di beni e servizi tenendo conto delle attività della catena di approvvigionamento, dall'estrazione delle materie prime, attraverso la produzione e l'uso, fino alla gestione finale dei rifiuti". Pertanto, la PEF e l'impronta ambientale delle organizzazioni, in seguito **Organisation Environmental Footprint (OEF)** mirano ad armonizzare a livello dell'Unione Europea gli studi di Environmental Footprint (EF), basate, per definizione, sull'approccio sistemico alle filiere produttive e, concretamente, sulla metodologia LCA.

Le linee guida per la realizzazione degli studi per la valutazione di PEF e OEF, presentate nell'Allegato II della CR 2013/179/UE, sono state aggiornate dopo una fase pilota, in cui norme specifiche per diverse categorie di prodotti (Regole di categoria sull'impronta ambientale del prodotto, in seguito **Product Environmental Footprint Category Rules- PEFCR**) e norme specifiche di settore (Regole di categoria dell'impronta ambientale delle organizzazioni, in seguito **Organisation Environmental Footprint Category Rules- OEFCR**) sono state sviluppate e messe alla prova in progetti pilota. Il percorso per l'introduzione della PEF e dell'OEF si trova ora nella sua fase di transizione, in cui i PEFCR stabiliti durante la fase pilota vengono ulteriormente testati e nuovi PEFCR sono in fase di elaborazione. Questo sforzo dovrebbe portare all'introduzione, su base volontaria, della PEF e dell'OEF nel 2025. La metodologia PEF si basa sull'LCA e pertanto prevede quattro diverse fasi (parallele a quelle LCA) più un ultimo passaggio di verifica, come illustrato in **Fig.2**.

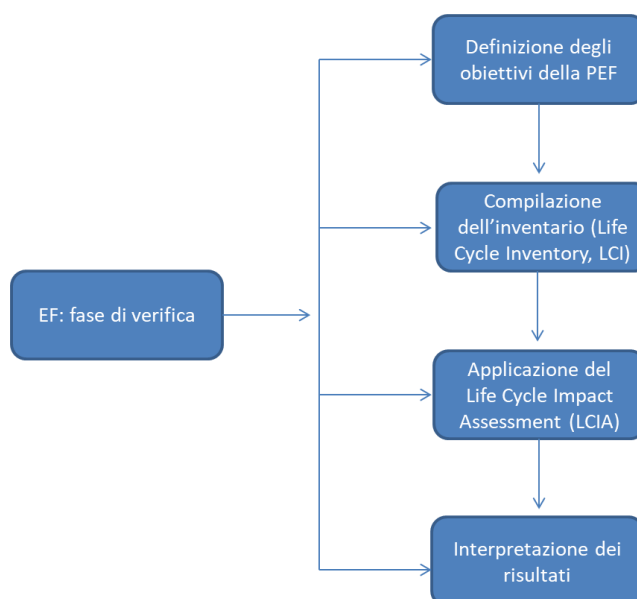


Fig. 2 Fasi della valutazione dell'impronta ambientale di prodotto, o PEF.

Le PEFCR si basano su una serie di linee guida che vengono poi adattate a ciascuna categoria di prodotto (si veda: https://eplca.jrc.ec.europa.eu/permalink/PEFCR_guidance_v6.3-2.pdf; Allegato II della CR 2279/2021 CE). Le linee guida prescrivono come eseguire la LCA, al fine di garantire la trasparenza della qualità e la comparabilità dei risultati. Supponendo che le PEFCR siano state seguite nella compilazione dell'LCI e nella modellizzazione del processo produttivo, il passo successivo è l'LCIA. Ad esempio, la bozza delle PEFCR per il pesce marino non trasformato attualmente disponibile, in conformità con le linee guida generali, prescrive la stima dei 16 indicatori di impatto (Allegato II della CR 2279/2021 CE) elencati nella **Tab. 1** utilizzando la metodologia specificata nella quarta colonna della tabella.

Tabella 1: Categorie e Indicatori di impatto da utilizzare per il calcolo della PEF.

Categoria di impatto	Indicatore di impatto	Unità	Metodo di calcolo
Climate Change Total	Global Warming Potential (GWP100)	Kg CO2 eq	Bern model - Global Warming Potentials (GWP) over a 100 year time horizon (based on IPCC 2013)
Ozone depletion	Ozone Depletion Potential (ODP)	kg CFC-11 eq	EDIP model based on the ODPs of the (WMO) over an infinite time horizon (WMO 2014 + integrations)
Human toxicity, cancer	Comparative Toxic Unit for humans (CTUh)	CTUh	Based on USE tox2.1 model (Fantke et al. 2017), adapted as in Saouter et al., 2018
Human toxicity, non-cancer*	Comparative Toxic Unit for humans (CTUh)	CTUh	Based on USE tox2.1 model (Fantke et al. 2017), adapted as in Saouter et al., 2018
Particulate matter	Impact on human health	Disease incidence	PM model (Fantke et al., 2016 in UNEP 2016)
Ionising radiation, human health	Human exposure efficiency relative to U235	kBq U235 eq	Human health effect model, as developed by Dreicer et al. 1995 (Frischknecht et al, 2000)
Photochemical ozone formation, human health	Tropospheric ozone concentration increase	kg NMVOC eq	LOTOS-EUROS model (Van Zelm et al, 2008) as applied in ReCiPe 2008
Acidification	Accumulated exceedance (AE)	mol H+ eq	Accumulated exceedance (Seppälä et al. 2006, Posch et al, 2008)
Eutrophication, terrestrial	Accumulated exceedance (AE)	mol N eq	Accumulated exceedance (Seppälä et al. 2006, Posch et al, 2008)
Eutrophication, freshwater	Fraction of nutrients reaching freshwater end compartment (P)	kg P eq	EUTREND model (Struijs et al, 2009) as applied in ReCiPe
Eutrophication, marine	Fraction of nutrients reaching marine end compartment (N)	kg N eq	EUTREND model (Struijs et al, 2009) as applied in ReCiPe
Ecotoxicity, freshwater	Comparative toxic unit for ecosystems (CTUe)	CTUe	based on USEtox2.1 model (Fantke et al. 2017), adapted as in Saouter et al., 2018
Land use	Soil quality index ¹⁷	Dimensionless (pt)	Soil quality index based on LANCA model (De Laurentiis et al. 2019) and on the LANCA CF version 2.5 (Horn and Maier, 2018)
Water use	User deprivation potential (deprivation-weighted water consumption)	m ³ water eq of deprived water	Available Water REmaining (AWARE) model (Boulay et al., 2018; UNEP 2016)
Resource use, minerals and metals	Abiotic resource depletion (ADP ultimate reserves)	kg Sb eq	van Oers et al., 2002 as in CML 2002 method, v.4.8
Resource use, fossils	Abiotic resource depletion – fossil fuels (ADP-fossil)	MJ	van Oers et al., 2002 as in CML 2002 method, v.4.8

In estrema sintesi, dal punto di vista matematico, la PEF è quindi un **indicatore composito**, che **combina linearmente un insieme di indicatori di impatto**, stimati utilizzando la metodologia LCA, ognuno relativo ad una diversa categoria di impatto. Una volta calcolati gli indicatori, il calcolo della PEF prevede infatti **tre ulteriori passaggi**:

1) Normalizzazione

Questo passaggio è necessario per costruire un indicatore composito, poiché le unità di misura degli indicatori sono diverse e, pertanto, non possono essere sommate. I fattori di normalizzazione sono stati definiti per ogni indicatore in relazione agli impatti potenziali medi annuali per persona: dividendo gli indicatori di impatto per questi coefficienti, si ottengono gli impatti normalizzati, la cui unità di misura è "persone equivalenti".

2) Ponderazione

Ciascun indicatore viene ponderato, moltiplicandolo per un coefficiente, il peso, che esplicita la rilevanza di ogni categoria di impatto rispetto all'impronta ambientale complessiva. I fattori di normalizzazione e di ponderazione sono riportati in **Tab. 2**.

3) Calcolo semplificato della PEF

Secondo la Guida PEFCR (Versione 6.3) la PEF viene quindi calcolata come segue:

1) vengono selezionate le categorie di impatto normalizzate e ponderate che contribuiscono cumulativamente ad almeno l'80% dell'impatto ambientale totale (escluse le categorie di impatto legate alla tossicità): queste categorie sono chiamate "categorie di impatto rilevanti". Almeno tre categorie di impatto rilevanti devono essere considerate;

2) per ciascuna categoria di impatto rilevante, devono essere individuati i processi più rilevanti, ovvero quei processi che collettivamente contribuiscono per almeno l'80% all'impatto.

Il valore della PEF è quindi calcolato utilizzando la seguente equazione:

$$PEF = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_{i,j} \quad (1)$$

in cui:

n = numero delle categorie di impatto rilevanti.

m = numero dei processi rilevanti.

$P_{i,j}$ = valore normalizzato e ponderato delle "i" categorie di impatto rilevanti e dei "j" processi.

Tabella 2: Fattori di normalizzazione e pesatura per il calcolo della PEF.

Indicatore di impatto (EF)	Unità	Fattore di normalizzazione	Peso%
Climate Change Total	Kg CO ₂ eq	7.76E+03	21.06
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	2.34E-02	6.31
Human toxicity, cancer	CTUh	3.85E-05	2.13
Human toxicity, non-cancer	CTUh	4.75E-04	1.84
Particulate matter	Disease incidence	6.37E-04	8.96
Ionising radiation	kBq U235 eq	4.22E+03	5.01
Ionising radiation, human health	kBq U235 eq	4.22E+03	5.37
Photochemical ozone formation, human health	kg NMVOC eq	4.06E+01	4.78
Acidification	mol H ⁺ eq	5.55E+01	6.2
Eutrophication, terrestrial	mol N eq	1.77E+02	3.71
Eutrophication, freshwater	kg P eq	2.55E+00	2.8
Eutrophication, marine	kg N eq	2.83E+01	2.96
Land use	Dimensionless (pt)	1.33E+06	7.94
Water use	m ³ water eq of deprived water	1.15E+04	8.51
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	5.79E-02	7.55
Resource use, fossils	MJ	6.53E+04	8.32

L'applicazione della PEF a casi pratici ha tuttavia **dimostrato che si possono ottenere risultati rappresentativi utilizzando un algoritmo semplificato di selezione dei contributi e delle categorie di impatto rilevanti, in cui si considerano i primi tre contributi e le prime tre categorie di impatto**. La stima fornita dal calcolatore è basata su questa **metodologia semplificata**, adottata anche nella stima della PEF inserita nella certificazione "Acquacoltura sostenibile", promossa dall'Associazione Piscicoltori Italiani. Nel progetto BeBlue, la PEF sarà valutata, in base alle fasi di definizione degli obiettivi e degli scopi e di inventario condotte per LCA, applicando la metodologia EF nella fase di LCIA. La fase di verifica non sarà messa in opera.

3. GLI IMPIANTI VIRTUALI

Il calcolatore si basa su una standardizzazione della tipologia di impianto, necessaria per calcolare in maniera semplificata l'impatto della costruzione dei componenti infrastrutturali. Questi, infatti, così come le modalità gestionali, dipendono dal volume produttivo. In accordo con gli obiettivi del progetto BeBlue sono stati considerati due combinazioni di prodotti, messi alla prova nei due impianti pilota, IP-UNIVE e IP-UNILJU, descritti nel Deliverable D1_1_1 :

- 1) Acquaponica marina: Orata e salicornia;
- 2) Acquaponica in acqua dolce: Trota iridea e lattuga, varietà Salanova.

Per ogni combinazione, sono stati identificate tre scale produttive, riassunte in **Tab. 3**

Tabella 3: Tipologie di impianti acquaponici selezionabili

Tipologia	Produzione annuale pesce [kg/anno]	Produzione annuale vegetali [kg/anno]
Impianto familiare per autoconsumo	25-100	200-800
Impianto plurifamiliare per autoconsumo	100-500	800-4000
Impianto commerciale a conduzione familiare (2-4 dipendenti, inclusi i familiari)	500-5000	4000-40000

I principali elementi infrastrutturali dei tre impianti tipo sono stati definiti tenendo conto dei risultati di uno studio LCA preliminare condotto utilizzando i dati raccolti negli impianti pilota, IP-UNIVE e IP-UNILJU. Essa ha evidenziato che circa il 90% dell'impronta carbonica è ascrivibile al consumo di energia elettrica. La Fig. 3 evidenzia l'incidenza dei principali dispositivi:

- le pompe per movimentazione dell'acqua, pompa RAS e pompa GH;
- l'illuminazione del comparto per l'allevamento del pesce, luci RAS, e della serra idroponica, luci GH,
- l'aerazione forzata, soffiante
- il controllo della temperatura
- la filtrazione dei solidi sospesi, filtro meccanico.

Per maggiori dettagli, si veda, a tal proposito, il Deliverable D1.2.1

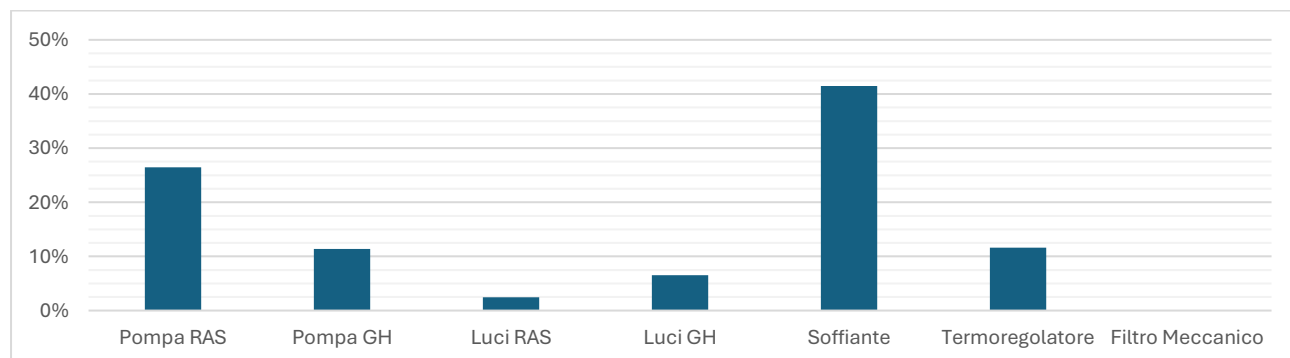


Fig. 3 Contributi percentuali ai consumi elettrici dei principali dispositivi, stimati dai dati raccolti in IP-UNIVE.

3.1 Impianto per autoconsumo familiare

Si ipotizza che questa tipologia di impianti possa produrre da 50 a 200 kg di pesce all'anno, allevato a basse densità in sistemi solo parzialmente al chiuso, quindi utilizzando i naturali processi di scambio tra soluzione acquosa e atmosfera per la ossigenazione e la rimozione dell'anidride carbonica prodotta dalla respirazione del pesce. La capacità produttiva massima assicura ad una famiglia di 4 persone un consumo pro-capite di 25 kg di pesce l'anno, circa uguale a quello italiano. Gli elementi infrastrutturali sono presentati in **Tab. 4**: il numero di unità può variare in funzione dei dati inseriti dall'utente, vedi capitolo 4.

Tabella 4: Componenti infrastrutturali di un impianto per autoconsumo familiare.

Componente	Caratteristiche	Materiale
Vasche circolari per pesce	Diametro: 1.6 [m] Profondità: 1 [m] Volume: 2 [m ³]	Polietilene ad alta densità (HDPE)
Vassoi serra	Lunghezza: 1 [m] Larghezza: 0.5 [m]	Polistirene espanso ad alta densità (EPS)
Copertura impianto	Tensostruttura	Sostegni di ferro zincato e teli di nylon
Pompa movimentazione idrica	Potenza: 32 W	Composito
Disinfezione UV	Potenza: 32 W	Composito
Sedimentatore – vasca conica	Diametro: 1.6 [m] Profondità: 1.5 [m] Volume: 1 [m ³]	Polietilene ad alta densità (HDPE)

3.2 Impianto per produzione plurifamiliare

Questa tipologia di impianto consente di soddisfare il consumo annuo medio italiano di pesce pro-capite di un gruppo di cinque famiglie, il cui nucleo familiare sia composto mediamente da quattro persone, che decidano di condividere le spese di gestione. I componenti infrastrutturali sono elencati in **Tab. 5**: la principale differenza rispetto al caso precedente è la necessità di avvalersi di una pompa per la areazione forzata, in quanto in questo caso i naturali tassi di scambio di ossigeno e anidride carbonica non sono in grado di assicurare condizioni di ossigenazione e concentrazione di anidride carbonica ottimali per il pesce.

Tabella 5: Componenti infrastrutturali di un impianto per autoconsumo plurifamiliare.

Componente	Caratteristiche	Materiale
Vasche circolari per pesce	Diametro: 2 [m] Profondità: 1 [m] Volume: 3.14 [m ³]	Polietilene ad alta densità (HDPE) o Vetro resina
Vassoi serra	Lunghezza: 1 [m] Larghezza: 0.5 [m]	Polistirene espanso ad alta densità (EPS)
Copertura impianto	Tensostruttura	Sostegni di ferro zincato e teli di nylon
Pompa movimentazione idrica	Potenza: 1.1 kW	Composito
Pompa per l'areazione forzata	Potenza: 0.1 kW	Composito
Disinfezione UV	Potenza: 32 W	Composito
Sedimentatore – vasca conica	Diametro: 1.6 [m] Profondità: 1.5 [m] Volume: 1 [m ³]	Polietilene ad alta densità (HDPE)

3.3 Impianto commerciale a conduzione familiare

Questa tipologia di impianto è progettata per fornire un reddito accettabile o un reddito integrativo ad un'azienda a conduzione familiare, in cui uno o più componenti siano impegnati nella produzione acquaponica. I volumi di produzione annuali divengono più importanti e quindi aumentano i costi di investimento e operativi. I principali componenti sono elencati in **Tab. 6**. Viene quindi prevista l'installazione di una pompa per l'areazione forzata più potente e di dispositivi per il condizionamento della temperatura dell'acqua, per mantenere l'operatività dell'impianto per la maggior parte dell'anno. Si prevedono due opzioni per la copertura: la seconda, rigida in policarbonato, assicura un maggior isolamento termico. Inoltre, in questo caso, la vasca di sedimentazione deve essere sostituita da un filtro meccanico, possibilmente a tamburo.

Tabella 6: Componenti infrastrutturali di un impianto per autoconsumo plurifamiliare

Componente	Caratteristiche	Materiale
Vasche circolari per pesce	Diametro: 2 [m] Profondità: 1 [m] Volume: 3.14 [m ³]	Polietilene ad alta densità (HDPE) o Vetro resina
Vassoi serra	Lunghezza: 1 [m] Larghezza: 0.5 [m]	Polistirene espanso ad alta densità (EPS)
Copertura impianto	Tensostruttura / struttura rigida	Sostegni di ferro zincato e teli di nylon/Policarbonato
Pompa movimentazione idrica	Potenza: 1.1 kW	Composito
Pompa per l'areazione forzata	Potenza: 1.2 kW	Composito
Dispositivo di condizionamento della temperatura dell'acqua	Potenza: 250 (raffreddamento) – 350 (riscaldamento) W	Composito
Disinfezione UV	Potenza: 32 W	Composito
Filtro a tamburo	Potenza: 100 W	Composito

4. CALCOLATORE DELLE IMPRONTE CARBONICA E IDRICA

La messa a punto di una interfaccia utente dimostrativa che debba essere di facile utilizzo comporta, necessariamente, la standardizzazione della struttura del sistema e la semplificazione del modello dinamico. Nell'ideazione di questa versione dell'interfaccia e della piattaforma informatica che, dietro le quinte, processa i dati, si è cercato il miglior bilanciamento tra il realismo dei risultati e la facilità d'uso anche per utenti con poca o nulla esperienza nella progettazione e gestione di un sistema acquaponico. Per questa ragione, i risultati presentati sono utili per ottenere, **rapidamente e gratuitamente**, delle indicazioni di massima, che si ritengono tuttavia sufficientemente affidabili per le prime due tipologie di impianti. La terza tipologia è notevolmente più complessa e in questo caso le aziende interessate dovrebbero ricorrere ad una analisi più puntuale, basata anche su selezione dei prodotti, costi, consumi energetici e volumi produttivi stimati a livello di business plan. Coerentemente con lo scopo del progetto, all'utente sono richiesti pochi dati, relativi soprattutto alle condizioni climatiche tipiche e alle fonti energetiche. L'attuale versione del calcolatore considera le due combinazioni di prodotti investigate in BeBlue: i) orata e salicornia; ii) trota iridea e lattuga, varietà Salanova. Il calcolatore utilizza la metodologia di LCIA Environmental Footprint – EF. Gli impatti relativi agli elementi infrastrutturali e ai consumi energetici sono stati calcolati separatamente utilizzando il software gratuito OpenLCA e vengono poi cumulati da un codice che processa i dati di ingresso specificati nel capitolo precedente, sviluppato da LP-UNIVE in ambiente di programmazione "R". Il calcolatore sarà reso accessibile via web in versione trilingue (Italiano-Sloveno e Inglese) attraverso un'interfaccia utente in corso di preparazione da parte di PP6-LegaCoop.

4.1 Dati richiesti all'utente

Le informazioni e i dati richiesti all'utente per la valutazione preliminare delle impronte carbonica e idrica sono elencati in Tab. 7. In base ad essi, viene calcolato il fabbisogno di mangime, che rappresenta il secondo maggior contributo attribuibile ai consumabili, dopo il consumo di energia elettrica. La fonte di energia elettrica è estremamente rilevante, in quanto l'impronta carbonica del kWh varia molto in relazione ad essa. La serie temporale di intensità della radiazione solare fotosinteticamente (PAR) verrà stimata dalle coordinate geografiche e dalla intensità della radiazione solare al suolo, in caso l'utente non sia in grado di fornirla.

Tabella 7: Dati di ingresso che possono essere inseriti dall'utente.

Variabile	Unità di misura
Localizzazione dell'impianto: Lat -Long	Gradi – primi- secondi
Selezione prodotti;	
Produzione annuale pesce	kg
Temperatura minima, media e massima dell'aria	°C
Energia elettrica dalla rete	%
Energia elettrica autoprodotta mediante FotoVoltaico	%
Energia elettrica autoprodotta mediante microeolico	%
Energia elettrica autoprodotta mediante microidroelettrico	%
Serie temporale dei valori giornalieri di PAR o intensità della radiazione solare al suolo.	W/m ²

4.2 Dati forniti dal calcolatore

I dati infrastrutturali e quelli forniti dall'utente vengono utilizzati per assemblare l'inventario dei principali flussi di energia a materia necessari ad ottenere le produzioni desiderate. In base alla produzione annuale di pesce, viene calcolata la superficie coltivabile, utilizzando anche il prototipo di Digital Twin descritto nel Deliverable D1.4.2. Quindi, viene applicata la metodologia Environmental Footprint – EF per calcolare:

- impronta idrica [m³ / kg];
- impronta carbonica [CO₂eq/kg];
- PEF [micropunti/kg]

Questi indicatori vengono **forniti per kg di pesce e di vegetali, allocando l'impatto totale rispetto alle rispettive percentuali di biomassa annuale prodotta.**

Per ciascuna impronta, il calcolatore presenta inoltre un grafico che mostra i contributi percentuali dei principali elementi infrastrutturali e dei consumabili che costituiscono l'inventario. Ciò consente di iniziare un percorso di ottimizzazione del processo produttivo, che dovrà necessariamente includere una LCA completa ad un'analisi dettagliata dei consumi energetici, o energy audit.

5. CONCLUSIONI

Il calcolatore di impronta carbonica e idrica in via di predisposizione nell'ambito del progetto BeBlue rappresenta il primo strumento, accessibile gratuitamente via web, per la stima dell'impronta carbonica e idrica dei prodotti di un impianto acquaponico. Esso fornisce inoltre una valutazione preliminare dell'impronta ambientale di prodotto, o PEF, un indice complessivo che dovrebbe essere introdotto a breve nell'Unione Europea per consentire la comparazione di prodotti simili, ad esempio, lattuga prodotta in un sistema acquaponico o in campo.

Le stime delle impronte si riferiscono a tre tipologie di impianti e sono quindi basate su una serie di assunzioni, sia riguardo gli elementi impiantistici e i materiali di cui sono composti, sia riguardo i flussi di materia ed energia. Questi ultimi vengono calcolati in base ai volumi produttivi utilizzando anche il prototipo di Digital Twin descritto in dettaglio nel Deliverable D1.4.2. Di particolare rilievo, a tal proposito, è la stima del consumo di energia elettrica, in quanto questo condiziona pesantemente sia l'impronta carbonica sia l'impronta ambientale di prodotto, o PEF. Inoltre, il calcolatore considera due abbinamenti di prodotti:

- acquaponica marina: orate e salicornia;
- acquaponica in acqua dolce: trota iridea e lattuga, varietà Salanova.

I risultati devono quindi ritenersi indicativi, soprattutto per un impianto a scala produttiva, per cui sono disponibili diverse soluzioni impiantistiche e gestionali. In questo caso, un'analisi specifica che le consideri, anche in fase di progettazione, è particolarmente indicata per avere risultati più robusti.