Università
Ca'Foscari
Venezia

Corso di Laurea Magistrale

in Scienze ambientali

Tesi di Laurea

Utilizzo della metodologia LCA per la valutazione di interventi di efficientamento energetico e calcolo della carbon footprint su una piscina pubblica

Relatore: Prof. Wilmer PASUT

Correlatrice: Prof.ssa Cristina CAVINATO

Laureanda: Valentina Andrea CANDIAN

Matricola: 870118

Anno Accademico: 2018/2019

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE 1

2. METODOLOGIA LCA 3

2.1 Definizione della metodologia 6

2.2 Origini e sviluppo della metodologia LCA 7

2.3 Standards UNI EN ISO 14040 E 14044 8

2.4 Struttura LCA 8

2.4.1 Definizione di scopi e obiettivi 9

2.4.2 Analisi di inventario (LCI) 12

2.4.3 Valutazione degli impatti 13

2.4.4 Interpretazione LCA 15

2.4.5 Revisione critica 15

2.4.6 Limitazioni LCA 16

2.4.7 Comunicazione dei risultati 16

2.5 Carbon footprint 17

2.5.1 Piani d'azione 21

3. CODICE DI CALCOLO 24

3.1 Selezione del software 24

3.2 OPENLCA VS SIMAPRO 25

3.2.1 Caratteristiche tecniche 25

3.2.2 Struttura del modello di calcolo 28

3.2.3 Banche dati 30

3.2.4 Valutazione degli impatti 31

3.2.5 Presentazione dei risultati 38

4. STUDIO SULL'UTILIZZO DELLA METODOLOGIA LCA PER LA VALUTAZIONE DI INTERVENTI DI EFFICIENTAMENTO ENERGETICO E CALCOLO DELLA CARBON FOOTPRINT SU UNA PISCINA PUBBLICA 46

4.1 Collocazione geografica 47

4.2 Piscina Acquarena 48

4.2.1 EMAS (ECO-MANAGEMENT AND AUDIT SCHEME) 51

4.3 Presentazione del caso studio 54

4.4 Definizione dell'unità funzionale 55

4.5 Definizione dei confini 55

4.6 Analisi dell'inventario 63

4.7 Valutazione degli impatti 65

4.8 Interpretazione dei risultati 66

4.9 Discussione dei risultati..... 73
5. CONCLUSIONI..... 76
6. APPENDICE..... 79
7. BIBLIOGRAFIA 96
8. RINGRAZIAMENTI 99

1. INTRODUZIONE

In un'epoca storica segnata dai cambiamenti climatici legati alle attività antropiche, è ormai evidente che il solo risparmio economico, sebbene giustificato da obbiettivi di bilancio, non può essere l'unico stimolo all'efficientamento energetico. Bisogna tendere ad obbiettivi più elevati, e per fare ciò vi è la necessità di utilizzare strumenti di calcolo che offrano una visione più ampia sull'impatto che la realizzazione di un bene o fornitura di un servizio può avere sull'ambiente. In tale contesto si inquadra il presente studio e gli interessi di "Acquarena", prima piscina italiana ad avere aderito ad EMAS (*Eco-Management and Audit Scheme)*.

Questo lavoro di tesi ha come obiettivo la quantificazione e valutazione dell'impronta ambientale della piscina pubblica "Acquarena" di Bressanone/Brixen. A tale scopo viene applicata la metodologia del *Life Cycle Assessment* (LCA), secondo la struttura proposta dalla norma UNI EN ISO 14040. L'LCA consente una valutazione quantitativa degli impatti ambientali di prodotti e servizi in tutto il loro ciclo di vita attraverso l'analisi dell'energia e dei materiali usati e dei rifiuti prodotti. Nello specifico si sono confrontate l'efficienza energetica e l'impronta di carbonio della struttura, ricavate tramite l'utilizzo di un software LCA, tra un anno di riferimento, 2015, ed un anno che ha visto l'installazione di diversi accorgimenti per il risparmio energetico, 2018. In particolar modo il 2018 ha visto: i) l'utilizzo di sostanze chimiche per la pulizia dei locali maggiormente ecocompatibili; ii) la sostituzione delle luci esistenti al neon con quelle al led; iii) l'efficientamento dell'impianto di pompaggio con l'implementazione di pompe con la presenza di inverter. Le migliorie apportate sono una conseguenza della collaborazione tra i responsabili di "Acquarena" ed i tecnici di ASM Bressanone S.p.A., società che fornisce servizi ambientali alla cittadina di Bressanone/Brixen e dal 2012 gestisce molti interventi sulla piscina. L'ideale comune dei responsabili dell'impianto e dei tecnici di ASM S.p.A. di fornire un servizio ecosostenibile, li hanno spinti ad effettuare questo studio al fine di ottenere una visione globale delle prestazioni di "Acquarena".

Obiettivo secondario della tesi, ma non di trascurabile importanza per gli operatori del settore, è stato l'utilizzo di due differenti codici di calcolo LCA, SimaPro 8.5.2.0 e

OpenLCA 1.9, al fine di confrontare i risultati forniti da un software a pagamento (SimaPro) ed un freeware (OpenLCA). Per riassumere l'impatto ambientale di un servizio con un unico indicatore, per OpenLCA si è utilizzato il metodo Environmental Footprints mentre per SimaPro si è usato Ecoinvent. Ciò che ci si aspetta da tale confronto è che i risultati forniti da entrambi i software siano paragonabili.

L'attività di tesi ha avuto una prima fase di ricerca bibliografica al fine di trovare un codice di calcolo LCA e database open che potessero fornire risultati soddisfacenti. Successivamente si sono confrontati i risultati ricavati sui due anni campione ottenuti con i due software. Tale lavoro ha inoltre evidenziato quali tra i processi interni di Acquarena (manutenzione, pulizia, uffici, utilizzo) causassero i maggiori impattanti dal punto di vista ambientale. Nella fase finale, alla luce dei risultati LCA, sono state proposte azioni di intervento al fine di migliorare le performance della struttura.

2. METODOLOGIA LCA

L'uomo da sempre ha attinto alle risorse fornite dalla natura, ma solamente negli ultimi decenni è nata la consapevolezza della corrispondenza biunivoca tra natura e uomo. La natura infatti fornisce i beni primari di cui l'uomo necessita per sopravvivere e per lo sviluppo, per questo l'uomo deve gestirla come una risorsa esauribile. Dopo la seconda guerra mondiale, al fine di creare una nuova prospettiva, l'uomo pensò ad un modello di sostenibilità basato su due principi, meglio definiti come "pilastri": economico e sociale. Questo modello produsse gravi problemi ambientali che comportarono la creazione nel 1970 del comitato ambientale e nel 1972 alla conferenza delle Nazioni Unite di Stoccolma, fu creato l'UNEP (United Nations Environmental Programme), in cui si discusse di problemi ambientali. Nel 1980 venne introdotto il termine di "*sviluppo sostenibile"* basato sui principi di conservazione e sviluppo, ovvero l'uomo deve utilizzare le risorse ambientali con parsimonia, al fine di preservarle anche per le generazioni future. Nel 1987 nel rapporto "*our common futures"* venne fornita la definizione di sviluppo sostenibile*:*

"*development that allows to satisfy needs of the present without compromise to satisfy needs of the future generations*" [1].

"s*viluppo che consente di soddisfare le esigenze del presente senza compromettere le esigenze delle generazioni future"*

Dalla nascita di questa definizione la sostenibilità non si basò più su due, ma bensì su tre pilatri: ambientale, sociale ed economico definiti "three bottom line" (Figura 1).

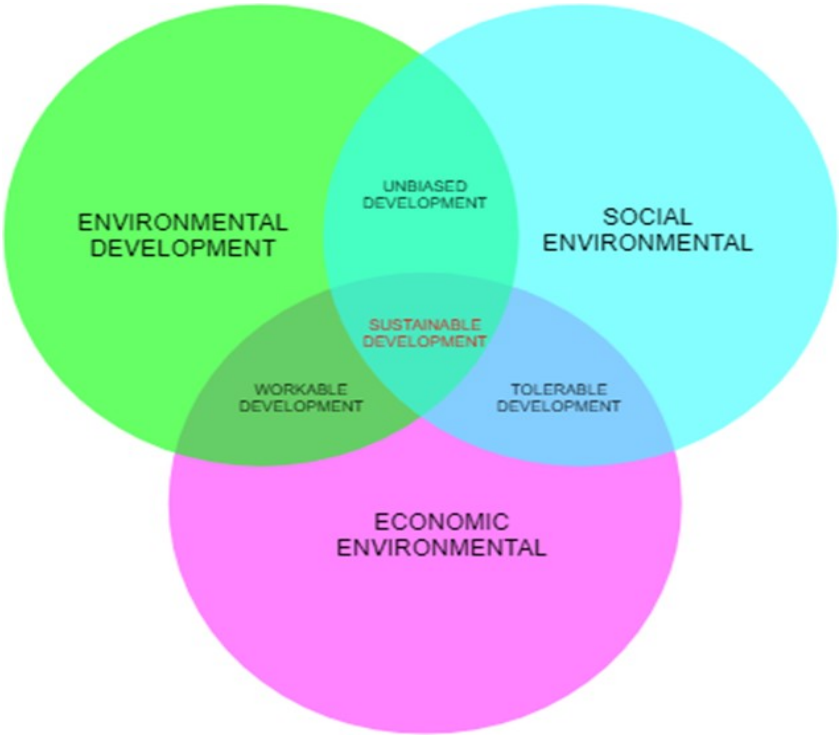

Figura 1: Diagramma di Venn con i tre pilastri (elaborazione personale)

Da questa idea di sviluppo sostenibile, derivano diversi concetti e azioni per la tutela dell'ambiente. La valutazione del ciclo di vita, conosciuto con l'acronimo LCA (Life cycle assessment), è una metodologia che serve a valutare gli impatti ambientali diretti ed indiretti di un prodotto o servizio lungo il proprio ciclo di vita, più nello specifico dall'estrazione delle materie prime, alla realizzazione del prodotto, utilizzo e fine vita. Ogni prodotto o servizio produce impatti ambientali in ogni fase del suo ciclo di vita che possono essere considerati come risorse consumate, impatti ambientali e sanitari. Nello stesso periodo nacque la filosofia denominata "life cycle thinking "(LCT) che consiste nel considerare l'intera vita di un prodotto o servizio come flussi interconnessi di input e output di materia ed energia.[2] Questa differenza del passato in cui venivano considerati separatamente (ambientali, economici, sociali ecc.). Gli obiettivi del LCA sono quelli di comparare tutti gli impatti ambientali che un prodotto o servizio produce durante l'intero ciclo di vita e individuarne gli aspetti di maggiore rilievo al fine di trovare delle soluzioni. L'LCA è in grado di quantificare l'impronta ambientale generata da un servizio o prodotto tramite informazioni numeriche. A suo discapito un'analisi LCA non

è però in grado di fornire informazioni e quindi soluzioni, sugli effetti che gli output dello studio producono sull'ambiente. Gli studi LCA hanno vantaggi e svantaggi.

Vantaggi:

- Capacità di comparare prodotti diversi e valutare i rispettivi impatti ambientali
- Valutazione delle emissioni nell'ambiente
- Calcolo degli effetti ecologici e sociali a causa dell'utilizzo di materiali e di emissioni nell'ambiente

Svantaggi:

- Necessità di tempistiche lunghe e di tante risorse
- Non può essere utilizzato autonomamente, deve essere comparato con un processo decisionale più completo poiché non fornisce risposte assolute (Life Cycle Managemen)

Generalmente LCA considera tutte le fasi del ciclo di vita di un prodotto *"from cradle to grave"*, ciò comporta una considerazione degli impatti partendo dall'estrazione delle materie prime fino al fine vita del prodotto o servizio. Succede che a volte si considerano confini di minore ampiezza del ciclo di vita di un prodotto o servizio ed i casi che si possono incontrare sono i seguenti (Figura 2):

- *"from gate to gate":* in questo caso si considerano i confini interni del sistema (dal cancello al cancello) senza considerare la fase antecedente che comporta l'estrazione delle materie prime e nemmeno il fine vita dell'oggetto di studio.
- *"From cradle to gate"*: in questa situazione si considera la fase di estrazione delle materie prime, il proprio sviluppo, fino alla fase prima del trasporto (dalla culla al cancello).
- *"cradle to cradle"* questa tipologia di studio viene effettuata quando vi è un riciclo del prodotto (dalla culla alla culla).[3]

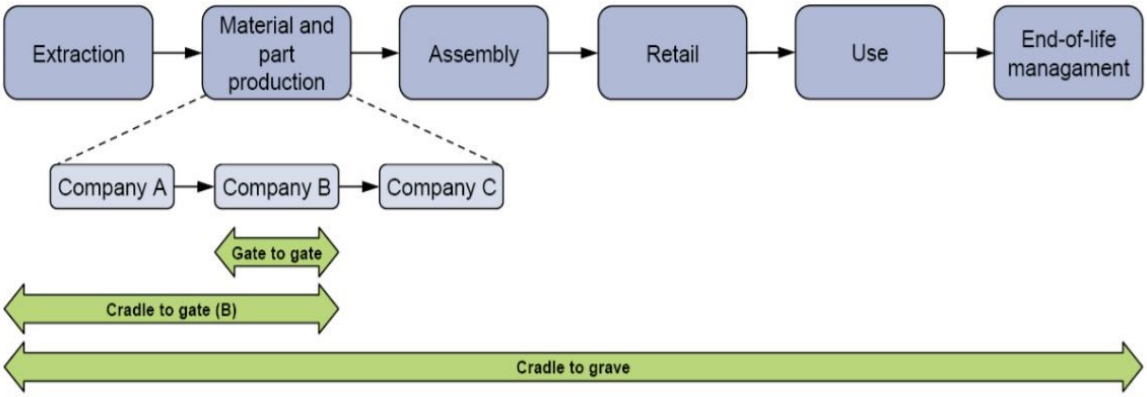

Figura 2: illustrazione dei diversi tipi di LCA (fonte Università di Perugia)

2.1 Definizione della metodologia

Negli anni 60 l'eccessivo utilizzo dei combustibili fossili portò ad una visione globale dell'ambiente e non limitata a single fasi "environmental life cycle think". In quegli anni fu introdotta la metodologia LCA. Nel 1993 SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) diede per la prima volta la definizione di LCA (Figura 3):

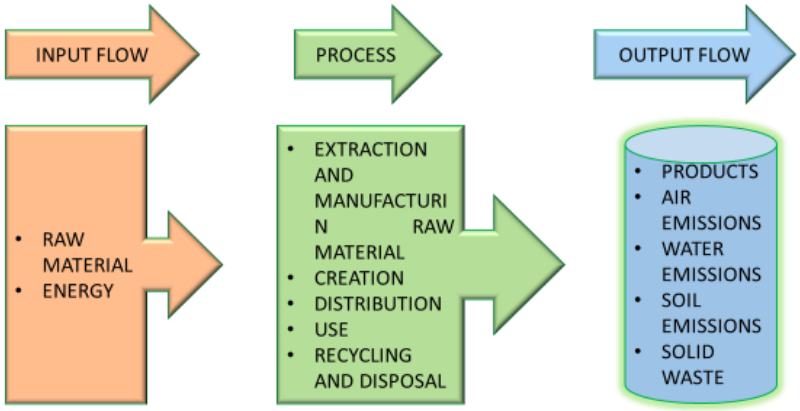

Figura 3: ciclo di vita del prodotto con flussi di input e output (elaborazione personale)

"*objective way to evaluate energetic and environmental impact concerning an activity, carry out through the identification of energy and materials use and waste in the environmental. The evaluation including all life cycle of the process or activity including extraction of raw materials, fabrication, transport, demolition, re-use, recycling and final disposal*" [4].

LCA è utilizzata per ottimizzare le performance di un prodotto o servizio. Le categorie d'impatto ambientale sono per la maggior parte delle volte legate al riscaldamento globale derivante dall'utilizzo dei gas ad effetto serra, acidificazione, riduzione dello strato di ozono, eutrofizzazione, desertificazione, inquinamento da sostanze tossiche per l'uomo.

2.2 Origini e sviluppo della metodologia LCA

Nel 1960 vi furono i primi studi riguardanti gli stress energetici di alcune industrie, dieci anni dopo, con le crisi energetiche, iniziarono i primi studi basati sulla metodologia LCA, la quale era focalizzata maggiormente sulle materie prime ed impatti energetici. Solo dopo qualche tempo l'LCA venne usata per stimare le emissioni in atmosfera, suolo ed acqua. Alla fine degli anni 70 inizio anni 80 emersero prepotentemente problematiche di carattere ambientale riguardanti la gestione dei rifiuti. Nel 1990 divenne evidente la necessità di standardizzare la metodologia LCA al fine di avere risultati omogenei. Alla conferenza del Vermont, per la prima volta, SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemestry) divise LCA in tré fasi: inventario, interpretazione e miglioramenti.

Lo sviluppo e applicazione dell'LCA fu favorita ed aiutata da:

UNEP (United Nations Environmental Programme) che nel 1996, promosse lo sviluppo e l'applicazione della metodologia LCA attraverso iniziative sui cicli di vita. Questa fu divisa tra "what is it" in cui si spiega dove può essere applicata la metodologia e "How to use it" che analizza nel dettaglio i passaggi che un gruppo di lavoro di LCA deve seguire al fine di poter redigere un'efficiente e solida valutazione. Gli esperti UNEP credono che questa tecnica potrà svolgere un importante ruolo di supporto dei processi decisionali governativi, non governativi, e aziendali, auspicando che i risultati ottenuti possano essere trasmessi in forma divulgativa al consumatore. [6] Questa metodologia di valutazione assume la connotazione di una linea guida per processi decisionali. A causa dell'elevato numero di metodologie, vi fu la necessità di una standardizzazione della LCA. Nel 1993 ISO *(International Standardisation Organisation)* organizzò un comitato tecnico che considerasse regole internazionali per l'implementazione di una LCA. Gli

standard EN UNI ISO 14000 furono approvati dal *CEN (European Committee of Normalization)* e diventarono anche *standard europei (EN)* con una traduzione in italiano da parte dell'*UNI (Italian institution of unification)* diventando così standards internazionali. Questi standards possono essere suddivisi in una prima parte in cui è presente la ISO 14001 che contiene i requisiti del sistema di gestione ambientale (SGA) ed una seconda parte in cui si trovano le norme ISO 14040 e 14044 che spiegano come condurre uno studio LCA.

2.3 Standards UNI EN ISO 14040 E 14044

La serie di norme ISO 14040 descrive in che modo condurre uno studio LCA e contiene le regole generali. ISO attraverso le politiche ambientali garantisce conformità alle regole al fine di avere un continuo miglioramento. Gli standard ISO sono soggetti a continui sviluppi. Le più importanti ISO nella famiglia delle ISO 14040 sono le seguenti:

- UNI EN ISO 14040:2006 "*Environmental management, life cycle assessment, principles and framework";* questa permette una visione generale dell'applicazione e limitazione dell'LCA. [7]
- UNI EN ISO 14044:2006 "*Environmental management, Life cycle assessment, requirement and guidelines";* questa è utilizzata per la preparazione, elaborazione ed una revisione critica dello studio LCA. [8]

2.4 Struttura LCA

Lo standard UNI EN ISO 14044 definisce LCA come "compilazione e valutazione attraverso flussi di input e output nell'intero ciclo di vita, che rappresentano i potenziali impatti ambientali di un prodotto o di un sistema". In accordo con le ISO 14040 e ISO 14044 LCA è suddivisa in 4 fasi (Figura 4):

- Definizione chiara di scopi e campo di applicazione
- Stesura dell'inventario (Life Cycle Inventory LCI)

- Valutazione degli impatti (Life Cycle Impact Assessment LCIA)
- Interpretazione dei risultati

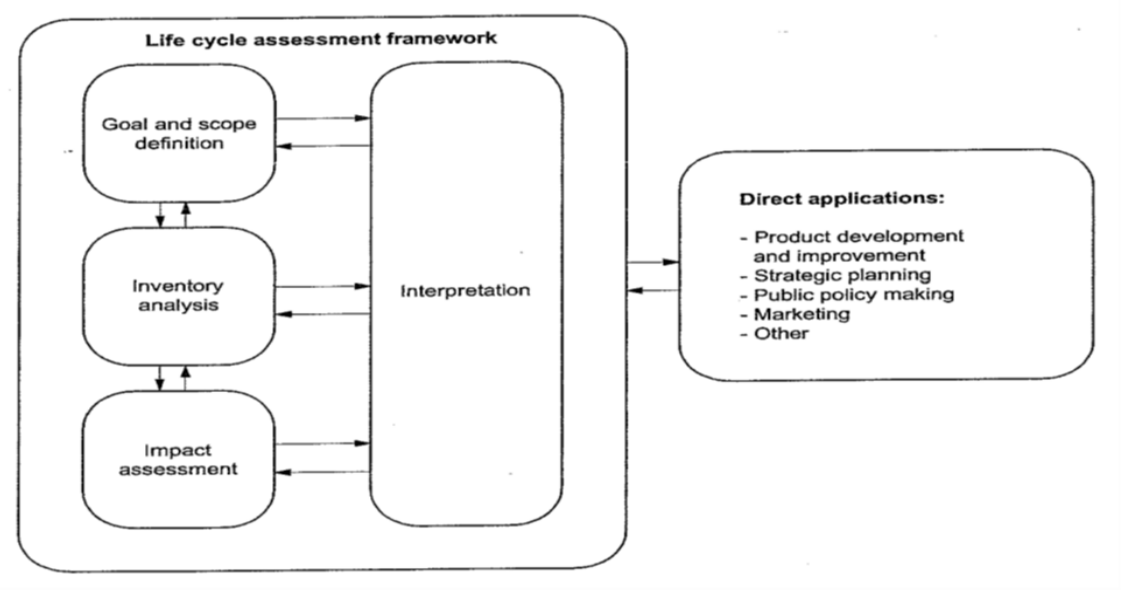

Figura 4: fasi di uno studio LCA (fonte UNI EN ISO 14040 :2006)

2.4.1 Definizione di scopi e obiettivi

Nella fase preliminare dello studio devono essere definiti gli scopi e gli obiettivi; in particolare, la norma UNI EN ISO 14044:2006 afferma che: *"nel definire gli obiettivi di un LCA, devono essere chiaramente descritti quali siano l'applicazione prevista, le motivazioni che inducono a realizzare lo studio, il tipo di pubblico a cui è destinato, cioè a quali persone si intendono comunicare i dati dello studio e se i risultati sono destinati ad essere usati per effettuare asserzioni comparative destinate alla divulgazione al pubblico."*

Uno studio LCA deve specificare chiaramente:

- Il sistema di prodotto allo studio: viene utilizzato per modellare il ciclo di vita di un prodotto, è costituito da un insieme di unità di processo collegate una all'altra da flussi di prodotti intermedi, con altri sistemi di prodotto da flussi di prodotto, e con l'ambiente da flussi elementari.

Nello specifico con *flusso elementare* si intende:

- un flusso di materia o energia che entra nel sistema allo studio, prelevato dall'ambiente senza alcuna preventiva trasformazione operata dall'uomo;
- materia o energia che esce dal sistema allo studio, scaricato nell'ambiente senza alcuna ulteriore trasformazione operata dall'uomo.

Mentre il termine flusso di prodotto indica i prodotti che entrano o escono verso un sistema di prodotto esterno. La proprietà fondamentale che caratterizza un sistema di prodotto è la sua funzione;

- le *funzioni* (ovvero le caratteristiche di prestazione) del sistema di prodotto, o dei sistemi nel caso di studi comparativi;
- l'*unità funzionale*, che secondo la UNI EN ISO 14040:2006 è definita come *"una prestazione quantificata di un sistema di prodotto da utilizzare come riferimento"*. Serve quindi a quantificare le funzioni e a fornire un riferimento per collegare i flussi in ingresso ed in uscita, allo scopo di permettere una comparabilità dei risultati.
- i *confini del sistema* di prodotto, che stabiliscono le unità di processo che devono essere incluse nello studio LCA. I fattori che determinano i confini del sistema sono: le applicazioni previste dallo studio, le ipotesi assunte, i criteri di esclusione, i vincoli prodotti dai dati e dai costi, il pubblico destinatario dei risultati.
- le *procedure di allocazione* sono definite come *"la ripartizione dei flussi in ingresso ed in uscita di un processo unitario o di un sistema prodotto tra il sistema prodotto allo studio ed uno o diversi altri sistemi di prodotto";*
- le *metodologie di valutazione dell'impatto*, i *tipi di impatto* e la susseguente *interpretazione* da utilizzare;
- i *requisiti necessari di qualità dei dati*, che devono essere specificati in quanto il livello di accuratezza dipende dalle finalità dello studio e dal pubblico a cui verranno presentati i risultati. I dati devono assicurare credibilità allo studio e quindi garantire:

- la *copertura temporale*, mediante la definizione dell'età desiderata dei dati (ad esempio gli ultimi cinque anni) e del tempo necessario per la loro raccolta;
- la *copertura geografica*, nella quale si definisce l'area spaziale all'interno della quale i dati devono essere raccolti (ad esempio locale o regionale);
- la *copertura tecnologica*, specificando quali tecnologie dovranno essere applicate (ad esempio la migliore disponibile);
- la *precisione*, che misura la variabilità dei valori per ogni categoria;
- la *completezza*, ovvero la percentuale del flusso misurata o stimata;
- la *rappresentatività*, cioè una definizione qualitativa riguardo alla rappresentatività dei dati utilizzati rispetto ai valori reali;
- la *coerenza*, cioè quanto uniformemente risulta applicata la metodologia di studio ai vari componenti dell'analisi;
- la *riproducibilità* cioè una valutazione qualitativa sul grado di riproduzione dei risultati;
- le *fonti dei dati*;
- l'*incertezza dell'informazione*, come ad esempio i dati, i modelli utilizzati e le ipotesi effettuate;

- le *ipotesi*;
- le *limitazioni*, che possono essere di tipo:
  - *funzionale, territoriale e temporale* in cui vengono specificati lo sviluppo e l'ampiezza del processo esaminato, quali: l'estrazione delle risorse (rinnovabili e non rinnovabili), il trasporto delle materie prime, la produzione e il trasporto dei beni intermedi (semilavorati), la produzione e il trasporto del prodotto finito, la vendita, il trasporto al consumo, il consumo, il trasporto del rifiuto, lo smaltimento e/o il riciclaggio.
  - *territoriali* è necessario stabilire il raggio di influenza dell'attività nei confronti del territorio interessato.

- *temporali* lo studio LCA va effettuato analizzando i possibili scenari ambientali che potranno configurarsi in futuro, poiché le emissioni di inquinanti subiscono trasformazioni conseguenti alle interazioni con l'atmosfera.

- il tipo di *riesame critico* una fase obbligatoria, dello studio LCA, solo nel caso di asserzioni comparative e ha l'obiettivo di esaminare se l'analisi è stata svolta secondo gli standard internazionali;
- il tipo e il formato di *rapporto richiesto* per lo studio. Nel caso di studi comparativi, prima di interpretare i risultati, deve essere valutata l'equivalenza dei sistemi posti a confronto. I sistemi devono essere confrontati utilizzando la stessa unità funzionale e considerazioni metodologiche equivalenti, quali le prestazioni, i confini del sistema, la qualità dei dati, le procedure di assegnazione, le modalità sulla valutazione dei flussi in entrata ed in uscita e sulla valutazione di impatto. Ogni differenza sui sistemi relativa a questi parametri deve essere identificata e messa in evidenza.

2.4.2 Analisi di inventario (LCI)

L'inventario calcola gli input e output del prodotto o sistema attraverso il reperimento dei dati e procedure di calcolo. Durante l'inventario possono essere identificati problemi e questi comportano la revisione degli obiettivi e scopi dello studio. Per effettuare un buon inventario è necessario:

- *Costruzione del diagramma di flusso*: è importante identificare le componenti di maggior rilievo e giustificare eventuali omissioni di dati. Il diagramma di flusso è rappresentato graficamente con tutte le unità del sistema e sono connessi tra di loro con flussi d'energia ed emissioni di materia.
- *Calcolo e raccolta dei dati*: sono necessari dati per ogni unità di processo e devono includere l'apporto di energia, materia prima ed emissione di rifiuti nell'ambiente. È importante che i dati, indipendentemente che siano diretti o indiretti, siano precisi, completi e riproducibili. Molti degli errori che si possono

commettere durante uno studio LCA derivano dall'errato reperimento e calcolo dei dati da inserire nell'inventario, quindi è importante specificare per ogni dato la provenienza, il tempo preso in considerazione, la tipologia di dato (primario o secondario). Ai giorni odierni esistono banche dati, ma è estremamente importante verificare l'affidabilità.

- *Allocazione*: in questa fase gli input e output sono assegnati ad ogni sistema di processo.

2.4.3 Valutazione degli impatti

In questa fase si valutano ed interpretano i risultati del LCI al fine di capire e spiegare gli impatti ambientali. Si valutano gli scopi ed obiettivi al fine di verificare se siano stati raggiunti ed in caso contrario rivederli e modificarli. Nella valutazione delle categorie d'impatto vi può essere una soggettività, ma la cosa importante è che vi sia trasparenza per assicurare chiarezza delle ipotesi che sono descritte e riportate. Questa fase fornisce alcuni indicatori utili per interpretare meglio le informazioni dell'inventario:

- *Principio di caratterizzazione*: questo principio permette di convertire i risultati dell'inventario in indicatori, mediante l'utilizzo di fattori di caratterizzazione aventi unità di misura comune e riconosciuti a livello internazionale. Il vantaggio portato dall'utilizzo del fattore di caratterizzazione è che questi indicatori sono rappresentativi degli impatti provocati sull'ambiente e sulla salute umana e permettono di esprimere quantitativamente il contributo fornito ad ogni categoria d'impatto.

Indicatore di categoria= Σ fattore di caratterizzazione x risultato dell'inventario

- *Selezione di una categoria d'impatto:* rappresenta il problema ambientale.
- *Selezione di un indicatore di categoria*: questo quantifica la categoria d'impatto ed è basato sulle norme ISO.

- *Modelli di caratterizzazione*: questi sono la base dei fattori di caratterizzazione e sono modelli matematici dei flussi d'impatto elementari.
- *Fattore di caratterizzazione*: questo è un fattore che converte i risultati del LCI nell'unità comune dell'indicatore di categoria.
- *Classificazione*: i risultati dell'inventario sono assegnati alle categorie d'impatto.

Per le norme ISO questi sei punti sovra elencati sono obbligatori per la struttura LCIA. I seguenti tre punti invece sono opzionali (Figura 5):

- *Caratterizzazione*: determina I valori degli indicatori di categoria.
- *Normalizzazione*: questo rappresenta I risultati della fase di valutazione con parametri numerici equivalenti al fine di ottenere un profilo ambientale sintetico che può essere comparato con altri sistemi produttivi.
- *Raggruppamento e pesatura*: le categorie d'impatto sono clusterizzate in classi di valore (alto, media, basso) e tipo di danno. Se si considera solamente la categoria d'impatto abbiamo il metodo del "midpoint", altrimenti se si considerano entrambe si ha il metodo "endpoint". La pesatura consiste nel moltiplicare il valore degli effetti con il fattore peso. I risultati mostrano l'importanza attribuita alle differenti categorie d'impatto.

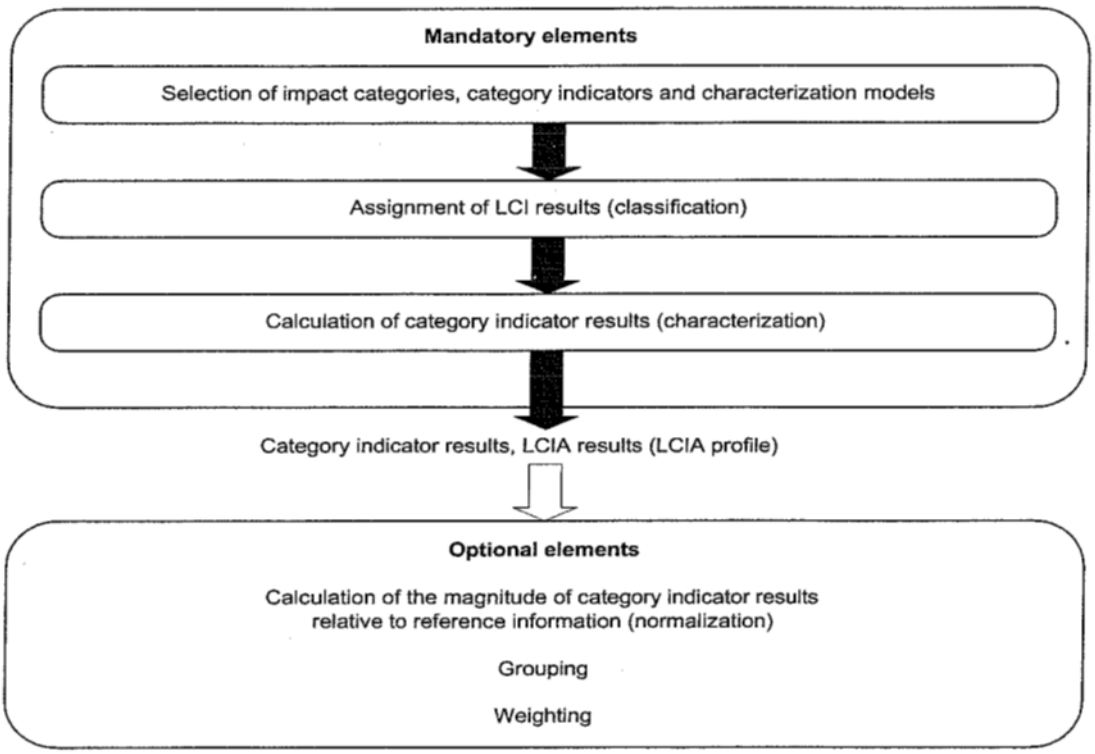

Figura 5: elementi della fase di LCIA (fonte UNI EN ISO 14040:2006)

2.4.4 Interpretazione LCA

In questa fase i risultati LCI e LCIA sono considerati insieme. L'interpretazione dovrebbe riflettere il fatto che i risultati LCIA sono basati su un approccio relativo. Questi indicano i potenziali effetti ambientali e i margini di sicurezza e rischio. L'interpretazione può assumere la forma di conclusioni e raccomandazioni per il decisore, coerentemente con gli scopi e obiettivi dello studio

2.4.5 Revisione critica

La revisione è una tecnica che valuta se lo studio rispetta i principi della UNI EN ISO 14040. Una revisione critica fornisce maggiore credibilità allo studio e può essere condotta in diverse direzioni:

- Revisione critica da parte di un esperto interno o esterno con competenze tecniche.

- Revisione critica da una commissione nominata dal committente dello studio. È composta da un presidente autonomo ed esperto e tre persone che scelgono altri revisori.

2.4.6 Limitazioni LCA

Nonostante i molteplici risvolti positivi della metodologia LCA, questa presenta anche molte limitazioni; per esempio la disponibilità di dati precisi e completi, complessità dello studio, tempistiche e i costi che servono per le risorse. Alcune delle problematiche che si possono incontrare nell'intraprendere lo studio di nuovi elementi, consistono nella mancanza di informazioni fondate su solide basi scientifiche, a causa della mancanza di precedenti studi. Questo porta a redire l'inventario con dati ipotizzati e dedotti. Molte volte vi sono scelte soggettive ma l'importante è che siano debitamente motivate. Dalla qualità dei dati e dalla cura con cui vengono implementate alcune ipotesi dipende l'affidabilità delle conclusioni.

2.4.7 Comunicazione dei risultati

La comunicazione dei risultati può essere presentata in differenti modi per essere compresa da un pubblico differenziato. Nei risultati devono essere presenti I dati considerati, le ipotesi assunte e la metodologia usata. Se l'analisi dovesse essere esposta a terzi e includendo un'analisi di ciclo di vita completo, questa dovrebbe avere:

- Una relazione con i risultati dell'inventario;
- Descrizione della qualità dei dati;
- Considerazione della categoria d'impatto;
- Modello di caratterizzazione usato.

2.5 Carbon footprint

Con il termine carbon footprint si indica il totale delle emissioni di un prodotto o servizio espresse in Kg di CO_2 equivalenti. Tale valore permette di quantificare l'impatto ambientale per quel che concerne le emissioni di gas ad effetto serra. La misurazione della carbon footprint richiede l'individuazione e quantificazione dei consumi di materie prime e di energia nelle fasi del ciclo di vita del prodotto o servizio. L'etichettatura rappresentante la carbon footprint viene percepita dai consumatori come indice di qualità e sostenibilità. Questo spinge le aziende, oltre a condurre analisi e contabilizzazioni delle emissioni di anidride carbonica, ad impegnarsi a definire un sistema di carbon management finalizzato all'identificazione e realizzazione di interventi di riduzione delle emissioni. Le misure per la riduzione possono essere integrate dalle misure per la neutralizzazione delle emissioni "carbon neutrality" con azioni più spendibili economicamente come la piantumazione di alberi o l'utilizzo di energia rinnovabile.

I maggiori gas ad effetto serra sono:

- *Anidride carbonica* (CO_2): la quale deriva principalmente dall'utilizzo dei combustibili fossili per le attività energetiche, industriali e il trasporto.
- *Metano* (CH_4): deriva dalle discariche, allevamenti e dalle risaie.
- *Protossido di azoto* (N_2O): derivante dall'agricoltura e dalle industrie chimiche.
- *Idrofluorocarburi* (HFC): derivanti dall'industria chimica e manifatturiera.
- *Perfluorocarburi* (PFC): derivanti dall'industria chimica e manifatturiera.
- *Esafluoro di zolfo* (SF_6): derivanti dall'industria chimica e manifatturiera.

Ognuno di questi gas ha differenti potenziali di riscaldamento globale (GWP) che corrispondono al loro potenziale effetto serra rispetto alla CO_2, che è convenzionalmente 1 in un range di 100 anni.[9] La metodologia dell'impronta ecologia (carbon footoprint CFP) nacque in relazione a una crescente sensibilizzazione per i cambiamenti climatici. Nel 1992 alla conferenza sull'ambiente e sviluppo delle nazioni unite si stabilì di utilizzare uno strumento in grado di calcolare l'effetto serra derivante

da questi gas. Questa metodologia, basata su standard esistenti quali ISO 14020, ISO 14024, ISO 14025, ISO 14040 and ISO 14044, è in grado di offrire benefici:

- fornendo metodologie da adottare per la valutazione dei CFP;
- facilitando il monitoraggio delle prestazioni nel ridurre le emissioni dei gas ad effetto serra;
- fornendo una migliore comprensione dei CFP in modo tale che possano essere identificate opportunità di riduzione dei gas serra;
- migliorando la credibilità, trasparenza, presentazione e comunicazione dei risultati;
- facilitando la valutazione di prodotti alternativi, delle opzioni di approvvigionamento, dei metodi di produzione e fabbricazione, delle materie prime, riciclo e altri processi di fine vita;
- facilitando lo sviluppo e implementazione di strategie e piani di gestione dei GHG attraverso il ciclo di vita del prodotto e l'individuazione di ulteriori efficienze/rendimenti nella catena di approvvigionamento;
- fornendo una comunicazione corretta e costante dei CFP sul quale basare la comparazione dei prodotti in un mercato aperto.

Carbon footprint può essere utilizzata in due differenti situazioni:

- *Carbon footprint del prodotto*: considera le emissioni di tutte le fasi di vita di un prodotto o servizio (cradle to grave). Questa metodologia può offrire benefici come: facilitare la valutazione di prodotti alternativi, la realizzazione di strategie di gestione dei GHG, fornire una migliore comprensione dei CFP per la riduzione GHG.
- *Carbon footprint di organizzazione*: aiuta le imprese ad avere un'organizzazione sostenibile in differenti settori.

La comunicazione dei risultati ricavati dagli studi sull'impronta ambientale, in particolar modo per quella riguardante il carbonio, è essenziale al fine di fornire informazioni ai consumatori o altri affinchè questi possano prendere decisioni, supportare l'attuazione

di politiche sulla gestione dei cambiamenti climatici e supportare l'impegno di un'organizzazione nella lotta ai cambiamenti climatici.

Le caratteristiche della CF:

- Comunicazione dei risultati chiara e coincisa: con un unico indicatore può essere definito l'impatto di un prodotto o sistema sulle emissioni ad effetto serra;
- Unità di misura facile e chiara;
- Incisività ed oggettività.

La carbon footprint di un prodotto può essere calcolata con due metodologie diverse:

- *Metodo di processo*: è un tipo LCA bottom-up che assegna ad ogni processo del ciclo di vita del prodotto una quantità di CO_2 e CO_2 equivalente.
- *Metodo Input and output*: è un approccio top-down che si basa sull'intensità di carbonio definita per un certo numero di categorie; il prodotto viene assegnato a una categoria e un suo attributo, come il peso, viene moltiplicato per l'intensità di carbonio associata a quella categoria. I due approcci non possono essere confrontati, il primo è maggiormente dettagliato ma necessita di interpretazione, il secondo ha bisogno di minor tempo, dati, calcoli ma è anche meno accurato.

Un buono studio di carbon footprint dovrebbe essere:

- *Rilevante*: selezione dei dati e metodi appropriati per la valutazione delle emissioni dei GHG;
- *Completo*: include le emissioni dei GHG e la rimozione che fornisce un contributo significante per CFP del sistema prodotto in fase di studio;
- *Consistente*: applicare le supposizioni al fine di ottenere conclusioni concordanti con scopi ed obiettivi;
- *Coerente*: selezionare le metodologie, riconoscere gli standard e adottare le categorie di prodotto per accrescere la comparabilità tra CFP all'interno di qualsiasi categoria d'impatto;

- *Accurato*: accuratezza nella quantificazione e comunicazione, verificabilità, rilevanza e nessuna induzione ad errore della CFP;
- *Trasparente*: accessibilità dei documenti, comprensibilità e chiarezza d'informazioni sull'unità funzionale, assunzioni sui dati e metodo di calcolo;
- *Congruente*: rende chiaro che ciò che si comunica sulla CFP deriva da uno studio ce valuta ogni singola categoria d'impatto dei cambiamenti climatici;

Il calcolo del metodo della CF è basato sulla norma ISO/TS 14067 che ha diverse fasi di sviluppo simili a quelle di uno studio LCA [10]:

- *Definizione degli scopi e degli obiettivi*:

  L'obiettivo è quello di calcolare la potenziale contribuzione che un prodotto o sistema ha sul riscaldamento globale ed è espresso in CO_2 equivalente derivante dalla quantificazione di tutte le emissioni dei gas serra significanti durante il ciclo di vita. Lo scopo dovrebbe essere coerente con l'obiettivo e più specificamente da informazioni su:

  - *Unità funzionale*: fornisce un riferimento a quali input e output sono correlati
  - *Confine del sistema*: mostra quale unità di processo sono incluse nello studio.
  - *Qualità dei dati*: quando è possibile è meglio utilizzare dati sito specifici rispetto ai dati primari e secondari che non sono sito specifici, in quanto derivano dalla letteratura o sono stimati. In ogni caso è importante specificare il periodo di reperimento.

- *Analisi dell'inventario dei GHG*:

  Consiste nella compilazione degli input e output di un sistema o un prodotto per l'intero ciclo di vita. Secondo la ISO 14044:2006 ci sono diverse fasi che consistono nella raccolta dei dati, nella validazione dei dati, nella correlazione dei dati all' unità di processo e nel perfezionamento del confine del sistema.

- *Allocazione dei dati*:

  Consiste nell'assegnazione degli input e output alle diverse unità di processo. Ogni unità di processo può essere divisa in sotto-processi.

- *Validazione della carbon footprint:*

La CF di un'organizzazione è normata da due standard internazionali: GHG protocol of World resources institute and ISO 14064. Questi due standard obbligano il calcolo delle emissioni dei gas serra e le emissioni indirette dai presunti consumi elettrici e di calore. Altre tipologie di emissioni possono essere calcolate volontariamente. La CF di organizzazione può essere utilizzata come strumento di gestione per migliorare la riduzione di emissione di un'attività sotto la loro direzione.

2.5.1 Piani d'azione

L'interesse ai cambiamenti climatici era già vivo nel 1988 con l'Intergovernmental Panel of Clime Change (IPCC), un Gruppo intergovernativo focalizzato sui cambiamenti climatici e sulla ricerca di soluzioni. Le attività di questo gruppo hanno portato alla stesura del Protocollo di Kyoto, un trattato internazionale, che affronta argomenti ambientali e più specificamente riguardanti il riscaldamento globale, con lo scopo di ridurre le emissioni dei gas inquinanti derivanti dalle attività antropiche del 5% entro l'anno 2012, ponendo come anno di riferimento il 1990. Il trattato fu sottoscritto nel 1997 ma la sua attuazione avviene solamente nel 2005 con l'adesione della Russia, poiché un prerequisito dell'attuazione del Protocollo era che la somma dell'emissioni dei paesi aderenti fosse maggiore del 55% di quelle globali. Aderirono 192 paesi. Gli stati firmatari dovettero implementare politiche ambientali ed industriali per rallentare il riscaldamento globale del pianeta e furono previste sanzioni in caso di violazioni.

Il 17 dicembre 2008 il Parlamento di Strasburgo approvò il "Piano 20 20 20" al fine di prolungare la lotta comune verso la riduzione dei cambiamenti climatici promuovendo l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili anche dopo la fine del Protocollo di Kyoto che è avvenuta nel 2012. Il 30 Giugno 2010 ogni paese membro della Comunità Europea ha dovuto presentare un piano d'azione nazionale (PAN). Il piano 20 20 20 ha quindi una durata di sette anni, dal 2013 al 2020 ed è contenuto nella direttiva 2009/29/CE.

Gli obiettivi del Piano 20 20 20 sono i seguenti:

- Riduzione del 20% delle emissioni di anidride carbonica rispetto agli anni 90';
- Aumento del 20% di energia derivante da fonti rinnovabili rispetto alle proiezioni previste per il 2020;
- Riduzione del 20% dei consumi energetici.

Una strategia utilizzata dall'UE per raggiungere gli obiettivi è stata quella di creare il sistema di scambio delle quote d'immissione (ETS) dei settori energetico ed industriale per un totale del 45% delle emissioni di gas ad effetto serra dell'UE. L'utilizzo di queste quote è lo strumento politico chiave per combattere i cambiamenti climatici e ridurre le emissioni dei gas ad effetto serra. L'ETS si basa sul principio "*cap and trade"* che fissa un limite al numero di quote di emissione pari ad una tonnellata dei maggiori gas ad effetto serra e tale limite viene ridotto nel tempo al fine di ridurre le emissioni dei gas ad effetto serra. Le società possono acquistare o ricevere quote secondo necessità ed ogni anno l'azienda deve restituire un numero di quote pari al quantitativo delle proprie emissioni. Nel caso in cui un'azienda riduca le proprie emissioni può conservare può conservare le quote per esigenze future o venderle ad una società che non dispone di quote. Un prezzo elevato del carbonio porta le aziende a promuovere investimenti in tecnologie pulite e basse emissioni di carbonio. Si è previsto che entro la fine del 2020 le emissioni saranno ridotte del 20% rispetto ai valori del 2005.

Nel 2014 venne istituito un ulteriore strategia d'azione contro i cambiamenti climatici definito Quadro 2030 che comprende il periodo dal 2021 al 2030 i cui obiettivi sono i seguenti:

- Riduzione di almeno il 40% delle emissioni dei gas ad effetto serra rispetto al 1990. Più nello specifico i settori interessati dagli ETS dovranno ridurre del 43% le emissioni rispetto al 2005 e quei settori non interessati dovranno avere una riduzione del 30%;
- Utilizzo di almeno 32% di energie rinnovabili;
- Miglioramento di almeno il 32,5% dell'efficienza energetica [11].

"As Europeans, we want to leave a healthier planet behind for those that follow. We obviously cannot turn a blind eye to the climate challenge; we must look to the future."

Questa dichiarazione pronunciata dall'ex presidente della commissione europea nel settembre del 2018 preannunciava la visione strategica a lungo termine presentata il 28 novembre del medesimo anno per un'economia prospera, moderna, competitiva e climaticamente neutra entro il 2050. Questo obiettivo si crede essere raggiungibile attraverso l'investimento in soluzioni tecnologiche realistiche, coinvolgendo i cittadini e garantendo equità sociale. Rimane l'obiettivo in linea con l'accordo di Parigi di mantenere l'aumento della temperatura globale pari a 1,5°C. Questa strategia prevede quindi:

- obiettivo a lungo termine: i governi hanno convenuto di mantenere l'aumento della temperatura media globale ben al di sotto di 2°C rispetto ai livelli preindustriali e di proseguire gli sforzi per limitarlo a 1,5°C;
- contributi: prima e durante la conferenza di Parigi i paesi hanno presentato piani d'azione nazionali globali in materia di clima finalizzati a ridurre le rispettive emissioni;
- ambizione: i governi hanno deciso di comunicare ogni cinque anni i propri contributi per fissare obiettivi più ambiziosi;
- trasparenza: hanno accettato inoltre di comunicare l'un l'altro e al pubblico, i risultati raggiunti nell'attuazione dei rispettivi obiettivi al fine di garantire trasparenza e controllo;
- solidarietà: l'UE e gli altri paesi sviluppati continueranno a fornire finanziamenti per il clima ai paesi in via di sviluppo per aiutarli sia a ridurre le emissioni che a diventare più resilienti agli effetti dei cambiamenti climatici [12].

3. CODICE DI CALCOLO

I software per l'analisi LCA hanno come obiettivo la creazione di modelli di cicli di vita per prodotti e servizi in cui vengono individuate e stimate le fasi di maggiore impatto ambientale. La normativa di riferimento è la ISO 14040. In questo studio, anche in linea con un interesse specifico dell'azienda ASM di individuare un tool free, è stato usato il software OpenLCA. I risultati ottenuti sono stati successivamente confrontati con il codice di calcolo SimaPro, messo a disposizione dall' azienda di consulenza ICStudio, la quale collabora con ASM per tutte le pratiche di aspetto ambientale. OpenLCA è stato inizialmente approcciato con uno studio autonomo utilizzando i manuali utente messi a disposizione, e successivamente seguendo un corso organizzato dagli operatori del software.

3.1 Selezione del software

ASM, come innumerevoli altre società pubbliche, si trova nella necessita/volontà di effettuare analisi di impatto ambientale sui propri servizi cercando di contenere per quanto possibile i costi. E' stato quindi chiaro fin da subito che uno dei requisiti fondamentali del software di calcolo fosse il basso costo per la licenza (o free). Tale richiesta scaturisce anche dal fatto che ASM intende utilizzare il software internamente all'azienda anziché appoggiarsi a risorse esterne, aumentando così anche le conoscenze del personale addetto. Un altro importante prerequisito che è stato utilizzato nella selezione, è stato quello di verificare che il software si basasse su standard che ne garantissero l'affidabilità, come ad esempio gli standard ISO 14040 e 14044. Dopo varie ricerche e confronti tra possibili soluzioni, si è optato per OpenLCA.

I punti di forza sono i seguenti:

- Software opensource (costi quasi nulli);
- si basa sugli standard UNI EN IS 14040 e 14044;
- non ha limitazioni di utilizzo;

- ❖ calcola l'impronta ambientale;
- ❖ si possono scaricare più database contemporaneamente.

Con "*non ha limitazioni di utilizzo*" si intende che può essere utilizzato per diversi obiettivi, anche non prettamente inerenti alle tematiche ambientali, poiché la pertinenza dei risultati rispetto all'oggetto in esame è legata unicamente alla scelta del database. Questo è ritenuto un punto di forza in quanto, durante la ricerca bibliografica dei software, si siano incontrati diversi software per studi di LCA estremamente specifici come di seguito illustrato:

- ❖ A-BACUS: calcola le performance energetiche ma unicamente per superfici opache;
- ❖ EIOLCA: fornisce informazioni sulle performance economiche;
- ❖ SEAS3: fornisce informazioni su prestazioni energetiche di costruzioni in acciaio.

Uno dei punti di forza di OpenLCA è quello di essere un software opensource, nel quale si possono caricare più database e a seconda della tipologia di studio si sceglierà la banca dati più idonea. Si è perciò utilizzata la piattaforma OpenLCA Nexus per la ricerca della banca dati e nuovamente si è cercato un database opensource quanto più inerente possibile al caso di studio.

3.2 OPENLCA VS SIMAPRO

Di seguito saranno confrontati i due software OpenLCA e SimaPro al fine di evidenziare le caratteristiche che li accomunano e che li distinguono.

3.2.1 Caratteristiche tecniche

Il software *OpenLCA* realizzato da GreenDelta, esiste dal 2006 ed è utilizzato per effettuare analisi dei cicli di vita di oggetti e servizi. I risultati e i modelli che si realizzano con OpenLCA possono essere condivisi liberamente a condizione che la licenza dei

database lo permetta. I dati a disposizione derivano da collaborazioni dei creatori con centri di ricerca che commissionano loro gli studi e grazie a clausole contrattuali rendono i database disponibili. Vi è inoltre un continuo aggiornamento del software con inserimento di banche date codificate. In più, rispetto a molti software a pagamento (Gabi e SimaPro) non utilizza dati non codificati.

Più nel dettaglio OpenLCA può essere utilizzato per diversi scopi:

- LCA e analisi dei costi sul ciclo di vita (LCC);
- Valutazione dell'impatto sociale durante il ciclo di vita (S-LCA);
- Impronta di carbonio e d'acqua;
- Dichiarazione ambientale di prodotto (EPD);
- Etichette ambientali;
- Impronta ambientale di prodotto (PEF);
- Impronta ambientale di organizzazioni (OEF).

Per questa tipologia di studio è stata utilizzata l'ultima versione OpenLCA 1.9 commercializzata da luglio 2019. Le specifiche per l'utilizzo dell'hardware sono le seguenti [13]:

- CPU con 2 GHz o più;
- 1 GB RAM (per analizzare il Sistema di prodotto con ~2500 processi, come ad esempio Ecoinvent;
- >3 GB RAM (per analizzare il sistema di prodotto come Ecoinvent o Psilca per LCA sociale);
- 500 MB di spazio libero sul disco fisso e anche spazio per i databases (per esempio Ecoinvent 3 necessita di ~250MB).

Un altro punto a favore di OpenLCA è il fatto che i database a pagamento messi a disposizione possono comunque avere costi più contenuti in quanto l'operatore è in grado di selezionare diverse tipologie di contratto in base alle sue esigenze. Di seguito l'esempio della banca dati Ecoinvent, le cui diversificazioni di tipologie di contratto sono

valide per tutti i database a pagamento offerti dalla libreria OpenLCA Nexus, ad eccezione del prezzo che varia lievemente [14]:

- Licenza commerciale per uso singolo: € 3.800,00;
- Licenza formazione utente singolo (accademico): € 1.900,00;
- Licenza formazione multiutente (livello di organizzazione a livello accademico): € 3.800,00;
- Annuale: € 1.500,00.

Per ognuna di queste tipologie di licenze è possibile ottenere degli sconti se si ha già una licenza per quel determinato database su un altro software, con un prezzo, per ogni tipologia di licenza sopracitata, pari a € 650,00. Vengono inoltre riconosciuti ulteriori sconti sui successivi aggiornamenti del database.

Per quanto riguarda il software ***SimaPro*** (System for Integrated Environmental Assessment of Products), utilizzato a paragone e accumunato a OpenLCA da funzioni e caratteristiche simili, si tratta di un software commerciale che utilizza database a pagamento.

Hardware richiesto [15]:

- ram: 4 GB (32 bit) 8 GB (64 bit);
- processore: 64 bit;
- hard disk: 10 GB liberi.

SimaPro fu creato nel 1990 dall'azienda Prè (Product Ecology Consultant) ed è uno dei software più famosi per studi di LCA ed è diffuso in più di 80 paesi. Questo software raccoglie informazioni sulle performance dei prodotti e servizi con l'analisi del ciclo di vita basato sulla norma ISO 14040 [16]. Per questo caso studio è stato utilizzata la versione di SimaPro 8.5.2. che ha le seguenti caratteristiche:

- flessibilità: è possibile introdurre nuovi processi di analisi degli impatti ambientali, materiali e metodi e modificare quelli esistenti;
- si basa sugli standard UNI EN ISO 14040;
- modellazione facile e veloce;

- disponibilità di un vasto numero di database basati su caratteristiche economiche ed ambientali per l'inserimento di dati di input e output;
- possibilità di modellamento di diversi parametri, per esempio analisi di sensibilità, analisi d'incertezza e l'ottenimento di differenti scenari;
- analisi dell'incertezza con il metodo Monte Carlo;
- possibilità di scegliere differenti metodi di valutazione degli impatti;
- possibilità del calcolo diretto della valutazione degli impatti di ogni singola fase;
- analisi ambientale critica: fase del ciclo di vita maggiormente impattante;
- possibilità di personalizzare la visualizzazione dei risultati;
- possibilità di importare ed esportare i dati, grafici e tabelle.

Queste caratteristiche sono comuni anche a OpenLCA.

3.2.2 Struttura del modello di calcolo

OpenLCA, essendo un software opensource, al momento del download ha una struttura interna impostata ma priva di una libreria dati, a differenza di SimaPro che presenta fin dall'inizio una struttura impostata con libreria dati che ne facilita l'utilizzo.

Per sviluppare un progetto è necessario eseguire quattro step:

- **Flows:** in questa fase iniziale viene indicato il flusso, ovvero l'oggetto in esame e le unità di misura che si utilizzeranno per il calcolo. In questo step verranno indicate le proprietà e quindi l'unità di misura che si prenderanno in considerazione;
- **Processes:** in questa fase vengono indicati gli input e gli output con le rispettive quantità ed unità di misura. Questa parte costituisce la fase di inventario;
- **Product system:** in questa fase viene fornito il modello grafico, ovvero si crea la rete di processi che rappresenta il product system;
- **Projects:** in questa fase finale vengono organizzati tutti i dati in un unico progetto, nel quale viene creato un report con i risultati ottenuti dai sistemi di prodotto ed indicante l'impatto generato in base al metodo di valutazione scelto.

A differenza di OpenLCA, il database SimaPro è strutturato in tre parti principali:

- **Project Data:** tutti i dati inseriti dall'utente vengono organizzati in "progetti". Un progetto è formato da tre sezioni che ricalcano la struttura di uno studio LCA:

  1. Scopo e ambito: in questa sezione vengono definiti gli obiettivi, le librerie incluse e gli indicatori di consistenza dei dati.

  2. Inventario: in questa sezione viene ricreato il ciclo di vita del componente con i relativi dati di input e output.

  3. Valutazione degli impatti: in questa sezione viene scelto il metodo di valutazione degli impatti e vengono creati i report.

  Questo modo di organizzare i risultati è molto utile se si eseguono più studi LCA perché consente di mantenere i dati relativi a uno studio separati da quelli relativi ad altri ed archiviarli in modo semplice.

- **Library Data:** le librerie (o "banche dati") sono la sede dei dati già presenti al momento dell'acquisto del software; esse possono in qualsiasi momento essere corrette o integrate in maniera flessibile, fornendo la possibilità di creare nuovi processi o materiali oppure modificare quelli esistenti, adattandoli alle necessità del caso studiato. Ciascuna libreria ha un suo specifico campo di applicazione che viene dettagliatamente descritto nella sezione "Scopo e ambito-descrizione" in modo da mettere l'utilizzatore nella condizione di escludere librerie non adatte al proprio progetto[1].

- **General Data:** in questa sezione sono contenuti tutti i dati che servono a supporto sia per le librerie che per i progetti, come ad esempio le unità di misura e la lista completa delle sostanze presenti nel database [17].

[1] Le banche dati presenti nella versione di Simapro utilizzata per questo lavoro di tesi verranno illustrate del paragrafo successivo.

3.2.3 Banche dati

Per quanto riguarda la scelta del database da utilizzare per OpenLCA, si è scelto tra le banche dati messe a disposizione da OpenLCA Nexus. Essendo queste banche dati libere sono purtroppo anche poco specifiche e incomplete in quanto riportano unicamente alcuni dati specifici per determinate zone o studi, in quanto provengono, come precedentemente detto, dalle collaborazioni dei fondatori del software con centri di ricerca o comunque da specifici progetti. Tra le varie offerte proposte vi erano:

- Bioenergiedat: processi per le filiere della bioenergia di origine tedesca (Germania);
- Exiobase: stima le emissioni delle industrie a livello globale;
- ELCD: comprende i dati dell'inventario del ciclo di vita provenienti da associazioni di imprese a livello dell'UE e altre fonti per materiali chiave, vettori energetici, trasporti e gestione dei rifiuti. I di dati sono ufficialmente forniti e approvati dall'associazione industriale denominata;
- Needs: inventari del ciclo di vita delle future forniture di elettricità in Europa. Contiene dati LCI industriali su futuri servizi di trasporto, fornitura di elettricità e materiale;
- USDA: legato a cibo e foreste;
- Open LCIA method: metodi di valutazione degli impatti ed include la normalizzazione ed il peso;
- EF: database sviluppato per studi di *Product Environmental Footprint* (PEF) e *Organisation Environmental Footprint* (OEF).

La scelta del database è ricaduta sulla banca dati EF (environmental footprint) che dispone di una ricca quantità di dati con riferimenti geografici italiani.

Per quanto riguarda invece la scelta dalla banca dati da utilizzare su SimaPro si è giunti all'utilizzo di Ecoinvent, banca dati riconosciuta a livello mondiale in termini di trasparenza e coerenza oltre a fornire dati di processo ben documentati su migliaia di prodotti al fine di permettere di effettuare scelte informate sul loro impatto ambientale.

In questo caso di studio è stato utilizzata la versione ECOINVENT V2. La banca dati Ecoinvent [18], di origine svizzera, copre quasi 4000 processi nei seguenti settori industriali, relativi per lo più alle attività presenti in Svizzera e nell'Europa occidentale:

- Energia;
- Trasporti;
- Materiali da costruzione;
- Prodotti chimici;
- Prodotti per il lavaggio;
- Carta e cartone;
- Agricoltura;
- Trattamento degli inquinanti.

Tutti i processi sono dotati di un'ampia documentazione, con collegata la descrizione dei dati (nome, unità di misura, derivazione del dato, categoria e sottocategoria di appartenenza) e informazioni relative all'incertezza.

3.2.4 Valutazione degli impatti

SimaPro e OpenLCA dispongono di molti metodi di valutazione degli impatti tra i quali l'utilizzatore può scegliere. Ognuno di essi contiene dalle 10 alle 20 categorie di impatto che possono essere opportunamente aggregate.
La struttura dei metodi ricalca quella proposta dalla norma ISO 14042 e prevede i seguenti step:

- Classificazione
- Caratterizzazione
- Normalizzazione

- Ponderazione

I primi due punti sono obbligatori, quindi presenti su tutti i metodi, mentre normalizzazione e ponderazione possono essere omessi a causa della loro soggettività. Si riporta di seguito una breve descrizione dei metodi più comunemente utilizzati.
Per quanto riguarda OpenLCA è stato scelto il metodo di valutazione *CML2001-Dec. 07 Global Warming Potential (GWP 100 years),* mentre per SimaPro il metodo *IPCC 2007 GWP 100.*
Di seguito sono riportati alcune banche dati disponibili sul mercato:

METODO ECO-INDICATOR 99

L'Eco-indicator è una metodologia sviluppata dalla Prè Consultants per conto del Ministero dell'Ambiente olandese; essa costituisce un potente strumento per i progettisti, utile ad aggregare i risultati di LCA in unità o numeri facilmente comprensibili ed utilizzabili, chiamati appunto Eco-indicatori [19].
L'*Eco-indicator 99* è un metodo *damage-oriented* (esprime cioè gli impatti in tre macrocategorie di danno, che racchiudono differenti categorie di impatto).
Le categorie di danno considerate sono quelle connesse:

- alla salute umana (*Human Health-HH*)
- alla qualità degli ecosistemi (*Ecosystem Quality-EQ*)
- alle risorse (*Resources-R*)

I danni alla salute umana sono espressi in DALY (Disability Adjusted Life Years).
In questa categoria sono modellati i danni causati da tutte le sostanze che abbiano un impatto sulla respirazione (composti organici e inorganici), sulla carcinogenesi, sui cambiamenti climatici e sullo strato di ozono; sono comprese in questa categoria anche le radiazioni ionizzanti.
I danni alla qualità degli ecosistemi sono espressi in percentuale di specie di piante che si stima siano scomparse da una certa area a causa delle mutate condizioni ambientali. L'eco-tossicità è espressa come la percentuale di specie che vivono in una certa area in condizioni di stress.

L'acidificazione e l'eutrofizzazione sono trattate in una singola categoria d'impatto e vengono modellate utilizzando delle specie target (piante vascolari).

I danni sulle risorse comprendono l'estrazione e l'utilizzo di risorse minerarie e di combustibili. L'estrazione di risorse è correlata a parametri che indicano la qualità delle risorse minerarie e fossili che rimangono nei giacimenti. L'impatto su questa categoria viene quantificato in termini di maggiore energia necessaria per le estrazioni future (MJ surplus energy).

L'*Ecoindicator 99* è strutturato per un livello europeo, la normalizzazione e la ponderazione vengono eseguite a livello della categoria di danno (a livello di *endpoint*, secondo la terminologia dettata dall'ISO) causato da un cittadino europeo in un anno [20].

METODO EPS 2000

L'EPS 2000 (Environmental Priority Strategies in product design) è una metodologia che valuta i costi esterni di un prodotto prendendo come misura monetaria la somma che un cittadino è disposto a pagare per ripristinare lo stato ambientale e le condizioni di salute umana degradati o compromessi da un determinato impatto.

Creato in Svezia nel 2000 dal Centre for Environmental Assessment of Products and Material System con la partecipazione della VOLVO, l'EPS 2000 considera quattro categorie di impatto:

- *Human Health* comprende cinque sottocategorie: Life Expectancy, Severe Morbidity, Morbidity, Severe Nuisance, Nuisance.
- *Ecosystem Growth Capacity* che a sua volta comprende sei sotto-categorie che considerano la riduzione della capacità di crescita dei cereali (Crop Production Capacity, in kg), del legno (Wood Production Capacity, in kg), del pesce e della carne (Fish and Meat Production Capacity, in kg), l'acidificazione del suolo (Base cation capacity, in H+ mole equivalents), l'uso dell'acqua da bere (Production on drinking water, in kg) e di quella da irrigare (Production capacity of irrigation water, in kg).
- *Abiotic stock resources* comprende la categoria di impatto Depletion of Reserves, il cui danno è misurato in ELU, Environmental Load Unit, unità che esprime la

volontà da parte della società a pagare per ripristinare un certo danno ambientale. 1 ELU≈1 EURO.

- *Biodiversity* comprende la categoria di impatto Species Extinction il cui danno è misurato in Normalised Extinction of species (NEX) che è il rapporto tra le specie mondiali influenzate da 1 kg della sostanza inquinante considerata e il numero di specie influenzate in un anno da tutte le sostanze inquinanti

Ad ogni categoria di impatto è associato un peso che, moltiplicato per i valori ottenuti in fase di caratterizzazione, permette di avere tutti gli impatti espressi in ELU. Successivamente i valori di ELU vengono moltiplicati per i rispettivi fattori di valutazione e infine sommati per ottenere un unico indicatore [19.]

METODO CLM 2 BASELINE 2000

Tale metodo presenta un'elaborazione dell'approccio a livello di *midpoint* rispetto al precedente CML 1992 sviluppato in Olanda presso l'Università di Leiden. Fornisce una lista di categorie di valutazione dell'impatto raggruppate in:

- Categorie d'impatto obbligatorie;
- Categorie d'impatto addizionali (esistono vari indicatori operativi, ma spesso non vengono inclusi negli studi di LCA);
- Altre categorie d'impatto (dove non sono presenti indicatori operativi, perciò impossibili da inserire in studi di LCA).

Per le categorie d'impatto obbligatorie, gli indicatori sono stati scelti in base al principio delle migliori prassi disponibili per la valutazione, e tali indicatori sono relativi a categorie di impatto a livello di midpoint.

METODO EPD 2008

Questo metodo è principalmente usato per la preparazione di dichiarazioni ambientali di prodotto (EPD) e segue le raccomandazioni della Swedish Environmental

Management Council (SEMC). Nello standard EPD si è soliti riferire gli effetti delle seguenti categorie d'impatto:

- Composti ad elevati potenziali di riscaldamento;
- Gas ad effetto serra;
- Gas nocivi allo strato di ozono;
- Composti acidificanti;
- Gas che comportano creazione di ozono fotochimico;
- Composti eutrofizzanti.

Ad eccezione del primo punto, tutte le altre categorie d'impatto sono prese direttamente dal metodo CML 2 2000.

METODO IPCC 2007 100a

L'IPCC (Gruppo intergovernativo di esperti sul cambiamento climatico) prepara rapporti di valutazione completi sulle conoscenze, sui cambiamenti climatici, le cause, i potenziali impatti e le opzioni di risposta. L'IPCC produce anche relazioni speciali, che sono una valutazione su un problema specifico e relazioni metodologiche, che forniscono linee guida pratiche per la preparazione degli inventari dei gas a effetto serra.L'IPCC è il principale organismo internazionale per la valutazione dei cambiamenti climatici. È stato istituito nel 1988 dalla World Meteorological Organization (WMO) e dall'United Nations Environment Program (UNEP) come sforzo da parte delle Nazioni Unite per fornire ai governi di tutto il mondo una chiara visione scientifica dello stato attuale delle conoscenze sul cambiamento climatico e sui suoi potenziali impatti ambientali e socio-economici. IPCC non effettua attività di ricerca né di controllo dei dati o dei parametri climatici, ma passa in rassegna e valuta le più recenti scoperte scientifiche. Migliaia di scienziati di tutto il mondo contribuiscono al lavoro dell'IPCC, su base volontaria. La review è una parte essenziale dell'azione dell'IPCC, per garantire una valutazione oggettiva e completa di informazioni aggiornate. L'IPCC è un organismo intergovernativo, aperto a tutti i paesi membri delle Nazioni Unite (ONU) e del WMO. Attualmente 194 paesi sono membri dell'IPCC. I governi partecipano al processo di revisione e alle sessioni plenarie, in cui vengono prese le decisioni principali sul

programma di lavoro dell'IPCC e le relazioni scientifiche sono accettate, adottate ed approvate. Il compito iniziale per l'IPCC, come indicato nell'Assemblea Generale delle Nazioni Unite con la risoluzione 43/53 del 6 dicembre 1988, è stato quello di preparare una revisione globale sullo stato delle conoscenze scientifiche dei cambiamenti climatici, del loro impatto sociale ed economico, delle possibili strategie di risposta e degli elementi da inserire in una possibile futura convenzione internazionale sul clima. Oggi il ruolo dell'IPCC è anche quello " di valutare su una base globale, obiettiva, aperta e trasparente le informazioni scientifiche, tecniche e socio-economiche rilevanti per comprendere i rischi dei cambiamenti climatici indotti dall'uomo, i potenziali impatti e le opzioni di adattamento e mitigazione ". Il Second Assessment Report dell'IPCC del 1995 ha fornito un contributo chiave per l'adozione del Protocollo di Kyoto (1997) che attua la Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC, Rio 1992). L'IPCC ha inoltre prodotto diverse relazioni speciali su argomenti di crescente interesse quali il cambiamento climatico [21].

METODO IMPACT 2002+

Sviluppato dallo Swiss Federal Institute of Technology (Losanna) e pubblicato nel 2005 è il risultato della combinazione delle metodologie basate sia sull'approccio *midpoint* (ovvero che fa riferimento alle categorie di impatto), e quello *endpoint* (e cioè basato sulle categorie di danno) [22].

Nell'IMPACT 2002+ le valutazioni vengono fatte principalmente a livello di *midpoint* e a livello di danno normalizzato. Nel primo caso, si ottengono per mezzo del fattore di caratterizzazione *midpoint* e sono espresse in kg equivalenti della sostanza di riferimento, mentre nel secondo caso sono calcolate tramite il fattore di danno normalizzato ed espresse in "points", che corrispondono a "pers·yr" e che rappresentano l'impatto medio causato, su una specifica categoria, da un individuo nell'arco di un anno con riferimento alla zona europea. Inoltre, tramite un opportuno fattore, è possibile stimare anche il punteggio di danno non normalizzato, esprimendolo in DALY, PDF·m2·yr, kgeq-CO2 o MJ, (PDF= potentially disappeared fraction of plant species).

Mentre da un lato i fattori di caratterizzazione *midpoint* mostrano un'incertezza più bassa, se comparati con i fattori di danno, dall'altra i punteggi di danno possono essere sommati e confrontati entro una stessa categoria (di danno), permettendo di valutare gli impatti globali. Nella struttura generale dell'IMPACT 2002+ (Figura 6) tutti i risultati dell'analisi d'inventario sono collegati tramite 14 categorie di impatto *midpoint* (che diventano 15 se si considera che la categoria "Human Toxicity" sia suddivisa in "Carcinogenic" e "Non-carcinogenic") a 4 categorie di danno:

- "*Human health*", espressa in DALY;
- *"Ecosystem quality"*, espressa in PDF·m2·yr;
- *"Climate change"*, rappresentata in kgeq-CO2;
- *"Resources"*, espressa in MJ;

Sempre nella figura 6, le frecce con tratto continuo stanno ad indicare che è presente un impatto considerevole, quantitativamente modellato; mentre quelle tratteggiate stanno ad indicare che si ipotizza l'esistenza dell'impatto, ma, che a causa delle scarse conoscenze, non si riesce a modellarlo da un punto di vista quantitativo [23].

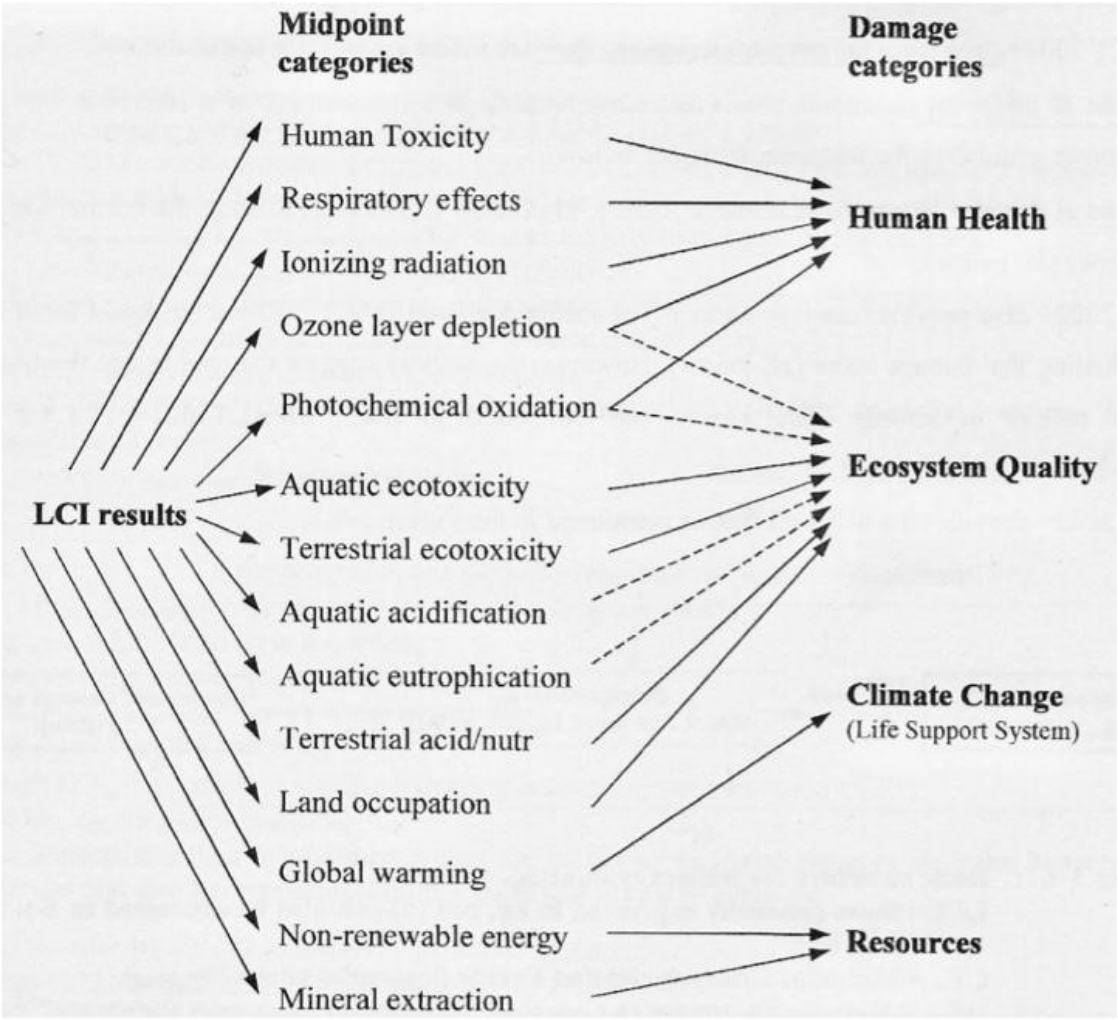

Figura 6: Schema delle categorie d'impatto (*midpoint*) e delle categorie di danno (*endpoint*) del metodo IMPACT 2002+. Le frecce tratteggiate indicano i meccanismi ambientali che collegano le categorie d'impatto alle categorie di danno di cui si assume l'esistenza, ma che non vengono modellati in maniera quantitativa a causa di conoscenze scientifiche incomplete. (Humbert, Margni, & Jolliet, 2005, *IMPACT 2002+: User Guide Draft for version 2.1*).

3.2.5 Presentazione dei risultati

La rappresentazione dei risultati per quanto riguarda OpenLCA può essere di quattro tipologie di calcolo:

- Quick results

- Analysis
- Regionalized LCA
- Monte Carlo simulation

Quick results: mostra unicamente gli impatti diretti e questi possono essere espressi in diversi modi come vedremo di seguito.

- *Istogrammi* che mostrano i processi che maggiormente impattano i flussi presi in considerazione(Figura 7).

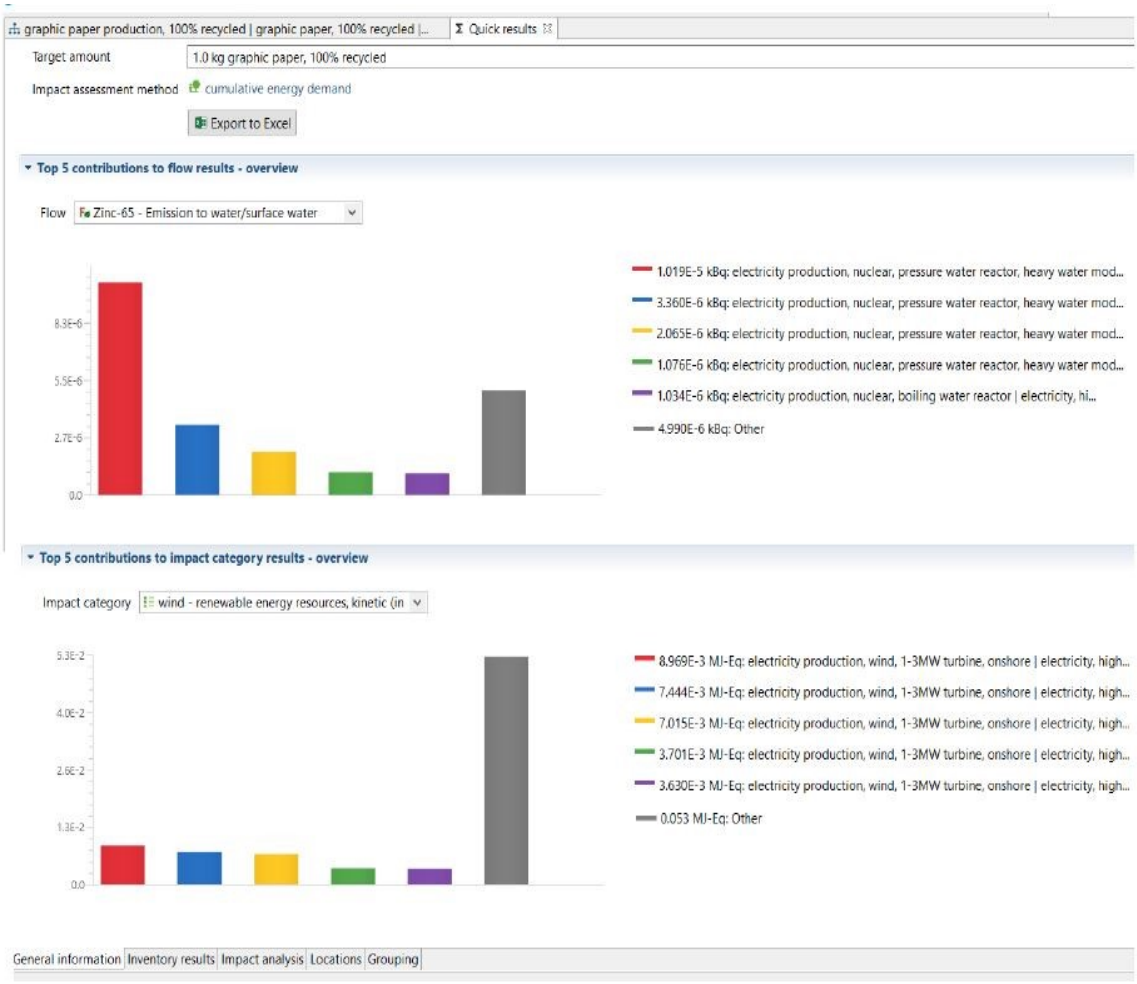

Figura 7: Rappresentazione degli istogrammi generati con il calcolo Quick results. (Fonte OpenLCA 1.9 User Manual)

- *Inventory results* - consiste in una tabella in cui vengono riportati tutti gli input e output considerati nel processo e raggruppati specificando per ognuno la categoria di appartenenza.

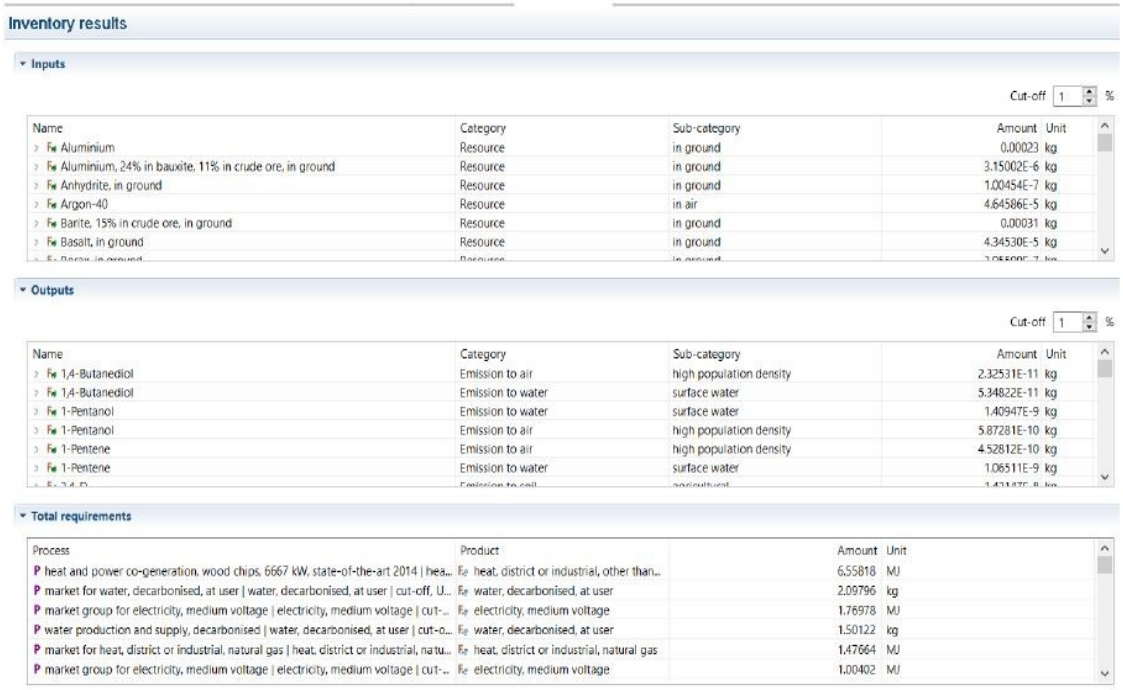

Figura 8: Rappresentazione dei vari valori dell'inventario mostrati tramite la scelta di calcolo di quick results (Fonte OpenLCA 1.9 User Manual)

- *Impact analisys* - consiste nel mostrare quali dati dell'inventario sono responsabili dei vari impatti considerati dal metodo di valutazione. I valori 0 posso essere esclusi come si può vedere dalla figura 9.
- *Location* - questa tipologia di tabella mostra informazioni specifiche sui flussi di localizzazione, impatti e categorie di costo.

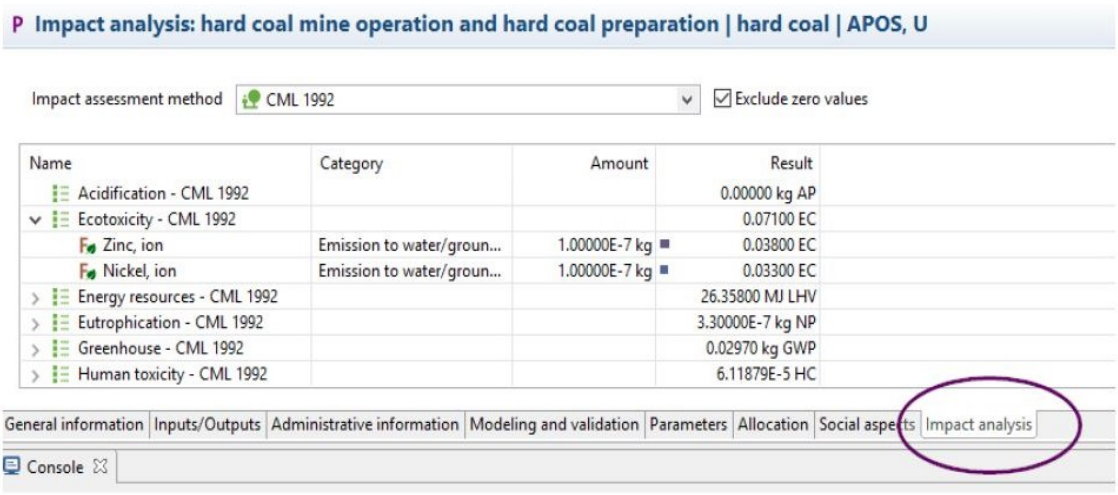

Figura 9: Attraverso il calcolo tramite “quick results” è possibile generare anche la tabella dell’analisi d’impatto (Fonte OpenLCA 1.9 User Manual)

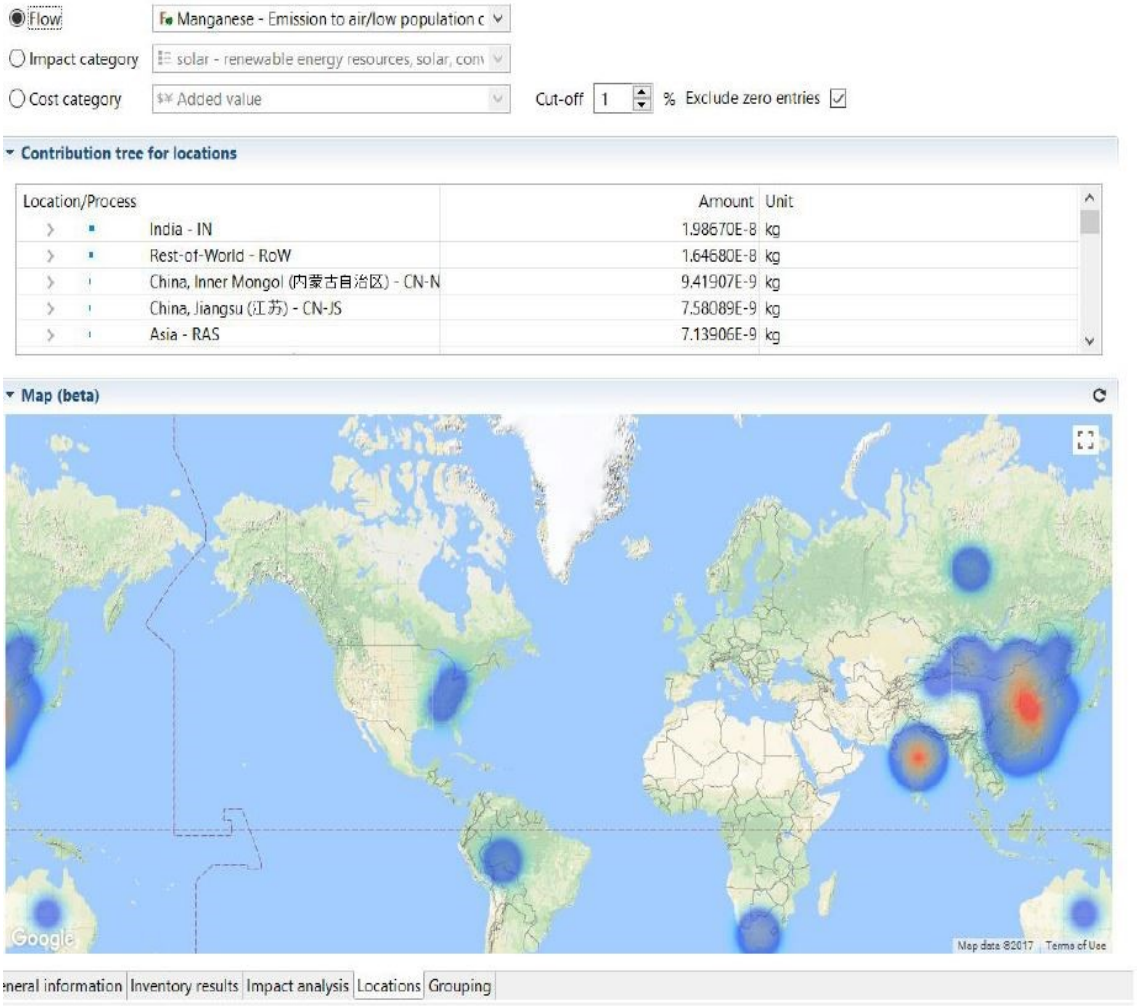

Figura 10: rappresentazione grafica della visualizzazione degli impatti tramite l’opzione “locations” offerta dall’opzione di calcolo “quick results” (Fonte OpenLCA 1.9 User Manual)

❖ *Grouping* – consiste nel raggruppare i prodotti in gruppi per vederne i valori cumulativi e mostrare i valori diretti d'impatto. Una volta creato il gruppo e aggiunti i prodotti interessati vi è la possibilità di vedere il loro contributo per uno specifico flusso di prodotto e categoria d'impatto attraverso una tabella riassuntiva ed istogramma (Figura 11).

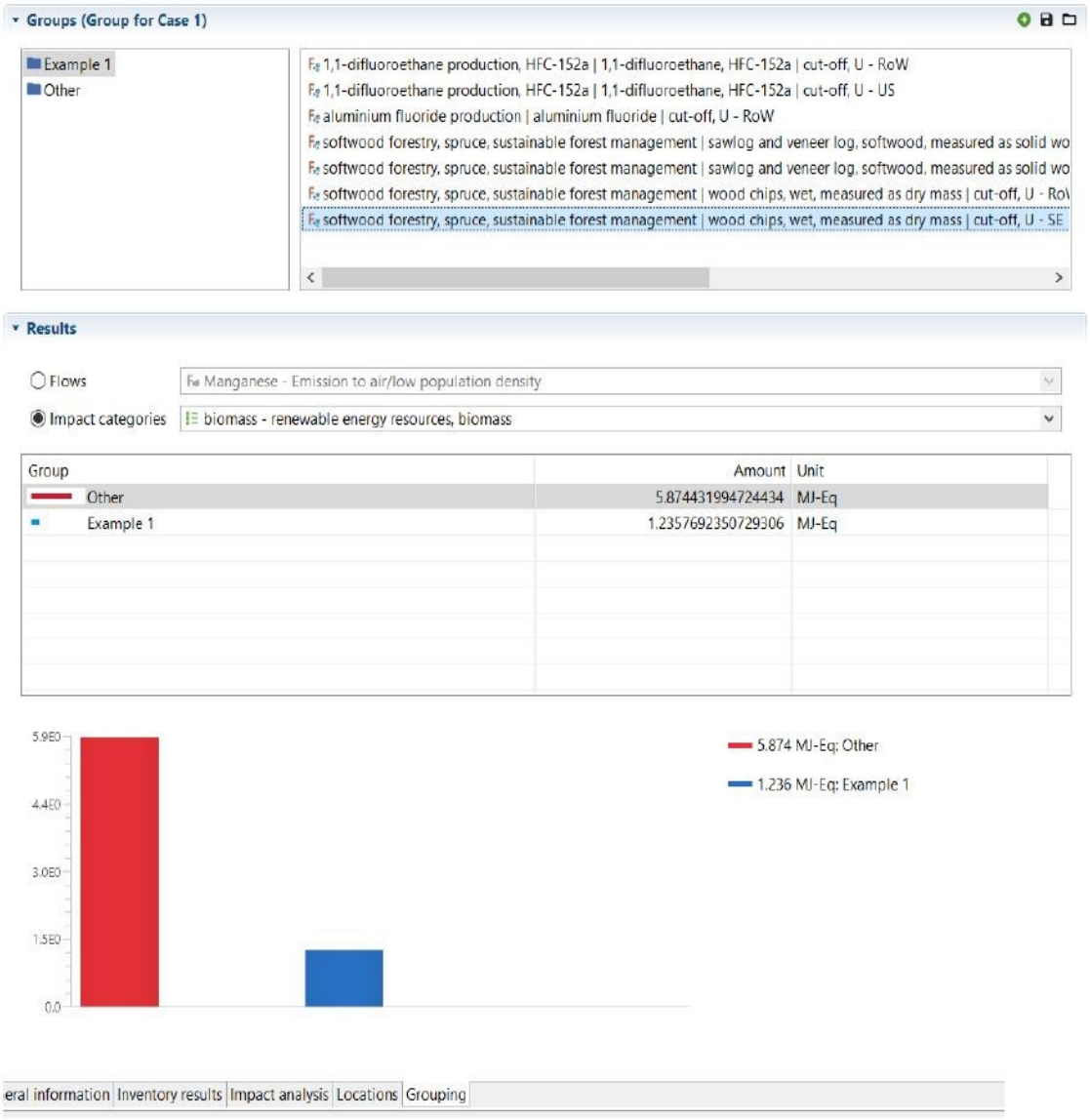

Figura 11: Istogrammi generati dall'opzione di grouping (Fonte OpenLCA 1.9 User Manual)

Analysis: consta di un'unica tabella in cui sono visibili sia i contributi diretti che quelli a monte. È possibile selezionare un processo dalla lista per elencare gli input e output che contribuiscono a quel determinato flusso. È possibile inoltre selezionare la voce "Impact

assessment results" visualizzando così l'elenco di tutte le categorie che vengono impattate contenute nel metodo di valutazione di impatto scelto. Gli impatti diretti corrispondono ad un unico processo specifico, mentre per quanto riguarda il contributo totale a monte è dato dalla somma dei contributi diretti e di quelli a monte. Gli impatti possono essere osservati graficamente tramite ii diagramma di Sankey che verrà spiegato successivamente (Figura 12).

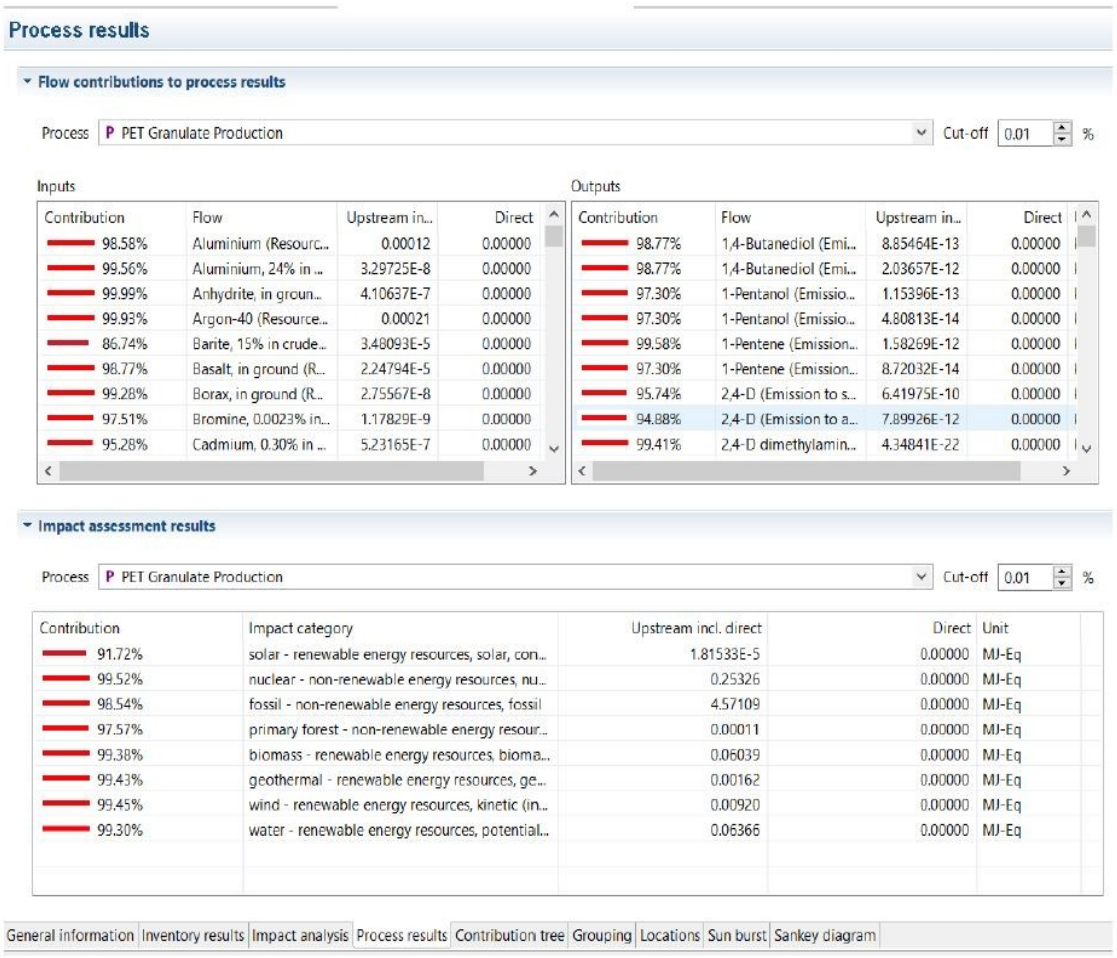

Figura 12: Tabella generata tramite l'opzione di calcolo "Analysis" in cui vengono indicate attraverso percentuali i fattori maggiormente impattanti.

Regionalized LCA: la creazione dell'inventario per le analisi dei cicli di vita dovrebbe essere interessata da condizioni sito specifiche. Per la valutazione di un impatto regionalizzato è estremamente importante gestire sistemi multi-scala senza compromettere la correttezza dei risultati. Per superare questa sfida, i sistemi di informazione geografica (GIS) possono essere utilizzati sia per calcolare fattori di impatto regionalizzati sia per avere inventari sito specifici.

Monte Carlo simulation: consiste nella variazione casuale dei dati in ingresso del calcolo del modello al fine di trarre stime sul fenomeno in esame. La simulazione è ben eseguita se il valore medio converge al valore vero del campione iniziale [13].

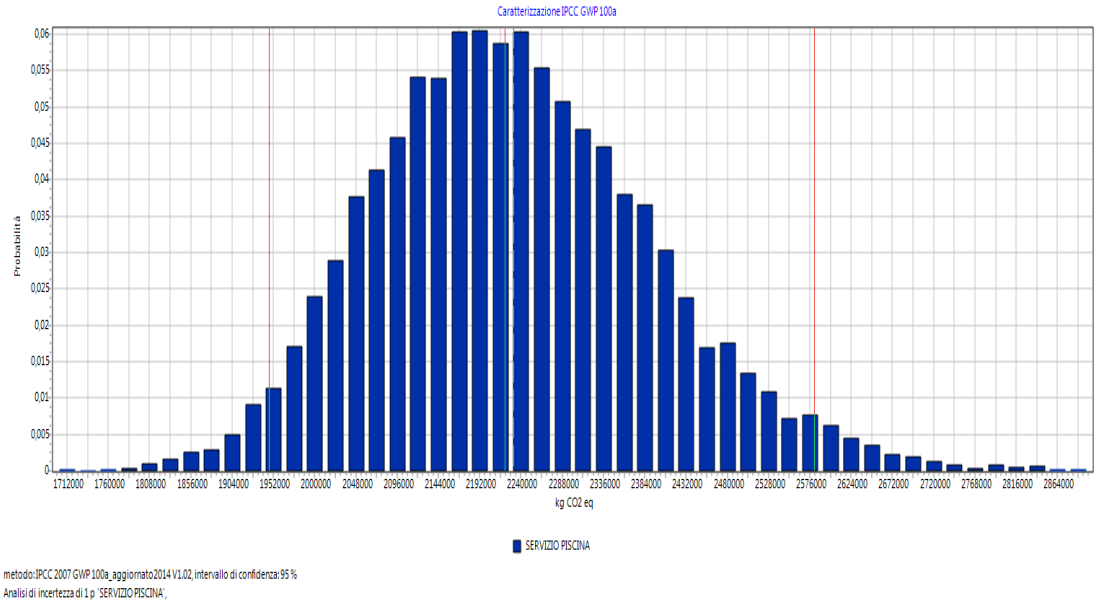

Figura 13: Rappresentazione dell'analisi dell'incertezza tramite l'utilizzo della simulazione Monte Carlo

Il successo di SimaPro in tutto il mondo è dovuto principalmente al suo elevato livello di elaborazione dei dati ed alla presenza dei risultati in forma grafica che rende particolarmente comprensibile la fase di interpretazione.
La visualizzazione dei risultati può essere suddivisa in tre rappresentazioni differenti:

- *albero di Sankey* (o network nel caso in cui l'albero contenga cicli) che rappresenta il modello di ciclo di vita del prodotto analizzato. Nello specifico i nodi rappresentano i processi mentre le frecce di collegamento vengono intuitivamente tracciate con uno spessore proporzionale al contributo che ciascun processo da all'impatto ambientale globale. Tale visualizzazione risulta particolarmente utile per verificare e comprendere i confini del sistema considerato (Figura 14).
- *la fase d'inventario* in cui il software mette a disposizione dell'utente una tabella che contiene il riepilogo di tutte le sostanze (materie prime ed emissioni)

coinvolte nel ciclo di vita del prodotto, specificando per ciascuna la categoria di appartenenza e la quantità imputabile all'unità funzionale considerata.

- *valutazione degli impatti* in cui il software elabora i dati relativi alle operazioni di caratterizzazione, normalizzazione e ponderazione creando per ciascuna di esse un grafico che ne rende semplice e immediata l'interpretazione.

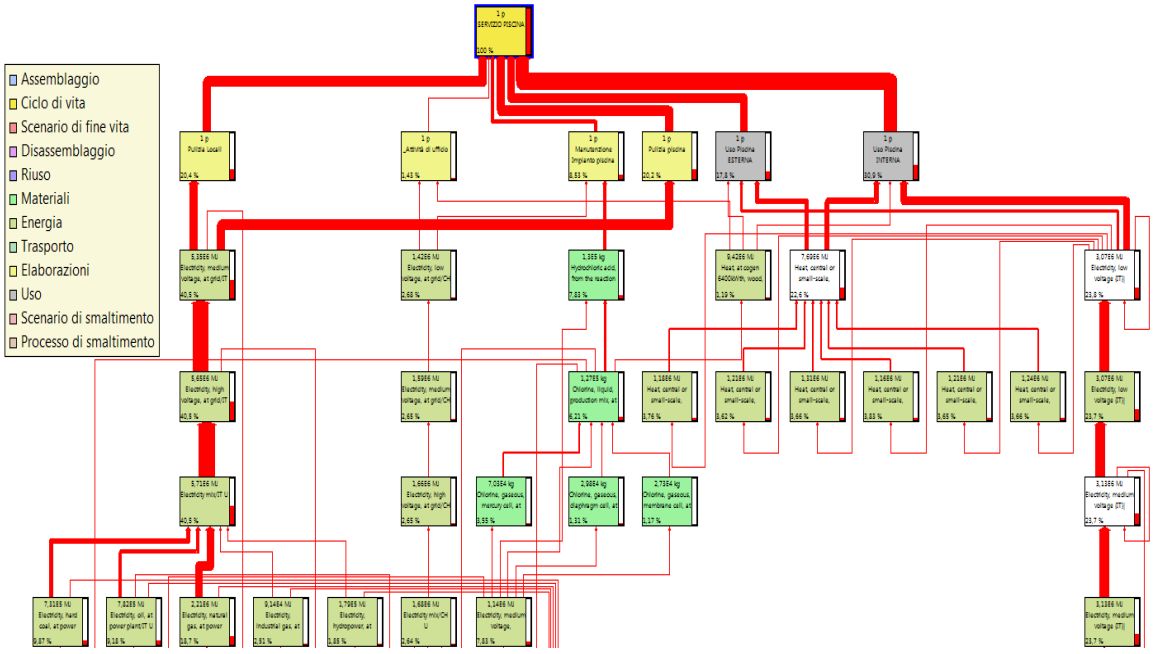

Figura 14: Diagramma di Sankey in cui vengono rappresentati i confini del sistema e i rispettivi impatti dei vari processi sull'impatto globale

4. STUDIO SULL'UTILIZZO DELLA METODOLOGIA LCA PER LA VALUTAZIONE DI INTERVENTI DI EFFICIENTAMENTO ENERGETICO E CALCOLO DELLA CARBON FOOTPRINT SU UNA PISCINA PUBBLICA

Il crescente interesse verso la sostenibilità ambientale nel panorama italiano vede uno dei suoi apici nel Trentino Alto Adige, con innumerevoli iniziative di certificazione volontaria, in particolar modo presso enti pubblici. In tale contesto, la piscina Acquarena di Bressanone è da anni volontariamente iscritta a EMAS (Eco-Management and Audit Scheme) al fine di ridurre i propri impatti ambientali, e sempre con la stessa finalità è ora interessata a strutturare e consolidare meccanismi interni per l'analisi LCA dei propri servizi. In questo capitolo verrà presentata l'analisi sul ciclo di vita ridotto (gate to gate) del servizio di piscina pubblica di Bressanone. Nello studio si è cercato di capire quali fossero i settori interni alla piscina che producessero una maggiore impronta ambientale e verificare se le azioni di miglioramento intraprese, confrontando due anni differenti, avessero comportato miglioramenti sia per l'impronta di carbonio per l'efficientamento energetico. Lo studio è stato possibile grazie alla collaborazione con ASM Bressanone Spa, che dall'anno 2012 ha incorporato Acquarena con il compito di gestirla [24].

ASM è una società per azioni di proprietà del comune di Bressanone che fornisce differenti servizi ai cittadini, quali:

- Distribuzione, vendita e produzione di energia elettrica;
- Illuminazione pubblica;
- Teleriscaldamento;
- Fornitura di telecomunicazione;
- Distribuzione di metano;
- Fornitura di acqua potabile;
- Smaltimento di acque reflue;
- Servizi ambientali (trattamento dei rifiuti, centro di riciclaggio, igiene pubblico).

4.1 Collocazione geografica

Aquarena è situata tra il centro città ed il fiume Isarco ad un'altitudine di 560 m s.l.m. Il comune di Bressanone conta 21.416 residenti. La cittadina è costeggiata a Est dal Gruppo montuoso Plose, ad Ovest dalle cime Cane [2354 m s.l.m] ed il Massiccio Pascolo [2439 m s.l.m.]. Le cittadine adiacenti a Bressanone sono: a Ovest Brunico/Bruneck [35 km], a nord Brennero/Brenner [45 km], mentre a sud Bolzano/Bozen [40 km]. Bressanone è una cittadina bilingue con un'economia a spiccata vocazione turistica. Questa cittadina, ma la regione in generale, è molto sensibile alle tematiche ambientali, a dimostrazione di questo, nel 2006 iniziò un Piano di Sviluppo che mise le basi che portano alla stesura nel 2010 del "Libro Bianco del Masterplan Bressanone 2020" in cui furono indicati i presupposti strutturali necessari per il Piano Urbanistico Comunale (PUC) [24]. Il libro Bianco del Masterplan Bressanone 2020 costituisce un compendio di provvedimenti strategici per lo sviluppo e pianificazione del comune considerando la struttura fisica, sociale e politica. Inoltre l'Alto Adige ha aderito al progetto "Green Mobility" al fine di migliorare la propria sostenibilità. La città ha aderito al "Patto dei Sindaci" (Figura 4.1) che comporta l'impegno alla riduzione delle emissioni di CO_2 del 20% entro il 2020 attraverso la riduzione dei consumi elettrici. Nel 2005 Bressanone produsse 123.378 tonnellate di CO_2 che corrispondevano a circa 6,33 tonnellate per abitante anno. Questi valori sono connessi alle seguenti aree di consumo:

- 40% produzione di energia termica;
- 37% produzione di energia elettrica;
- 23% dai trasporti.

Entrando ancora più nello specifico la ripartizione tra le emissioni connesse alla generazione di calore ed energia sono le seguenti:

- 22% industria;
- 23% trasporto;
- 26% residenti;
- 29% servizio di illuminazione pubblica e industriale.

Figura 15: Logo del Patto dei Sindaci (fonte: internet)

Questi dati derivano dall'IBE (inventario base delle emissioni di CO_2) e Acquarena ha aderito a questo patto attraverso il continuo efficientamento energetico [24].

4.2 Piscina Acquarena

Nella struttura in cui è presente Acquarena vi è un ristorante ed una palestra che include delle saune, ma essendo locali gestiti da terzi, non sono stati considerati nelle azioni compiute da ASM per il calcolo delle prestazioni del sistema. Acquarena fu costruita nel 2003 ed ogni anno conta più di 340.000 presenze. La piscina occupa un'area di 19.360 mq di cui solo 4.193 mq sono edificati. La struttura si sviluppa su due piani ed un piano interrato in cui vi sono i locali tecnici. Acquarena è suddivisa nelle seguenti aree: (Figura 16 e 17)

- 5 piscine coperte: una olimpionica [25 m], una piscina per i bambini, una piscina per il divertimento, una vasca con idromassaggio ed una vasca salata;
- 3 piscine esterne stagionali: una piscina olimpionica [50 m], una piscina per i bimbi ed una piscina fun;
- 7 differenti tipologia di sauna;
- Una cabina a infrarossi;

- 2 bar e rispettivamente uno interno ed uno stagionale esterno;
- Un giardino per praticare attività e rilassarsi oltre ad un campo da beach-volley.

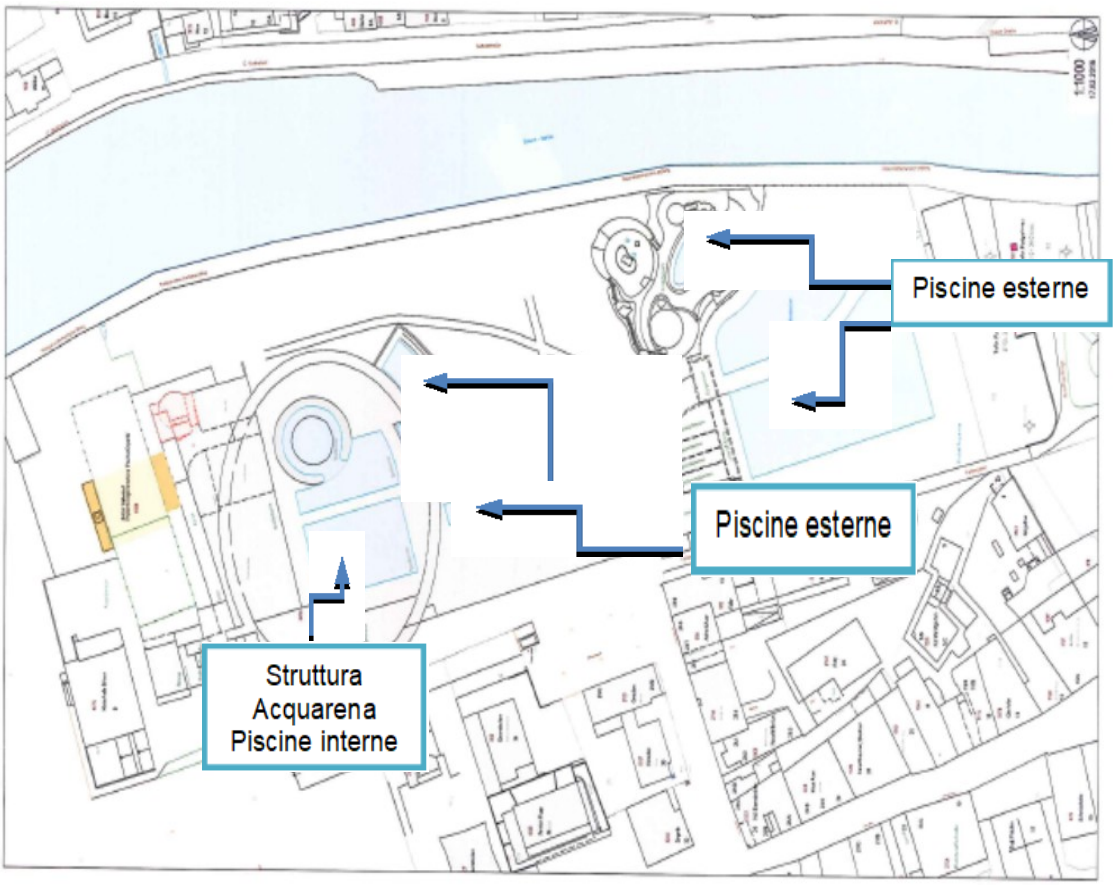

Figura 16: Planimetria della piscina con indicazione della locazione delle varie piscine (Fonte: Dichiarazione Ambientale Acquarena)

Figura 17: Rappresentazione da veduta aerea di Acquarena inserita nel contesto urbano (Fonte Google earth)

Acquarena è la prima piscina in Italia ad aver aderito a EMAS, impiega 26 persone ed è aperta 365 giorni l'anno dalle 9 alle 22. La piscina esterna è aperta al pubblico solitamente da giugno a settembre.

Gli scarichi d'acqua e l'acqua meteorica finiscono nella rete fognaria pubblica. Per il ricambio dell'acqua giornaliera solo il 10% dell'acqua di ricircolo finisce nella rete fognaria pubblica, mentre per il ricambio annuale della piscina esterna, l'acqua è sversata nel fiume Isarco secondo l'autorizzazione di scarico N 14/15 of 13/02/2015 del comune di Bressanone.

L'impianto di approvvigionamento idrico è suddiviso in due reti:

- Acqua potabile: che deriva dall'acquedotto comunale, gestito da ASM ed è utilizzata per i seguenti scopi:
  - Sistema di acqua sanitaria;

- Docce esterne;
- Guardiola dei bagni;
- Bar;
- Ricambio giornaliero delle piscine;

- Acqua non potabile che deriva dal pozzo ed è utilizzata per:

  - Irrigazione;
  - Per il primo riempimento stagionale delle piscine.

Le utenze elettriche di Acquarena provengono dal servizio elettrico pubblico che ha un trasformatore elettrico senza olio dielettrico per tutte le strutture. A Bressanone è presente una centrale di teleriscaldamento alla quale è allacciata anche Acquarena. L'impianto di teleriscaldamento fu costruito nel 2003 e sfrutta l'accesso termico delle centrali elettriche che forniscono elettricità alla città. Il collegamento con il teleriscaldamento avviene tramite scambiatore di calore. Il ricambio d'aria e la deumidificazione all'interno della piscina sono assicurati da due differenti termoventilatori:

- Termoventilatori a pompa di calore per la piscina, utilizzanti gas refrigerante di tipo R407C;
- Termoventilatori per la sauna, casse e spogliatoi che lavorano a resistenza elettrica [24].

4.2.1 EMAS (ECO-MANAGEMENT AND AUDIT SCHEME)

EMAS è una certificazione volontaria, rilasciata dall'ente italiano di Accreditamento Accredia, di un prodotto o sistema che riconosce il risultato d'eccellenza delle prestazioni ambientali derivanti dal continuo miglioramento ed è riconosciuta a livello europeo. La registrazione di un'impresa è effettuata da parte del comitato Ecolabel-EcoAudit con il supporto tecnico dell'ISPRA e ARPA e l'aiuto di autorità accreditate. Tutte

le industrie con la registrazione presso EMAS devono redigere una dichiarazione ambientale che contenga:

- Descrizione chiara dell'organizzazione ed i suoi servizi;
- La politica ambientale dell'organizzazione e l'illustrazione del sistema di gestione dell'ambiente;
- Descrizione degli impatti diretti ed indiretti sull'ambiente;
- Descrizione degli obiettivi ambientali;
- Sintesi sui dati riguardanti le performance della compagnia nei confronti dell'ambiente.

Per ottenere una certificazione EMAS, un'impresa deve effettuare:

- Analisi ambientali: descrivere la situazione iniziale dell'impresa in relazione alle condizioni ambientali, per esempio le emissioni dei gas serra, rifiuti, acqua, utilizzo di risorse non rinnovabili e inquinamento acustico;
- Politica ambientale: in cui indica obiettivi ed azioni da intraprendere al fine di rispettare l'ambiente;
- Programma ambientale: descrive come raggiungere gli obiettivi;
- Esecuzione: attuazione del sistema di gestione per permettere lo sviluppo della politica ambientale;
- Revisione: valuta l'organizzazione, i processi e le prestazioni del sistema di gestione ambientale;
- Dichiarazione ambientale: pubblica le informazioni principali del sistema di gestione ambientale e le proprie prestazioni ambientali.

Il Sistema di gestione ambientale è un insieme di elementi correlati per stabilire una politica ambientale. Si tratta di una norma internazionale e volontaria che indirizza un'organizzazione ad identificare gli aspetti che causano maggiori impatti ambientali e permette di gestirli secondo gli obiettivi individuati nella politica ambientale. Un esempio di modello di gestione ambientale è la metodologia definita ciclo di Deming o metodologia PDCA (plan-do-check-act) (Figura 18) in cui ci sono quattro fasi che aiutano l'impresa o il prodotto a migliorare le proprie prestazioni e qualità.

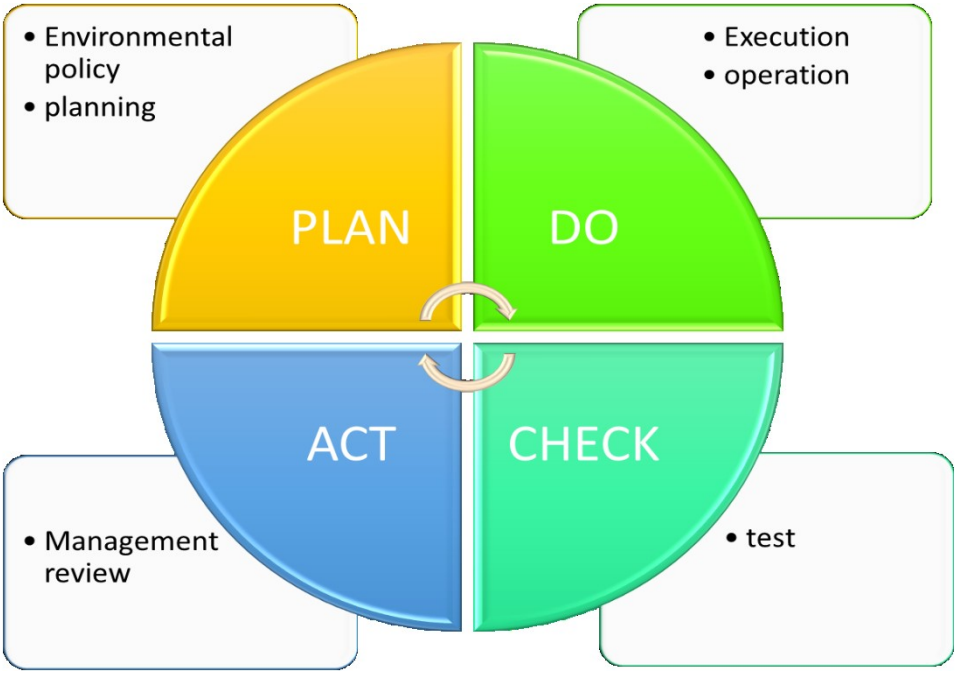

Figura 18: Rappresentazione grafica del concetto PDCA (Fonte: riproduzione personale)

La precedente figura mostra il ciclo PDCA e più nello specifico:

- PLAN (PIANIFICAZIONE):

  La pianificazione consiste nell'indicare le procedure per raggiungere gli obiettivi prefissati con risultati conformi alla politica ambientale. Oltre agli obiettivi vengono indicati problemi cercando di individuarne le cause e studiare azioni correttive. Vengono pianificati compiti e conferite responsabilità e questo permette di avere un quadro ben chiaro. Si hanno quindi analisi dettagliate sul sistema.

- DO (ESECUZIONE):

  L'esecuzione consiste nell'applicare le decisioni prese nel processo di pianificazione e di verificarne la validità. Consiste in un intervento su piccola scala per verificarne l'efficienza

- CHECK (VERIFICA):

  La verifica consiste in un continuo monitoraggio e misurazione delle attività rispetto alla politica ambientale per verificare se i nuovi processi apportino un effettivo miglioramento, al fine di giungere alla standardizzazione del nuovo protocollo. Se si riscontrasse la presenza di eventuali effetti collaterali ci si mobiliterebbe per apportare modifiche correttive.

- ACT (AZIONE):

  L'azione della direzione valuta i risultati con le aspettative iniziali. Considera reclami esterni, conformità legislative e l'esito dell'audit per effettuare cambiamenti in produzione al fine di apportare un continuo miglioramento del Sistema di Gestione Ambientale [25].

4.3 Presentazione del caso studio

Il caso di studio tratta l'analisi di un intervento per l'efficientamento energetico e il calcolo dell'impronta di carbonio della piscina pubblica Acquarena di Bressanone. Lo studio è stato sviluppato attraverso l'analisi delle prestazioni dell'impianto utilizzando la metodologia LCA "*gate to gate"*. Più precisamente vengono confrontati le attività dell'impianto, negli anni 2015 e 2018, nell'arco dei quali sono state apportate modifiche alla struttura al fine di migliorarne le performance. Le modifiche apportate consistono:

- Utilizzo di carta riciclata
- Sostituzione di luci al neon con luci al led
- Utilizzo di prodotti per le pulizie maggiormente ecosostenibili
- Sostituzione delle pompe di pompaggio acqua con pompe con inverter

Un ulteriore obiettivo è stato quello di confrontare i risultati forniti da due differenti software LCA di questi due anni. Nello specifico si è voluto confrontare il freeware

OpenLCA con SimaPro, software commerciale. Obiettivo finale è stato quello di valutare se le migliorie apportate all'impianto nell'arco degli anni presi in considerazione abbiano portato una riduzione della carbon footprint della piscina oltre ad un efficientamento energetico. Il lavoro si è sviluppato in diverse fasi:

- L'individuazione dell'unità funzionale;
- L'individuazione dei confini del sistema piscina, identificando i processi che la compongono;
- La compilazione dell'inventario con i dati ricavati dalla diagnosi ambientale ed audit energetici effettuati da Acquarena nei vari anni. Essenziale è stato l'aiuto fornitomi dai tecnici di Acquarena e ASM, i quali hanno messo a disposizione dati presenti nei loro archivi;
- L'inserimento dei dati all'interno del software al fine di prendere visione di quali fossero i settori dell'impianto che causassero maggiori impatti ambientali;
- Confrontati i risultati generati trai i due software si è ragionato su eventuali modifiche da apportare al sistema piscina.

4.4 Definizione dell'unità funzionale

Per questo studio si è considerata come unità dell'impianto:

- Kg CO_2 eq/ utente

Nell'unità di misura sono stati considerati gli utenti giornalieri in quanto alcuni consumi dipendono dal numero di presenze. Ad esempio il numero di utenze condiziona la produzione di rifiuti, l'acqua consumata per le docce e l'utilizzo dell'acqua per gli scarichi dei sanitari e la pulizia dei locali.

4.5 Definizione dei confini

La parte più laboriosa, lunga e delicata, consiste nel definire i confini del sistema di servizio, sul quale si svilupperà successivamente l'inventario e sarà il "core" dello studio.

Partendo dalla visione macroscopica del sistema piscina, si è pensato ai settori più rilevanti che la componessero al fine di evidenziare il loro impatto sull'efficienza dell'impianto.

I settori presi in considerazione sono:

- Uso
- Manutenzione
- Pulizia
- Uffici

Per alcuni di questi si sono considerati delle sottocategorie al fine di approfondire il loro reale impatto. Nel dettaglio:

- nel servizio "uso" si sono considerate *piscine interne*, *esterne* e *spogliatoi;*
- la "manutenzione" è stata suddivisa: *manutenzione di impianto della piscina*, *manutenzione impianto idro-termo sanitario* ed infine *impianto di areazione*;
- la categoria "pulizia" è stata suddivisa in *pulizia dei locali* e *pulizia piscine*. (Figura 19);

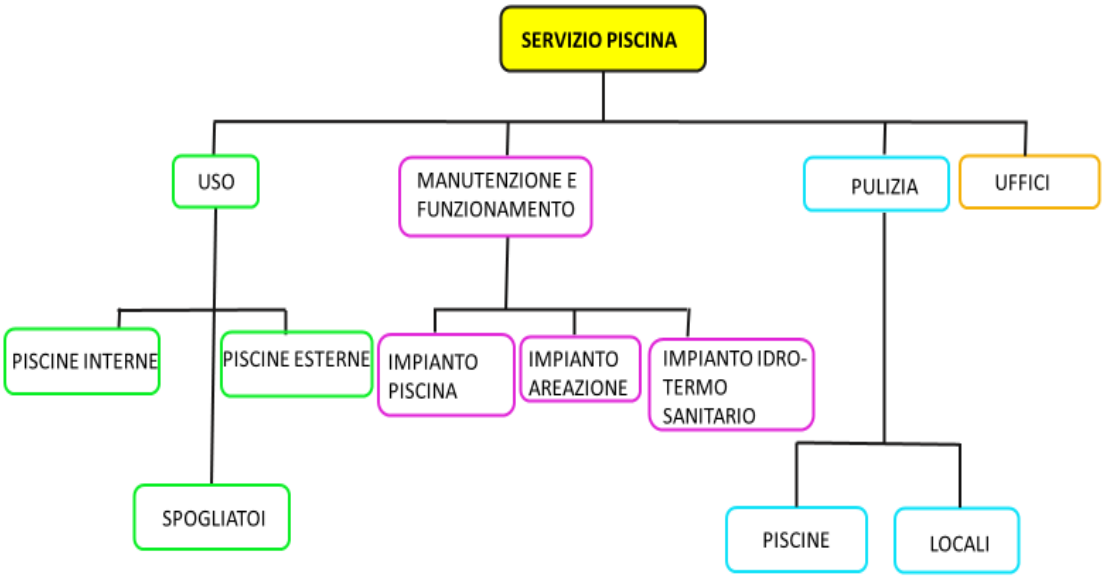

Figura 19: Rappresentazione dei confini del sistema piscina (riproduzione personale)

I confini considerati hanno comportato ad una focalizzazione sulle attività interne dell'impianto, senza considerare il reperimento di materie prime e la dismissione dei materiali. Le volontà dei dirigenti di ASM in accordo con quelli di Acquarena sono state l'analisi LCA ridotta poiché entrambi hanno voluto porre l'attenzione ai continui ammodernamenti della piscina focalizzandosi sui confini fisici della struttura. Per ogni processo e sotto processo sono stati considerati input e output, scelti in base a riflessioni personali e dei tecnici pensando alle possibili attività svolte nei vari settori, come è possibile osservare dalla tabella 1.

Tabella 1: Raffigurazione degli input e output considerati nella stesura dell'inventario (riproduzione personale)

SISTEMA PISCINA		
INPUT	**ATTIVITA'**	**OUTPUT**
ENERGIA ELETTRICA CALORE PRODOTTI CHIMICI ACQUA	**PISCINE INTERNE**	RIFIUTI SOLIDI URBANI (RSU) EMISSIONI GAS CLIMATIZZANTI TRATTAMENTO ACQUA RIFIUTI SPECIALI
	PISCINE ESTERNE	
ENERGIA ELETTRICA CALORE	**SPOGLIATOI**	EMISSIONI GAS RSU
ENERGIA ELETTRICA PRODOTTI CHIMICI RICAMBI	**MANUTENZIONE E FUNZIONAMENTO IMPIANTI PISCINE**	RIFIUTI SPECIALI
	MANUTENZIONE E FUNZIONAMENTO IMPIANTI IDRO-TERMO-SANITARI	RIFIUTI SPECIALI
	MANUTENZIONE E FUNZIONAMENTO IMPIANTI AREAZIONE	RIFIUTI SPECIALI EMISSIONI GAS CLIMATIZZANTI
ENERGIA ELETTRICA PRODOTTI CHIMICI ACQUA	**PULIZIA PISCINE**	TRATTAMENTO ACQUA RIFIUTI SPECIALI
	PULIZIA LOCALI	
ENERGIA ELETTRICA CALORE CARTA TONER	**ATTIVITA' UFFICI**	RSU EMISSIONI GAS CLIMATIZZANTI RIFIUTI SPECIALI

Da questa rappresentazione generale dell'inventario di seguito sono riportati nello specifico i vari input e output allocati per ogni singola area della piscina. Alcuni di questi

valori erano già appartenenti ad una singola area e ricavati quindi direttamente dalle Diagnosi Energetica e Diagnosi Ambientali, altri sono stati allocati tra i settori considerati per questo studio. (tabella 2-9).

Tabella 2: Rappresentazione degli input e output per il sotto processo spogliatoi (elaborazione personale)

SPOGLIATOI	
INPUT	OUTPUT
❖ ENERGIA ELETTRICA [kWh] ❖ CALORE [kWh]	RSU (trasporto): • PLASTICA [Kg] • RIFIUTI INFETTI [Kg] • CARTA/CARTONE [Kg] • LATTINE [Kg] EMISSIONI GAS CLIMATIZZANTI

Tabella 3: Rappresentazione degli input e output considerati per i processi di utilizzo delle piscine (elaborazione personale)

PISCINE	
INPUT	OUTPUT
❖ ENERGIA [kWh] ❖ CALORE [kWh] ❖ PRODOTTI CHIMICI [Kg] (trasporto [Km]) ❖ ACQUA [L]	RSU (trasporto): • CARTA/CARTONE [Kg] • LATTINE [Kg] RIFIUTI SPECIALI (trasporto): • MATERIALE FILTRANTE [Kg] • ORGANICO [Kg] SCARICO ACQUA [m^3] EMISSIONI GAS CLIMATIZZANTI [Kg]]

Tabella 4: Rappresentazione degli input e output considerati per i processi di manutenzione e funzionamento dell'impianto piscina (elaborazione personale)

MANUTENZIONE E FUNZIONAMENTO IMPIANTO PISCINA	
INPUT	OUTPUT
❖ ENERGIA ELETTRICA [kWh] ❖ PRODOTTI CHIMICI (trasporto): • IPOCLORITO DI SODIO E ACIDO CLORIDRICO [Kg] ❖ RICAMBI (trasporto)	RIFIUTI SPECIALI (trasporti): • IMBALLAGGI PERICOLOSI [Kg] • MATERIALE FILTRANTE [Kg]

Tabella 5: Rappresentazione degli input e output considerati per i processi di manutenzione e funzionamento dell'impianto di aerazione (elaborazione personale)

MANUTENZIONE E FUNZIONAMENTO IMPIANTO AERAZIONE	
INPUT	OUTPUT
❖ ENERGIA ELETTRICA [kWh] ❖ RICAMBI (trasporto): • FILTRI [Kg]	RIFIUTI SPECIALI (trasporti): • IMBALLAGGI PERICOLOSI [Kg] • MATERIALE FILTRANTE [Kg]

Tabella 6: Rappresentazione degli input e output considerati per i processi di manutenzione e funzionamento dell'impianto idro-termo sanitario (elaborazione personale)

MANUTENZIONE E FUNZIONAMENTO IMPIANTO IDRO-TERMO-SANITARIO	
INPUT	OUTPUT
❖ ENERGIA ELETTRICA [kWh]	RIFIUTI SPECIALI (trasporti): • IMBALLAGGI PERICOLOSI [Kg] • MATERIALE FILTRANTE [Kg]

Tabella 7: Rappresentazione degli input e output considerati per il settore pulizia dei locali (elaborazione personale)

PULIZIA LOCALI	
INPUT	OUTPUT
❖ ENERGIA ELETTRICA [kWh] ❖ PRODOTTI CHIMICI (trasporto)[Kg]	RIFIUTI SPECIALI: (trasporto): • RIFIUTI INFETTI [Kg] RSU: • PLASTICA [Kg]

Tabella 8: Rappresentazione degli input e output considerati per il settore pulizia delle piscine (elaborazione personale)

PULIZIA PISCINE	
INPUT	OUTPUT
❖ ENERGIA ELETTRICA [kWh] ❖ PRODOTTI CHIMICI (trasporto)[Kg]	RIFIUTI SPECIALI (trasporto): • FANGHI [Kg] • RIFIUTI INFETTI [Kg] RSU: • PLLASTICA TRATTAMENTO ACQUA $[m^3]$

Tabella 9: Rappresentazione degli input e output considerati per il settore delle attività d'ufficio (elaborazione personale)

ATTIVITA' UFFICI	
INPUT	OUTPUT
❖ ENERGIA ELETTRICA [kWh] ❖ CALORE [kWh] ❖ CARTA (trasporto) [Kg] ❖ TONER (trasporto) [Kg]	RSU (trasporto): ❖ CARTA [Kg] ❖ LATTINE [Kg] ❖ TONER [Kg] ❖ PLASTICA [Kg] EMISSIONI GAS [Kg] RIFIUTI SPECIALI (trasporto): ❖ RIFIUTI INFETTI [Kg]

4.6 Analisi dell'inventario

I dati utilizzati per questa tesi sono per la maggior parte primari, ricavati dagli audit energetici e dalle Dichiarazioni ambientali di Acquarena, rispettivamente con i dati dei 2015 e 2018. Altri dati mancanti (es: frequenza, chilometraggio e tipologia dei mezzi di trasporto che forniscono materiale all'impianto e ritirano i rifiuti) sono stati recuperati dagli archivi dei tecnici di Acquarena e di ASM. Di seguito vengo elencati i vari input e output considerati nell'inventario e le loro caratteristiche:

- **energia**: la quantificazione dell'energia consumata è stata ricavata per entrambi gli anni di confronto dalla diagnosi energetica [26] effettuata sull'impianto. Nello specifico l'energia viene ricavata da una stima sulle singole aree funzionali, in cui si considera la potenza totale installata, moltiplicata per il tempo delle operazioni di utilizzo. Nell'audit energetico il consumo di energia viene espresso in tonnellate equivalenti di petrolio (tep), derivanti dai fattori di conversione basati sulla "Circolare MISE del 18 Dicembre 2014". Le tep sono successivamente state convertite in kWh e normalizzate secondo gli effettivi giorni di apertura, ovvero 365 giorni dalle 9 alle 22. Parte dell'energia prodotta da Acquarena deriva da due pannelli fotovoltaici rispettivamente da 20 kWh, la cui energia è utilizzata per il consumo e da 50 kWh usata per la rete di distribuzione. In media ogni anno i pannelli fotovoltaici producono rispettivamente 82.143 kWh e 23.022 kWh, dei quali vengono usati per il consumo (28,03%) e il rimanente 71,97% è inserito nella rete di distribuzione.

- **Calore**: il calcolo del calore per quanto riguarda le aree funzionali è il rapporto tra il contatore di calore e il calcolo di stima. Quest'ultimo si basa sulla ripartizione dei consumi reali in base al quantitativo di acqua riscaldato. Come per l'energia il consumo di calore viene normalizzato in base ai reali giorni e ore di apertura. Il calore per il riscaldamento degli ambienti, dell'acqua utilizzata per le piscine interne, esterne e per l'acqua sanitaria, proviene dall'impianto di teleriscaldamento. La produzione di calore nel teleriscaldamento è generata da un mix di 45% di metano e 55% di olio di colza, quindi nell'inventario ogni dato

riferito al calore è stato ripartito tra queste due percentuali ed espresso in kWh [26]. Non sono state fatte considerazioni riguardo alla differenza di efficienza di generazione dell'energia termica fra i due combustibili.

- **RSU e rifiuti speciali**: tutti i quantitativi di rifiuti prodotti sono stati reperiti dalla Dichiarazione ambientale; per i dati riferiti all'anno 2015 si è utilizzata la Dichiarazione ambientale 2014-2017 [27], mentre per i dati riferiti all'anno 2018 si è considerata la Dichiarazione Ambientale 2018-2021 [28]. Per le informazioni riguardanti il chilometraggio e le tipologie di mezzi di trasporto utilizzati per i rifiuti, si è attinto dagli archivi di ASM, essendo questa responsabile dell'organizzazione dell'attività di trasporto. I rifiuti solidi urbani (RSU) sono trasportati nei centri di riciclaggio e per quanto riguarda i rifiuti speciali sono trasportati agli inceneritori. I mezzi di trasporto sono stati suddivisi su comune accordo con i tecnici in due categorie:
  - Euro 4 < 7 t
  - Euro 4 > 32 t

  I rifiuti totali dell'impianto sono stati suddivisi equamente tra i vari processi presi in considerazione, ad eccezione dei rifiuti delle piscine esterne, per le quali si è ridimensionato il carico basandosi sull'effettivo periodo di apertura estiva. I quantitativi e le tipologie di materiali forniti ad Acquarena sono stati reperiti delle loro fatture. Altri dati sono considerati indiretti, in quanto derivanti da valutazioni sulle base di dati di letteratura o interviste agli addetti poichè irreperibili. Di seguito sono riportati i dati indiretti:
  - Quantitativi annuo di grasso utilizzato per la manutenzione: si è considerato un tubetto da 0,1 Kg in quanto i tecnici Acquarena hanno affermato che il quantitativo annuo è irrisorio in quanto viene applicato alla necessità [29];
  - Filtri: Note le quantità di filtri, pari a 18 filtri all'anno e la tipologia, si è effettuata una ricerca per definire il peso specifico dei filtri [30];
  - Toner: nota la quantità di toner, pari a 11 toner annui, si è effettuata una ricerca sul peso medio di un toner [31].

- **ACQUA**: il dato di fornitura idrica deriva dalla raccolta dei valori presente nella dichiarazione ambientale. I metri cubi di acqua sanitaria sono calcolati tutti nel processo di uso piscine, in quanto non vi è la possibilità di risalire all'effettivo consumo dei servizi sanitari e delle docce. Per quanto riguarda l'utilizzo d'acqua nel processo di pulizia è stata considerata unicamente l'acqua di trattamento, ovvero di scarico delle piscine, in quanto non è stato possibile risalire ai dati riguardanti le tempistiche e i quantitativi di utilizzo delle idropulitrici.

- **PRODOTTI CHIMICI**: i quantitativi dei prodotti chimici utilizzati per la pulizia dei locali sono stati ricavati dalla Dichiarazione ambientale [27] [28] come il quantitativo di cloro, il quale è stato successivamente ripartito per i reagenti che lo compongono: ipoclorito di sodio (NaClO) al 14% ed acido solforico ($H_2\ SO_4$) al 30%.

- **EMISSIONI GAS CLIMATIZZANTI**: è stato deciso di considerare tali emissioni nulle poiché non vi sono perdite di gas, ma sono comunque state menzionate nell'inventario, in quanto vengono utilizzati gas climatizzanti per refrigerare gli ambienti.

- **TRATTAMENTO ACQUE REFLUE**: per ottenere tali valori si è sottratta la quantità di acqua in ingresso, derivante dall'acquedotto, a quella di reintegro, valori forniti dai tecnici di Acquarena. Ai valori di acqua in ingresso è stato sottratto il calo idrico che è per convenzione il 15%.

4.7 Valutazione degli impatti

Tra gli innumerevoli impatti che un impianto acquatico può comportare, in questo studio ci si è concentrati nel valutare l'impronta di carbonio. Per la valutazione della carbon footprint, si è deciso di utilizzare i seguenti metodi di valutazione:

- Environmental Footprint (Mid-point indicator) per il software OpenLCA
- IPCC 2007 100a_ aggiornamento 2014 V1.02 per il software SimaPro

4.8 Interpretazione dei risultati

Grazie all'elaborazione dei dati con entrambi i software è stato possibile evidenziare:

- All'interno di un singolo anno i settori maggiormente impattanti dal punto di vista dell'impronta di carbonio e dei consumi energetici;
- Confrontare i due differenti anni e verificare se i settori che nel 2015 erano maggiormente impattanti se siano migliorati, quali settori siano peggiorati ed avere una visione generale sull'andamento della piscina, oltre a verificare se le migliorie apportate nel tempo abbiano effettivamente arrecato benefici.

L'elaborazione dei dati con OpenLCA ha generato dei risultati chiaramente non accettabili come si più vedere in figura (Figura 20), poiché il database utilizzato ad accesso libero ha una libreria di dati incompleti e aspecifici per sostenere lo studio. Dall'immagine si può rilevare come sia impossibile che un settore, in questo caso la pulizia, assorba le proprie emissioni di anidride carbonica, che paradossalmente nell'elaborazione con il software SimaPro è il secondo settore più inquinante.

Impact category	CLEAN	MAINTENANCE	OFFICE	USE	Unit
Climate change	-3.21563e+7	7.87374e+4	1.23703e+8	8.46282e+10	kg
Climate change-Biogenic	-2.70904e+4	1.41808e-4	9.27347e+5	2.68266e+8	kg
Climate change-Fossil	-3.20882e+7	7.87374e+4	1.22477e+8	8.42826e+10	kg
Climate change-Land use and land use change	-4.09444e+4	5.20149e-4	2.98682e+5	7.72929e+7	kg

Figura 20: Rappresentazione della valutazione degli impatti generati con il metodo di valutazione Environmental Footprint (Mid-point indicator) con il software OpenLCA

Visti i risultati poco plausibili dell'analisi effettuata con OpenLCA, si è deciso di non procedere con il suo utilizzo.

Si analizzano a questo punto i risultati forniti da SimaPro, procedendo prima con l'analisi dei dati 2015 e successivamente 2018, concludendo poi con il confronto di entrambi gli anni.

Risultati relativi al 2015:

- ANALISI DELLA CARBON FOOTPRINT

Per questo anno l'impatto dell'intero sistema piscina nei confronti dell'ambiente è stato pari a 11,35 kg di CO_2 eq /utente. Durante tale anno la piscina ha registrato un numero di presenze pari a 278.350 presenze annue ovvero 763 presenze giornaliere. Questo impatto di carbonio è stato distribuito nei macrosettori dell'impianto nei seguenti modi (Figura 21):

- Uso: 6,53 kg CO_2 eq / utente (57,55%)
- Pulizia: 3,17 kg CO_2 eq /utente (27,96%)
- Manutenzione: 1,55 kg CO_2 eq /utente (13,65 %)
- Uffici: 0,1 kg CO_2 eq /utente (0,84%)

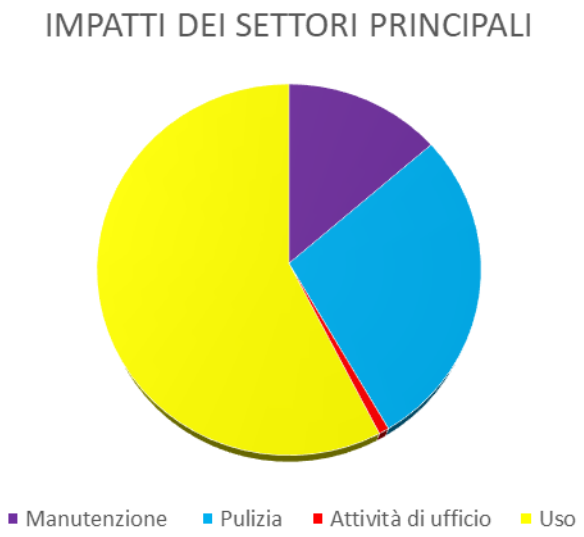

Figura 21: Rappresentazione tramite diagramma a torta degli impatti dei macrosettori di Acquarena riferiti all'anno 2015 (Elaborazione personale)

Volendo entrare più nel dettaglio e prendendo in considerazione anche i sotto settori, i rispettivi impatti sono i seguenti (Figura 22):

- Manutenzione e funzionamento impianto piscina: 1,01 kg CO_2eq /utente (8,69%)
- Manutenzione e funzionamento impianto idro-termo-sanitario: 0,14 kg CO_2eq /utente (1,2%)
- Manutenzione e funzionamento aerazione: 0,53 kg CO_2eq /utente (4,53%)
- Utilizzo piscine interne: 5,16 kg CO_2eq /utente (44,46%)
- Utilizzo piscine esterne: 1,03 kg CO_2eq /utente (8,84%)
- Utilizzo spogliatoi: 0,46 kg CO_2eq /utente (3,96%)
- Attività uffici: 0,1 kg CO_2eq /utente (0,83%)
- Pulizia locali: 1,6 kg CO_2eq /utente (13,75%)
- Pulizia piscine: 1,6 kg CO_2eq /utente (13,75%)

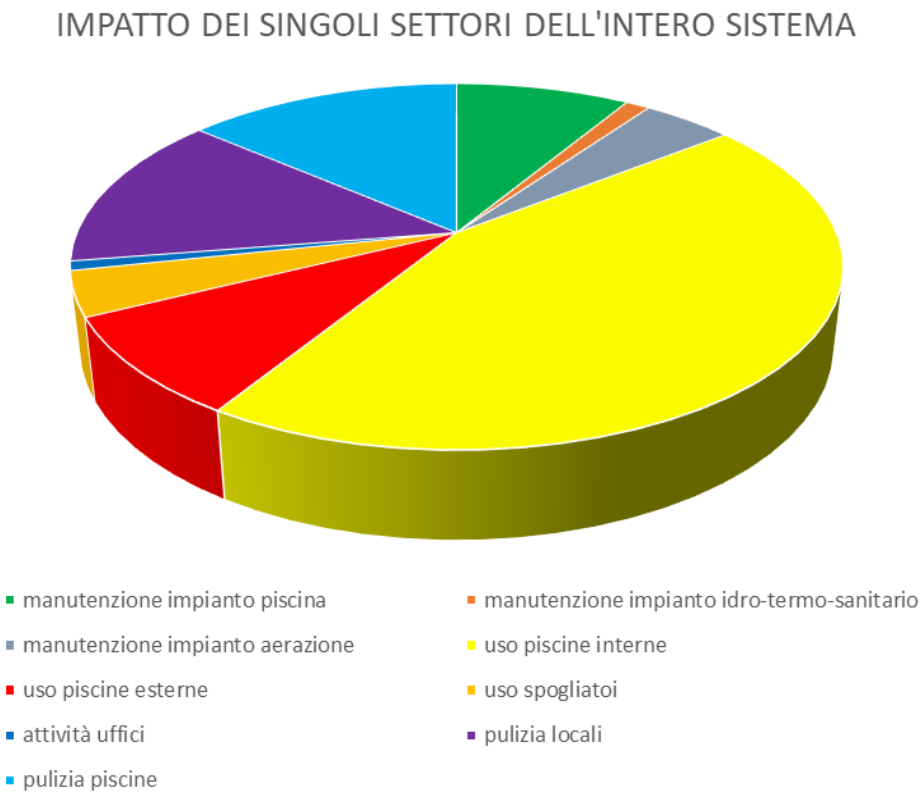

Figura 22: Raffigurazione tramite un diagramma a torta degli impatti di ogni singolo processo preso in considerazione riferiti all'anno 2015 (Riproduzione personale)

❖ ANALISI DEI CONSUMI ENERGETICI:

Di seguito vengono riportati in kWh i consumi energetici di ogni singolo settore al fine di poter successivamente valutare se le modifiche apportate negli anni successivi, ovvero le sostituzioni delle luci al neon con luci al led e la sostituzione delle pompe, abbiano portato significativi risparmi energetici (Figura 23):

- ❖ Manutenzione e funzionamento impianto piscina: 742.478,58 kWh (13,27%)
- ❖ Manutenzione e funzionamento impianto idro-termo-sanitario: 260.279,4 kWh (4,65%)
- ❖ Manutenzione e funzionamento impianto di aerazione: 977.850,4 kWh (17,47%)
- ❖ Utilizzo piscine interne: 1.335.996,25 kWh (23,87%)
- ❖ Utilizzo piscine esterne: 469.154,2 kWh (8,38%)
- ❖ Utilizzo spogliatoi: 188.406 kWh (3,378%)
- ❖ Attività uffici: 137.466,6 kWh (2,46%)
- ❖ Pulizia locali: 742.478,58 kWh (13,27%)
- ❖ Pulizia piscine: 742.478,5833 kWh (13,27%)

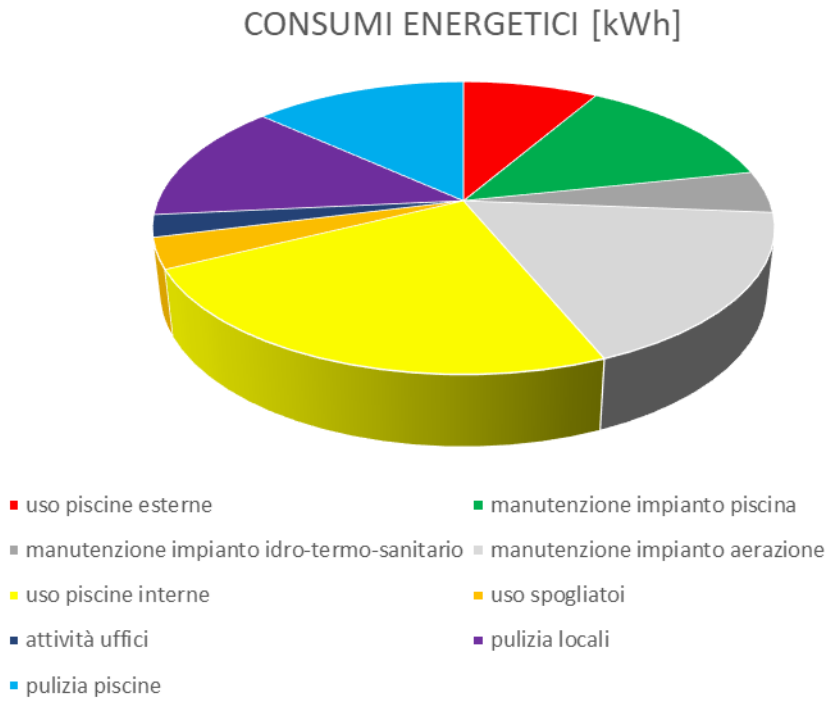

Figura 23: Rappresentazione dei consumi energetici dell'intero impianto nell'anno 2015 (Riproduzione personale)

Per avere maggiori informazioni sull'affidabilità dei risultati generati del software è stata svolta l'analisi dell'incertezza. Tale analisi fornisce informazioni sulle dimensioni di errore che si potrebbe generare durante lo studio. Tale inesattezza è derivata dal fatto che nel software vengano utilizzati valori delle banche dati che non siano sito specifici. Si reputa uno studio affidabile quello che genera un'analisi dell'incertezza pari o inferiore al 10%.

Per quanto riguarda l'analisi dell'incertezza per l'anno 2015 essa è pari al 6,55%, quindi i risultati sono da ritenersi affidabili.

Risultati relativi al 2018:

- ANALISI DELLA CATBON FOOTPRINT:

In riferimento all'anno 2018 l'impronta di carbonio generata da Acquarena è stata pari a 6,67 kg CO_2eq / giorni di apertura a utenti. Nell'arco di tale anno la piscina ha registrato un quantitativo di presenze pari a 334.523 utenti annui ovvero 917 presenze giornaliere. Questo impatto di carbonio è stato è distribuito nei macrosettori dell'impianto nei seguenti modi (Figura 24):

- Manutenzione: 0,6 kg CO_2eq /utente (9,06%)
- Pulizia: 2,62 kg CO_2eq /utente (39,34%)
- Uffici: 0,09 kg CO_2eq /utente (1,42%)
- Uso: 3,35 kg CO_2eq /utent (50,20%)

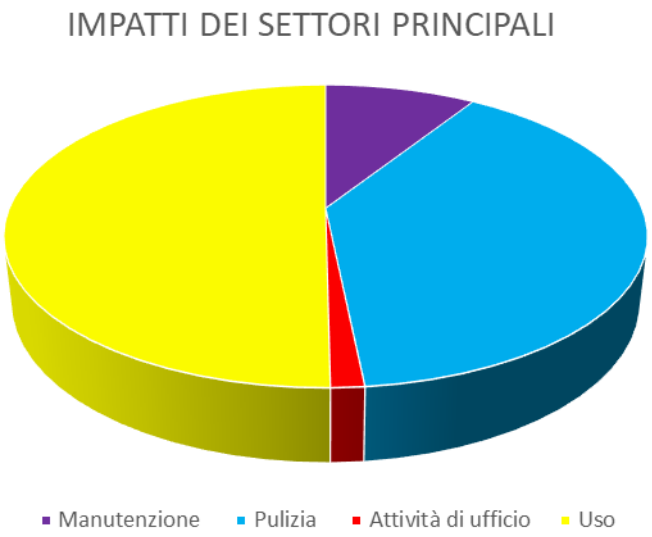

Figura 24: Rappresentazione tramite diagramma a torta degli impatti dei macrosettori di Acquarena riferiti all'anno 2018 (Elaborazione personale)

Volendo entrare più nel dettaglio e prendendo in considerazione anche i sotto settori, i rispettivi impatti sono i seguenti (Figura 25):

- Manutenzione e funzionamento impianto piscina: 0,56 kg CO_2eq /utente (8,36%)
- Manutenzione e funzionamento impianto idro-termo-sanitario: 0,04 kg CO_2eq /utente (0,65%)
- Manutenzione e funzionamento impianto di aerazione: 0,002 kg CO_2eq /utente (0,03%)
- Utilizzo piscine interne: 2,12 kg CO_2eq /utente (31,73%)
- Utilizzo piscine esterne: 1,23 kg CO_2eq /utente (18,42%)
- Utilizzo spogliatoi: 0,003 kg CO_2eq /utente (0,04%)
- Attività uffici: 0,1 kg CO_2eq /utente (1,42%)
- Pulizia locali: 1,32 kg CO_2eq /utente (19,82%)
- Pulizia piscine: 1,30 kg CO_2eq /utente (19,51%)

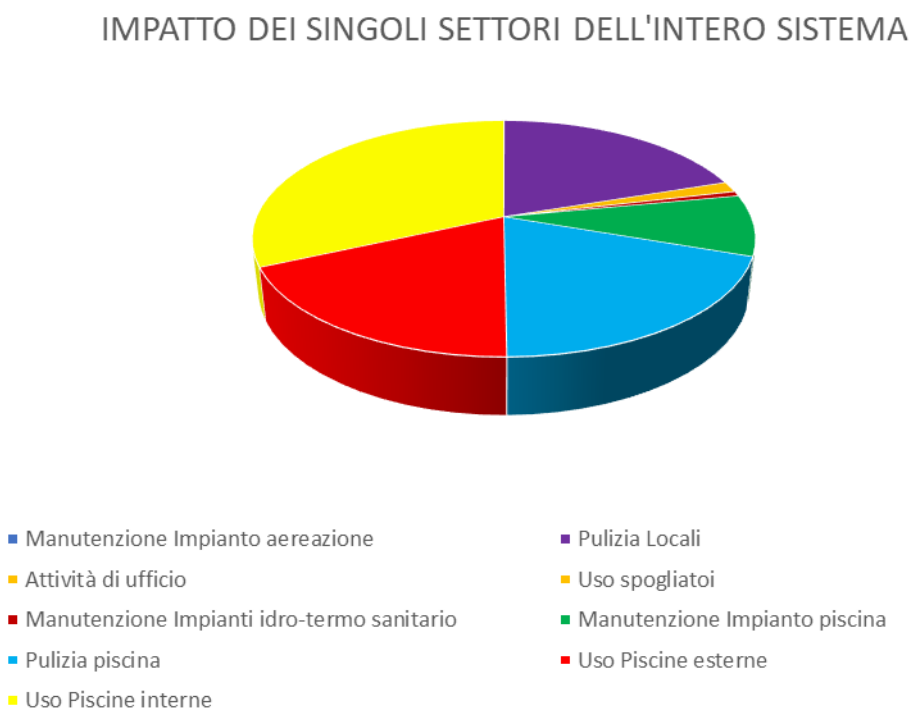

Figura 25: Raffigurazione tramite un diagramma a torta degli impatti di ogni singolo processo preso in considerazione riferiti all'anno 2018 (Riproduzione personale)

❖ <u>ANALISI DEI CONSUMI ENERGETICI:</u>

Di seguito vengono riportati in kWh i consumi energetici di ogni singolo settore al fine di poter successivamente valutare se le modifiche apportate negli anni precedenti, ovvero le sostituzioni delle luci al neon con luci al led e la sostituzione delle pompe, abbiano portato significativi risparmi energetici (Figura 26):

- ❖ Manutenzione e funzionamento impianto piscina: 95.783 kWh (3,45%)
- ❖ Manutenzione e funzionamento impianto idro-termo-sanitario: 97.400 kWh (3,50%)
- ❖ Manutenzione e funzionamento impianto di aerazione: 311,294 kWh (0,01%)
- ❖ Utilizzo piscine interne: 598.643 kWh (21,53%)
- ❖ Utilizzo piscine esterne: 239.456 kWh (8,61%)
- ❖ Utilizzo spogliatoi: 71.837 kWh (2,58%)
- ❖ Attività uffici: 191.566 kWh (6,89%)

- Pulizia locali: 742.478,583 kWh (26,71%)
- Pulizia piscine: 742.478,583 kWh (26,71%)

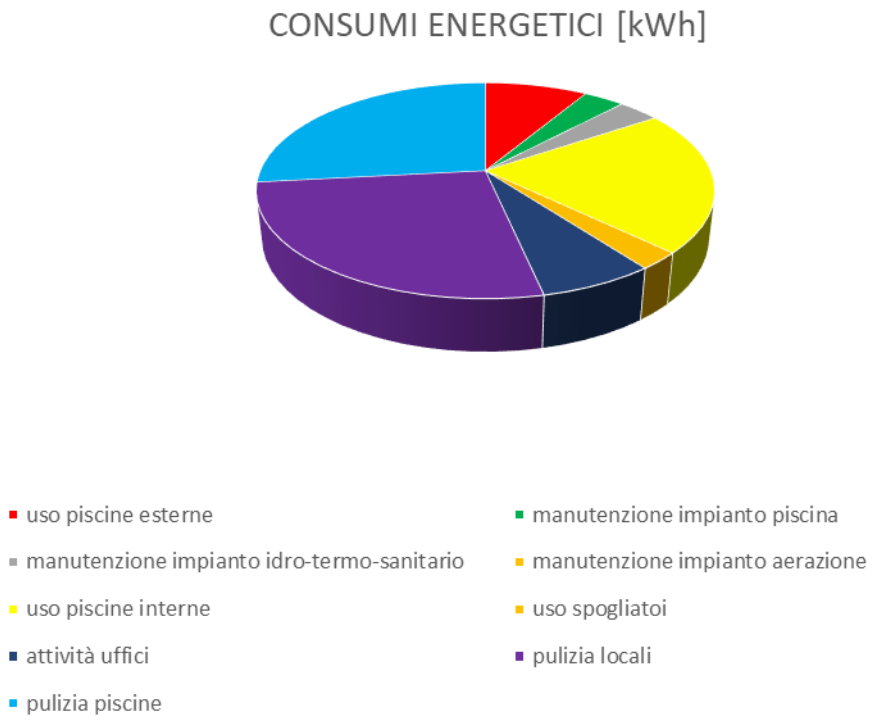

Figura 26: Rappresentazione dei consumi energetici dell'intero impianto nell'anno 2018 (Riproduzione personale)

Per quanto concerne il 2018 l'analisi dell'incertezza è risultata pari 7,24% e questa conferisce affidabilità dei risultati generati dal software.

4.9 Discussione dei risultati

Dalla tabella 10, in cui si sono messi a confronto i risultati dei due anni presi in considerazione, si può notare come nonostante le presenze giornaliere siano aumentate del 20% la carbon footprint dell'impianto si sia ridotta del 41%. Gli impatti generati dell'utilizzo delle piscine esterne sono aumentati in quanto durante l'anno 2018 vi sono state delle perdite alle tubazioni che hanno causato sostanziali fuoriuscite d'acqua. Ricordando gli interventi di miglioramento attuati tra i due anni si può osservare come l'utilizzo di prodotti chimici più ecosostenibili e certificati Ecolabel abbiano ridotto i

propri impatti nel settore delle pulizie. Si osserva inoltre come l'utilizzo della carta riciclata abbia apportato miglioramenti più che soddisfacenti.

Tabella 10: Tabella rappresentante le emissioni di CO_2 equivalenti a utente nei due anni di confronto con la percentuale di miglioramento o peggioramento (elaborazione personale)

2015	Kg CO_2 eq/utente	2018	% di variazione
11,35	Totale CF impianto	6,67	41,24%
6,53	Uso	3,35	48,7%
3,17	Pulizia	2,62	17,35%
1,55	Manutenzione e funzionamento	0,6	61,29%
0,1	Attività d'ufficio	0,01	90%
1,01	Manutenzione e funzionamento impianto piscine	0,50	50,49%
0,53	Manutenzione e funzionamento imp. Aerazione	0,002	99,62%
0,14	Manutenzione e funzionamento imp. Idro-termo-san	0,04	71,42%
5,15	Uso piscine interne	2,12	58,83%
1,03	Uso piscine esterne	1,23	-19,42%
0,46	Uso spogliatoi	0,003	99,35%
0,1	Attività d'ufficio	0,01	90%
1,6	Pulizia	1,3	18,75%

Per quanto riguarda gli interventi di efficientamento energetico apportati attraverso:

- Sostituzione delle pompe
- Sostituzione della luce al neon con luce al LED

si può osservare nella tabella 11, come questi interventi siano riusciti a ridurre se non a dimezzare l'utilizzo di energia elettrica.

Dall'insieme dei risultati ricavati si può affermare che le continue migliorie apportate ad Acquarena hanno portato a performance sempre migliori con benefici economici ed ambientali.

Tabella 11: Tabella rappresentante i consumi energetici annui espressi in kWh equivalenti nei due anni di confronto con la percentuale di miglioramento o peggioramento (elaborazione personale)

2015	kWh annui	2018	% di variazione
742.478,58	Manutenzione piscine	95.783	87%
977.850,4	Manutenzione e funzionamento aerazione	311,294	99,9%
260.279,4	Man. Imp. Idro-termo-san	97.400	62,57%
1.335.996,25	Uso piscine interne	598.643	55,19%
469.154,2	Uso piscine esterne	239.456	49%
188.406	Uso spogliatoi	71.837	61,87%
137.466,6	Attività d'ufficio	191.566	-39,35%
742.478,56	pulizia	742.478,56	invariata

5. CONCLUSIONI

Il presente lavoro, svolto in collaborazione con ASM S.p.A. e ICStudio, si è posto l'obiettivo di utilizzare la metodologia del ciclo di vita al fine di effettuare azioni di efficientamento energetico e calcolo dell'impronta di carbonio sulla piscina pubblica di Bressanone "Acquarena". Si sono analizzate le prestazioni dell'impianto durante gli anni 2015 e 2018. Lo svolgimento dell'analisi dell'inventario non ha incontrato particolari problematiche avendo avuto la disponibilità della quasi la totalità dei dati dalle diagnosi energetiche e dalle analisi ambientali relative la piscina. Essendo questa registrata ad EMAS ha come obiettivo il continuo miglioramento delle proprie prestazioni sia sotto l'aspetto ambientale che economico. A tal fine, nel corso degli anni sono state apportate migliorie impiantistiche e nella gestione della struttura, che rapportate agli anni analizzati si riflettono in:

- Utilizzo di prodotti chimici ecosostenibili certificati Ecolabel;
- Utilizzo di carta riciclata;
- Installazione di pompe con inverter;
- Sostituzione di illuminazione al neon con illuminazione al LED.

Il confronto dei risultati generati dal software SimaPro su questi due anni, ha evidenziato ottime prestazioni sia da un punto di vista di riduzioni delle emissioni di gas ad effetto serra, sia per la riduzione dei consumi elettrici. In riferimento ai processi presi in considerazione (uso, manutenzione, pulizia e uffici) si sono riscontrati i seguenti miglioramenti:

<u>Carbon footprint</u>

- Uso: 49%
- Manutenzione: 61%
- Pulizia: 17%
- Uffici: 90%

Si può osservare come l'accortezza nell'utilizzo di sostanze chimiche maggiormente ecocompatibili per le pulizie abbia portato ad una riduzione dell'impronta di carbonio del 17%. Un contributo molto più sostanzioso è invece da attribuibile all'utilizzo di carta riciclata che ha portato ad una riduzione delle emissioni del 90%.

Consumi energetici

- Uso: 54%
- Manutenzione: 90%
- Pulizia: invariata
- Uffici: 39% (peggioramento)

Per quanto riguarda invece la sostituzione delle pompe al fine di migliorare le prestazioni energetiche della piscina, il cui valore è considerato nel settore della manutenzione, il risultato è stato più che soddisfacente con un efficientamento energetico del 90%. Si può osservare un globale miglioramento delle prestazioni energetiche a dimostrazione che anche la sostituzione delle luci ha apportato evidenti benefici ai diversi locali. I maggiori consumi di energia per quanto riguarda il settore degli uffici rimangono ad oggi il dato di più difficile lettura. Sicuramente una concausa di questo risultato sta nel fatto che il 2018 è stato uno degli anni più caldi dal 1880. In particolare, durante il 2018 vi sono stati aumenti di temperature di +1,8 gradi nei mesi invernali fino a +3,5 in quelli primaverili/estivi. Questo aumento delle temperature ha quindi comportato un maggior utilizzo dei climatizzatori (sia come potenza che come periodo di utilizzo). Il codice di calcolo SimaPro si è confermato uno strumento potente e intuitivo, con la capacità di elaborazione dei dati molto efficiente e personalizzabile, essendo presenti nel software molteplici metodi di valutazione degli impatti. Una volta modellato un ciclo produttivo è possibile passare velocemente da un metodo all'altro per confrontare i diversi risultati ottenuti e interpretare il significato di eventuali variazioni. In riferimento al software OpenLCA è sicuramente un ottimo compromesso tra qualità/prezzo se utilizzato con banche dati a pagamento e quindi aggiornate e complete di dati. Anche se non è stato sempre possibile un diretto confronto tra i risultati forniti dai due software, a mio parere, dopo avere seguito un corso per l'utilizzo di tale software ed essermi confrontata con collaboratori di GreenDelta, posso affermare che tale codice di calcolo è

estremamente valido ed un ottimo punto di partenza per quei privati o aziende che iniziano i primi studi LCA. Per uno studio più completo e approfondito dell'impianto, sarebbe stato interessante quantificare l'utilizzo dell'acqua sanitaria a presenza al fine di poter fornire una stima più veritiera sull'impatto che un singolo utente ha sull'impianto. Questo studio è risultato utile e sfruttabile dalla piscina Acquarena per poter visionare i benefici raggiunti dai vari interventi di miglioramento apportati oltre ad essere utile al fine di effettuare ulteriori interventi futuri per migliorare le proprie prestazioni.

6. APPENDICE

Di seguito vengono riportati i dati presi in considerazione per ogni sotto processo nello studio, al fine di avere una visione maggiormente dettagliata dello studio. Vengono rappresentati in sequenza l'anno 2015 e 2018 i cui valori sono espressi in kg CO_2 equivalenti annui.

2015:

Attività d'ufficio (26.711 kg CO_2 equivalenti annui):

- Carta: 1,36
- Toner: 493,27
- Elettricità a basso voltaggio: 20528,86
- Calore da metano: 4108,41
- Calore da olio di colza: 641,33
- Smaltimento toner: 173,73
- Smaltimento rifiuti infettivi: 10,70
- Smaltimento plastica: 4,54
- Smaltimento lattine: 741,77
- Smaltimento carta: 1,54
- Trasporto: 5,47

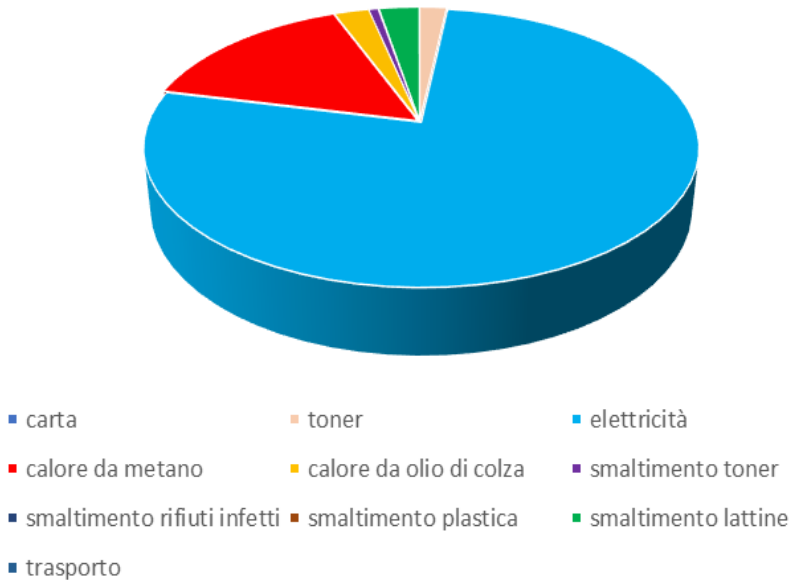

Figura 27: grafico rappresentante i contributi dei singoli input e output considerati per le attività d'ufficio durante l'anno 2015 (riproduzione personale)

Manutenzione e funzionamento impianto piscina (280.867,50 kg CO_2 equivalenti annui):

- Lubrificante: 0,11
- Acido solforico: 889
- Ipoclorito di sodio: 169087,88
- Trasporto <32 tonnellate: 0,50
- Elettricità: 110879,6
- Smaltimento carta e cartone: 0,62
- Smaltimento imballaggi: 9,83

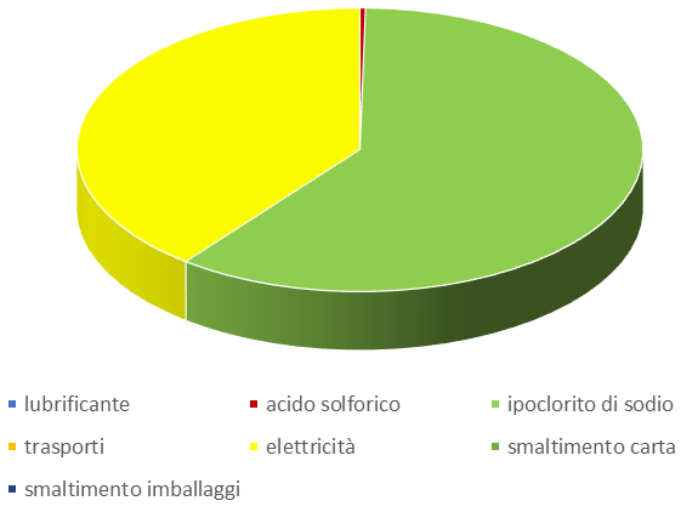

Figura 28: grafico rappresentante i contributi dei singoli input e output considerati per la manutenzione e funzionamento dell'impianto piscina durante l'anno 2015 (riproduzione personale)

Manutenzione e funzionamento impianto idro-termo-sanitario (38.879,96 kg CO_2 equivalenti annui):

- Elettricità: 38869,37
- Smaltimento carta e cartone: 0,63
- Smaltimento imballaggi: 9,83
- Trasporto <7 tonnellate: 0,13

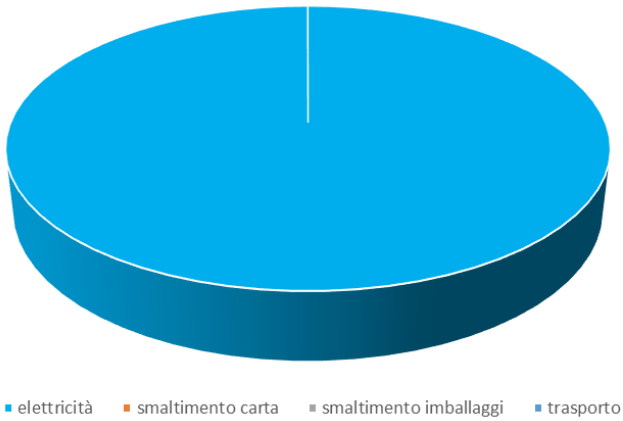

Figura 29: grafico rappresentante i contributi dei singoli input e output considerati per la manutenzione e funzionamento dell'impianto idro-termo-sanitario durante l'anno 2015 (riproduzione personale)

Manutenzione e funzionamento impianto aerazione (146.599,16 kg CO_2 equivalenti annui):

- Filtri: 559,24
- Trasporto <7 tonnellate: 0,13
- Elettricità: 146029,35
- Smaltimento carta e cartone: 0,62
- Smaltimento imballaggi: 9,83

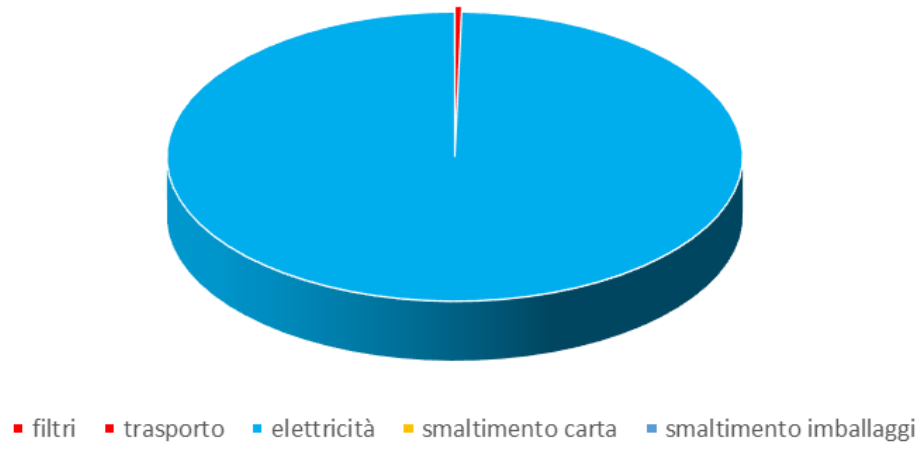

Figura 30: grafico rappresentante i contributi dei singoli input e output considerati per la manutenzione e funzionamento dell'impianto di aerazione durante l'anno 2015 (riproduzione personale)

Pulizia locali (444.376,80 kg CO_2 equivalenti annui):

- Disinfettanti: 9642,16
- Trasporto <7 tonnellate: 5,47
- Elettricità: 434713,92
- Smaltimento plastica: 4,54
- Smaltimento rifiuti infettivi: 10,71

Figura 31: grafico rappresentante i contributi dei singoli input e output considerati per la pulizia dei locali durante l'anno 2015 (riproduzione personale)

Pulizia piscina (444.408,9 kg CO_2 equivalenti annui):

- Disinfettanti: 9645,50
- Trasporto <7 tonnellate: 5,47
- Elettricità: 434713,92
- Trattamento acque: 12,77
- Smaltimento plastica: 4,54
- Smaltimento rifiuti infettivi: 10,70
- Smaltimento fanghi: 16

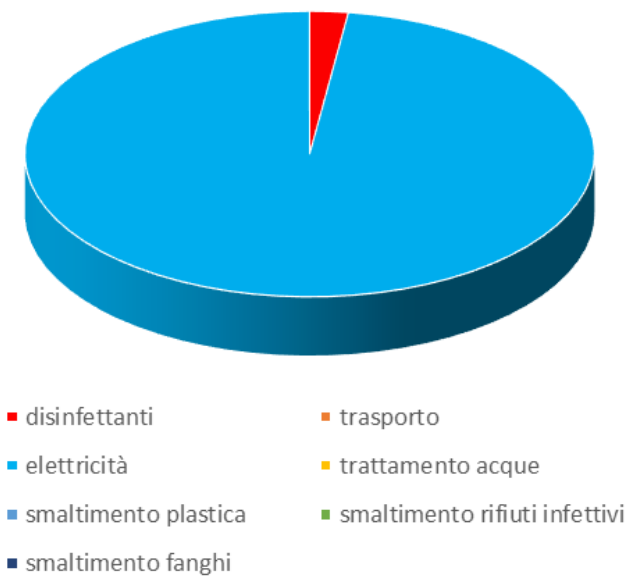

Figura 32: grafico rappresentante i contributi dei singoli input e output considerati per la pulizia della piscina durante l'anno 2015 (riproduzione personale)

<u>Uso piscine esterne</u> (285.664,17 kg CO_2 equivalenti annui):

- Acqua: 1270,52
- Calore da metano: 16836
- Calore da olio di colza: 80215,47
- Elettricità: 173209,6
- Smaltimento organico: 1206,67
- Smaltimento lattine: 185,44
- Smaltimento carta/cartone: 27,71
- Smaltimento plastica: 0,27
- Scarico acque: 12707
- Trasporti <7 tonnellate: 5,47

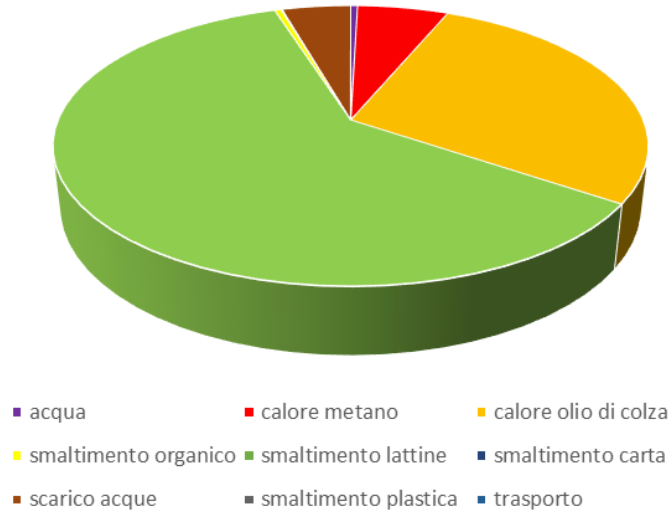

Figura 33: grafico rappresentante i contributi dei singoli input e output considerati per l'utilizzo delle piscine esterne durante l'anno 2015 (riproduzione personale)

Uso piscine interne (1.437.469 kg CO_2 equivalenti annui):

- Acqua: 721,1
- Calore da metano: 77180,11
- Calore da olio di colza: 367726
- Elettricità: 974239
- Smaltimento organico: 4826,68
- Smaltimento lattine: 741,77
- Smaltimento carta/cartone: 110,84
- Smaltimento plastica: 1,1
- Scarico acque: 11922,38
- Trasporti <7 tonnellate: 5,47

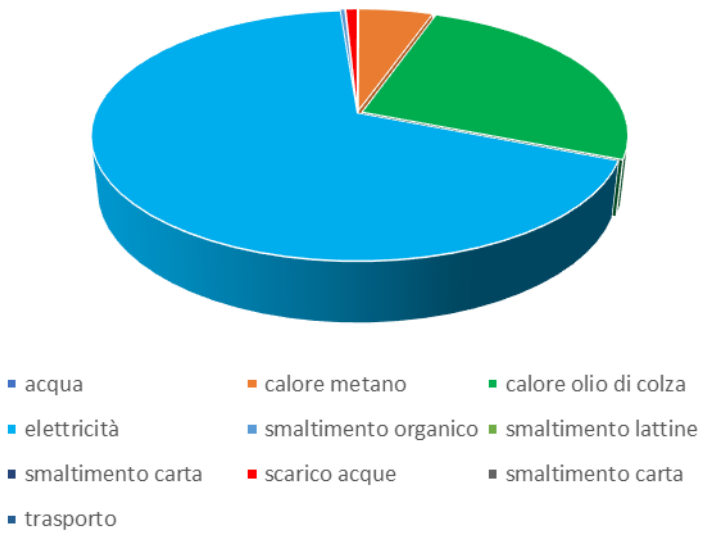

Figura 34: grafico rappresentante i contributi dei singoli input e output considerati per l'utilizzo delle piscine interne durante l'anno 2015 (riproduzione personale)

<u>Uso spogliatoi</u> (127.904,71 kg CO_2 equivalenti annui):

- Calore da metano: 1261,28
- Calore da olio di colza: 6009,37
- Elettricità: 119760,74
- Smaltimento lattine: 741,77
- Smaltimento carta/cartone: 110,84
- Smaltimento plastica: 4,54
- Smaltimento rifiuti infettivi: 10,70
- Trasporto: 5,47

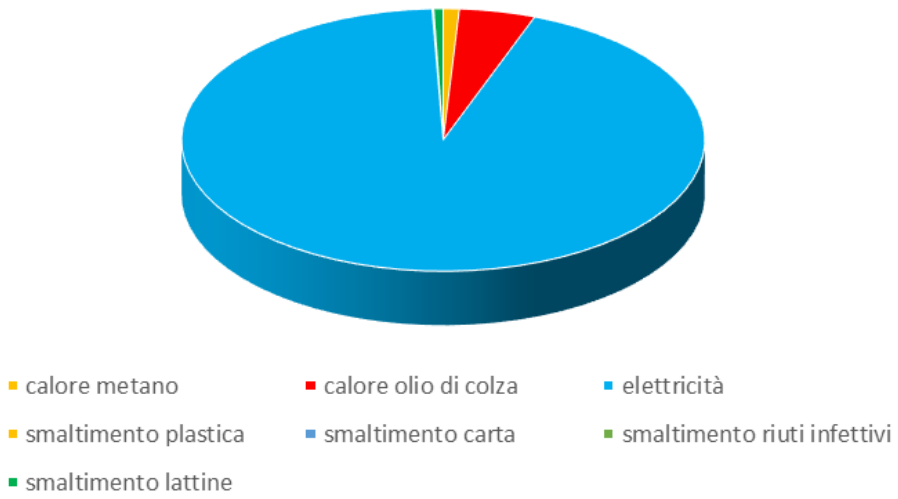

Figura 35: grafico rappresentante i contributi dei singoli input e output considerati per l'utilizzo degli spogliatoi durante l'anno 2015 (riproduzione personale)

2018:

Attività d'ufficio (26710,99 kg CO_2 equivalenti annui):

- Carta: 1
- Toner: 493,27
- Elettricità a basso voltaggio: 28607,91
- Calore da metano: 1462,89
- Calore da olio di colza: 228,36
- Smaltimento toner: 173,73
- Smaltimento rifiuti infettivi: 10,70
- Smaltimento plastica: 4,54
- Smaltimento lattine: 741,77
- Smaltimento carta: 1,42
- Trasporti <7 tonnellate: 5,47

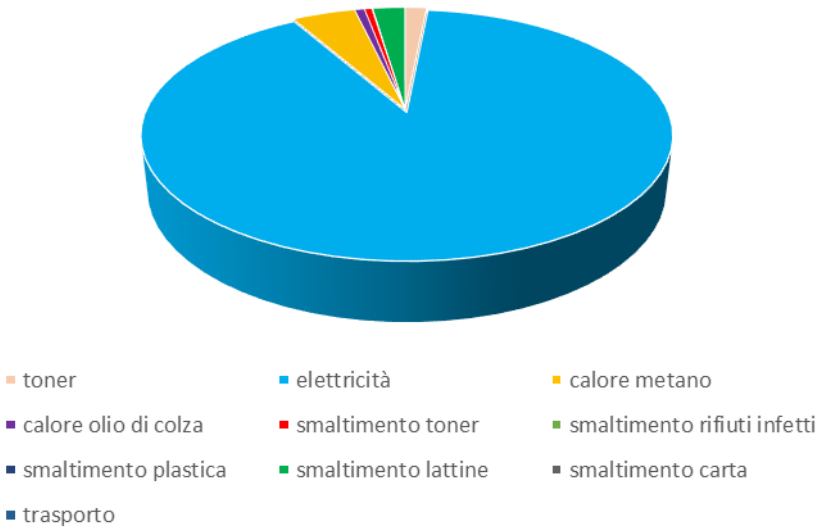

Figura 36: grafico rappresentante i contributi dei singoli input e output considerati per le attività d'ufficio durante l'anno 2018 (riproduzione personale)

Manutenzione e funzionamento impianto piscina (186.505,70 kg CO_2 equivalenti annui):

- Lubrificante: 0,11
- Acido solforico: 1106,54
- Ipoclorito di sodio: 171084,15
- Trasporto <32 tonnellate: 0,50
- Elettricità: 14303,96
- Smaltimento carta e cartone: 0,62
- Smaltimento imballaggi: 9,83

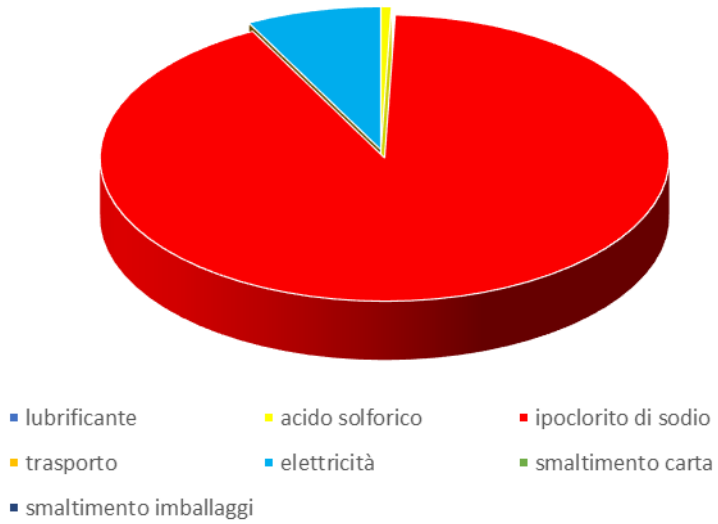

Figura 37: grafico rappresentante i contributi dei singoli input e output considerati per la manutenzione e funzionamento impianto piscina durante l'anno 2018 (riproduzione personale)

Manutenzione e funzionamento impianto idro-termo-sanitario (14.561,37 kg CO_2 equivalenti annui):

- Elettricità: 14545,43
- Smaltimento carta e cartone: 0,63
- Smaltimento imballaggi: 9,83
- Trasporto: 5,47

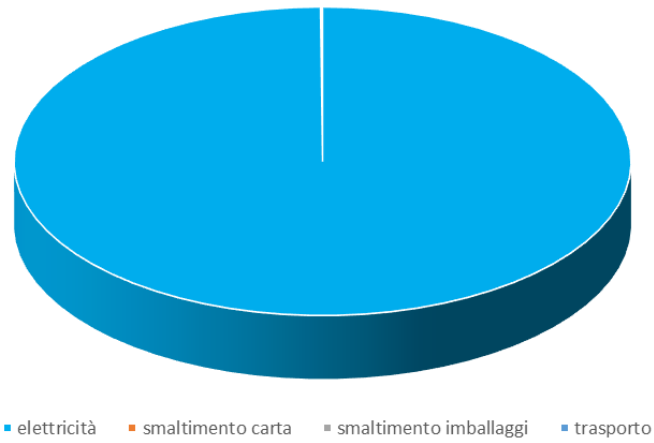

Figura 38: grafico rappresentante i contributi dei singoli input e output considerati per la manutenzione e funzionamento dell'impianto idro-termo-sanitario durante l'anno 2018 (riproduzione personale)

<u>Manutenzione e funzionamento impianto aerazione</u> (616,31 kg CO_2 equivalenti annui):

- Filtri: 559,24
- Trasporto <7 tonnellate: 0,13
- Elettricità: 46,49
- Smaltimento carta e cartone: 0,62
- Smaltimento imballaggi: 9,83

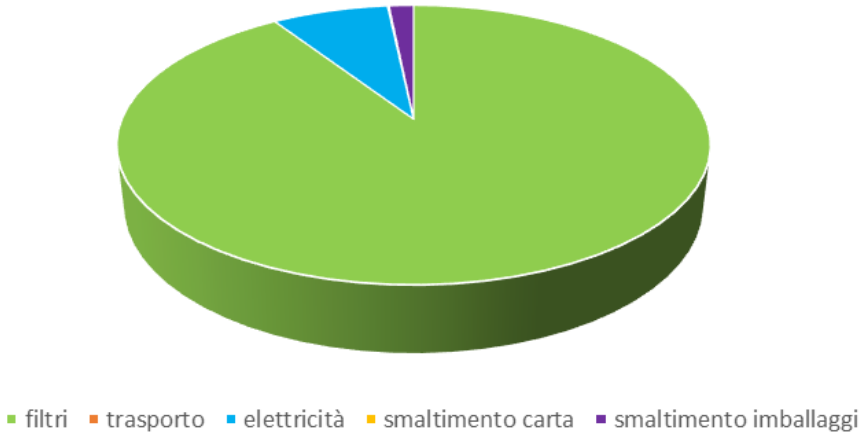

Figura 39: grafico rappresentante i contributi dei singoli input e output considerati per la manutenzione e funzionamento dell'impianto di aerazione durante l'anno 2018 (riproduzione personale)

Pulizia locali (441.938,68 kg CO_2 equivalenti annui):

- Disinfettanti: 7204
- Trasporto <7 tonnellate: 5,47
- Elettricità: 434714
- Smaltimento plastica: 4,54
- Smaltimento rifiuti infettivi: 10,71

Figura 40: grafico rappresentante i contributi dei singoli input e output considerati per la pulizia dei locali durante l'anno 2018 (riproduzione personale)

Pulizia piscina (435.102,80 kg CO_2 equivalenti annui):

- Disinfettanti: 345,82
- Trasporto <7 tonnellate: 5,47
- Elettricità: 434714
- Trattamento acque: 6,31
- Smaltimento plastica: 4,54
- Smaltimento rifiuti infettivi: 10,70
- Smaltimento fanghi: 16

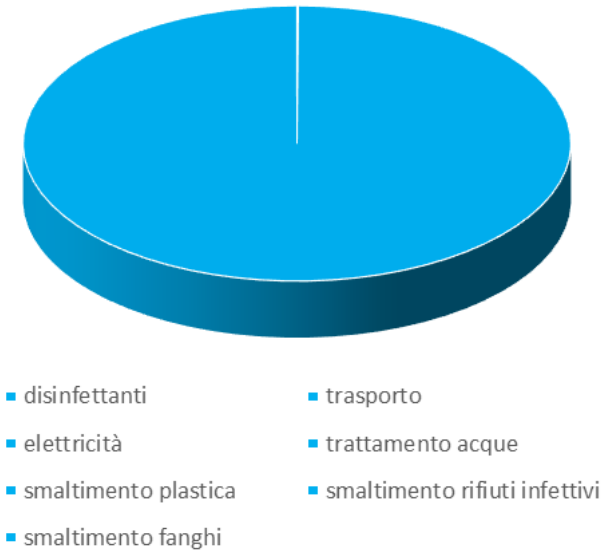

Figura 41: grafico rappresentante i contributi dei singoli input e output considerati per la pulizia della piscina durante l'anno 2018 (riproduzione personale)

Uso piscine esterne (410.771 kg CO_2 equivalenti annui):

- Acqua: 1270,52
- Calore da metano: 43.433,2
- Calore da olio di colza: 206.938
- Elettricità: 152.211
- Smaltimento organico: 1206,67
- Smaltimento lattine: 185,44
- Smaltimento carta/cartone: 27,71
- Smaltimento plastica: 0,27
- Scarico acque: 5498,29
- Trasporti <7 tonnellate: 5,47

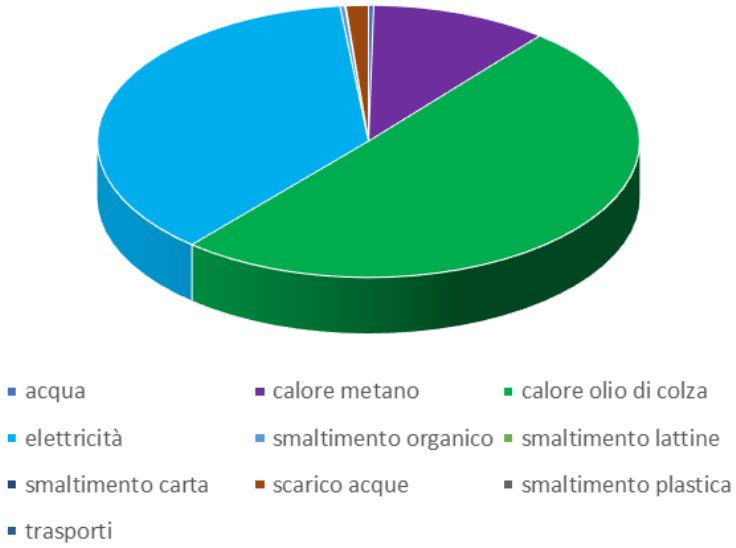

Figura 42: grafico rappresentante i contributi dei singoli input e output considerati per l'utilizzo delle piscine esterne durante l'anno 2018 (riproduzione personale)

Uso piscine interne (707.565,66 kg CO_2 equivalenti annui):

- Acqua: 721,1
- Calore da metano: 53.545
- Calore da olio di colza: 255.116
- Elettricità: 380.529
- Smaltimento organico: 4826,68
- Smaltimento lattine: 741,77
- Smaltimento carta/cartone: 110,84
- Smaltimento plastica: 1,1
- Scarico acque: 11.974,32
- Trasporti <7 tonnellate: 5,47

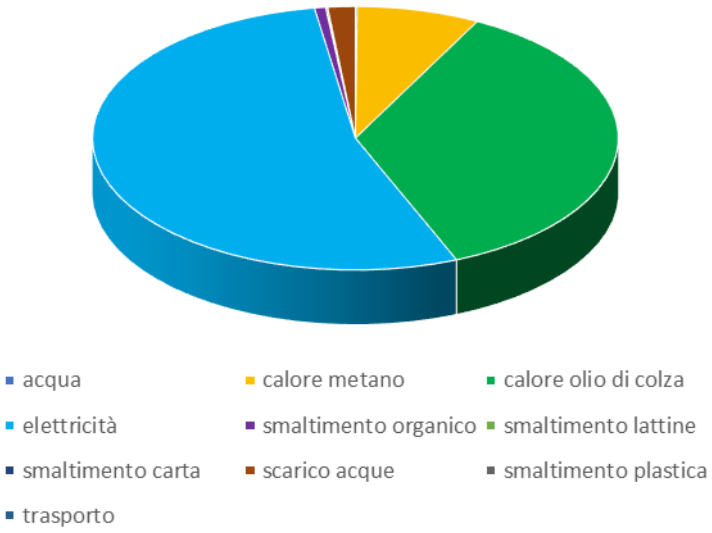

Figura 43: grafico rappresentante i contributi dei singoli input e output considerati per l'utilizzo delle piscine interne durante l'anno 2018 (riproduzione personale)

Uso spogliatoi (127.904,71 kg CO_2 equivalenti annui):

- Calore da metano: 1261,28
- Calore da olio di colza: 6009,37
- Elettricità: 119760,74
- Smaltimento lattine: 741,77
- Smaltimento carta/cartone: 110,84
- Smaltimento plastica: 4,54
- Smaltimento rifiuti infettivi: 10,70
- Trasporto: 5,47

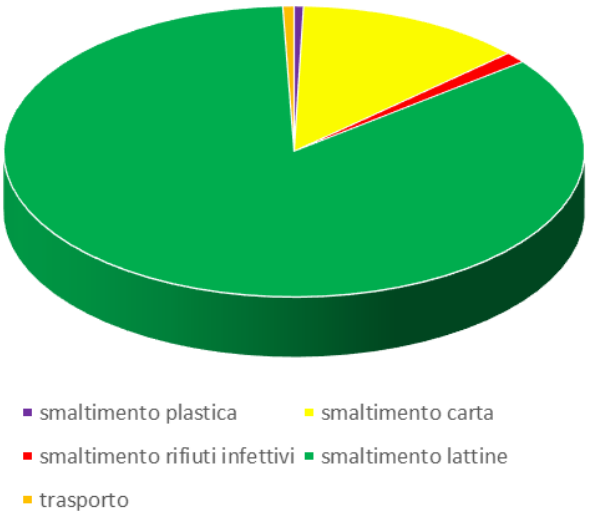

Figura 44: grafico rappresentante i contributi dei singoli input e output considerati per l'utilizzo degli spogliatoi durante l'anno 2018 (riproduzione personale)

7. BIBLIOGRAFIA

[1] Brundtland, Gro Harlem, Oslo, 20 March (1987) "*Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future" pag.17*

[2] Baldo, G.L.,Marino, M.,& Rossi, S. (2005) "*Analisi del ciclo di vita LCA: materiali, prodotti,processi."* Ed. Ambiente, Milano

[3] Iraldo, F., Testa, F., (2014) "*L'mpronta ambientale di prodotto per la competitività del PMI"* Franco Angeli, s.r.l, Milano

[4] SETAC. (1993). *A Conceptual Framework for Life Cycle Assessment,* workshop record*,* Sandestin, Florida, February 1992.

[5] UNEP (1996) innovative environmental imppact assessment technique

[6] Miorandi, A., (1999) *Modello di gestione integrata dei rifiuti solidi urbani mediante "Life Cycle Assessment"* Progetto Val di Sole

[7] ISO 14040 (2006) UNI EN ISO 14040 "*Environmental management, life cycle assessment, principles and framework", Ginevra* International Organization for Standardization (UNI)

[8] ISO 14044 (2006) "*Environmental management, Life cycle assessment, requirement and guidelines" Ginevra* International Organization for Standardization (UNI)

[9] IPCC. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis,* Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. Averyt, et al. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

[10] ISO/TS 14067 (2013) "*Grennhouse gases- Carbon footprint of products- Requirements and guideline for quantification and communication"Svizzera*

[11] Pacchetto per il clima e l'energia 2020 tratto da https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_it

[12] Juncker, J. C., (2018) “STATE OF THE UNION 2018. AUTHORISED VERSION OF THE STATE OF THE UNION ADDRESS 2018”.

[13] Ciroth A., Di Noi C., Lohse T., Srocka M. (2019) “OpenLCA 1.9 Comprehensive User Manual”

[14] OpnelLCA Nexus dal sito: https://nexus.openlca.org.

[15] PRé Consultants,Goedkoop M., An De Schryver, Oele M., Douwe de Roest, Vieira M., Durksz S. (2010) « SimaPro 7 Tutorial ».

[16] Pré Consultants. (2013). *http://www.pre-sustainability.com/simapro-lca-software*. Tratto da www.pre-sustainability.com.

[17] Pré Consultants. (2010). *Introduction to LCA with SimaPro 7.*

[18] Ecoinvent. (2007). *Overview and Methodology. Ecoinvent report No.1.*

[19] Neri, P. (A cura di). (2012). *digilander.libero.it/giabon/*. (Sito web che raccoglie tesi di laurea riguardanti LCA svolte in collaborazione con l'ENEA di Bologna e la società LCA lab)

[20] Goedkoop, M., & Spriensma, R. (2001). *The Eco-indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Metodology report.*

[21]http://www.ispraambiente.gov.it/it/temi/biodiversita/documenti/intergovernmental-panel-on.clime-change-ipcc-report

[22] Humbert, S., Margni, M., & Jolliet, O. (2005). Industrial Ecology & Life Cycle System Group, GECOS. *IMPACT 2002+: User Guide Draft for version 2.1.* Lausanne, Switzerland: Swiss Federal Institute of Technology Lausanne (EPFL).

[23] Humbert, Margni, & Jolliet (2005), “*IMPACT 2002+: User Guide Draft for version 2.1*”.

[24] Stadwerker Brixen/Bressanone (2016) “Dichiarazione ambientale 2016-2019 ASM Bressanone SpA Acquarena”

[25] ISO 14001 (2015) "*I sistemigestionali ad un punto di svolta" Ginevra* International Organization for Standardization (UNI)

[26] Stadwerker Brixen/Bressanone (2015) DIAGNOSI ENERGETICA AI SENSI DELL'ART.8 D.Lgs. 4 Luglio 2014, N.102 RAPPORTO DI DIAGNOSI 01717730210D15_0003 Sito produttivo cod. 0003

[27] Stadwerker Brixen/Bressanone (2018): Dichiarazione Ambientale 2014-2017

[28] Stadwerker Brixen/Bressanone (2018): Dichiarazione Ambientale 2018-2021

[29] Reperimento informazioni grasso per manutenzione: https://autoparti.itliqui-moly

[30] Jurop SpA (2017): Scheda tecnica filtra aria- acqua

[31] Informazioni toner stampanti bianco e nero: https://www.offertecartucce.com/qual-e-il-peso-medio-di-un-toner/.

8. RINGRAZIAMENTI

Vorrei ringraziare il mio relatore, il Professor Wilmer Pasut che ha deciso di seguirmi in questo percorso di tesi, rivelandosi sempre disponibile ad aiutarmi e incoraggiarmi nei momenti di incertezza. Un ulteriore ringraziamento va al Dottor Michele Bellucco, mio tutor aziendale, a Massimo e Stefano collaboratori di ICStudio che mi hanno permesso di svolgere questo studio ed a Marco, tecnico Acquarena che si è rivelato sempre disponibile a fornirmi informazioni anche se questo abbia comportato aprire scatoloni su scatoloni a causa della ristrutturazione della piscina. Mammona e Papi, a voi vanno, oltre che i ringraziamenti anche il mio successo accademico che non sarebbe stato possibile senza il vostro sostegno ed incoraggiamento, avendomi messo sempre al primo posto nonostante gli ostacoli che in questi anni si sono posti e tutt'ora si pongono nel nostro percorso. Alle mie amiche milanesi di sempre Mufa, Ciccihh, Caccun e Mary, che nonostante la distanza sono sempre state le mie sostenitrici e spero che lo saranno ancora per lungo lungo tempo. Grazie alla mia Ele che dalla quinta elementare è presente nella mia vita. I ringraziamenti ora vanno alle due persone che questa magistrale mi ha permesso di conoscere; Christian che dopo i miei genitori è il mio sostenitore più accanito e che mi ha spronata durante questi anni senza darmi tregua per raggiungere il mio obiettivo, ovvero questa laurea, quindi grazie a te e alla tua caparbietà e grazie a Chiara, conosciuta il primo giorno di laurea magistrale e tutt'ora compagna di avventure.