



LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)

AI SENSI DELLA NORMA UNI EN ISO 14040:2001 e
UNI EN ISO 14044:2021

SUI METODI DI CATTURA PER MURIDI E CULICIDI
SVILUPPATI DAL PROGETTO LIFE BIOREP EM

ANNO 2023



Redazione	Data di emissione: 19/11/2024 Revisione 01	Approvazione
Ecol Studio S.p.A. RT-AJ1813.AP.AMB Ilaria Minardi Annamaria Pioli		Micaela Solinas Andrea Fusari

Indice

1	Introduzione	8
2	Progetto Life BIOPEM.....	10
3	Metodi di cattura e prevenzione delle infestazioni	11
3.1	Cattura di muridi	12
3.1.1	Modello tradizionale	12
3.1.2	Modello BIOPEM.....	13
3.2	Cattura di culicidi	14
3.2.1	Modello tradizionale	14
3.2.2	Modello BIOPEM.....	15
4	Scopo e campo di applicazione dello studio.....	16
4.1	Obiettivo dello studio	16
4.2	Confini del sistema	16
4.3	Unità funzionale.....	16
4.4	Criteri di esclusione, assunzioni e limitazioni dello studio	17
4.5	Tipologia di dati e requisiti di qualità	17
4.6	Scenario comparativo	20
5	Analisi dell'inventario (LCI).....	24
5.1	Modalità di raccolta dati	24
5.2	Dati in ingresso per modello muridi.....	24
5.2.1	Modello tradizionale	24
5.2.2	Modello BIOPEM.....	25
5.3	Dati in ingresso per modello culicidi.....	28
5.3.1	Modello tradizionale	28
	Modello BIOPEM	29

5.4	Dati di ingresso scenario comparativo	32
6	Valutazione degli impatti	40
6.1	Metodo di impatto selezionato	40
6.2	Risultati.....	42
6.2.1	Muridi	44
6.2.2	Culicidi	49
7	Analisi dell'incertezza.....	59
8	Conclusioni	64
9	Bibliografia	66

Indice delle Tabelle

Tabella 4.1 - Elenco dei dati primari e secondari utilizzati all'interno dello studio LCA.....	17
Tabella 4.2 - Tipologie di catture nei siti monitorati all'interno dello studio LCA	21
Tabella 4.3 - Dati ottenuti dal monitoraggio per la cattura di muridi nei siti selezionati (anno 2023)	22
Tabella 4.4 - Dati ottenuti dal monitoraggio per la cattura di culicidi nei siti selezionati (anno 2023)	22
Tabella 5.5 - Dati in input e output al modello di cattura muridi tradizionale	25
Tabella 5.6 - Dati in input e output al modello di cattura muridi con metodologia BIOREPEM..	27
▪ Tabella 5.7 - Dati in input e output al modello di cattura culicidi con metodologia standard	29
Tabella 5.8 - Dati in input e output al modello di cattura culicidi con metodologia BIOREPEM.	31
Tabella 5.9 – Flusso funzionale per scenario tradizionale e BIOREPEM per la derattizzazione	32
Tabella 5.10 – Flusso funzionale per scenario tradizionale e BIOREPEM per la disinfestazione di culicidi	33
Tabella 5.11 - Durata di vita media e tempistiche di ammortamento dei dispositivi utilizzati	33
Tabella 5.12 - Input ai modelli per cattura dei muridi e relativi processi Ecoinvent 3.10	35
Tabella 5.13 - Input ai modelli per cattura e prevenzione dei culicidi e relativi processi Ecoinvent 3.10.....	37
Tabella 6.14 - Fattori di normalizzazione e ponderazione Product Environmental Footprint 3.1	43
Tabella 6.15 - Risultati ottenuti per le metodologie di cattura dei muridi secondo il metodo EF v. 3.1 e confronto con metodologia di cattura standard.....	44
Tabella 6.16 - Valutazione delle categorie d'impatto significative, secondo metodo EF v. 3.1, per lo scenario T1 di cattura muridi	45
Tabella 6.17 – Confronto risultati normalizzati e ponderati relativamente alle categorie d'impatto significative per muridi	46
Tabella 6.18 - Contribution tree relativo alla categoria d'impatto "Resource use minerals and metals" per lo scenario di cattura di muridi B1.....	47
Tabella 6.19 - Contribution tree relativo alla categoria d'impatto "Resource use minerals and metals" per lo scenario di cattura di muridi B2.....	48

Tabella 6.20 - Risultati ottenuti per le metodologie di cattura dei culicidi secondo il metodo EF v. 3.1 e confronto con metodologia di cattura standard.....	50
Tabella 6.21 - Valutazione delle categorie d'impatto significative, secondo metodo PEF v. 3.1, per lo scenario T1 di cattura culicidi	50
Tabella 6.22 – Confronto risultati normalizzati e ponderati relativamente alle categorie d'impatto significative per culicidi.....	51
Tabella 6.23 - Contribution tree relativo alla categoria d'impatto "Climate change" per lo scenario di cattura di culicidi B1	54
Tabella 6.24 - Contribution tree relativo alla categoria d'impatto "Resource use fossils" per lo scenario di cattura di culicidi B1	55
Tabella 6.25 - Contribution tree relativo alla categoria d'impatto "Particulate matter" per lo scenario di cattura di culicidi B1	56
Tabella 6.26 - Contribution tree relativo alla categoria d'impatto "Photochemical ozone formation (human health)" per lo scenario di cattura di culicidi B1	57
Tabella 7.27 Fattori di incertezza per calcolo deviazione standard (Frischknecht Jungbluth 2004)	59
Tabella 7.28 - Valori assegnati ai criteri di incertezza – Metodo di cattura muridi scenario B2 .	60
Tabella 7.29 - Valori assegnati ai criteri di incertezza – Metodo di cattura culicidi scenario B1	61
Tabella 7.30 - Analisi statistica dell'incertezza per gli scenari M – B2 e C- B1 dopo l'eliminazione dei valori outlier.....	62

Indice delle Figure

Figura 1.1 - Fasi principali di uno studio di <i>Life Cycle Assessment</i> (LCA)	9
Figura 3.2 – Modello di dispersione dell'esca rodenticida in ambiente	13
Figura 3.3 – Modello impiegato per la metodologia BIOREPEM muridi.....	14
Figura 3.4 - Modello impiegato per la metodologia tradizionale culicidi	15
Figura 3.5 - Modello impiegato per la metodologia BIOREPEM culicidi.....	15
Figura 4.6 - Comune di Fiumicino - siti monitorati	21
Figura 4.7 - Esempio di buffer per il calcolo dell'area trattata nei trattamenti adulticidi (scuola di Passoscuro).....	23
Figura 5.8 - Trappola/mangiatoia per la cattura di muridi con metodologia standard.....	24
Figura 5.9 – Trappola EKOMILLE per la cattura di muridi con metodologia BIOREPEM.....	26
Figura 5.10 – Conta ingressi/catture EKONTROL per la cattura di muridi con metodologia BIOREPEM.....	26
Figura 5.11 – Liquido igienizzante e desodorizzante EKOFIX per la cattura di muridi con metodologia BIOREPEM.....	27
Figura 5.12 – Larvicida microbiologico CULINEX TAB contro le larve di zanzare con metodologia BIOREPEM.....	30
Figura 5.13 – Ovitrapola AQUALAB utilizzata per la cattura di uova/larve di culicidi con metodologia BIOREPEM.....	30
Figura 5.14 – Dispositivo MOSQUITO MAGNET EXECUTIVE per la cattura di adulti culicidi con metodologia BIOREPEM.....	31
Figura 6.15 - Categorie d'impatto comprese all'interno del metodo Product Environmental Footprint 3.1.....	42
Figura 6.16 - Risultati normalizzati e ponderati per le categorie d'impatto significative relativamente ai metodi di cattura dei muridi	46
Figura 6.17 - Impatto aggregato per gli scenari di cattura dei muridi	49
Figura 6.18 - Risultati normalizzati e ponderati per le categorie d'impatto significative relativamente ai metodi di cattura dei culicidi	52

Figura 6.19- Risultati normalizzati e ponderati per le categorie d'impatto significative relativamente ai metodi di cattura dei culicidi scenario B1 e T1.....	52
Figura 6.20 - Impatto aggregato per gli scenari di cattura dei culicidi	58
Figura 7.21 – Individuazione degli outlier tramite boxplot per "Resource use minerals and metals" per lo scenario M-B2	62
Figura 7.22 - Individuazione degli outlier tramite boxplot per "Resource use fossils" per lo scenario C-B1	62
Figura 7.23 - Rappresentazione grafica della statistica effettuata sui risultati della simulazione Monte Carlo per “Resource use minerals and metals” per lo scenario M-B2	63
Figura 7.24 - Rappresentazione grafica della statistica effettuata sui risultati della simulazione Monte Carlo per “Resource use fossils” per lo scenario C-B1	63

1 Introduzione

Il presente documento costituisce la relazione conclusiva dello studio di *Life Cycle Assessment* (LCA) finalizzato alla valutazione dei potenziali impatti, nell'ottica del ciclo di vita, delle metodologie di cattura di muridi e culicidi sviluppate nel progetto Life BIOPEM, ed il loro confronto con le modalità standard. L'analisi LCA è una metodologia rigorosa e standardizzata utilizzata per valutare l'impatto ambientale complessivo di un prodotto, processo o servizio in tutte le fasi del suo ciclo di vita. Le norme UNI EN ISO 14040 e UNI EN ISO 14044, definiscono i requisiti e le linee guida per lo svolgimento degli studi LCA, stabilendo un quadro metodologico condiviso e riconosciuto a livello globale.

La norma **UNI EN ISO 14040:2021** delinea i principi generali e il quadro di riferimento per l'LCA, specificando gli obiettivi e i limiti del metodo, mentre la **UNI EN ISO 14044:2021** fornisce linee guida dettagliate per la conduzione dell'analisi, inclusi criteri di raccolta dati, selezione delle categorie di impatto e regole per l'interpretazione dei risultati, in modo tale da assicurare che gli studi LCA siano condotti in maniera coerente, trasparente e comparabile.

- **UNI EN ISO 14040:2021** Gestione ambientale – Valutazione del ciclo di vita – Principi e quadro di riferimento
- **UNI EN ISO 14044:2021** Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Requisiti e linee guida

L'LCA si articola in quattro fasi principali (Figura 1.1):

1. la **prima fase**, definizione degli obiettivi e del campo di applicazione, stabilisce la finalità dell'analisi, i limiti del sistema e il livello di dettaglio. In questa fase si definiscono le categorie d'impatto da valutare. Si stabiliscono inoltre confini di sistema che delimitano il processo, specificando quali fasi del ciclo di vita rientrano nello studio;
2. nella **seconda fase**, l'inventario del ciclo di vita (Life Cycle Inventory, LCI), vengono raccolti e quantificati tutti i flussi di materia ed energia che entrano ed escono dal sistema. Questa fase implica una raccolta dati molto dettagliata per monitorare i consumi di risorse (come energia, materie prime e acqua) e gli output generati (emissioni nell'aria, acqua e suolo, nonché rifiuti solidi) lungo il ciclo di vita;
3. la **terza fase**, la valutazione dell'impatto (Life Cycle Impact Assessment, LCIA), è la fase in cui i dati raccolti nel LCI vengono tradotti in indicatori di impatto ambientale, permettendo di valutarne l'effetto su ciascuna categoria selezionata. Il metodo utilizzato per lo studio in questione è la Product Environmental Footprint (PEF), promossa dall'Unione Europea, che offre un approccio armonizzato per valutare l'impatto di prodotti e servizi e facilitare confronti trasparenti tra studi;
4. nella **quarta fase**, l'interpretazione dei risultati, l'analisi si concentra sulla valutazione e sintesi dei risultati LCIA per fornire informazioni utili e raccomandazioni concrete. È qui che si identificano le aree di miglioramento, mettendo in evidenza le fasi del ciclo di vita più impattanti e suggerendo soluzioni per ridurre l'impatto ambientale.

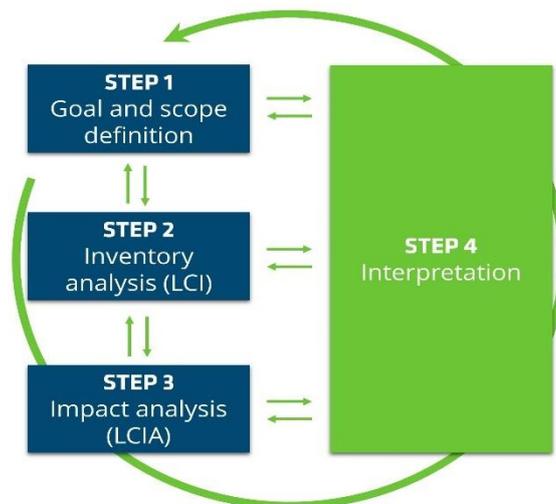


Figura 1.1 - Fasi principali di uno studio di *Life Cycle Assessment* (LCA)

Lo studio è stato sviluppato implementando i dati relativi al monitoraggio svolto per l'anno 2023 all'interno del software OpenLCA 2.2.0 utilizzando il database Ecoinvent 3.10.

2 Progetto Life BIOREPEM

Il progetto Life BIOREPEM è un progetto finanziato grazie al programma europeo LIFE+, finalizzato a ridurre la quantità di sostanze tossiche diffuse nell'ambiente urbano con le attività di disinfestazione e derattizzazione nei Comuni di Fiumicino e Francavilla al Mare. Il forte impatto dei biocidi utilizzati nella lotta contro muridi e culicidi, sulla salute umana e sugli ecosistemi naturali, richiede un cambio di approccio nella lotta contro queste specie infestanti.

Il progetto Life BIOREPEM ha sviluppato un modello che integra sistemi di cattura elettromeccanici, ecologici e privi di biocidi, comunicazione e coinvolgimento attivo della cittadinanza con una piattaforma digitale per la gestione geolocalizzata dei trattamenti e dei dati ambientali, in modo da essere un utile strumento a disposizione degli Enti Locali per pianificare e monitorare più efficacemente l'azione di contrasto agli infestanti.

All'interno del progetto è stato sviluppato un portale web e un'applicazione mobile che permettono di raccogliere e conservare dati utili per il monitoraggio e la pianificazione della lotta agli infestanti. Le trappole sono geocalizzate e possono essere visualizzate su una mappa, insieme alle catture effettuate (topi).

3 Metodi di cattura e prevenzione delle infestazioni

I metodi tradizionali di lotta contro le infestazioni di ratti, topi e zanzare comprendono una varietà di approcci chimici, meccanici e biologici, mirati a ridurre il numero di infestanti e a limitare il rischio per la salute umana.

Per i **topi**, i metodi tradizionali consistono nell'utilizzo di esche avvelenate a base di anticoagulanti anti vitamina K, molecole che agiscono interrompendo la coagulazione del sangue nei roditori, causandone la morte dopo alcune ore o giorni. Questa tipologia di rodenticidi è molto efficace, anche a concentrazioni minime e possono comportare effetti indesiderati sia per ingestione che per semplice contatto. Agiscono come interferenti endocrini, cancerogeni e sono tossici per la riproduzione e per organi vitali come cuore, reni, fegato, polmoni e sistema nervoso. Devono quindi essere maneggiati con guanti e posti dentro appositi dispenser per impedire l'accesso al veleno ad altri animali o bambini. Oltre a ciò, le esche rodenticida rappresentano un rischio ecologico significativo poiché, se ingerite da un ratto, il veleno rimane attivo nel suo organismo. Quando il ratto avvelenato muore, i predatori naturali, come rapaci, gatti, volpi o altri carnivori, che consumano il cadavere possono assorbire il veleno. Questo fenomeno, noto come "intossicazione secondaria," può portare all'avvelenamento di specie non bersaglio, compromettendo la salute e la popolazione dei predatori naturali. Gli effetti includono gravi danni al fegato, emorragie interne e morte, con impatti negativi sulla biodiversità e sull'equilibrio degli ecosistemi locali.

Per le **zanzare**, i metodi tradizionali includono l'uso di insetticidi, sia in forma di spray per gli ambienti che in formulazioni per trattamenti larvicidi nelle acque stagnanti. Gli insetticidi a base di piretro o piretroidi vengono applicati direttamente sulle zanzare adulte, ma possono avere effetti dannosi sull'ambiente e su altri organismi. Inoltre, i trattamenti adulticidi sono spesso poco efficaci perché mirano solo alle zanzare adulte, senza incidere sulle uova e larve presenti nei luoghi di riproduzione, come acque stagnanti o fessure umide. Le zanzare adulte costituiscono una piccola percentuale della popolazione totale, e nuove zanzare possono schiudersi rapidamente, reinfestando l'area. I trattamenti adulticidi richiedono anche condizioni specifiche (assenza di vento e alta precisione) per colpire direttamente le zanzare, rendendo complessa un'applicazione uniforme su larga scala e diminuendo il controllo a lungo termine. I larvicidi, invece, vengono utilizzati in bacini d'acqua stagnante per colpire le larve prima che si sviluppino in zanzare adulte. I piretroidi e gli organo fosforati sono sostanze tossiche in ambiente naturale anche per le larve di insetti acquatici, anfibi, pesci e altri invertebrati. L'utilizzo di queste sostanze compromette l'intera catena alimentare acquatica. In ambiente terrestre queste molecole sono altrettanto pericolose per insetti come api o altri impollinati con gravi conseguenze anche per la riproduzione delle piante di valore agroalimentare e per la biodiversità.

I metodi tradizionali presentano spesso limiti ambientali e rischi collaterali, in quanto l'uso prolungato di insetticidi e rodenticidi può portare a resistenze negli infestanti e a effetti negativi sulla fauna locale.

Nel contesto del controllo degli infestanti, come topi e zanzare, le strategie sostenibili sono fondamentali per garantire un impatto minimo sull'ambiente e sulle specie non bersaglio, evitando l'uso intensivo di sostanze chimiche che possono provocare inquinamento del suolo,

delle acque e dell'aria. L'adozione di tecniche sostenibili, come i metodi biologici e la gestione integrata degli infestanti (Integrated Pest Management, IPM), permette di limitare l'uso di pesticidi e rodenticidi.

Inoltre, le strategie sostenibili includono l'utilizzo di trappole ecologiche, senza l'utilizzo di biocidi, per prevenire il proliferare degli infestanti. Per esempio, mantenere aree prive di acqua stagnante è un modo sostenibile per ridurre il numero di zanzare, senza l'utilizzo di insetticidi.

Dal punto di vista economico, le strategie sostenibili offrono spesso vantaggi a lungo termine, riducendo la necessità di continui interventi chimici e diminuendo i costi per il trattamento e il recupero ambientale.

BIOREPEM (*BIO*cide *RE*duction in *PE*st Management) è un progetto finalizzato a ridurre la quantità di sostanze tossiche diffuse nell'ambiente urbano con le attività di disinfezione e derattizzazione. Il progetto Life BIOREPEM ha sviluppato un modello che integra sistemi di multi-cattura elettromeccanici, ecologici e privi di biocidi per topi e zanzare, con una piattaforma digitale per la gestione geolocalizzata dei trattamenti e dei dati ambientali negli spazi pubblici dei comuni di Fiumicino e Francavilla al Mare. La sperimentazione ha avuto inizio nel 2022 ed ha testato e validato tale modalità nel corso di 3 anni.

3.1 Cattura di muridi

La cattura di ratti e topi è fondamentale per proteggere la salute pubblica e mantenere l'igiene degli ambienti abitati. I ratti possono trasmettere malattie gravi, come leptospirosi, salmonellosi e hantavirus, attraverso saliva, urine e feci, contaminando cibo e superfici. Inoltre, possono causare danni strutturali a edifici e impianti elettrici, aumentando il rischio di incendi. La cattura, specialmente con metodi sostenibili, aiuta a ridurre la popolazione di roditori, limitando gli effetti negativi sulla sicurezza e sull'ambiente, e prevenendo la diffusione di malattie infettive in spazi pubblici e privati.

3.1.1 Modello tradizionale

La modalità di derattizzazione tradizionale prevede l'utilizzo di una trappola/mangiatoia, generalmente in plastica, in cui viene inserita, circa una volta al mese, una porzione di esca rodenticida contenente sostanze anticoagulanti. Quando il topo ingerisce un'esca rodenticida, il veleno contenuto nell'esca agisce solitamente interferendo con i processi di coagulazione del sangue, portando a emorragie interne. Gli anticoagulanti, come il Brodifacoum o il Difenacoum, impediscono la rigenerazione della vitamina K, essenziale per la coagulazione, causando il sanguinamento interno progressivo nel topo. Questo processo può richiedere diversi giorni e provoca debolezza, difficoltà respiratorie e, infine, la morte. All'interno del presente studio è stato analizzato l'anticoagulante Difenacoum.

L'effetto non immediato del veleno riduce la possibilità che altri roditori diventino sospettosi verso l'esca. Tuttavia, questo tipo di veleno può rimanere attivo nel corpo del topo e avvelenare i predatori che lo ingeriscono.

Con la morte del topo in ambiente si ha dispersione delle sostanze tossiche nelle tre matrici ambientali: aria, acqua e suolo. Inoltre, avvenendo la morte spesso lontano dal luogo in cui è

posizionata l'esca, risulta complessa la localizzazione e lo smaltimento delle carcasse che spesso permangono in ambiente e possono essere preda di altri animali.

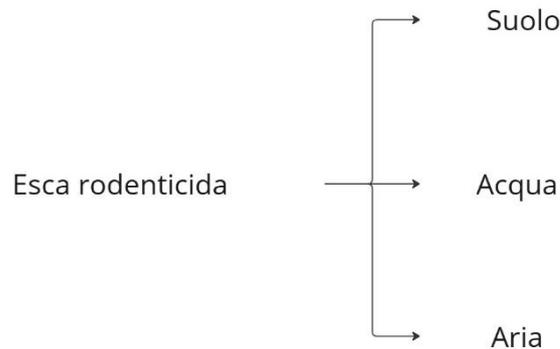


Figura 3.2 – Modello di dispersione dell'esca rodenticida in ambiente

3.1.2 Modello BIOPEM

Il modello BIOPEM non prevede l'utilizzo di esche rodenticida ma di trappole elettromeccaniche (EKOMILLE) che richiamano gli animali mediante mangimi naturali (semi vegetali, strutto) normalmente appetibili per queste specie. Per raggiungere il cibo, gli individui risalgono un sistema di cassette fino a cadere in una botola che immette in un serbatoio riempito di liquido conservante. L'animale catturato muore in poco tempo per annegamento invece della lenta e atroce agonia inflitta dalle sostanze rodenticida normalmente utilizzate per combattere le infestazioni. Questi moderni e sofisticati dispositivi possono catturare fino a 60-80 individui senza dover essere svuotati. Il liquido conservante (EKOFIX) impedisce la decomposizione delle carcasse evitando la fuoriuscita di cattivi odori. Ogni dispositivo è dotato di un dispositivo conta-catture (EKONTROL) ispezionabile dall'esterno ed è collegato digitalmente alla piattaforma di gestione del progetto. Periodicamente le carcasse vengono raccolte e smaltite secondo i protocolli igienico-sanitari previsti dalla normativa. Nel metodo BIOPEM non vi è quindi nessuna dispersione nelle matrici ambientali.

Parte essenziale della metodologia BIOPEM è anche la comunicazione con la cittadinanza, in modo da istruire i cittadini sui comportamenti da tenere per evitare focolai e situazioni critiche.

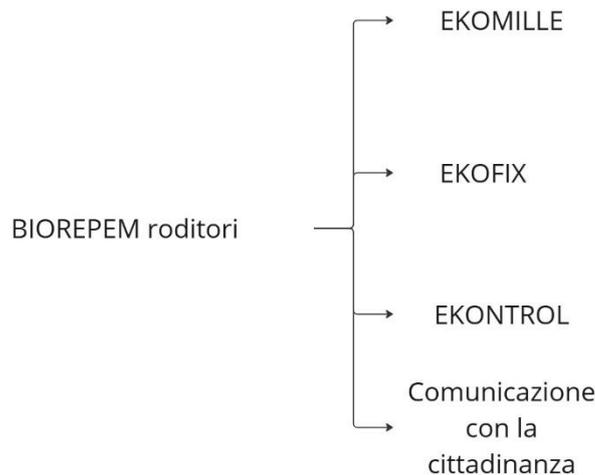


Figura 3.3 – Modello impiegato per la metodologia BIOREPEM muridi

3.2 Cattura di culicidi

Anche la cattura delle zanzare è cruciale per il mantenimento la salute pubblica, poiché questi insetti sono noti vettori di malattie gravi come malaria, dengue, virus Zika e chikungunya. La loro proliferazione può portare a focolai epidemici, mettendo a rischio la vita umana e aumentando il carico sui sistemi sanitari. Inoltre, la cattura delle zanzare contribuisce a ridurre il fastidio e il disagio che causano negli ambienti urbani e rurali, migliorando la qualità della vita.

3.2.1 Modello tradizionale

La metodologia tradizionale di lotta e prevenzione alla diffusione delle zanzare prevede l'utilizzo di trattamenti larvicidi direttamente nei tombini e nei ristagni acquosi e di trattamenti adulticidi, svolti periodicamente nel corso della stagione estiva distribuendo in aria con atomizzatori sostanze contenenti piretroidi che, agendo per inalazione o per contatto, interferiscono con il sistema nervoso degli insetti e ne causano la morte.

L'utilizzo di sostanze larvicide ed adulticide comporta dispersione di sostanze tossiche in aria, acqua e suolo. Un uso continuativo può inoltre portare a resistenze tra la popolazione di zanzare e potenziali effetti collaterali sugli organismi non bersaglio. Infine, il trattamento adulticida, essendo limitato in un arco temporale ristretto (circa 1-2 ore) riesce ad eliminare esclusivamente le zanzare presenti nell'area trattata ed attualmente nello stato di "adulti". La zanzara impiega infatti circa 15 giorni per passare da uova ad adulto.

In Figura 3.4 si riporta il modello relativo alla metodologia tradizionale di lotta alle zanzare, indicando i principi attivi utilizzati all'interno del presente studio.

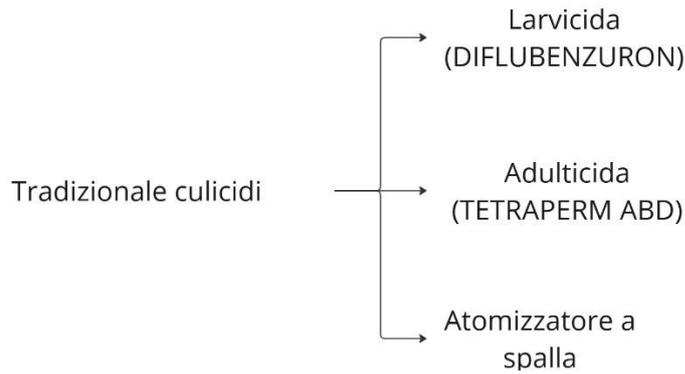


Figura 3.4 - Modello impiegato per la metodologia tradizionale culicidi

3.2.2 Modello BIOPEM

Il protocollo BIOPEM per la cattura di culicidi è articolato in 3 fasi:

- uccisione di larve nei ristagni acquosi e nei tombini attraverso un larvicida a base di *Bacillus thuringiensis israelensis*, che uccide esclusivamente le larve senza avere un impatto in termini ambientali;
- cattura delle uova con ovitrappole specifiche che, grazie all'utilizzo di attrattivi, consentono la deposizione delle uova al loro interno, non permettendo l'uscita delle zanzare una volta schiuse;
- cattura di adulti attraverso apparecchi che catturano le zanzare grazie ad attrattivi specifici e all'emissione di un sottile soffio di CO₂, simile al respiro umano. In questo modo gli individui adulti vengono attratti ed aspirati all'interno di un serbatoio estraibile dove muoiono per disidratazione.

Nessun tipo di insetticida o altre sostanze biocide vengono utilizzati. Essenziale nella lotta alle zanzare è la comunicazione con la cittadinanza; divulgando buone pratiche di comportamento ed accorgimenti, la riduzione e lo sviluppo di larve e adulti nei giardini o negli spazi urbani diminuisce sensibilmente.

In Figura 3.4 si riporta il modello relativo alla metodologia BIOPEM di lotta alle zanzare, indicando i nomi dei dispositivi utilizzati.

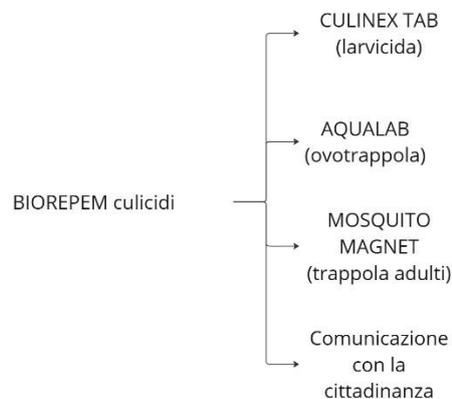


Figura 3.5 - Modello impiegato per la metodologia BIOPEM culicidi

4 Scopo e campo di applicazione dello studio

Il presente paragrafo illustra il campo di applicazione dell'analisi LCA (Life Cycle Assessment) condotta per valutare l'impronta ambientale dei metodi di disinfestazione di muridi e culicidi adottati nel Comune di Fiumicino nell'ambito del progetto Life BIOREPEM. Obiettivo dello studio è confrontare i metodi di disinfestazione tradizionali con i metodi innovativi sviluppati dal progetto, misurando analizzando l'impatto ambientale attraverso il metodo Product Environmental Footprint 3.1 (PEF).

4.1 Obiettivo dello studio

Lo scopo dello studio è quello di valutare e confrontare l'impronta ambientale, attraverso il metodo di impatto della Product Environmental Footprint 3.1 (PEF), relativamente all'utilizzo dei metodi di cattura e disinfestazione sviluppati all'interno del progetto Life BIOREPEM per muridi e culicidi. Lo studio prenderà in esame le fasi del ciclo di vita relativa alla produzione ed all'utilizzo dei sistemi di cattura e permetterà un confronto con quanto previsto nella metodologia tradizionale di disinfestazione.

I risultati dello studio permetteranno di orientare le scelte e le strategie di progettazione dei metodi più sostenibili per la disinfestazione di muridi e culicidi, in modo da perseguire una diminuzione dell'impatto ambientale relativo alle metodologie tradizionali.

Nello specifico l'analisi LCA permetterà di evidenziare quelle fasi di produzione dei prodotti in cui è possibile apportare soluzioni migliorative in termini di riduzione di impatto ambientale, andando ad operare scelte sia per quanto riguarda l'ottimizzazione della supply chain del prodotto, sia per l'eventuale efficientamento delle modalità di utilizzo dei prodotti stessi.

I destinatari dello studio sono le parti interessate nel progetto, oltre che la cittadinanza stessa.

4.2 Confini del sistema

Lo studio prende in considerazione le fasi legate all'estrazione ed alla trasformazione delle materie prime necessarie alla produzione dei sistemi di cattura e di prevenzione e le fasi di *utilizzo* degli stessi.

4.3 Unità funzionale

L'unità funzionale dello studio LCA rappresenta la misura di riferimento utilizzata per quantificare la funzione del prodotto in esame. È un elemento fondamentale per garantire coerenza e comparabilità tra diversi studi e per stabilire i confini e le dimensioni dell'analisi. L'unità funzionale selezionata è definita come l'utilizzo del sistema di cattura o prevenzione, tradizionale o BIOREPEM, per la durata di un anno solare, in particolare, rispettivamente per muridi e culicidi è:

- la derattizzazione in 5 scuole del Comune di Fiumicino per il periodo di un anno;
- la disinfestazione da culicidi in 5 scuole del Comune di Fiumicino per il periodo di un anno.

4.4 Criteri di esclusione, assunzioni e limitazioni dello studio

All'interno dell'analisi LCA non sono state applicate procedure di cut off relativamente alla quantificazione degli elementi in ingresso per i quali è stato possibile raccogliere le informazioni necessarie (dati primari), ovvero le quantità in input al processo.

All'interno del presente studio non sono stati considerati:

- lo smaltimento delle carcasse;
- la produzione di imballaggi primari e secondari;
- trasporti per la manutenzione ed il controllo dei dispositivi.

4.5 Tipologia di dati e requisiti di qualità

All'interno del presente studio sono stati utilizzati prioritariamente dati primari, ovvero ottenuti da misurazioni dirette o stime effettuate da dati rilevati. Laddove questo non fosse possibile si è fatto ricorso al database Ecoinvent 3.10 o a stime. I dati primari utilizzati all'interno di questo studio si riferiscono all'anno 2023. In Tabella 4.1 si riporta un elenco della tipologia dei dati utilizzati.

Tabella 4.1 - Elenco dei dati primari e secondari utilizzati all'interno dello studio LCA.

Specie catturata	Metodologia	Dato	Tipologia dato	Fonte
Muridi	Standard	Vita media app.tura	Primario	Capitolato
		Peso app.tura	Primario	Scheda tecnica
		N° passaggi per controllo	Primario	Capitolato
		N° erogatori	Primario	Capitolato
		Q.tà esca rodenticida	Primario	Capitolato
		Q.tà Difenacoum	Primario	Linee guida/Capitolato
	Dispersione in matrici ambientali	Secondario	Ricerca bibliografica ¹	
	BIOREPEM	Vita media app.ture	Secondario	Stima su campo
		N° app.ture	Primario	Monitoraggio in campo

¹ “Suggerimenti per l'aggiornamento del metodo di calcolo dell'impronta ambientale di prodotto (PEF)” JRC - 2019
 “Revised emission scenario document for product type 14 rodenticides” ECHA - 2018

Specie catturata	Metodologia	Dato	Tipologia dato	Fonte
		Peso app.ture	Primario	Scheda tecnica
		Batterie	Primario	Scheda tecnica
		N° passaggi per controllo	Primario	Linee guida
		Composizione app.ture	Primario	Scheda tecnica
Culicidi	Standard	Modalità utilizzo larvicida	Primario	Capitolato
		Peso compressa larvicida	Primario	Scheda tecnica
		% Diflubenzuron	Primario	Scheda tecnica
		N° tombini trattati	Secondario	Stima
		Modalità utilizzo adulticida	Primario	Scheda tecnica
		Superficie trattata	Primario	Calcolo diretto
		Composizione adulticida (TETRAPERM ABD)	Primario	Scheda tecnica
		Modalità utilizzo atomizzatore a spalla	Primario	Scheda tecnica
		Consumo combustibile atomizzatore a spalla	Primario	Scheda tecnica
		Composizione e peso atomizzatore a spalla	Primario	Scheda tecnica
	Vita media atomizzatore a spalla	Secondario	Stima	
	BIOREPEM	Modalità utilizzo larvicida (CULINEX)	Primario	Scheda tecnica

Specie catturata	Metodologia	Dato	Tipologia dato	Fonte
		Peso compressa larvicida (CULINEX)	Primario	Scheda tecnica
		% Bacillus th. Israelensis	Primario	Scheda tecnica
		N° tombini trattati	Secondario	Stima
		N° Aqualab	Primario	Monitoraggio in campo
		Modalità utilizzo Aqualab	Primario	Scheda tecnica
		Vita media Aqualab	Primario	Scheda tecnica
		Q.tà attrattivi	Primario	Scheda tecnica
		N° Mosquito Magnet	Primario	Monitoraggio in campo
		Modalità utilizzo Mosquito Magnet	Primario	Scheda tecnica
		Vita media Mosquito Magnet	Secondario	Stima
		Q.tà attrattivi	Primario	Scheda tecnica
		Consumo GPL	Primario	Scheda tecnica

I dati sopra elencati rispettano i seguenti requisiti di qualità:

- **Copertura temporale:** i dati primari riportati in questo studio sono riferiti all'anno 2023 e si intendono relativi al periodo gennaio – dicembre.
- **Copertura geografica:** i dati primari si riferiscono ai dispositivi prodotti ed utilizzati in Italia. I processi del database Ecoinvent 3.10 relativi alle materie prime utilizzate sono stati selezionati previa analisi del luogo di provenienza, andando a selezionare quelli relativi alle zone geografiche più idonee.
- **Copertura tecnologica:** i dati raccolti fanno riferimento alle tecnologie attualmente utilizzate per la produzione delle materie prime
- **Precisione:** i dati primari fanno riferimento ai consumi relativi all'anno 2023 e sono stati ottenuti da misurazioni dirette.

- **Completezza:** si può supporre che la percentuale dei quantitativi misurati o stimati sia pari al 99%.
- **Rappresentatività:** i dati raccolti si riferiscono all'utilizzo dei dispositivi all'interno del Comune di Fiumicino, ovvero al sito oggetto del presente studio; pertanto, la rappresentatività si può ritenere essere elevata.
- **Coerenza:** la metodologia dello studio è stata applicata in maniera uniforme alle differenti componenti delle analisi.
- **Riproducibilità:** i dati sono stati raccolti attraverso utilizzo di schede compilate direttamente dai responsabili del progetto BIOREPPEM, all'interno delle stesse è riportata la fonte del dato, ovvero la persona di competenza per la specifica informazione o la documentazione di sistema in cui è contenuta. All'interno del file di raccolta dati sono contenute tutte le informazioni che consentono di riprodurre i risultati dello studio.
- **Fonte dei dati:** i dati derivano da fonte primarie laddove possibile, altrimenti si è fatto uso della banca dati Ecoinvent 3.10 (Tabella 4.1).
- **Incertezza dell'informazione:** all'interno del presente studio è stata effettuata un'analisi dell'incertezza i cui risultati sono consultabili nel Paragrafo 7.

4.6 Scenario comparativo

Nello studio LCA comparativo, si esamineranno i due scenari alternativi di derattizzazione e disinfestazione dei metodi tradizionalmente utilizzati e quelli proposti dal progetto Life BIOREPPEM, per determinare quale di essi presenti un minore impatto ambientale.

Gli scenari comparativi relativi ai differenti metodi di cattura o disinfestazione sono stati definiti a seguito dell'analisi dei risultati del progetto Life BIOREPPEM. Nello specifico per gli scopi dello studio LCA sono stati considerati i dati relativi all'applicazione del protocollo BIOREPPEM nell'anno 2023 in cinque scuole nel comune di Fiumicino.

Tale scelta è stata dettata da alcune caratteristiche peculiari dell'ambiente scolastico in quanto:

- sono luoghi particolarmente sensibili, in cui è necessario garantire determinate condizioni igienico-sanitarie;
- possono essere utilizzate come spunto divulgativo per l'educazione ambientale e sostenibile;
- possono essere esempi pratici di "best practice" ed influenzare il comportamento dell'intera comunità;
- sono situate in contesti ambientali diversi tra loro (urbano, rurale, industriale).

Le scuole selezionate nel comune di Fiumicino, che potessero coprire diverse tipologie di contesto ambientale sono le scuole di Parco Leonardo, Passoscuro, Fregene, Isola Sacra, Maccarese, indicate in Figura 4.6.



Figura 4.6 - Comune di Fiumicino - siti monitorati

In tutti i siti sono presenti dispositivi BIOREPEM per la cattura dei ratti, ed in tre anche per la cattura e la prevenzione delle zanzare Tabella 4.2.

Tabella 4.2 - Tipologie di catture nei siti monitorati all'interno dello studio LCA

SITO	MURIDI	CULICIDI
Parco Leonardo	X	---
Passoscuro	X	---
Fregene	X	X
Isola sacra	X	X
Maccarese	X	X

Si riportano i dettagli del monitoraggio svolto nell'anno 2023 per le cinque scuole selezionate relativamente ai topi (Tabella 4.3) e alle zanzare (Tabella 4.4).

Tabella 4.3 - Dati ottenuti dal monitoraggio per la cattura di muridi nei siti selezionati (anno 2023)

Siti	Area trattata (m ²)	Dispositivi di cattura	N° dispositivi	Catture (2023)
Parco Leonardo	22'797	EKOMILLE	4	40
Passoscuro	21'437	EKOMILLE	6	30
Fregene	21'264	EKOMILLE	6	5
Isola sacra	24'568	EKOMILLE	4	5
Maccarese	24'357	EKOMILLE	4	26
TOT EKOMILLE			24	106

Tabella 4.4 - Dati ottenuti dal monitoraggio per la cattura di culicidi nei siti selezionati (anno 2023)

Siti	Area trattata (m ²)	Dispositivi di cattura	N° dispositivi	Catture adulti (2023)	Catture larve/uova (2023)
Fregene	21'264	MOSQUITO MAGNET	2	259	---
		AQUALAB	4	---	3'435
Isola sacra	24'568	MOSQUITO MAGNET	2	748	---
		AQUALAB	3	---	1'559
Maccarese	24'357	MOSQUITO MAGNET	3	98	---
		AQUALAB	4	---	3'740
TOT MOSQUITO MAGNET			7	1'105	
TOT AQUALAB			11		8'734

Per poter effettuare un confronto con il metodo tradizionale è stato necessario definire l'area interessata dalle attività di disinfestazione, relativamente ai trattamenti tradizionali adulticidi per le zanzare, è stato considerato un buffer quadrato, con lato di circa 160 metri, centrato sull'edificio scolastico (Figura 4.7). Dalla superficie totale ottenuta è stata sottratta quella dell'edificio (area verde).



Figura 4.7 - Esempio di buffer per il calcolo dell'area trattata nei trattamenti adalticidi (scuola di Passoscuro)

5 Analisi dell'inventario (LCI)

La fase di analisi di inventario consiste nella raccolta, quantificazione e normalizzazione dei dati relativi agli ingressi e alle uscite del sistema esaminato. Questa fase è fondamentale per la corretta valutazione dell'impatto ambientale e per identificare i punti critici del ciclo di vita del prodotto analizzato. Di seguito sono riportate le informazioni necessarie alla stesura dell'inventario secondo le norme della serie ISO 14040.

5.1 Modalità di raccolta dati

La fase di raccolta dati è avvenuta mediante riunione con tecnici specializzati del progetto. Ciò ha permesso di identificare i dati necessari alla definizione del modello di calcolo. Sono stati raccolti i documenti essenziali (come schede di sicurezza, schede tecniche, capitolati, ecc.) e definiti gli input e gli output al modello. In particolare, sono state considerate le seguenti fasi:

- produzione ed estrazione materie prime;
- utilizzo dei dispositivi.

Di seguito, per ogni tipologia di modello, verranno indicati nel dettaglio i vari input ed eventuali output.

5.2 Dati in ingresso per modello muridi

Nel presente paragrafo verranno descritti i dati raccolti e utilizzati come input per la modellizzazione del ciclo di vita relativo ai metodi di cattura dei muridi. Tali dati includono informazioni sui consumi delle risorse materiali ed energetiche impiegate nella produzione e nell'utilizzo dei dispositivi.

La raccolta dei dati è stata effettuata seguendo i criteri della metodologia PEF, con particolare attenzione alla rappresentatività e alla specificità del contesto locale di utilizzo, ossia le scuole selezionate nel comune di Fiumicino. Per garantire la massima accuratezza, sono stati inclusi dati relativi alla produzione delle trappole, al loro trasporto ed utilizzo sul campo, assicurando una copertura completa del ciclo di vita di ciascun metodo di cattura.

5.2.1 Modello tradizionale

Il metodo tradizionale prevede l'utilizzo di una trappola/mangiatoia (Figura 5.8), in polipropilene con un peso di circa 700 g, in cui viene posizionata l'esca rodenticida. La durata media del dispositivo è di 3 anni.



Figura 5.8 - Trappola/mangiatoia per la cattura di muridi con metodologia standard

Il dispositivo viene controllato dagli addetti 12 volte all'anno; nell'occasione l'addetto provvede a rifornire l'esca rodenticida.

Per quanto concerne le esche rodenticida, ne esistono di diverse consistenze (blocchi, granulose, paste e liquide) con diversi principi attivi (Bromadiolone, Brodifacoum, Difenacoum, ecc.). L'esca studiata nel modello in esame è una pasta a base di Difenacoum, allo 0.005% in peso. Ogni reintegro mensile prevede l'utilizzo di 84 grammi di esca a trappola, per un totale di 302 kg di esche e 0.015 kg di Difenacoum all'anno.

La morte del topo in ambiente comporta il rilascio di queste sostanze nelle matrici ambientali suolo, acqua ed aria pertanto la dispersione del Difenacoum è stata ipotizzata:

- in aria 9%;
- nelle acque 1%;
- nel suolo 90%.

In Tabella 5.5 si riassumono i dati in input al modello per la produzione e l'utilizzo annuo di un dispositivo di cattura roditori tradizionale.

Tabella 5.5 - Dati in input e output al modello di cattura muridi tradizionale

Tipologia	Dato	Q.tà	UdM
Polipropilene	Trappola/mangiatoia	0.700	kg
Produzione esca	Esca rodenticida	1.008	kg
Emissione in aria	Difenacoum disperso	4.54 E-06	kg
Emissione in acqua		5.04 E-07	kg
Emissione sul suolo		4.54 E-05	kg

5.2.2 Modello BIOREPEM

Il modello BIOREPEM prevede l'utilizzo della trappola EKOMILLE, del conta-passaggi EKONTROL e del liquido desodorizzante EKOFIX.

Il dispositivo EKOMILLE (Figura 5.9) è una trappola elettromeccanica, che ha una durata media di 10 anni, utilizza una batteria da 9V (circa 45 g) all'anno ed ha un peso di 7.5 kg così distribuito:

- ABS (acrilonitrile – butadiene – stirene copolimero) 62%;
- PS (polistirene) 13%;
- PP (polipropilene) 8%;
- PPS (poliparafenilen solfuro) 2%;
- ottone 6%;
- acciaio 5%;
- gomma 2%;

- componenti elettroniche “passive” 3%.



Figura 5.9 – Trappola EKOMILLE per la cattura di muridi con metodologia BIOREPEM

Il conta-passaggi EKONTROL (Figura 5.10) è un piccolo dispositivo di circa 77 g in ABS (51.9 g), Gomma (3.8 g) e componenti elettroniche (21.6 g). È munito di una scheda SIM ed ha il compito di comunicare direttamente alla piattaforma di gestione online il numero di catture/passaggi. La durata di vita media è paragonabile a quella della EKOMILLE, circa 10 anni, ed utilizza una batteria ricaricabile al litio (circa 45 g).



Figura 5.10 – Conta ingressi/catture EKONTROL per la cattura di muridi con metodologia BIOREPEM

I dispositivi vengono controllati dal personale delle ditte appaltatrici dei servizi di derattizzazione circa 12 volte/anno.

Il liquido desodorizzante EKOFIX (Figura 5.11), reintegrato una volta all’anno all’interno del dispositivo EKOMILLE, ha lo scopo di igienizzare e desodorizzare l’apparecchiatura. Un reintegro prevede l’utilizzo di 5 litri di EKOFIX e di 13 litri di acqua all’interno di un apposito serbatoio dell’EKOMILLE. EKOFIX è composto al 78% da alcol isopropilico, al 5% da isobutanolo e al 17% da olio di vaselina.



Figura 5.11 – Liquido igienizzante e desodorizzante EKOFIX per la cattura di muridi con metodologia BIOREPEM

In Tabella 5.6 si riassumono i dati in input al modello per la produzione e l'utilizzo annuo di un dispositivo di cattura roditori con metodologia BIOREPEM.

Tabella 5.6 - Dati in input e output al modello di cattura muridi con metodologia BIOREPEM

Tipologia	Dato	Q.tà	UdM	
ABS	Produzione e funzionamento EKOMILLE	4.650	kg	
PS		0.975	kg	
PP		0.600	kg	
PPS		0.150	kg	
Ottone		0.450	kg	
Acciaio		0.375	kg	
Gomma		0.075	kg	
Comp. Elettronici		0.225	kg	
Batteria alcalina		0.045	kg	
ABS		Produzione e funzionamento EKONTROL	0.052	kg
Gomma			0.004	kg
Comp. Elettronici	0.022		kg	
Batteria	0.045		kg	
Alcool isopropilico	Produzione EKOFIX	3.120	kg	
Iso-butanolo		0.200	kg	
Olio di vaselina		0.680	kg	

Tipologia	Dato	Q.tà	UdM
Acqua		2.600	kg

5.3 Dati in ingresso per modello culicidi

Questa sezione illustra i dati raccolti e impiegati come input per la modellizzazione del ciclo di vita dei metodi di cattura dei culicidi. I dati includono informazioni sui consumi delle risorse materiali ed energetiche impiegate nella produzione e nell'utilizzo dei dispositivi e delle metodologie applicate.

La raccolta dei dati è stata effettuata seguendo i criteri della metodologia PEF, con particolare attenzione alla rappresentatività e alla specificità del contesto locale di utilizzo, ossia le scuole selezionate nel comune di Fiumicino. Per garantire la massima accuratezza, sono stati inclusi dati relativi alla produzione delle trappole, al loro trasporto ed utilizzo sul campo, assicurando una copertura completa del ciclo di vita di ciascun metodo di cattura.

5.3.1 Modello tradizionale

La metodologia tradizionale di prevenzione e lotta alle zanzare prevede due tipologie di approccio:

- utilizzo di sostanze larvicide; l'utilizzo di compresse larvicida nei ristagni acquosi agisce direttamente sulle larve in modo da non permetterne la crescita. In particolare, all'interno del modello, è stato implementato l'utilizzo di Diflubenzuron, prevedendo 7 compresse/anno per tombino. I tombini totalmente trattati sono 50. Ogni compressa di Diflubenzuron pesa circa 2 g ed è composta al 2% dal principio attivo. Il Diflubenzuron utilizzato si disperde quindi al 100% in acqua;
- utilizzo di trattamenti adulticidi previsti 3 volte all'anno con TETRAPERM ABD². L'insetticida deve essere diluito (0.6 kg in 100 litri di acqua) ottenendo un'emulsione da utilizzare in dose di 0.1 litri ogni metro quadro. La superficie totale da trattare, calcolata come descritto nel Paragrafo 4.5 è pari a 70'189 m². La dispersione dell'insetticida viene effettuata attraverso l'utilizzo di atomizzatori a spalla da 5HP, che comportano un consumo di benzina pari a 1.2 l/h. Ogni trattamento ha una durata media di 1.5 ore. L'atomizzatore ha una vita media di 5 anni, pesa 12 kg ed è composto da: alluminio (34.8%), metallo (26.1%), plastica (17.4%), ghisa (8.7%), nylon (8.7%) e acciaio (4.3%). Le sostanze atomizzate vengono rilasciate in aria e ricadono poi sul suolo, impattando anche su questo. Secondo quanto riportato nei risultati del documento scientifico "Rilevamento quantitativo di biocidi in aree sensibili nel Comune di Francavilla al Mare", che ha avuto come obiettivo la conferma della presenza di biocidi nelle aree trattate, la quantità rilevata in piastre di controllo preventivamente depositate sul suolo, prima del trattamento adulticida, di Cipermetrina e Tetrametrina, a 7 giorni dal trattamento, è pari rispettivamente a 312 ng/cm² e a 0.0230 ng/cm². È evidente quindi come le sostanze

² 48.6% acqua, 28% tensioattivi, 13.1% permetrina, 8.2% piperonilbutorrioso, 2.1% tetrametrina

insetticide utilizzate permangono, in qualche misura, anche sulle piastre di controllo. Tuttavia, non conoscendo nel dettaglio le quantità ed i meccanismi relativi alla dispersione sul suolo stesso, nel presente modello è stato indicato esclusivamente il rilascio di queste sostanze in aria.

In Tabella 5.7 si riassumono i dati in input al modello per la produzione e l'utilizzo annuo di trattamenti larvicida ed adulticida, secondo la metodologia standard.

▪ **Tabella 5.7 - Dati in input e output al modello di cattura culicidi con metodologia standard**

Tipologia	Dato	Q.tà	UdM
Produzione	Diflubenzuron (larvicida)	0.700	kg
Emissione in acqua		0.014	kg
Produzione	TETRAPERM ABD (adulticida)	126.000	kg
Emissione in aria Permetrina		16.502	kg
Emissione in aria Tetrametrina		2.645	kg
Emissione in aria Piperonilbutossido		10.329	kg
Consumo combustibile	Atomizzatore a spalla (1 dispositivo)	5.400	l
Metallo		3.000	kg
Alluminio		4.000	kg
Acciaio		0.500	kg
Ghisa		1.000	kg
Plastica		2.000	kg
Nylon		1.000	kg

Modello BIOREPEM

Il modello BIOREPEM prevede l'utilizzo di trattamenti larvicidi a base microbiologica (CULINEX TAB - Figura 5.12), di trappole per le uova e le larve di zanzara (AQUALAB) e di trappole per gli adulti (MOSQUITO MAGNET EXECUTIVE).

Il larvicida microbiologico CULINEX (Figura 5.9) è un larvicida a base di *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* (22.45%) e riempitivi (ipotizzato amido). Vengono utilizzate 7 compresse/anno per ogni tombino. I tombini totalmente trattati sono 50. Ogni compressa pesa circa 2 g. Il CULINEX utilizzato si disperde quindi al 100% in acqua/soilo ma senza impatto sull'ambiente.



Figura 5.12 – Larvicida microbiologico CULINEX TAB contro le larve di zanzare con metodologia BIOREPEM

L'ovitrappola AQUALAB (Figura 5.13) è costituita da un contenitore in plastica, del peso di circa 80 g, che funge da luogo ideale per la deposizione delle uova e per l'intero ciclo di sviluppo delle zanzare con il passaggio da uova ad adulti (uova>larve>pupe>adulti). Le zanzare, una volta adulte, non riusciranno ad uscire dalla trappola. Vengono utilizzate delle compresse alimentari a base di amido (di circa 0.5 g l'una), da sciogliere nell'acqua, come attrattivo per la deposizione delle uova ed elemento nutrizionale per le larve. La durata media di un'AQUALAB è di 5 anni.



Figura 5.13 – Ovitrapola AQUALAB utilizzata per la cattura di uova/larve di culicidi con metodologia BIOREPEM

I dispositivi vengono controllati da personale delle ditte appaltatrici dei servizi di disinfestazione circa 12 volte/anno.

Il dispositivo MOSQUITO MAGNET EXECUTIVE (Figura 5.14) è una trappola per la cattura massiva di zanzare ed altri insetti pungenti flebotomi. La trappola attrae gli insetti, grazie all'utilizzo di specifici attrattivi e di CO₂, ottenuta dalla conversione del GPL, e li aspira nell'apposito serbatoio, dove muoiono per disidratazione. Il macchinario pesa 14.9 kg ed è composto dall'87% di plastica ed il restante di acciaio. Ha una durata di circa 10 anni. Viene utilizzato nelle stagioni primaverili-estive, per circa 7 mesi all'anno. La manutenzione, che prevede la sostituzione della bombola di GPL e delle esche attrattive avviene ogni 21 giorni. Le esche attrattive consistono in compresse a base di bicarbonato di ammonio ed acido lattico; ogni compressa pesa circa 2 g ed è stata considerata equamente suddivisa nelle due componenti. Il dispositivo utilizza una batteria specifica, del tipo Ni-MH, con voltaggio di 4.8V e peso di circa 45g.



Figura 5.14 – Dispositivo MOSQUITO MAGNET EXECUTIVE per la cattura di adulti culicidi con metodologia BIOREPPEM

In Tabella 5.8 si riassumono i dati in input al modello per la produzione e l'utilizzo annuo di un dispositivo della metodologia BIOREPPEM.

Tabella 5.8 - Dati in input e output al modello di cattura culicidi con metodologia BIOREPPEM

Tipologia	Dato	Q.tà	UdM
Bacillus thuringiensis var. israelensis	Produzione ed emissioni CULINEX TAB (larvicida)	0.1572	kg
Amido		0.5428	kg
Emissioni in acqua/suolo Bacillus thuringiensis var. israelensis		0.1572	kg
Plastica	AQUALAB (ovitrappola)	0.080	kg
Plastica	MOSQUITO MAGNET EXECUTIVE (trappola adulti)	12.900	kg
Acciaio		2.000	kg
Batteria		0.045	kg
GPL		100	kg
Bicarbonato d'ammonio		0.010	kg
Acido lattico		0.010	kg

5.4 Dati di ingresso scenario comparativo

Per definire gli scenari da confrontare sono stati utilizzati i dati e le condizioni impostate per il monitoraggio delle cinque scuole nel Comune di Fiumicino, dove risulta che:

- per la cattura dei muridi sono state installate 24 EKOMILLE. Considerando che 1 EKOMILLE sostituisce 12-13 dispositivi di cattura standard, ai fini dello studio sono state considerate 300 trappole/mangiatoie classiche per la valutazione della procedura di cattura tramite metodo tradizionale;
- ogni EKOMILLE è equipaggiato con un sistema di controllo EKONTROL;
- per la cattura dei culicidi sono stati installati 11 AQUALAB e 7 MOSQUITO MAGNET;
- per il confronto con il metodo tradizionale è stato ipotizzato l'utilizzo di un atomizzatore a spalla per ogni sito monitorato (in totale 5).

Si ricorda che l'unità funzionale dello studio nel caso dei roditori e delle zanzare è rispettivamente:

- la derattizzazione in 5 scuole del Comune di Fiumicino per il periodo di un anno;
- la disinfestazione da culicidi in 5 scuole del Comune di Fiumicino per il periodo di un anno.

Nella Tabella 5.9 e

Tabella 5.10 si riporta il flusso funzionale per ciascuno scenario di riferimento.

Tabella 5.9 – Flusso funzionale per scenario tradizionale e BIOPEM per la derattizzazione

UF: Derattizzazione in 5 scuole del Comune di Fiumicino per il periodo di 1 anno	
Scenario BIOPEM	Scenario tradizionale
24 EKOMILLE – Amm. 10 anni	300 trappole – Amm. 3 anni
24 EKONTROL *- Amm 10 anni	302 kg esca rodenticida
1 reintegro di EKOFIX	
1 batteria alcalina per EKOMILLE	
1 batteria al litio ricaricabile per EKONTROL	

Tabella 5.10 – Flusso funzionale per scenario tradizionale e BIOREPEM per la disinfestazione di culicidi

UF: Disinfestazione in 5 scuole del Comune di Fiumicino per il periodo di 1 anno	
Scenario BIOREPEM	Scenario tradizionale
0.70 kg di CULINEX TAB	0.70 kg Diflubenzuron
11 AQUALAB – Amm. 5 anni	126 kg TETRAPERM ABD
7 MOSQUITO MAGNET – Amm. 10 anni	5 atomizzatori a spalla – Amm. 5 anni
700 kg GPL	27 litri di benzina
0.070 kg bicarbonato d'ammonio	
0.070 kg di acido lattico	

Ai fini dello studio la quantità di materiali necessari alla costruzione dei dispositivi utilizzati all'interno del protocollo BIOREPEM e del metodo tradizionale è stata ammortizzata per la durata media di vita dei diversi dispositivi stessi (Tabella 5.11).

Tabella 5.11 - Durata di vita media e tempistiche di ammortamento dei dispositivi utilizzati

Dispositivo	Specie catturata	Vita media/Tempo ammortamento
EKOMILLE	Muridi	10 anni
EKONTROL	Muridi	10 anni
Trappole standard	Muridi	3 anni
AQUALAB	Culicidi	5 anni
MOSQUITO MAGNET EXECUTIVE	Culicidi	10 anni
Atomizzatore a spalla	Culicidi	5 anni

In Tabella 5.12 e Tabella 5.13 per ciascun metodo di cattura o prevenzione sono riportati:

- la tipologia di materiale o sostanza chimica ed il relativo sistema di cattura;
- la quantità di materiale o sostanza chimica;
- il processo Ecoinvent di riferimento, selezionato dal database 3.10 utilizzato all'interno dello studio.

I processi sono stati selezionati in modo che vi fosse quanta più corrispondenza tra il dato in input ed il processo presente sul database.

Laddove non sia stato possibile selezionare con esattezza il processo specifico di riferimento, si è proceduto selezionando quello più simile, questo è stato fatto in particolare per:

- la batteria alcalina utilizzata per EKOMILLE identificata con “market for battery, Li-ion, NCA, rechargeable, prismatic | battery, Li-ion, NCA, rechargeable, prismatic | Cutoff, U – GLO”;
- la produzione di sostanze chimiche organiche non specificate nel dettaglio ed identificate con il processo “market for chemical, organic | chemical, organic | Cutoff, U – GLO”;
- la produzione di larvicida standard e la produzione di *Bacillus th. Israelensis* definite con “market for chemical, organic | chemical, organic | Cutoff, U – GLO”;
- la produzione di TETRAPERM ABD (adulticida) con “market for chemical, organic | chemical, organic | Cutoff, U – GLO”;

Tutti i processi selezionati per la produzione di materie prime sono della tipologia “market for” e contengono al loro interno gli impatti relativi al trasporto delle materie prime.

Tabella 5.12 - Input ai modelli per cattura dei muridi e relativi processi Ecoinvent 3.10

Dato	Q.tà	UdM	Processo Ecoinvent 3.10
CATTURA MURIDI TRADIZIONALE			
Produzione PP per trappola	70.000	kg	market for polypropylene, granulate polypropylene, granulate Cutoff, U - GLO
Produzione esca	302.400	kg	market for chemical, organic chemical, organic Cutoff, U - GLO
Dispersione in aria di Difenacoum	1.36E-03	kg	Elementary flows/Emission to air/high population density
Dispersione in acqua di Difenacoum	1.51E-04	kg	Elementary flows/Emission to water/unspecified
Dispersione nel suolo di Difenacoum	1.36E-02	kg	Elementary flows/Emission to soil/agricultural
CATTURA MURIDI BIOPEM			
Produzione ABS per EKOMILLE	11.160	kg	market for acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer Cutoff, U - GLO
Produzione PS per EKOMILLE	2.340	kg	market for polystyrene, high impact polystyrene, high impact Cutoff, U - GLO
Produzione PP per EKOMILLE	1.440	kg	market for polypropylene, granulate polypropylene, granulate Cutoff, U - GLO
Produzione PPS per EKOMILLE	0.360	kg	market for polyphenylene sulfide polyphenylene sulfide Cutoff, U - GLO
Produzione ottone per EKOMILLE	1.080	kg	market for brass brass Cutoff, U - RoW
Produzione acciaio per EKOMILLE	0.900	kg	market for steel, chromium steel 18/8, hot rolled steel, chromium steel 18/8, hot rolled Cutoff, U - GLO
Produzione gomma per EKOMILLE	0.180	kg	market for synthetic rubber synthetic rubber Cutoff, U - GLO
Produzione comp. elettronici per EKOMILLE	0.540	kg	market for electronic component, passive, unspecified electronic component, passive, unspecified Cutoff, U - GLO

Dato	Q.tà	UdM	Processo Ecoinvent 3.10
Produzione batteria alcalina per EKOMILLE	0.108	kg	market for battery, Li-ion, NCA, rechargeable, prismatic battery, Li-ion, NCA, rechargeable, prismatic Cutoff, U - GLO
Produzione ABS per EKONTROL	0.125	kg	market for acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer Cutoff, U - GLO
Produzione gomma per EKONTROL	0.009	kg	market for synthetic rubber synthetic rubber Cutoff, U - GLO
Produzione comp. elettronici per EKONTROL	0.052	kg	market for printed wiring board, surface mounted, unspecified, Pb free printed wiring board, surface mounted, unspecified, Pb free Cutoff, U - GLO
Produzione batteria al litio per EKONTROL	0.108	kg	market for battery, Li-ion, NCA, rechargeable, prismatic battery, Li-ion, NCA, rechargeable, prismatic Cutoff, U - GLO
Produzione alcool isopropilico per EKOFIX	3.120	kg	market for 1-propanol 1-propanol Cutoff, U - GLO
Produzione isobutanolo per EKOFIX	0.200	kg	market for 1-butanol 1-butanol Cutoff, U - GLO
Produzione olio di vaselina per EKOFIX	0.680	kg	market for fatty alcohol fatty alcohol Cutoff, U - GLO
Trattamento acqua per EKOFIX	13.000	kg	tap water production, conventional treatment tap water Cutoff, U - Europe without Switzerland

Tabella 5.13 - Input ai modelli per cattura e prevenzione dei culicidi e relativi processi Ecoinvent 3.10

Dato	Q.tà	UdM	Processo Ecoinvent 3.10
CATTURA CULICIDI TRADIZIONALE			
Produzione Larvicida	0.700	kg	market for chemical, organic chemical, organic Cutoff, U - GLO
Dispersione in acqua larvicida	0.014	kg	Diflubenzuron Emission to water/unspecified
Produzione adulticida	126	kg	market for chemical, organic chemical, organic Cutoff, U - GLO
Dispersione in aria adulticida (permetrina)	16.506	kg	Permethrin Emission to air high population density
Dispersione in aria adulticida (tetrametrina)	2.646	kg	Tetramethrin Emission to air high population density
Dispersione in aria adulticida (piperonilbutossido)	10.332	kg	Piperonyl butoxide Emission to air high population density
Produzione metallo per atomizzatore a spalla	3.000	kg	market for steel, low-alloyed steel, low-alloyed Cutoff, U - GLO
Produzione alluminio per atomizzatore a spalla	4.000	kg	market for aluminium, wrought alloy aluminium, wrought alloy Cutoff, U - GLO
Produzione acciaio per atomizzatore a spalla	0.500	kg	market for steel, chromium steel 18/8, hot rolled steel, chromium steel 18/8, hot rolled Cutoff, U - GLO
Produzione ghisa per atomizzatore a spalla	1.000	kg	market for cast iron cast iron Cutoff, U - GLO

Dato	Q.tà	UdM	Processo Ecoinvent 3.10
Produzione plastica per atomizzatore a spalla	2.000	kg	market for polyethylene, high density, granulate polyethylene, high density, granulate Cutoff, U - GLO
Produzione nylon per atomizzatore a spalla	1.000	kg	market for nylon 6-6 nylon 6-6 Cutoff, U - RER
Consumo di benzina totale	27.000	l	Combustione benzina - GB
Produzione benzina totale	20.520	kg	petrol production, low-sulfur petrol, low-sulfur Cutoff, U - Europe without Switzerland
CATTURA CULICIDI BIOREPEM			
Produzione Bacillus th. Israelensis per larvicida	0.157	kg	market for chemical, organic chemical, organic Cutoff, U - GLO
Produzione amido per larvicida	0.543	kg	market for maize starch maize starch Cutoff, U - GLO
Dispersione in acqua/suolo larvicida	0.157	kg	Bacillus thuringiensis var. israelensis Emission to soil/agricultural
Produzione plastica per AQUALAB	0.176	kg	market for polyethylene, high density, granulate polyethylene, high density, granulate Cutoff, U - GLO
Produzione plastica per MOSQUITO MAGNET	9.030	kg	market for polyethylene, high density, granulate polyethylene, high density, granulate Cutoff, U - GLO
Produzione acciaio per MOSQUITO MAGNET	1.400	kg	market for steel, chromium steel 18/8, hot rolled steel, chromium steel 18/8, hot rolled Cutoff, U - GLO
Produzione batteria per MOSQUITO MAGNET	0.158	kg	market for battery, Li-ion, NCA, rechargeable, prismatic battery, Li-ion, NCA, rechargeable, prismatic Cutoff, U - GLO
Produzione GPL per MOSQUITO MAGNET	700.000	kg	market for liquefied petroleum gas liquefied petroleum gas Cutoff, U - Europe without Switzerland
Produzione bicarbonato d'ammonio	0.070	kg	market for ammonium bicarbonate ammonium bicarbonate Cutoff, U - RER

Dato	Q.tà	UdM	Processo Ecoinvent 3.10
per MOSQUITO MAGNET			
Produzione acido lattico per MOSQUITO MAGNET	0.070	kg	market for lactic acid lactic acid Cutoff, U - GLO

6 Valutazione degli impatti

La fase di Life Cycle Impact Assessment (LCIA) rappresenta una delle fasi principali dello studio di Life Cycle Assessment (LCA). Essa ha l'obiettivo di tradurre i dati raccolti durante l'inventario del ciclo di vita (LCI) in informazioni utili per comprendere gli impatti ambientali potenziali associati al sistema in studio. La LCIA consente di individuare e quantificare le diverse categorie di impatto valutando gli effetti lungo tutto il ciclo di vita di prodotti o servizi.

Un aspetto fondamentale nella LCIA riguarda la scelta tra due modalità di valutazione dell'impatto:

- **approccio midpoint:** valuta gli impatti ambientali in termini di categorie di impatto specifiche (come cambiamento climatico, acidificazione, eutrofizzazione), che sono considerate "intermedie" poiché non indicano direttamente gli effetti finali su salute umana, ecosistemi o risorse. La valutazione midpoint fornisce una misurazione dettagliata delle cause immediate degli impatti, permettendo di individuare quali emissioni o consumi di risorse contribuiscano di più a ciascuna categoria d'impatto;
- **approccio endpoint:** secondo cui gli impatti sono valutati su scala "finale" in termini di danno o rischio per tre aree di impatto principali: salute umana, qualità degli ecosistemi e disponibilità delle risorse. L'approccio endpoint fornisce una visione complessiva degli effetti finali sull'ambiente e sugli esseri viventi, ma è soggetto a maggiore incertezza a causa delle ipotesi aggiuntive necessarie per stimare gli effetti a lungo termine.

Nel presente studio è stato scelto l'utilizzo di un metodo midpoint per garantire una maggiore precisione e chiarezza nella valutazione delle categorie di impatto ambientale.

6.1 Metodo di impatto selezionato

Il metodo di impatto selezionato è la Product Environmental Footprint (PEF) nella sua versione più recente la 3.1 per la sua capacità di fornire una misura standardizzata e dettagliata degli impatti ambientali. La PEF, sviluppata dalla Commissione Europea, mira a creare un quadro comune per la valutazione delle prestazioni ambientali, utilizzabile in vari settori industriali integrando modelli scientificamente aggiornati e mettendo a disposizione un insieme di categorie di impatto di 16 indicatori midpoint.

Il metodo PEF 3.1 (Figura 6.15) suddivide infatti l'impatto ambientale in 16 categorie di impatto, ciascuna delle quali è progettata per identificare un particolare aspetto ambientale esprimendolo in unità di misura specifiche. Di seguito sono elencate e descritte le 16 categorie:

1. **Cambiamento climatico** (Climate change): misura le emissioni di gas serra, inclusi CO₂, metano e protossido di azoto, valutandone l'effetto serra. I risultati sono espressi in kg di CO₂ equivalente.
2. **Formazione di ossidanti fotochimici** (Photochemical ozone formation): analizza la formazione dello smog fotochimico, valutando i precursori di ozono troposferico (NO_x, VOC). I risultati sono in kg di NMVOC (composti organici volatili non metanici) equivalente.

3. **Degradazione dello strato di ozono** (Ozone depletion): misura l'impatto delle sostanze ozono-lesive, come CFC e HCFC, sull'assottigliamento della fascia di ozono stratosferico. L'unità di misura è il kg di CFC-11 equivalente.
4. **Acidificazione** (Acidification): misura il potenziale di acidificazione dovuto a sostanze come NO_x e SO₂, che possono danneggiare ecosistemi e biodiversità. L'unità è moli di ioni H⁺ equivalente.
5. **Eutrofizzazione terrestre** (Terrestrial eutrophication): valuta l'accumulo di nutrienti negli ecosistemi terrestri, con potenziali danni alla flora. Si misura in moli di azoto equivalente.
6. **Eutrofizzazione marina** (Marine eutrophication): misura l'accumulo di nutrienti nei corpi idrici marini, spesso causato da fosfati e nitrati, favorendo la crescita eccessiva di alghe. L'unità è kg di azoto equivalente.
7. **Eutrofizzazione delle acque dolci** (Freshwater eutrophication): in modo simile alla categoria precedente, valuta il contributo all'eccesso di nutrienti ma nelle acque dolci. Viene misurata in kg di fosforo equivalente.
8. **Uso delle risorse idriche** (Water use): analizza il consumo di acqua dolce, prendendo in considerazione la scarsità idrica locale. I risultati sono in metri cubi di acqua.
9. **Ecotossicità delle acque dolci** (Freshwater ecotoxicity): questa categoria misura il potenziale di tossicità dei composti chimici per gli organismi acquatici. Si esprime in Comparative Toxic Unit for ecosystem (CTUe).
10. **Tossicità per la salute umana, effetti cancerogeni** (Human toxicity cancer): valuta il rischio che l'esposizione a sostanze tossiche provochi effetti cancerogeni sulla salute umana, espressi in CTUh (Comparative Toxic Unit for humans).
11. **Tossicità per la salute umana, effetti non cancerogeni** (Human toxicity non-cancer): valuta il rischio che l'esposizione a sostanze tossiche provochi effetti non cancerogeni sulla salute umana, espressi in CTUh (Comparative Toxic Unit for humans).
12. **Formazione di particolato** (Particulate matter): considera l'impatto delle polveri fini (PM2.5 e PM10) sulla salute respiratoria e cardiovascolare. L'unità è l'incidenza di malattia associata.
13. **Utilizzo delle risorse abiotiche – metalli e minerali** (Resource use minerals and metals): questa categoria considera l'estrazione di risorse non rinnovabili, come i minerali e metalli e viene espressa in kg di antimonio equivalente.
14. **Utilizzo delle risorse abiotiche – combustibili fossili** (Resource use fossils): misura il consumo di combustibili fossili come carbone, petrolio e gas naturale, espressi in MJ (megajoule).
15. **Formazioni di radiazioni ionizzanti** (Ionising radiation human health): questa categoria misura l'impatto potenziale delle radiazioni ionizzanti, come quelle prodotte durante il ciclo del combustibile nucleare, sulla salute umana. Viene espressa in kBq U235

equivalente, valutando l'esposizione umana e il rischio associato alla radiazione per danni alla salute, come effetti a lungo termine sull'organismo.

16. **Utilizzo del suolo** (Land use): misura l'effetto dell'uso diretto o indiretto delle superfici terrestri, valutando l'impatto sull'ecosistema, sulla biodiversità e sui servizi ambientali associati al suolo. I risultati sono adimensionali e misurati in punti.

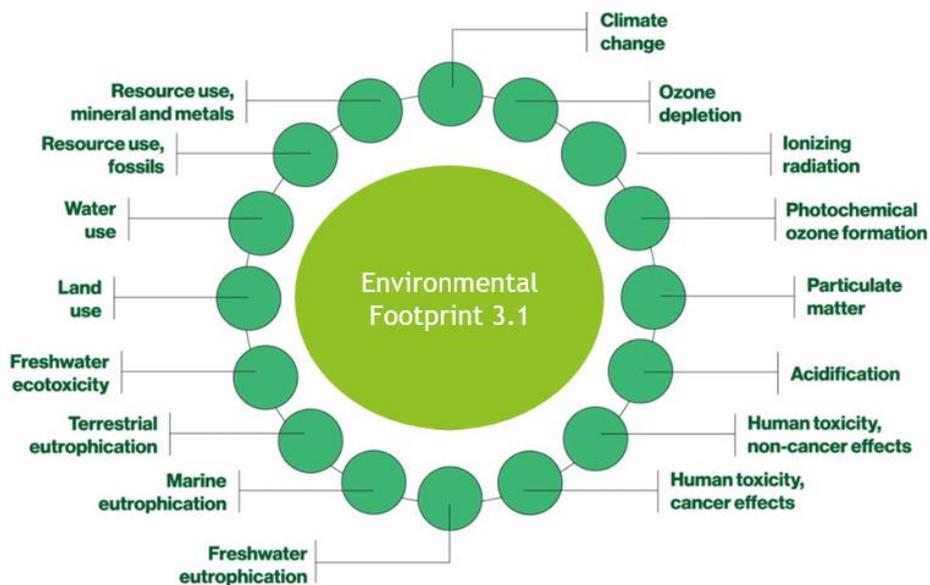


Figura 6.15 - Categorie d'impatto comprese all'interno del metodo Product Environmental Footprint 3.1

Per quanto concerne la valutazione della biomagnificazione, ossia l'accumulo e l'aumento di concentrazione di sostanze tossiche nei livelli superiori della catena alimentare, non è direttamente trattata nel metodo PEF a causa della complessità di modellizzazione. Inoltre, la PEF si concentra su categorie d'impatto midpoint, che forniscono informazioni intermedie sull'impatto ambientale. La biomagnificazione, essendo un effetto di accumulo finale a lungo termine, risulta di più difficile inquadramento in un modello midpoint. Le categorie di ecotossicità terrestre, acquatica e marina, per esempio, quantificano gli effetti tossici di una sostanza in un singolo comparto ambientale, ma non considerano l'accumulo attraverso più livelli della catena alimentare.

Tuttavia, ci sono iniziative e ricerche in corso per migliorare le metodologie di valutazione dell'impatto ambientale. Ad esempio, il Joint Research Centre (JRC) della Commissione Europea è coinvolto nell'aggiornamento delle metodologie della PEF per includere categorie aggiuntive di impatto, come la biodiversità e altre forme di ecotossicità.

6.2 Risultati

Nei seguenti paragrafi verranno riportati i risultati ottenuti dallo studio LCA condotto.

Relativamente ai metodi di cattura per i roditori sono stati sviluppati i seguenti scenari:

- **M-T1**: è lo scenario relativo al metodo tradizionale di cattura;
- **M-B1**: riferito al metodo BIOREPEM, è lo scenario che comprende l'utilizzo esclusivo di EKOMILLE ed EKONTROL;

- **M-B2:** secondo scenario relativo al metodo BIOREPEM, è il più completo e comprende, oltre all'utilizzo di EKOMILLE ed EKONTROL, anche l'utilizzo del liquido EKOFIX.

Per quanto concerne i metodi di cattura delle zanzare, gli scenari sono:

- **C-T1:** scenario di cattura tradizionale;
- **C-B1:** è lo scenario relativo al metodo BIOREPEM con l'utilizzo di CULINEX TAB, AQUALAB e MOSQUITO MAGNET;
- **C-B2:** è il secondo scenario del metodo BIOREPE, che prevede l'utilizzo esclusivamente di CULINEX TAB ed AQUALAB.

Per poter comparare in modo migliore i risultati ottenuti dallo studio è stata anche applicata la procedura di normalizzazione e pesatura della Product Environmental Footprint, che consiste in:

- **normalizzazione:** è il processo che rende confrontabili tra loro le diverse categorie d'impatto ambientale calcolate nell'analisi LCA. Ogni categoria di impatto ha unità di misura diverse che non permettono un confronto e/o una somma diretta tra i valori. La procedura di normalizzazione permette di trasformare i risultati dimensionali delle varie categorie di impatto in adimensionali. In questa fase, ciascun risultato d'impatto viene diviso per un valore di riferimento standardizzato, rappresentativo dell'impatto annuale di un cittadino europeo per la specifica categoria;
- **ponderazione:** è la fase in cui i valori normalizzati delle diverse categorie d'impatto vengono moltiplicati per fattori di peso, per dare una priorità relativa a ciascuna categoria d'impatto. Questi pesi riflettono l'importanza ambientale di ciascun impatto e sono generalmente derivati da giudizi di esperti o consultazioni pubbliche.

La procedura di normalizzazione e ponderazione permette quindi di comparare a livello globale le categorie di impatto. Sommando il valore ottenuto per ogni categoria è possibile ottenere un singolo indicatore di impatto globale. La normalizzazione permette inoltre di individuare le categorie d'impatto più importanti, ovvero quelle che contribuiscono all'80% dell'impatto ambientale.

In Tabella 6.14 si riportano i valori di normalizzazione e pesatura utilizzati per l'elaborazione dei risultati.

Tabella 6.14 - Fattori di normalizzazione e ponderazione Product Environmental Footprint 3.1

Categoria d'impatto	Fattori normalizzazione	Fattori di ponderazione
Acidification	55.56954123	0.062
Climate change	7553.083163	0.2106
Ecotoxicity freshwater	56716.58634	0.0192
Eutrophication freshwater	1.606852128	0.025
Eutrophication marine	19.54518155	0.0296
Eutrophication terrestrial	176.7549998	0.0371

Categoria d'impatto	Fattori normalizzazione	Fattori di ponderazione
Human toxicity cancer	1.73E-5	0.0213
Human toxicity non-cancer	1.29E-4	0.0184
Ionising radiation (human health)	4220.16339	0.0501
Land use	819498.1829	0.0794
Ozone depletion	0.052348383	0.0631
Particulate matter	5.95E-4	0.0896
Photochemical ozone formation (human health)	40.85919773	0.0478
Resource use fossils	65004.25966	0.0832
Resource use minerals and metals	0.063622615	0.0755
Water use	11468.70864	0.0851

6.2.1 Muridi

Di seguito vengono riportati i risultati dell'analisi LCA relativamente ai metodi di cattura dei roditori, ottenuti utilizzando il metodo di impatto EF v. 3.1.

In Tabella 6.15 si riportano i risultati dimensionali delle categorie d'impatto analizzate per i tre scenari relativi ai metodi di cattura dei muridi.

Tabella 6.15 - Risultati ottenuti per le metodologie di cattura dei muridi secondo il metodo EF v. 3.1 e confronto con metodologia di cattura standard

Categoria d'impatto	Unità di misura	B1 ³	B2 ⁴	T1 ⁴	B1 Vs T1	B2 Vs T1
Acidification	mol H+ eq	1.26	1.41	4.17	INF	INF
Climate change	kg CO2 eq	135.39	162.37	1115.70	INF	INF
Ecotoxicity freshwater	CTUe	3149.94	3365.93	11777.10	INF	INF
Eutrophication freshwater	kg P eq	0.121	0.132	0.246	INF	INF
Eutrophication marine	kg N eq	0.17	0.20	0.81	INF	INF
Eutrophication terrestrial	mol N eq	1.77	2.06	8.34	INF	INF
Human toxicity cancer	CTUh	4.68E-07	5.28E-07	1.13E-05	INF	INF
Human toxicity non-cancer	CTUh	5.62E-06	5.76E-06	8.56E-06	INF	INF
Ionising radiation (human health)	kBq U235 eq	7.60	8.75	41.73	INF	INF
Land use	dimensionless (pt)	594.44	748.99	2943.83	INF	INF
Ozone depletion	kg CFC11 eq	2.38E-06	2.73E-06	4.01E-05	INF	INF
Particulate matter	disease incidence	8.31E-06	9.54E-06	4.91E-05	INF	INF
Photochemical ozone formation (human health)	kg NMVOC eq	0.65	0.83	4.58	INF	INF
Resource use fossils	MJ (net calorific)	2304.20	2756.42	26049.17	INF	INF
Resource use minerals and metals	kg Sb eq	0.03	0.03	0.01	SUP	SUP

³ B1: EKOMILLE + EKONTROL; B2: EKOMILLE + EKONTROL + EKOFIX, T1: standard

Categoria d'impatto	Unità di misura	B1 ³	B2 ⁴	T1 ⁴	B1 Vs T1	B2 Vs T1
Water use	m3 world eq	73.22	91.99	411.37	INF	INF

Confrontando i risultati ottenuti è possibile vedere che la metodologia BIOREPPEM, in entrambi gli scenari ha un impatto ambientale sempre inferiore rispetto alla metodologia tradizionale tranne che per la categoria “Resource use minerals and metals”.

Sono poi state valutate le categorie d'impatto significative (Tabella 6.16), secondo la procedura di normalizzazione e ponderazione della PEF. Valutando lo scenario T1, più dell'80% dell'impatto totale è dato dalle seguenti categorie:

- *Resource use fossils* (27.7%);
- *Climate change* (25.8%);
- *Human toxicity cancer* (11.6%);
- *Resource use minerals and metals* (6.9%);
- *Particulate matter* (6.1%);
- *Photochemical ozone formation (humal health)* (4.4%).

Tabella 6.16 - Valutazione delle categorie d'impatto significative, secondo metodo EF v. 3.1, per lo scenario T1 di cattura muridi

Categoria impatto	T1 (% impatto)
Resource use fossils	27.7
Climate change	25.8
Human toxicity cancer	11.6
Resource use minerals and metals	6.9
Particulate matter	6.1
Photochemical ozone formation (human health)	4.4
Acidification	3.9
Eutrophication freshwater	3.6
Ecotoxicity freshwater	3.3
Water use	2.5
Eutrophication terrestrial	1.5
Human toxicity non-cancer	1.0
Eutrophication marine	1.0
Ionising radiation (human health)	0.4
Land use	0.2
Ozone depletion	0.0

Per ampliare ulteriormente le categorie di impatto significative, è stato escluso dal conteggio dell'impatto totale, l'utilizzo di risorse (“Resource use fossils”, “Resource use minerals and metals”). Ciò ha ampliato le categorie di interesse, introducendo anche *Acidification* e *Eutrophication freshwater*.

In Tabella 6.17 si riportano i valori normalizzati e ponderati delle categorie d'impatto significative per quanto concerne i metodi di cattura dei roditori.

Tabella 6.17 – Confronto risultati normalizzati e ponderati relativamente alle categorie d’impatto significative per muridi

Impact	B1	B2	T1	B1 vs T1	B2 vs T1
Resource use minerals and metals	3.62 E-02	3.64 E-02	8.30 E-03	SUP	SUP
Climate change	3.78 E-03	4.53 E-03	3.11 E-02	INF	INF
Resource use fossils	2.95 E-03	3.53 E-03	3.33 E-02	INF	INF
Eutrophication freshwater	2.11 E-03	2.31 E-03	4.29 E-03	INF	INF
Acidification	1.40 E-03	1.57 E-03	4.65 E-03	INF	INF
Particulate matter	1.25 E-03	1.44 E-03	7.40 E-03	INF	INF
Photochemical ozone formation (hh)	7.60 E-04	9.77 E-04	5.35 E-03	INF	INF
Human toxicity cancer	5.76 E-04	6.50 E-04	1.39 E-02	INF	INF

Gli scenari BIOREPEM sono sempre meno impattanti dello scenario tradizionale T1 in tutte le categorie d’impatto significative, tranne che per la categoria “Resource use minerals and metals” (Figura 6.16).

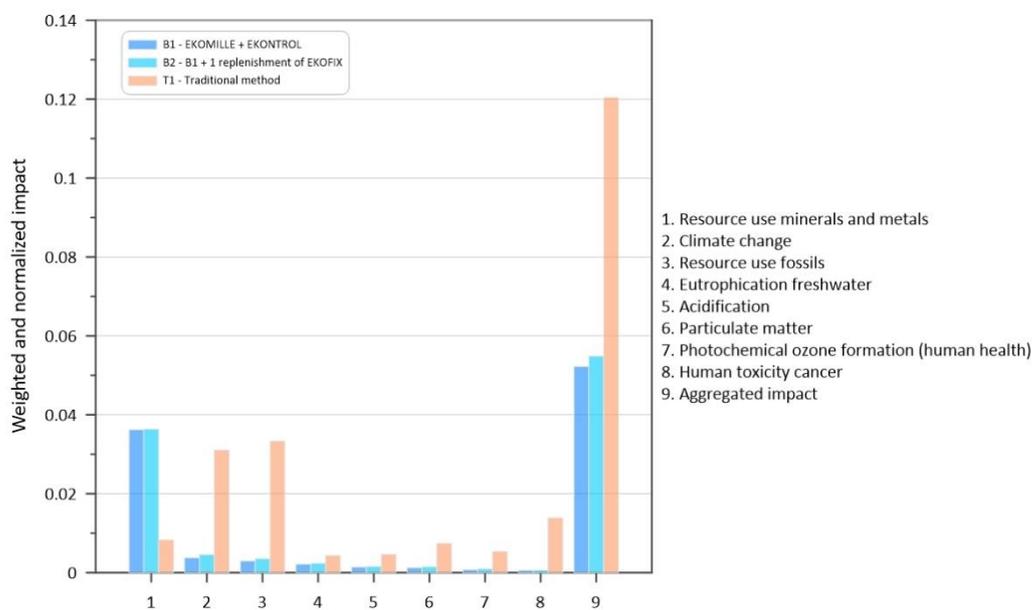


Figura 6.16 - Risultati normalizzati e ponderati per le categorie d’impatto significative relativamente ai metodi di cattura dei muridi

Dall’analisi di dettaglio del contributo delle diverse fasi per la categoria d’impatto “Resource use minerals and metals”, sia per lo scenario B1 (Tabella 6.18) che per lo scenario B2 (Tabella 6.19) più del 76% dell’impatto è dovuto alla produzione di EKOMILLE, di questo più del 55% è dovuto dalla produzione e dal trasporto dell’ottone e più del 19% dalla produzione e dal trasporto delle componenti elettroniche necessari per la produzione del dispositivo EKOMILLE.

Tabella 6.18 - Contribution tree relativo alla categoria d'impatto "Resource use minerals and metals" per lo scenario di cattura di muridi B1

Contributo [%]	Processo
100.00	Utilizzo - BIOPEM (B1)
76.61	Produzione EKOMILLE
55.34	market for electronic component, passive, unspecified electronic component, passive, unspecified Cutoff, U - GLO
19.71	market for brass brass Cutoff, U - RoW
0.88	market for battery, Li-ion, NCA, rechargeable, prismatic battery, Li-ion, NCA, rechargeable, prismatic Cutoff, U - GLO
0.37	market for steel, chromium steel 18/8, hot rolled steel, chromium steel 18/8, hot rolled Cutoff, U - GLO
0.11	market for polypropylene, granulate polypropylene, granulate Cutoff, U - GLO
0.09	market for acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer Cutoff, U - GLO
0.08	market for polyphenylene sulfide polyphenylene sulfide Cutoff, U - GLO
0.03	market for synthetic rubber synthetic rubber Cutoff, U - GLO
0.01	market for polystyrene, high impact polystyrene, high impact Cutoff, U - GLO
23.39	Produzione EKONTROL
22.50	market for printed wiring board, surface mounted, unspecified, Pb free printed wiring board, surface mounted, unspecified, Pb free Cutoff, U - GLO
0.88	market for battery, Li-ion, NCA, rechargeable, prismatic battery, Li-ion, NCA, rechargeable, prismatic Cutoff, U - GLO
0.00	market for synthetic rubber synthetic rubber Cutoff, U - GLO
0.00	market for acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer Cutoff, U - GLO

Tabella 6.19 - Contribution tree relativo alla categoria d'impatto "Resource use minerals and metals" per lo scenario di cattura di muridi B2

Contributo%	Processo
100.00	Utilizzo - BIOPEM (B2)
76.32	Produzione EKOMILLE
55.13	market for electronic component, passive, unspecified electronic component, passive, unspecified Cutoff, U - GLO
19.63	market for brass brass Cutoff, U - RoW
0.88	market for battery, Li-ion, NCA, rechargeable, prismatic battery, Li-ion, NCA, rechargeable, prismatic Cutoff, U - GLO
0.37	market for steel, chromium steel 18/8, hot rolled steel, chromium steel 18/8, hot rolled Cutoff, U - GLO
0.11	market for polypropylene, granulate polypropylene, granulate Cutoff, U - GLO
0.09	market for acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer Cutoff, U - GLO
0.08	market for polyphenylene sulfide polyphenylene sulfide Cutoff, U - GLO
0.03	market for synthetic rubber synthetic rubber Cutoff, U - GLO
0.01	market for polystyrene, high impact polystyrene, high impact Cutoff, U - GLO
23.30	Produzione EKONTROL
22.42	market for printed wiring board, surface mounted, unspecified, Pb free printed wiring board, surface mounted, unspecified, Pb free Cutoff, U - GLO
0.88	market for battery, Li-ion, NCA, rechargeable, prismatic battery, Li-ion, NCA, rechargeable, prismatic Cutoff, U - GLO
0.00	market for synthetic rubber synthetic rubber Cutoff, U - GLO
0.00	market for acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer Cutoff, U - GLO
0.38	Produzione EKOFIX
0.31	market for 1-propanol 1-propanol Cutoff, U - GLO
0.05	market for fatty alcohol fatty alcohol Cutoff, U - GLO
0.01	market for 1-butanol 1-butanol Cutoff, U - GLO
0.00	tap water production, conventional treatment tap water Cutoff, U - Europe without Switzerland

L'impatto aggregato (Figura 6.17), cioè la somma dei risultati di tutte le categorie d'impatto normalizzati e ponderati, è sempre inferiore per gli scenari BIOREPTEM rispetto al tradizionale, in particolare è pari a:

- 0.0522 per lo scenario B1;
- 0.0549 per lo scenario B2;
- 0.1204 per lo scenario T1.

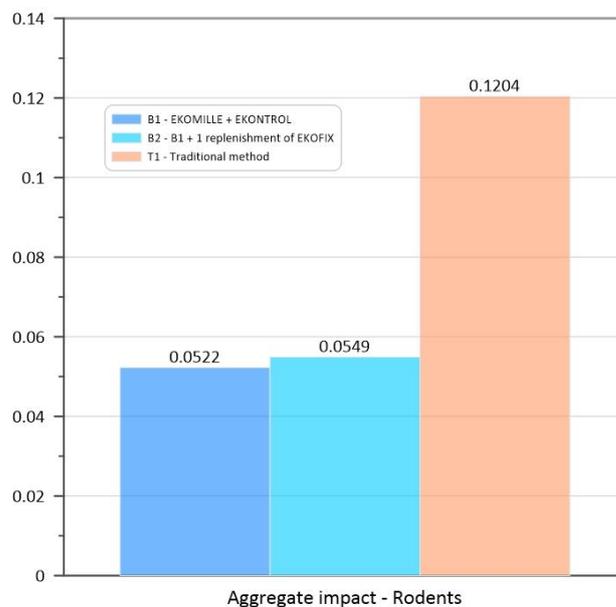


Figura 6.17 - Impatto aggregato per gli scenari di cattura dei muridi

Si può quindi concludere che globalmente l'impatto delle metodologie BIOREPTEM per la cattura di muridi è inferiore rispetto a quanto previsto per i metodi di cattura standard.

6.2.2 Culicidi

Nel presente paragrafo vengono riportati i risultati relativi ai metodi di cattura dei culicidi, ottenuti utilizzando il metodo di impatto EF v. 3.1

In Tabella 6.20 si riportano i risultati dimensionali delle categorie d'impatto analizzate per i tre scenari relativi ai metodi di cattura dei culicidi. Lo scenario B2, relativo all'utilizzo di CULINEX TAB ed AQUALB ha un impatto inferiore rispetto alla metodologia standard per tutte le categorie d'impatto. Lo scenario B1, che, oltre a CULINEX TAB ed AQUALAB, comprende anche l'utilizzo di MOSQUITO MAGNET è più impattante, rispetto alla metodologia standard, per le seguenti categorie d'impatto:

- *Acidification;*
- *Climate change;*
- *Eutrophication marine;*
- *Eutrophication terrestrial;*
- *Land use;*
- *Ozone depletion;*

- *Particulate matter*;
- *Photochemical ozone formation (human health)*;
- *Resource use fossils*.

Tabella 6.20 - Risultati ottenuti per le metodologie di cattura dei culicidi secondo il metodo EF v. 3.1 e confronto con metodologia di cattura standard

Categoria d'impatto	Unità di misura	B1 ⁴	B2 ⁵	T1 ⁵	B1 Vs T1	B2 Vs T1
Acidification	mol H+ eq	4.57	0.01	1.97	SUP	INF
Climate change	kg CO2 eq	813.71	1.67	524.37	SUP	INF
Ecotoxicity freshwater	CTUe	2622.34	29.47	2993289.64	INF	INF
Eutrophication freshwater	kg P eq	0.05	0.00	0.10	INF	INF
Eutrophication marine	kg N eq	0.77	0.00	0.36	SUP	INF
Eutrophication terrestrial	mol N eq	8.25	0.03	3.74	SUP	INF
Human toxicity cancer	CTUh	3.10E-06	1.03E-08	8.24E-06	INF	INF
Human toxicity non-cancer	CTUh	3.67E-06	1.51E-08	1.49E-05	INF	INF
Ionising radiation (human health)	kBq U235 eq	14.12	0.06	15.70	INF	INF
Land use	dimensionless (pt)	2716.23	48.42	1162.23	SUP	INF
Ozone depletion	kg CFC11 eq	5.26E-05	4.35E-08	1.63E-05	SUP	INF
Particulate matter	disease incidence	3.55E-05	9.15E-08	2.33E-05	SUP	INF
Photochemical ozone formation (human health)	kg NMVOC eq	7.30	0.01	1.95	SUP	INF
Resource use fossils	MJ (net calorific)	41503.22	31.27	10460.88	SUP	INF
Resource use minerals and metals	kg Sb eq	0.00	0.00	0.00	INF	INF
Water use	m3 world eq	80.37	2.71	175.62	INF	INF

Sono poi state valutate le categorie d'impatto significative (Tabella 6.21), secondo la procedura di normalizzazione e ponderazione della PEF. Valutando lo scenario T1, il 94.8% dell'impatto totale è dato dalla sola categoria "*Ecotoxicity freshwater*".

Tabella 6.21 - Valutazione delle categorie d'impatto significative, secondo metodo PEF v. 3.1, per lo scenario T1 di cattura culicidi

Categoria impatto	T1 (% impatto)
Resource use fossils	1.3
Climate change	1.4
Human toxicity cancer	0.9
Resource use minerals and metals	0.3
Particulate matter	0.3
Photochemical ozone formation (human health)	0.2
Acidification	0.2
Eutrophication freshwater	0.2
Ecotoxicity freshwater	94.8

⁴ B1: CULINEX TAB + AQUALAB + MOSQUITO MAGNET; B2: CULINEX TAB + AQUALAB+ EKOFIX, T1: standard

Categoria impatto	T1 (% impatto)
Water use	0.1
Eutrophication terrestrial	0.1
Human toxicity non-cancer	0.2
Eutrophication marine	0.1
Ionising radiation (human health)	0.0
Land use	0.0
Ozone depletion	0.0

Per ampliare ulteriormente le categorie di impatto significative, è stato quindi esclusa dal conteggio dell'impatto totale, aggiungendo così alle categorie di impatto significative anche:

- *Resources use fossils* (23.9%);
- *Climate change* (26.1%);
- *Human toxicity cancer* (18.1%);
- *Resource use minerals and metals* (5.5%);
- *Particulate matter* (6.2%);
- *Photochemical ozone formation (human health)* (4.1%).

In Tabella 6.22 Tabella 6.17 si riportano i valori normalizzati e ponderati delle categorie d'impatto significative per quanto concerne i metodi di cattura delle zanzare.

Tabella 6.22 – Confronto risultati normalizzati e ponderati relativamente alle categorie d'impatto significative per culicidi

Impact	B1	B2	T1	B1 vs T1	B2 vs T1
Resource use minerals and metals	1.470E-03	1.592E-05	3.062E-03	INF	INF
Climate change	2.269E-02	4.663E-05	1.462E-02	SUP	INF
Resource use fossils	5.312E-02	4.003E-05	1.339E-02	SUP	INF
Particulate matter	5.347E-03	1.377E-05	3.506E-03	SUP	INF
Ecotoxicity freshwater	8.877E-04	9.976E-06	1.013E+00	INF	INF
Photochemical ozone formation (human health)	8.535E-03	8.262E-06	2.284E-03	SUP	INF
Human toxicity cancer	3.814E-03	1.273E-05	1.014E-02	INF	INF

Lo scenario B2 è sempre meno impattante dello scenario tradizionale T1 in tutte le categorie d'impatto significative". Lo scenario B1 risulta più impattante rispetto al tradizionale T1 per le seguenti categorie d'impatto:

- *Climate change*;
- *Resource use fossils*;
- *Particulate matter*;
- *Photochemical ozone formation (human health)*.

In Figura 6.18 sono riportati in formato grafico i risultati normalizzati e ponderati ottenuti. Per una migliore resa grafica, data la differenza in termini di ordine di grandezza dei risultati, è stato fatto un taglio sull'asse delle y, al valore di 1×10^{-3} .

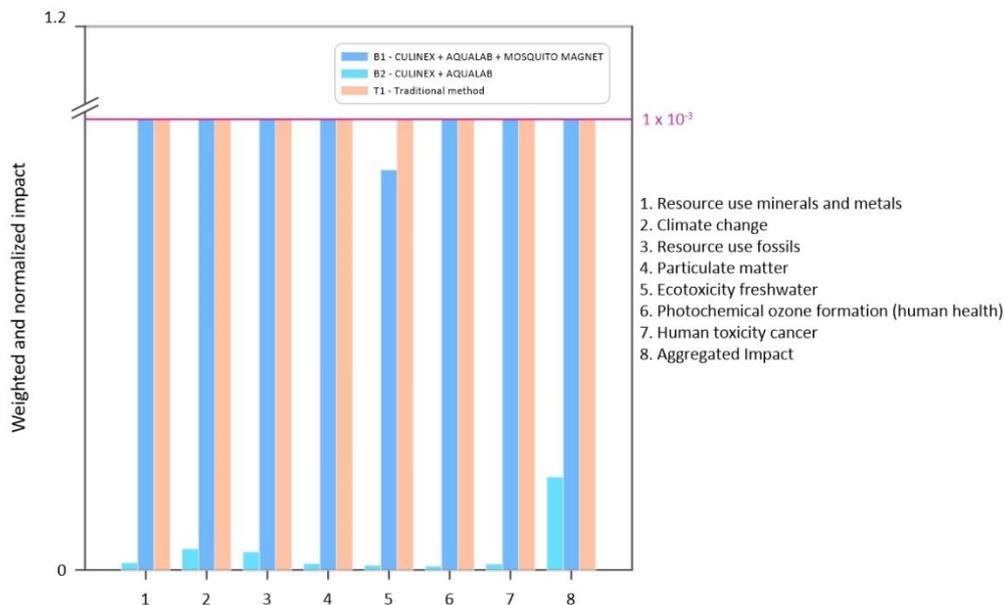


Figura 6.18 - Risultati normalizzati e ponderati per le categorie d'impatto significative relativamente ai metodi di cattura dei culicidi

In Figura 6.19 si riporta il confronto dei risultati normalizzati e ponderati per lo scenario B1 e T1

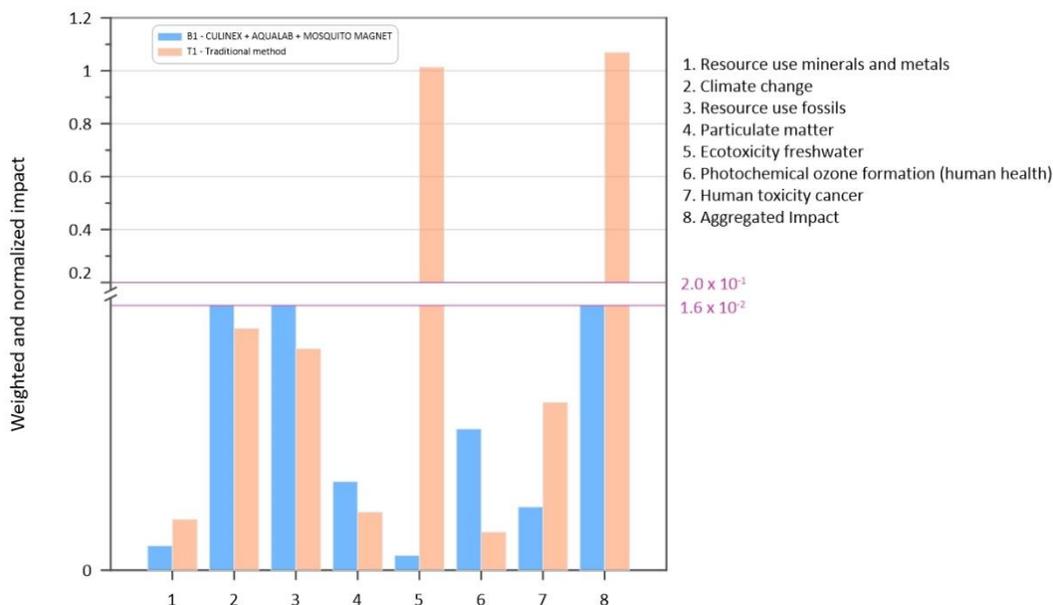


Figura 6.19- Risultati normalizzati e ponderati per le categorie d'impatto significative relativamente ai metodi di cattura dei culicidi scenario B1 e T1

Si ricorda comunque che, la categoria d'impatto significativa ai fini della PEF è "Ecotoxicity freshwater", che copre più del 94% dell'impatto totale. Relativamente a questa categoria l'impatto degli scenari BIOREPEM è sempre inferiore rispetto al tradizionale.

Da Tabella 6.23 a Tabella 6.26 si riporta la valutazione del contributo delle categorie di impatto per cui lo scenario B1 è peggiorativo rispetto a T1, cioè:

- Climate change;

- *Resource use fossils;*
- *Particulate matter;*
- *Photochemical ozone formation (human health).*

Come si evince dalle Tabelle a seguire, il maggior contributo a questa categorie è dovuto all'utilizzo del Mosquito Magnet, ed in particolare alla produzione del GPL utilizzato, che impatta per più del 90% sul totale per tutte le categorie in esame.

Tabella 6.23 - Contribution tree relativo alla categoria d'impatto "Climate change" per lo scenario di cattura di culicidi B1

Contributo [%]	Processo
100.00	Culicidi - Metodo Biorepem (B1)
95.09	Utilizzo Mosquito Magnet
95.04	market for liquefied petroleum gas liquefied petroleum gas Cutoff, U - Europe without Switzerland
0.04	market for lactic acid lactic acid Cutoff, U - GLO
0.01	market for ammonium bicarbonate ammonium bicarbonate Cutoff, U - RER
4.70	Produzione Mosquito Magnet
3.44	market for polyethylene, high density, granulate polyethylene, high density, granulate Cutoff, U - GLO
0.92	market for steel, chromium steel 18/8, hot rolled steel, chromium steel 18/8, hot rolled Cutoff, U - GLO
0.33	market for battery, Li-ion, NCA, rechargeable, prismatic battery, Li-ion, NCA, rechargeable, prismatic Cutoff, U - GLO
0.14	Produzione Culinex
0.08	market for maize starch maize starch Cutoff, U - GLO
0.06	market for chemical, organic chemical, organic Cutoff, U - GLO
0.07	Produzione Aqualab
0.07	market for polyethylene, high density, granulate polyethylene, high density, granulate Cutoff, U - GLO
0.00	Utilizzo Culinex

Tabella 6.24 - Contribution tree relativo alla categoria d'impatto "Resource use fossils" per lo scenario di cattura di culicidi B1

Contributo [%]	Processo
100.00	Culicidi - Metodo Biorepem (B1)
97.87	Utilizzo Mosquito Magnet
97.86	market for liquefied petroleum gas liquefied petroleum gas Cutoff, U - Europe without Switzerland
0.01	market for lactic acid lactic acid Cutoff, U - GLO
0.00	market for ammonium bicarbonate ammonium bicarbonate Cutoff, U - RER
2.05	Produzione Mosquito Magnet
1.76	market for polyethylene, high density, granulate polyethylene, high density, granulate Cutoff, U - GLO
0.20	market for steel, chromium steel 18/8, hot rolled steel, chromium steel 18/8, hot rolled Cutoff, U - GLO
0.09	market for battery, Li-ion, NCA, rechargeable, prismatic battery, Li-ion, NCA, rechargeable, prismatic Cutoff, U - GLO
0.04	Produzione Culinex
0.03	market for chemical, organic chemical, organic Cutoff, U - GLO
0.02	market for maize starch maize starch Cutoff, U - GLO
0.03	Produzione Aqualab
0.03	market for polyethylene, high density, granulate polyethylene, high density, granulate Cutoff, U - GLO
0.00	Utilizzo Culinex

Tabella 6.25 - Contribution tree relativo alla categoria d'impatto "Particulate matter" per lo scenario di cattura di culicidi B1

Contributo [%]	Processo
100.00	Culicidi - Metodo Biorepem (B1)
94.63	Utilizzo Mosquito Magnet
94.58	market for liquefied petroleum gas liquefied petroleum gas Cutoff, U - Europe without Switzerland
0.04	market for lactic acid lactic acid Cutoff, U - GLO
0.00	market for ammonium bicarbonate ammonium bicarbonate Cutoff, U - RER
5.11	Produzione Mosquito Magnet
2.82	market for polyethylene, high density, granulate polyethylene, high density, granulate Cutoff, U - GLO
1.68	market for steel, chromium steel 18/8, hot rolled steel, chromium steel 18/8, hot rolled Cutoff, U - GLO
0.61	market for battery, Li-ion, NCA, rechargeable, prismatic battery, Li-ion, NCA, rechargeable, prismatic Cutoff, U - GLO
0.20	Produzione Culinex
0.15	market for maize starch maize starch Cutoff, U - GLO
0.06	market for chemical, organic chemical, organic Cutoff, U - GLO
0.06	Produzione Aqualab
0.06	market for polyethylene, high density, granulate polyethylene, high density, granulate Cutoff, U - GLO
0.00	Utilizzo Culinex

Tabella 6.26 - Contribution tree relativo alla categoria d'impatto "Photochemical ozone formation (human health)" per lo scenario di cattura di culicidi B1

Contributo [%]	Processo
100.00	Culicidi - Metodo Biorepem (B1)
97.59	Utilizzo Mosquito Magnet
97.56	market for liquefied petroleum gas liquefied petroleum gas Cutoff, U - Europe without Switzerland
0.02	market for lactic acid lactic acid Cutoff, U - GLO
0.00	market for ammonium bicarbonate ammonium bicarbonate Cutoff, U - RER
2.31	Produzione Mosquito Magnet
1.79	market for polyethylene, high density, granulate polyethylene, high density, granulate Cutoff, U - GLO
0.35	market for steel, chromium steel 18/8, hot rolled steel, chromium steel 18/8, hot rolled Cutoff, U - GLO
0.18	market for battery, Li-ion, NCA, rechargeable, prismatic battery, Li-ion, NCA, rechargeable, prismatic Cutoff, U - GLO
0.06	Produzione Culinex
0.04	market for maize starch maize starch Cutoff, U - GLO
0.03	market for chemical, organic chemical, organic Cutoff, U - GLO
0.03	Produzione Aqualab
0.03	market for polyethylene, high density, granulate polyethylene, high density, granulate Cutoff, U - GLO
0.00	Utilizzo Culinex

L'impatto aggregato (Figura 6.20Figura 6.17), cioè la somma dei risultati di tutte le categorie d'impatto normalizzati e ponderati, è sempre inferiore per gli scenari BIOREPEM rispetto al tradizionale, in particolare è pari a:

- 0.1063 per lo scenario B1;
- 0.0002 per lo scenario B2;
- 1.0694 per lo scenario T1.

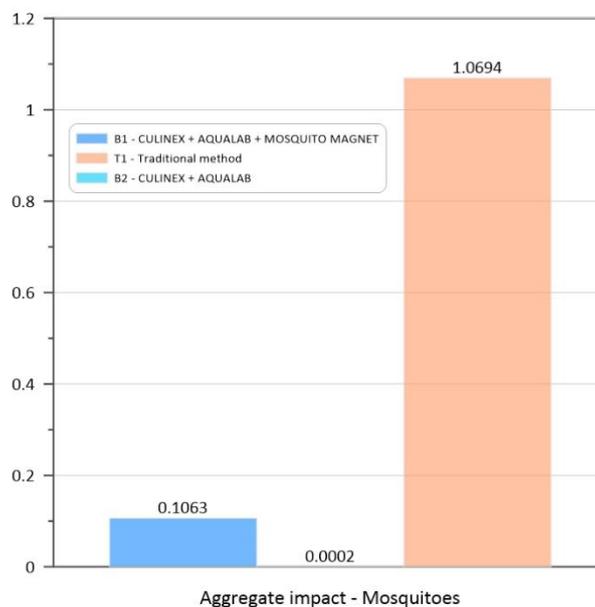


Figura 6.20 - Impatto aggregato per gli scenari di cattura dei culicidi

Si può quindi concludere che globalmente l'impatto delle metodologie BIOREPEM per la cattura di culicidi è inferiore di svariati ordini di grandezza rispetto a quanto previsto per i metodi di cattura standard.

7 Analisi dell'incertezza

La stima dell'incertezza è una tematica ampiamente dibattuta e fondamentale nell'ambito LCA, indispensabile per individuare l'incidenza dell'incertezza relativa ai dati in ingresso al sistema. Spesso, infatti, l'incertezza legata ad uno studio LCA può assumere un ruolo importante, al punto che rappresentare i risultati come valori puntuali possa diventare fuorviante.

All'interno di uno studio LCA esistono due tipologie di incertezza:

- la normale incertezza legata alla determinazione del parametro all'interno del sistema, che può essere calcolata direttamente dai dati in input;
- la definizione del valore associato al parametro da modellare in un altro sistema simile (Steen B., 1997).

Spesso, a causa di un'unica sorgente di dati, può risultare difficile se non impossibile valutare quantitativamente l'incertezza di un dato.

Per questo il database Ecoinvent utilizza una procedura semplificata che associa valori quantitativi ad una valutazione qualitativa degli indicatori di quantità dei dati, attraverso una matrice di pedigree.

La *Pedigree Matrix* è stata introdotta nell'analisi dell'incertezza da Funtowicz e Racetz nel 1990 con il fine di trasformare un giudizio qualitativo in una serie di criteri specifici in scala numerica, con i criteri come colonne della matrice e i valori numerici come righe. I criteri considerati sono:

- affidabilità (U_1);
- completezza (U_2);
- correlazione temporale (U_3);
- correlazione geografica (U_4);
- ulteriori correlazioni tecnologiche (U_5).

In questo modo ad ogni singolo criterio viene assegnato dall'operatore un punteggio da 1 a 5.

Ad ogni punteggio è associato un fattore di incertezza (Tabella 7.27), utilizzato per il calcolo della deviazione standard secondo la formula presentata da Weidema et al. (1996).

Oltre a ciò, è presente nella formula di calcolo un fattore di incertezza di base. Tale fattore tiene conto dell'incertezza di base intrinseca nei dati: possono esserci fluttuazioni nel tempo, errori di misura, ecc.

Tabella 7.27 Fattori di incertezza per calcolo deviazione standard (Frischknecht Jungbluth 2004)

Indicatore	1	2	3	4	5
Affidabilità (U_1)	1.00	1.05	1.10	1.20	1.50
Completezza (U_2)	1.00	1.02	1.05	1.10	1.20
Correlazione temporale (U_3)	1.00	1.03	1.10	1.20	1.50

Indicatore	1	2	3	4	5
Correlazione geografica (U₄)	1.00	1.01	1.02	---	1.10
Ulteriori correlazioni tecnologiche (U₅)	1.00	---	1.20	1.50	2.00

La formula di calcolo della deviazione standard geometrica (Weidema et al. 1996) viene applicata in Ecoinvent sotto l'assunzione che gli scambi elementari e intermedi siano distribuiti in modo log-normale.

L'analisi dell'incertezza è stata condotta per gli scenari BIOREPEM B2 relativo alla cattura di muridi e B1 per quella dei culicidi in quanto sono gli scenari più ricchi di input in quanto:

- nello scenario B2 per la cattura di muridi si analizza l'utilizzo dei dispositivi EKOMILLE, EKONTROL e del liquido desodorizzante EKOFIX;
- nello scenario B1 per la cattura di culicidi si studia l'utilizzo dei dispositivi CULINEX TAB, AQUALAB e MOSQUITO MAGNET.

In Tabella 7.28 si riportano i valori dei criteri assegnati per i fattori di caratterizzazione relativi allo scenario B2 per la cattura di muridi.

Tabella 7.28 - Valori assegnati ai criteri di incertezza – Metodo di cattura muridi scenario B2

Flow	U1	U2	U3	U4	U5
EKOMILLE					
acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer	2	1	1	2	3
battery, Li-ion, NCA, rechargeable, prismatic	2	1	1	2	3
brass	2	1	1	2	3
electronic component, passive, unspecified	2	1	1	2	3
polyphenylene sulfide	2	1	1	2	3
polypropylene, granulate	2	1	1	2	3
polystyrene, high impact	2	1	1	2	3
steel, chromium steel 18/8, hot rolled	2	1	1	2	3
synthetic rubber	2	1	1	2	3
EKONTROL					
acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer	2	1	1	2	3
battery, Li-ion, NCA, rechargeable, prismatic	2	1	1	2	3
printed wiring board, surface mounted, unspecified, Pb free	2	1	1	2	3
synthetic rubber	2	1	1	2	3
EKOFIX					
1-butanol	2	2	1	2	3
1-propanol	2	2	1	2	3
fatty alcohol	2	2	1	2	4
tap water	2	2	1	2	3

In Tabella 7.29 sono riportati i valori assegnati ai fattori di caratterizzazione relativi allo scenario B1 per la cattura di culicidi.

Tabella 7.29 - Valori assegnati ai criteri di incertezza – Metodo di cattura culicidi scenario B1

Flow	U1	U2	U3	U4	U5
AQUALAB - produzione					
polyethylene, high density, granulate	3	1	1	2	3
CULINEX - produzione					
chemical, organic	3	1	1	2	3
maize starch	3	1	1	2	3
MOSQUITO MAGNET - produzione					
battery, Li-ion, NCA, rechargeable, prismatic	3	1	1	2	3
polyethylene, high density, granulate	3	1	1	2	3
steel, chromium steel 18/8, hot rolled	3	1	1	2	3
UTILIZZO CULINEX					
Bacillus thuringiensis var. israeliensis	1	1	1	1	1)
UTILIZZO MOSQUITO MAGNET					
ammonium bicarbonate	3	1	1	2	3
lactic acid	3	1	1	2	3
liquefied petroleum gas	2	1	1	2	3

L'analisi quantitativa dell'incertezza può essere effettuata attraverso un campionamento statistico o mediante formule analitiche basate sulla propagazione dell'errore. Esistono molti possibili approcci matematici per valutare la propagazione dell'incertezza dei dati o dei fattori di caratterizzazione, il cui più comune è l'analisi di Monte Carlo (Groen et al. 2014). Altri approcci includono l'espansione in serie di Taylor e la "fuzzy interval arithmetic". Lo scopo di questi metodi è lo stesso, cioè, propagare l'incertezza dei parametri.

L'analisi di Monte Carlo è usata per trarre stime attraverso simulazioni basandosi su un algoritmo che genera una serie di numeri tra loro non correlati, che seguono la distribuzione di probabilità supposta per il fenomeno da indagare.

La simulazione Monte Carlo calcola una serie di realizzazioni possibili del fenomeno in esame, con il peso proprio della probabilità di tale evenienza, cercando di esplorare in modo denso tutto lo spazio dei parametri del fenomeno. Una volta calcolato questo campione casuale, la simulazione esegue delle 'misure' delle grandezze di interesse su tale campione. La simulazione Monte Carlo è ben eseguita se il valore medio di queste misure sulle realizzazioni del sistema converge al valore vero.

La valutazione dell'incertezza è stata effettuata attraverso la simulazione Monte Carlo, che è stata impostata con i seguenti parametri:

- con il criterio di fermata a 1000 iterazioni per garantire equilibrio tra l'accuratezza della stima e le tempistiche ed il costo computazionale;
- con un intervallo di copertura pari a 95%.

I risultati ottenuti dall'analisi Monte Carlo, per alcune categorie d'impatto, sono stati sottoposti ad un test per l'identificazione degli outlier, ovvero di quei valori anomali che si discostano significativamente dagli altri valori del dataset, costituito in questo caso dai risultati della simulazione Monte Carlo. Tale test è stato effettuato per le categorie in cui l'impatto dello scenario BIOPEM fosse superiore rispetto al tradizionale, quindi nello specifico per lo scenario B2 di cattura muridi, da ora M-B2:

- *Resource use minerals and metals;*

mentre per lo scenario B1 di cattura culicidi, da ora C-B1, si analizzerà la categoria d'impatto che più si discosta dalla metodologia standard, cioè "*Resource use fossils*".

In Figura 7.21 si riportano gli outlier per lo scenario M-B2 relativamente alla categoria d'impatto "*Resource use minerals and metals*", mentre in Figura 7.22 la categoria "*Resource use fossils*" per lo scenario C-B1.

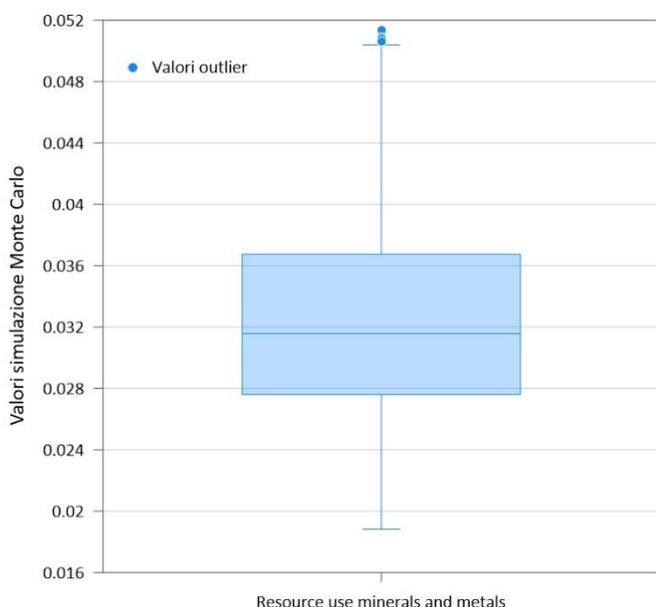


Figura 7.21 – Individuazione degli outlier tramite boxplot per "Resource use minerals and metals" per lo scenario M-B2

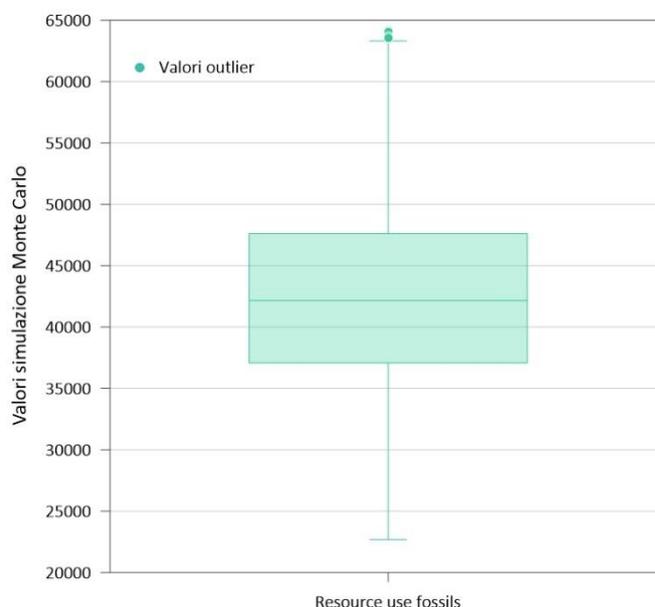


Figura 7.22 - Individuazione degli outlier tramite boxplot per "Resource use fossils" per lo scenario C-B1

I valori di outlier sono stati quindi eliminati dai risultati della simulazione e successivamente sono stati calcolati i parametri statistici della distribuzione di valori riportati in Tabella 7.30, riportati anche graficamente in Figura 7.23. (M-B2) e in Figura 7.24 (C-B1).

Tabella 7.30 - Analisi statistica dell'incertezza per gli scenari M – B2 e C- B1 dopo l'eliminazione dei valori outlier

Categoria d'impatto	N° dati validi	Risultato studio	Minimo	Massimo	Media	Mediana	Deviazione standard
Resource use minerals and metals (M – B2)	976	0.0306	0.0188	0.0514	0.0325	0.0316	0.0067
Resource use fossils (C - B1)	982	41'503	22'684	64'202	42'702	42'159	7'638

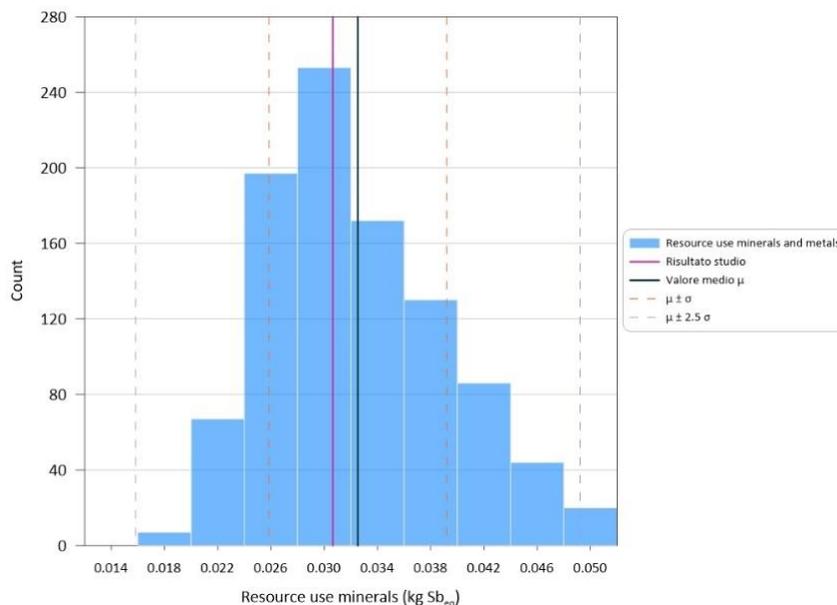


Figura 7.23 - Rappresentazione grafica della statistica effettuata sui risultati della simulazione Monte Carlo per “Resource use minerals and metals” per lo scenario M-B2

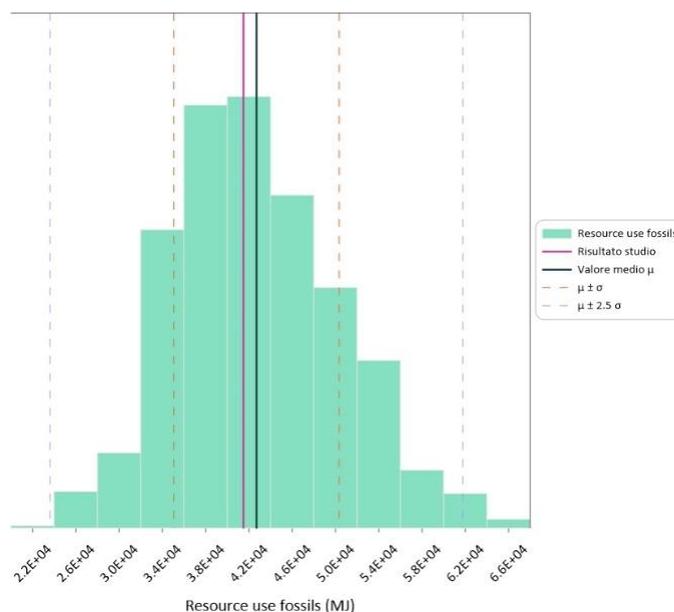


Figura 7.24 - Rappresentazione grafica della statistica effettuata sui risultati della simulazione Monte Carlo per “Resource use fossils” per lo scenario C-B1

Il valore dello studio è:

- 0.0306 kg Sb_{eq} per la categoria “Resource use minerals and metals” per lo scenario M-B2;
- 41'503 MJ relativamente alla categoria “Resource use fossils” per lo scenario C-B1.

Entrambi i risultati si pongono all'interno dell'intervallo del valor medio \pm deviazione standard e lo scostamento dal valor medio è inferiore al 5% per entrambi gli scenari, confermando che il livello di incertezza con cui sono stati effettuati i calcoli risulta basso ed i risultati risultano avere un buon livello di accuratezza.

8 Conclusioni

Il presente studio di Life Cycle Assessment (LCA) ha consentito di esaminare a fondo e confrontare l'impatto ambientale delle metodologie di cattura e disinfestazione sviluppate dal progetto Life BIOPEM per muridi e culicidi rispetto ai metodi tradizionali comunemente utilizzati. Seguendo il metodo Product Environmental Footprint (PEF) 3.1, l'analisi ha considerato l'intero ciclo di vita di ciascun metodo, dalla produzione delle materie prime fino all'utilizzo, includendo le principali categorie di impatto ambientale indicate dalla normativa europea.

I risultati ottenuti dimostrano l'efficacia delle soluzioni BIOPEM nel ridurre sensibilmente l'impatto ecologico e nell'attenuare il rischio di esposizione a sostanze tossiche sia per l'ambiente che per la salute umana. Nel caso della gestione dei muridi, l'adozione del sistema elettromeccanico EKOMILLE ha eliminato la necessità di utilizzare esche rodenticida anticoagulanti, le quali rappresentano una minaccia per i predatori naturali e per l'intero ecosistema a causa del fenomeno dell'avvelenamento secondario. Il metodo BIOPEM, al contrario, sfrutta trappole ecologiche senza biocidi, progettate per garantire una cattura efficace dei roditori senza rilascio di sostanze chimiche nell'ambiente, riducendo l'impatto su suolo, aria e acque circostanti.

Analogamente, il protocollo BIOPEM per i culicidi adotta una strategia sostenibile incentrata sull'uso di attrattivi microbiologici, ovitrappole e trappole di cattura massiva per adulti. Questi dispositivi riducono l'inquinamento atmosferico e del suolo, evitando il ricorso a trattamenti adulticidi e larvicidi tradizionali, spesso associati a dispersioni di biocidi che possono accumularsi nei corpi idrici, sul suolo ed in aria, causando effetti dannosi sugli organismi e sugli ecosistemi locali. La riduzione dell'uso di biocidi nel metodo BIOPEM consente anche di prevenire la possibile insorgenza di resistenze tra le popolazioni di zanzare, migliorando la sostenibilità a lungo termine delle attività di disinfestazione.

Oltre alla mitigazione degli impatti ambientali, il progetto BIOPEM svolge anche un ruolo importante nella sensibilizzazione della comunità locale e delle scuole coinvolte, promuovendo la diffusione di pratiche sostenibili. Grazie all'utilizzo di una piattaforma di gestione digitale, che permette la geolocalizzazione dei dispositivi e il monitoraggio delle catture, il progetto favorisce una raccolta dati più accurata e dettagliata. Questa soluzione facilita non solo la valutazione dell'efficacia delle attività ma anche la possibilità di replicare il modello in altre aree e contesti urbani.

Dal punto di vista della maggior parte degli indicatori d'impatto, le metodologie BIOPEM risultano vantaggiose grazie alla riduzione degli impatti. La maggiore durata dei dispositivi, l'assenza di emissioni dirette nelle matrici ambientali e una minore frequenza di sostituzione e interventi di manutenzione contribuiscono ad una gestione ed un utilizzo più efficiente e sostenibile.

Lo studio individua anche alcune opportunità di miglioramento per incrementare ulteriormente l'efficienza ambientale dei metodi BIOPEM. In quest'ottica lo studio LCA ha evidenziato che l'impatto maggiore per i metodi BIOPEM di derattizzazione è dovuto all'utilizzo di ottone e componenti elettroniche nei dispositivi EKOMILLE, mentre relativamente ai metodi di disinfestazione ciò è dovuto all'utilizzo di GPL, necessario al funzionamento delle trappole per

culicidi adulti. Si pone quindi come utile obiettivo la valutazione di metodologie alternative che consentano una diminuzione degli impatti.

In sintesi, il progetto Life BIOPEM si pone come un esempio di innovazione sostenibile nel campo della disinfestazione urbana. Grazie alla sinergia tra tecnologia avanzata e rispetto per l'ambiente, il modello BIOPEM propone un approccio che, oltre a tutelare la biodiversità e a ridurre l'inquinamento, rappresenta anche un esempio di buona pratica ambientale per le amministrazioni locali. I risultati dello studio confermano la validità delle metodologie BIOPEM come strumento utile per implementare politiche di gestione sostenibile, a beneficio sia dell'ambiente che della cittadinanza. Il Comune di Fiumicino, capofila di questa iniziativa, potrà adottare tali indicazioni per migliorare le proprie strategie di contrasto agli infestanti, auspicando una progressiva diffusione di queste soluzioni a basso impatto in altri contesti territoriali.

Questi risultati sono destinati a tutte le parti interessate nel progetto, inclusa la cittadinanza, e rappresentano una base solida su cui orientare futuri interventi, perfezionando progressivamente le tecniche per la disinfestazione urbana e contribuendo a una gestione sempre più sostenibile del territorio.

9 Bibliografia

- UNI EN ISO 14040:2021 Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines.
- UNI EN ISO 14044:2021 Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines
- UNI EN ISO 14026:2018 Etichettatura e dichiarazioni ambientali – Principi, requisiti e linee guida per la comunicazione delle informazioni sull'impronta ambientale (footprint)
- Green Delta, February 2020 – openLCA 1.10 Comprehensive User Manual
- Andrea Ciroth, May 2012 – Refining the pedigree matrix approach in Ecoinvent
- Weidema et al., 1996 – Data quality management for life cycle inventories – an example of using data quality indicators
- Weidema et al., 2013 - Overview and methodology – Data quality guideline for Ecoinvent
- Groen et al., 2014 – Methods for uncertainty propagation in life cycle assessment
- Boubidi et al., 2016 – Efficacy of ULV and thermal aerosols of deltamethrin for control of *Aedes albopictus* in Nice, France
- Larsen, 2003 – Emission scenario document for biocides used as rodenticides
- Regnery et al., 2023 – First evidence of widespread anticoagulant rodenticide exposure of the Eurasian otter (*lutra lutra*) in Germany
- Smith et al., 2016 – Environmental Impacts of Rodenticides
- ECHA, 2018 – Revised Emission Scenario Document for Product Type 14 Rodenticides
- JRC, 2019 – Suggerimenti per l'aggiornamento del metodo di calcolo dell'impronta ambientale di prodotto (PEF)
- Pietro Massimiliano Bianco e Andrea Fusari, 2020 – Piano della Ricerca Ex-Ante a Fiumicino e Francavilla al Mare
- Vittoria Gherardo – Manuale per l'utilizzo della piattaforma digitale
- Andrea Fusari et al., 2021 – Technical specifications for tenders Municipality of Fiumicino and Francavilla al Mare

- Silvano Falocco, 2022 – Proposta di Criteri Ambientali Minimi per il servizio di disinfestazione e derattizzazione
- Pietro Massimiliano Bianco et al., 2022 – Report di Ricerca dell'analisi Ex-Ante a Fiumicino e Francavilla al Mare