

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

FACOLTA' DI INGEGNERIA

**CORSO DI LAUREA SPECIALISTICA IN INGEGNERIA PER
L'AMBIENTE E IL TERRITORIO**

TESI DI LAUREA

in

Valorizzazione delle Risorse Primarie e Secondarie LS

**APPLICAZIONE DELL'LCA NELLA VALUTAZIONE DEI BENEFICI
AMBIENTALI PRODOTTI DA TECNOLOGIE E PROCESSI
ECOINNOVATIVI**

**Il caso studio della nuova macchina K3 di Carpigiani con ciclo frigorifero a
CO₂**

Tesi di Laurea di:
Cristian Chiavetta

Relatore:
Chiar.mo Prof. Ing. Alessandra Bonoli

Correlatori:
Dott. Ing. Francesca Cappellaro
Dott. Grazia Barberio

Anno Accademico 2007/2008

Sessione III

Sommario

1. INTRODUZIONE	4
1.1 Imprese e ambiente: vincoli ed opportunità.....	4
2. STRUMENTI E DIRETTIVE PER L'ECOPROGETTAZIONE DEI PRODOTTI UTILIZZANTI ENERGIA	9
2.1 Introduzione	9
2.2 Direttiva sulle apparecchiature elettriche ed elettroniche.....	10
2.3 Direttiva EuP.....	11
2.4 La direttiva EuP ed il contesto legislativo europeo	17
2.5 Il percorso di eco progettazione per le imprese	22
2.6 Ruolo del Life Cycle Assessment.....	24
3. L'ECO-DESIGN.....	26
3.1 Che cos'è l'Eco-design?	26
3.2 Perché l'eco-design?	28
3.2.1 I drivers interni	28
3.2.2 I drivers esterni	30
3.3 L'integrazione dell'eco-design nel processo di progettazione tradizionale.....	31
3.4 Le strategie dell'eco-design	33
3.5 Strumenti di valutazione ambientale per l'eco-design.....	38
3.5.1 Checklist di eco-progettazione	39
3.5.2 Matrice MET	40
3.5.3 Input di materiale per unità di servizio.....	40
3.5.4 Domanda cumulata di energia	41
3.5.5 Diagramma a tela di ragno.....	41
4. LCA: LIFE CYCLE ASSESSMENT	44
4.1 Che cos'è una LCA.....	44

4.1.1	Definizione e normative di riferimento	44
4.1.2	Origini e sviluppo	48
4.1.3	Differenti tipologie di LCA	50
4.2	LCA: metodologia	54
4.2.1	Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione dello studio	55
4.2.2	Analisi di inventario - LCI	58
4.2.3	Analisi degli impatti	62
4.2.4	Interpretazione dei risultati	80
4.3	Software per LCA	81
4.3.1	Database per LCA	82
4.3.2	GaBi 4.3	86
5.	IL CASO STUDIO DI CARPIGIANI.....	89
5.1	Carpigiani e la variabile ambiente.	90
5.2	La macchina per gelato K3 di Carpigiani	94
5.3	La macchina Eco-K3 di Carpigiani.....	97
5.3.1	I fluidi frigoriferi.	98
5.3.2	L'impianto frigorifero della Eco-K3	102
6.	STUDIO DI LCA COMPARATIVA: il caso Carpigiani.....	106
6.1	Introduzione	106
6.2	L'Analisi del Ciclo di Vita nel campo delle macchine frigorifere.	107
6.3	Perché uno studio di LCA comparativa?	108
6.4	Lo studio di LCA comparativa tra la K3 e della Eco-K3 di Carpigiani.....	109
6.4.1	Obiettivi dello studio e campo di applicazione dello studio	109
6.4.2	Analisi di inventario	118
6.4.3	Valutazione degli impatti	135
7.	CONCLUSIONI	150

1. INTRODUZIONE

1.1 Imprese e ambiente: vincoli ed opportunità

Il dibattito sulle problematiche ambientali e sullo sviluppo sostenibile non può prescindere da tematiche quali la competitività ed il profitto delle aziende nei mercati globali. Lo sviluppo sostenibile, infatti, deve essere compatibile con lo sviluppo aziendale: passando attraverso il diretto coinvolgimento delle imprese, le questioni economiche devono essere integrate con quelle ambientali, in quanto ambiente e imprese sono due facce della stessa medaglia.

I potenziali rischi, cui l'ambiente è sottoposto a causa di una sregolata pressione da parte della produzione industriale, riguardano l'aumento di gas serra con conseguente aumento del riscaldamento globale, ma anche altri aspetti come la diminuzione di risorse, in termini di materie prime e di acqua, l'inquinamento delle acque a causa di inquinanti tossici o di eutrofizzazione delle acque stesse, smog fotochimico e acidificazione dovuto alle emissioni di gas esausti, radiazioni e inquinamento acustico. Questi effetti hanno conseguenze a differente scala (a livello globale o regionale) e sono correlati non solo alla fase di produzione di un prodotto ma al suo intero *ciclo di vita*: acquisizione di materie prime necessarie per la produzione del prodotto, distribuzione e uso dello stesso, eventuale riuso e smaltimento finale nel suo fine vita. Poiché queste fasi sono strettamente correlate tra loro, le relazioni tra fornitori di materie prime a monte e clienti/consumatori a valle fanno sì che l'azienda produttrice abbia un'influenza ed una responsabilità sugli impatti ambientali potenziali durante l'intero ciclo di vita del prodotto. Tale responsabilità è fortemente

avvertita nel settore delle *apparecchiature elettriche ed elettroniche* che è anche regolamentato da diverse direttive comunitarie.

L'adeguamento alle normative è spesso il primo motore verso il miglioramento delle prestazioni ambientali di un'impresa.

L'approccio adottato della Comunità Europea nel sesto programma quadro per l'ambiente Ambiente 2010: il nostro futuro, la nostra scelta è orientato al prodotto e le politiche che l'Unione Europea persegue mirano a rendere più compatibili con l'ambiente la produzione, l'uso e lo smaltimento dei prodotti. Gli obiettivi che si intendono raggiungere sono: la riduzione dello sfruttamento delle risorse naturali, la riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra, l'incremento della sicurezza degli approvvigionamenti di energia ed il miglioramento della gestione dei rifiuti (sia dal punto di vista della prevenzione che del riciclaggio).

Tale approccio è basato su due strategie complementari: da un lato migliorare la progettazione dei prodotti al fine di ridurre emissioni, sfruttamento di risorse e produzione di rifiuti, dall'altro incrementare l'impiego di riciclaggio e riuso dei rifiuti e favorire il risparmio energetico.

La Commissione Europea sta procedendo da tempo ad interventi di settore attraverso l'emanazione di direttive ispirate a questi principi, che, a partire dalla responsabilità del produttore sull'intero ciclo di vita del prodotto, definiscono una serie di obiettivi di miglioramento ambientale ed energetico cadenzati nel tempo e progressivamente più estesi.

Le direttive già emanate riguardano:

- settore imballaggi – Direttiva 94/62/EC e successivi atti integrativi 2004/12/CE e 2005/270/CE – riguarda la riduzione degli impatti ambientali causati da imballaggi e rifiuti da imballaggio, attraverso la limitazione della produzione degli imballaggi non indispensabili e la promozione di tecniche di riciclaggio, riuso e/o recupero;

- settore auto – Direttiva 2000/53/CE (ELV) – misure volte a prevenire la produzione di rifiuti derivanti dai veicoli, nonché al reimpiego, al riciclaggio e ad altre forme di recupero dei veicoli, fuori uso e dei loro componenti;
- settore costruzioni – Direttiva 2002/91/CE – diagnosi e certificazione energetica dei fabbricati;
- settore chimico:
 - Direttiva 2002/95/CE (RoHS) che prevede il divieto e la limitazione all'uso di sostanze tossiche (piombo, mercurio, cadmio, cromo esavalente ed alcuni ritardanti di fiamma);
 - Regolamento nel settore della produzione chimica Registration, Evaluation, Authorization of Chemical (REACH), 1907/2006. Essa interessa le imprese che usano preparati chimici nel loro processo di produzione e prevede in particolare la registrazione di tutte le sostanze prodotte o importate nel territorio dell'Unione in quantità pari o superiore ad una tonnellata all'anno. Si è valutato che tale procedura interesserà circa 30.000 sostanze in uso nel settore chimico e nelle varie filiere manifatturiere.
- Settore apparecchiature elettriche ed elettroniche (AEE) – Direttiva 2002/96/CE (RAEE) – obbligo di provvedere al finanziamento delle operazioni relative al fine vita e di sviluppare soluzioni progettuali atte a favorire il reimpiego ed il riciclaggio di apparecchiature e materiali. Essa interessa i produttori di AEE e i fornitori di materiali/componenti per produttori di AEE.
- prodotti ad alto consumo energetico – Direttiva quadro 2005/32/CE (EuP) – Definizione di specifiche per l'eco-design e per la certificazione di prodotti con elevati consumi energetici.

La soluzione ottimale per uno sviluppo economico che sia disaccoppiato dalla crescita di impatti ambientali non può prevedere solo l'eco-efficienza della produzione ma anche dei modelli di consumo sostenibile verso cui i cittadini devono essere educati.

La Commissione Europea, ha redatto il "Piano d'Azione per la Produzione e Consumo Sostenibile e per le politiche industriali sostenibilità", il cui scopo è quello di identificare e superare le barriere alla diffusione di modelli di consumo e produzione sostenibili, aumentare la consapevolezza tra i cittadini e cambiare le abitudini insostenibili. Il cuore del piano è creare un circolo virtuoso: migliorando le performance ambientali dei prodotti lungo tutto il loro ciclo di vita, promuovendo e stimolando la domanda di prodotti e tecnologie di produzione migliori e aiutando i consumatori nella scelta (COM (2008) 397/3).

In questa tesi di laurea è stato analizzato il percorso di eco-innovazione di Carpigiani, azienda che opera nel settore di produzione macchine frigorifere per prodotti alimentari, con particolare riferimento ad una macchina per la produzione di gelato. In collaborazione con il Centro Ricerche ENEA di Bologna, è stato proposto uno studio di Eco-design, tramite l'applicazione della metodologia di Life Cycle Assessment (LCA) in modo da valutare le prestazioni ambientali della macchina confrontando questa con un prototipo che utilizza un differente fluido refrigerante a base di CO₂.

Il capitolo 2 focalizza l'attenzione su alcune direttive rilevanti per le imprese col fine di applicare il concetto di eco-design articolato e tradotto in percorsi differenti con una tecnica di benchmarking. Particolare attenzione è stata dedicata alla Direttiva EuP ed alle sinergie esistenti con la direttiva RAEE.

Il capitolo 3 fornisce una dettagliata descrizione dell'Eco-design in termini di principi, metodologia, strumenti, strategie e vantaggi applicativi. L'Eco-design prevede un approccio al ciclo di vita del prodotto e pertanto tra gli

strumenti maggiormente idonei ad effettuare uno studio di tal tipo vi è la metodologia LCA, descritta nel capitolo 4. Per avviare un percorso di Eco-design sono state analizzate le caratteristiche principali del macchinario oggetto dello studio (capitolo 5) sia per la tecnologia convenzionale che per quella innovativa. L'analisi dei miglioramenti delle prestazioni dei due sistemi è stata condotta effettuando dapprima uno studio di LCA comparativa tra macchinario esistente e il prototipo che utilizza un differente fluido refrigerante (capitolo 6). Successivamente sono stati proposti scenari di miglioramento per il macchinario in un'ottica di Eco-design. Nel capitolo 7 vengono infine discussi i risultati dell'analisi comparativa e degli scenari di miglioramento proposti per individuare un prodotto innovativo ed ecoefficiente.

2. STRUMENTI E DIRETTIVE PER L'ECOPROGETTAZIONE DEI PRODOTTI UTILIZZANTI ENERGIA

2.1 Introduzione

Risparmiare risorse ed energia è importante. Per la sostenibilità del nostro sistema economico e sociale è necessario ridurre i consumi energetici senza compromettere la nostra qualità della vita.

Il Libro Verde sull'efficienza energetica¹ prevede che possa essere risparmiata una quota pari al 20% degli attuali consumi di energia nell'UE. Il Piano d'azione seguito al Libro Verde ha l'obiettivo di delineare un quadro di politiche e misure dirette a risparmiare una quota pari al 20% dell'annuale consumo di energia primaria dell'UE entro il 2020. Esso propone una selezione delle iniziative, che presentano il miglior rapporto costi-efficacia, dirette al miglioramento dell'efficienza energetica, da mettere in campo e implementare nell'arco dei sei anni di copertura del piano (2006-2012). Ambizione della Commissione sarebbe quella di riuscire a mobilitare gli attori del mercato con l'obiettivo di fornire ai cittadini edifici, apparecchi, processi, auto e sistemi energetici altamente efficienti.

Oltre al Piano d'azione suddetto, la Commissione europea sta promovendo da tempo un numero di programmi e direttive volti al raggiungimento di una maggiore efficienza energetica che saranno approfonditi di seguito.

¹ Libro Verde sull'efficienza energetica: fare di più con meno, Bruxelles, 22.6.2005; COM (2005) 265 definitivo

2.2 Direttiva sulle apparecchiature elettriche ed elettroniche

La nuova Direttiva (2002/96/EC) sui Rifiuti d'apparecchiature elettriche ed elettroniche (AEE), conosciuta come Direttiva RAEE; porta a serie implicazioni di carattere finanziario, commerciale e progettuale per le aziende operanti nel settore delle apparecchiature elettriche ed elettroniche. Le maggiori aziende del settore si sono già adeguate alle esigenze del mercato e prodotti ripensati in funzione della nuova Direttiva, sono già sul mercato.

La legislazione interessa i produttori delle categorie sotto riportate, ed anche chi fornisce componenti, materiali, parti ad aziende operanti nel settore AEE.

I “produttori” comprendono:

- Produttori di prodotti con proprio marchio
- Aziende che vendono con il proprio marchio prodotti fabbricati da terzi
- Importatori di componenti diversi

La Direttiva esclude i produttori di apparecchiature elettriche ed elettroniche usate ai fini della difesa e della sicurezza nazionale.

Le categorie di prodotti inserite nella normativa sono:

- grandi e piccoli elettrodomestici per uso domestico e commerciale,
- apparecchi per l'informatica e le telecomunicazioni,
- apparecchi elettronici di consumo (TV, video, hi-fi, ecc.),
- giocattoli,
- apparecchi per l'illuminazione,
- motori elettrici,
- utensili elettrici ed elettronici (con l'eccezione dei grandi macchinari industriali fissi),
- attrezzi per lo sport ed il tempo libero,

- strumentazione medica (escluse le apparecchiature fisse e infettate),
- strumenti per il monitoraggio ed il controllo,
- distributori automatici.

I produttori sono responsabili della **raccolta, trattamento, recupero e smaltimento** dei rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE). Devono, inoltre, progettare e fabbricare prodotti con l'obiettivo di riciclare e recuperare i materiali ed i componenti una volta che i rifiuti siano stati separati e differenziati.

La Direttiva deve essere applicata anche a fornitori di materiali o componenti in quanto facenti parte della filiera del prodotto. Il mancato adeguamento comporterebbe per tali attori della filiera una perdita di competitività dovuta all'incapacità di far fronte alle nuove richieste progettuali e produttive dei clienti. Andando incontro alle esigenze di questi e dando rapide risposte ai subfornitori sulla separazione, riciclo e riutilizzo dei materiali o componenti è possibile per un'azienda, cogliere nuove opportunità di mercato.

La metodologia LCA assieme ad altri strumenti di Eco-design, possono essere di aiuto nell'identificare le aree critiche di design del prodotto su cui agire per far diminuire i costi dovuti al raggiungimento degli obiettivi di recupero e riciclaggio.

2.3 Direttiva EuP

La Direttiva quadro EuP 2005/32/CE nota anche come “direttiva Eco-design” e riferita ai “energy-using product” fissa un quadro di riferimento generale per l'elaborazione di specifiche comunitarie per la progettazione ecocompatibile dei prodotti che consumano energia, definiti come:

“prodotti che, dopo l'immissione sul mercato e/o la messa in servizio, dipendono da un input di energia (elettrica,

combustibili fossili e energie rinnovabili) per funzionare secondo l'uso cui sono destinati o prodotti per la generazione, il trasferimento e la misurazione di tale energia, incluse le parti che dipendono da input di energia e che sono destinate ad essere incorporate in un prodotto che consuma energia (...), immesse sul mercato e/o messe in servizio come parti a sé stanti per gli utilizzatori finali, e le cui prestazioni ambientali possono essere valutate in maniera indipendente”

La dimensione degli impatti legata ai prodotti energy-using è fornita da un dato della International Energy Agency secondo cui i soli elettrodomestici sono responsabili del 30% dei consumi energetici totali e del 12% delle emissioni di gas serra nei paesi dell'OCSE. Secondo stime della commissione europea l'origine dell'80% degli impatti ambientali generati da un prodotto possono essere ricondotti alla fase di progettazione, pertanto l'Eco-design rappresenta un modo efficace per migliorare le prestazioni ambientali dei prodotti.

Il potenziale di risparmio della direttiva 2005/32 CE, secondo le previsioni del Libro Verde è di almeno 20 MTEP.

Nell'ambito della direttiva, il Libro Verde per l'efficienza energetica evidenzia inoltre l'importanza di adottare misure particolari per evitare i consumi di energia elettrica.

Ad esempio prestare attenzione all'utilizzo della fase di “stand-by” per degli apparecchi nei vari settori dell'illuminazione, del riscaldamento e del raffreddamento degli ambienti. Per i motori elettrici, adottare misure di isolamento, sostituire vecchi elettrodomestici con modelli più recenti ad alta efficienza.

La direttiva non introduce requisiti direttamente vincolanti per prodotti specifici, ma stabilisce le condizioni per la definizione di caratteristiche di compatibilità ambientale dei prodotti e ne consente il miglioramento in

maniera rapida ed efficace. La direttiva è una base per l'emanazione di misure attuative atte a fissare le specifiche tecniche di dettaglio per categorie di prodotti al fine di una loro progettazione eco-compatibile. Queste misure attuative scaturiscono da studi su determinate categorie di prodotti identificate come prioritarie. Tali studi sono stati condotti seguendo la metodologie MeEuP che si conclude con un eco-report che identifichi gli aspetti ambientali significativi.

Vi sono gruppi di prodotti energy-using definiti prioritari secondo il Programma Europeo sul cambiamento Climatico (European Climate Change Programme) e su questi la Direzione Generale dei Trasporti ed Energia (DG TREN) sta effettuando degli studi preparatori:

- apparecchiature elettroniche di consumo come televisioni e pc;
- fotocopiatrici;
- fax e scanner;
- attrezzature per la fornitura di potenza esterna;
- impianti di condizionamento e riscaldamento;
- sistemi di illuminazione;
- frigoriferi e refrigeratori;
- motori elettrici;
- piccoli impianti di combustione a combustibile solido;
- lavatrici e lavastoviglie;
- asciugabucato;
- aspirapolveri.

Il primo Working Plan della Direttiva, adottato il 21 Ottobre 2008, stabilisce una lista di 10 categorie di prodotto prioritarie per il periodo 2009-2011:

- Sistemi di ventilazione e aria condizionata;

- Attrezzature per riscaldamento alimentate a combustibile fossile o elettricamente;
- Attrezzature per la preparazione di alimenti;
- Forni da laboratorio ed industriali e stufe;
- Macchine utensili;
- Attrezzature di rete, elaborazione ed immagazzinamento dati ;
- Attrezzature per la produzione di suoni ed immagini;
- Trasformatori;
- Attrezzature che utilizzano acqua;
- Attrezzature per il congelamento e la refrigerazione, domestici o commerciali.

Nell'ultimo gruppo di prodotti vi sono le macchine per la produzione di gelato, oggetto di questa tesi.

La direttiva non introduce requisiti direttamente vincolanti per prodotti specifici, ma stabilisce le condizioni per la definizione di caratteristiche di compatibilità ambientale dei prodotti e ne consente il miglioramento in maniera rapida ed efficace.

La direttiva individua le categorie dei prodotti e le specifiche per la loro progettazione eco-compatibile, tra cui quelle che il fabbricante deve fornire al consumatore. Il fabbricante deve effettuare una valutazione preventiva di tutti gli impatti ambientali riferita al “ modello” di prodotto durante il suo intero ciclo di vita, elaborando così un profilo ecologico del prodotto che prevede una descrizione quantitativa e qualitativa degli input e degli output. E' qui evidente l'ispirazione allo strumento della dichiarazione ambientale di prodotto (Environmental Product Declaration) normato dalla ISO 14025 e sviluppato in forma certificabile dal sistema internazionale EPD. In seguito a questa analisi il fabbricante fornisce aspetti di benchmarking per il prodotto e attesta dunque la conformità del prodotto alle misure esecutive secondo i requisiti generali e specifici determinati per quella categoria di

prodotto o anche il superamento di questi requisiti minimi e può quindi richiedere il marchio.

La direttiva si pone l'obiettivo di migliorare le prestazioni ambientali dei prodotti che consumano energia, nell'ambito dell'intero ciclo di vita, attraverso la sistematica integrazione degli aspetti ambientali dei prodotti, nella fase della loro progettazione. Intervenire in tale fase, significa cercare di prevedere la maggior parte degli impatti potenziali negativi, che un prodotto eserciterà nell'arco del suo ciclo di vita, in modo da attuare i necessari miglioramenti agli aspetti ambientali dei prodotti, correlati agli specifici impatti individuati. La direttiva non tratta gli impatti ambientali (ad es. il cambiamento climatico) ma gli aspetti ambientali dei prodotti che possono essere correlati a quei determinati impatti (ad es. consumi di energia) e che possono essere sostanzialmente influenzati dalla progettazione del prodotto. In figura 2.1 viene mostrato lo schema riassuntivo degli aspetti principali considerati dalla direttiva EuP in merito all'eco-progettazione dei prodotti che consumano energia.

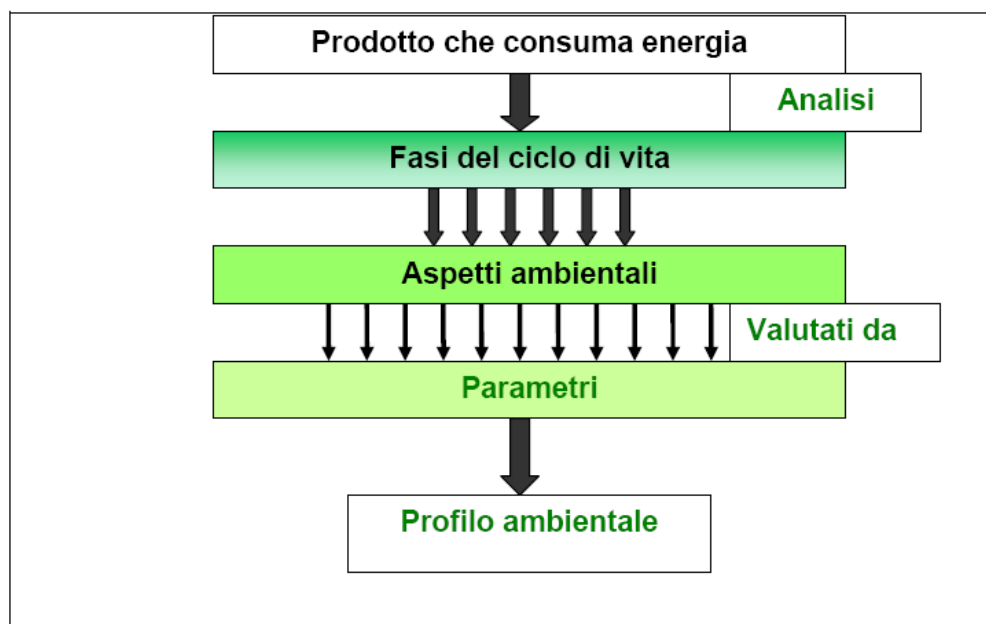


Figura 2.1: Schema riassuntivo degli aspetti principali considerati dalla direttiva EuP. Fonte: Elaborazione da Vicario L., Diafani S., di Legambiente onlus e Shischke K., Hageleucken M., di Fraunhofer IZM "Introduzione alle strategie di eco-design, cosa, come e perchè?"; Milano, 18 maggio 2005.

Il produttore quindi nell'intento di rispettare la normativa deve effettuare un trade-off tra aspetti ambientali, economici di sicurezza per la salute umana. Deve effettuare un eco-design di prodotto e deve provvedere a conseguire il marchio CE sul prodotto.

I prodotti che rispondono ai requisiti della direttiva saranno progettati al fine di aumentare il loro rendimento, così da diminuire consumo di materie prime ed energia per unità di prodotto in tutto il ciclo di vita. Inoltre i prodotti sono vantaggiosi sia per il commercio che per i consumatori in quanto garantiscono la libera circolazione fra prodotti nel mercato interno, migliorano la qualità del prodotto e l'efficienza energetica, favoriscono la protezione ambientale e la sicurezza dell'approvvigionamento energetico.

Benefici che derivano dall'introduzione della direttiva EuP

2005/32/CE

Garantisce il funzionamento del mercato interno rimuovendo le barriere agli scambi commerciali

Riduce l'impatto ambientale dei prodotti che consumano energia

Aumenta la sicurezza della fornitura di energia

Integra gli aspetti ambientali nella progettazione dei prodotti senza compromettere la competitività delle aziende

Valorizza l'importanza delle piccole-medie imprese e dei consumatori

Sviluppa nuovi standard per l'ambiente

Rappresenta il primo concreto esempio di Politiche Integrate di Prodotto

Accelera le soluzioni ecologiche, accresce la competitività dell'Unione Europea nel commercio globale

Aumenta la disponibilità /scambio di informazioni sull'ambiente di pubblico accesso

Fonte: Elaborazione su Pubblicazione "A framework for setting eco-design requirements for energy –using products", Eifel M., DG Enterprise and Industry Unit H/5.

Tale direttiva è in sinergia con le certificazioni volontarie **Ecolabel** e le registrazioni **EMAS**. Infatti, si considera che i prodotti che hanno ottenuto il marchio comunitario di qualità ambientale Ecolabel siano conformi alle specifiche per la progettazione ecocompatibile previste dalle misure di esecuzione e con le registrazioni EMAS in quanto un'impresa registrata può sfruttare il proprio sistema di gestione ambientale per dimostrare che il prodotto è conforme alle misure attuative richieste dalla direttiva. Esiste infine una sinergia anche con il marchio **Energy Star** che sarà utile nella valutazione degli aspetti energetici dei prodotti a supporto della dimostrazione di conformità.

2.4 La direttiva EuP ed il contesto legislativo europeo

La direttiva 2005/32/CE si integra a disposizioni già esistenti a livello comunitario e dirette al settore elettrico, elettronico e termico ed a disposizioni che fanno parte di piani e programmi ambientali dell'Unione Europea.

Il settore elettrico e elettronico ha visto negli ultimi anni un'intensificazione degli interventi legislativi da parte della Comunità europea, diretti a cercare di diminuire l'impatto negativo sull'ambiente di tali prodotti. Diverse direttive adottate quali ad es. RAEE, RoHS, si concentrano su particolari aspetti ambientali dei prodotti del settore elettrico, elettronico, quali i rifiuti e l'uso di sostanze pericolose. La direttiva EuP si caratterizza invece per prendere in considerazione complessivamente gli aspetti ambientali dei prodotti che consumano energia nell'intero ciclo di vita. Questo approccio complessivo è un elemento estremamente importante che permette di intervenire sia per colmare lacune (ovvero per considerare aspetti che non sono compresi nelle direttive esistenti), sia per adeguare aspetti già disciplinati (e in questo caso la direttiva fornirà la cornice per il loro adeguamento e miglioramento).

Un recente studio (Garrett P., 2007²) ha mostrato alcune potenziali sinergie tra le direttive esistenti e la EuP ma anche potenziali rischi di contrasto. Di seguito si elencano le principali conclusioni di tale studio.

- Sinergia e contrasti con la direttiva RAEE: i produttori saranno incoraggiati a progettare e fabbricare prodotti in modo da facilitare il riuso e il riciclaggio. Entrambe le direttive stimolano la riduzione degli impatti ambientali attraverso la progettazione del prodotto. Sebbene l'EuP si focalizzi più sulla fase di utilizzo, l'ecoprogettazione potrebbe favorire il fine vita del prodotto ed in particolare lo smaltimento dei refrigeranti. Nell'ambito della direttiva RAEE il riuso e il recupero di materiali sono considerati le migliori scelte ambientali. Nella direttiva EuP, la mitigazione dei gas serra, attraverso l'incremento dell'efficienza energetica, è considerata lo scopo ambientale prioritario. Focalizzandosi su differenti aspetti ambientali del ciclo di vita del prodotto, c'è un potenziale di contrasto che necessita di trade-off di prodotto ma che trova un punto di incontro nel fatto che le politiche dirette a promuovere il riuso dei prodotti, hanno un approccio del ciclo di vita.
- Sinergia e contrasto con la direttiva RoHS: la direttiva RoHS regola l'uso di certe sostanze nei prodotti elettrici ed elettronici. Chiaramente, la EuP comprende molte altre sostanze che sono già controllate, ma non soggette a RoHS. La direttiva EuP incoraggia i produttori a ricercare le possibilità di evitare l'uso di sostanze dannose per l'ambiente in tutte le fasi del ciclo di vita del prodotto e

² Garrett P., Madsen J., Wallen E., (2007), "Environmental tradeoffs of the Energy-using Products (EuP) directive and Product Policy"

quindi ha il potenziale per conseguire grandi benefici più della direttiva RoHS nella limitazione delle sostanze, perché considera tutte le sostanze nel prodotto e misura gli impatti ambientali in tutto il ciclo di vita del prodotto piuttosto che considerare un limitato gruppo di sei sostanze basate sulla sola tossicità. L'implementazione della RoHS sarà una buona preparazione per la direttiva EuP, attraverso l'esperienza nella gestione della catena dell'offerta, la formulazione di archivi di dati RoHS e sistemi di reporting.

L'implementazione della direttiva 2005/32/CE, in riferimento alle direttive RAEE, RoHS, alla direttiva 92/75/CE relativa all'etichettatura degli apparecchi domestici e alle direttive che fissano requisiti di rendimento energetico delle apparecchiature domestiche e per ufficio³, promuoverà:

- ✓ la promozione di una eco-progettazione diretta ad incentivare ove possibile il riuso/riciclo dei prodotti introducendo gli aspetti che possono favorire queste strategie nelle fasi iniziali del processo di progettazione;
- ✓ la ricerca da parte dei fabbricanti a ridurre al minimo l'uso di sostanze pericolose ed il loro impatto nell'ambiente con attenzione al ciclo di vita;
- ✓ la valutazione del consumo energetico nell'intero ciclo di vita del prodotto e non solo nella fase di utilizzo da parte del consumatore. In questo modo se vengono introdotte specifiche particolari nella fase

³ **Direttiva 92/42/CE** del Consiglio, del 21 maggio 1992, concernente i requisiti di rendimento per le nuove

caldaie ad acqua calda alimentate con combustibili liquidi o gassosi;

Direttiva 96/57/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 3 settembre 1996, sui requisiti di rendimento

energetico di frigoriferi, congelatori e le loro combinazioni di uso domestico;

Direttiva 2000/55/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 18 settembre 2000, sui requisiti di efficienza

di progettazione dirette a migliorare il rendimento energetico del prodotto, si può avere la certezza che i risparmi previsti vengano realizzati. Non sempre l'etichettatura dei prodotti è in grado di influenzare il consumatore all'acquisto di prodotti più efficienti dal punto di vista energetico.

In figura 2 si può notare come l'integrazione e l'applicazione di tali strumenti politici (direttive, tasse, etichette energetiche) potrebbe comportare un miglioramento di prestazioni relativamente agli impatti sull'ambiente e di competitività di prodotti ErP⁴ sul mercato. Se poi si raggiungessero dei comportamenti virtuosi e si adottassero anche misure volontarie, le prestazioni ambientali potrebbero aumentare ulteriormente.

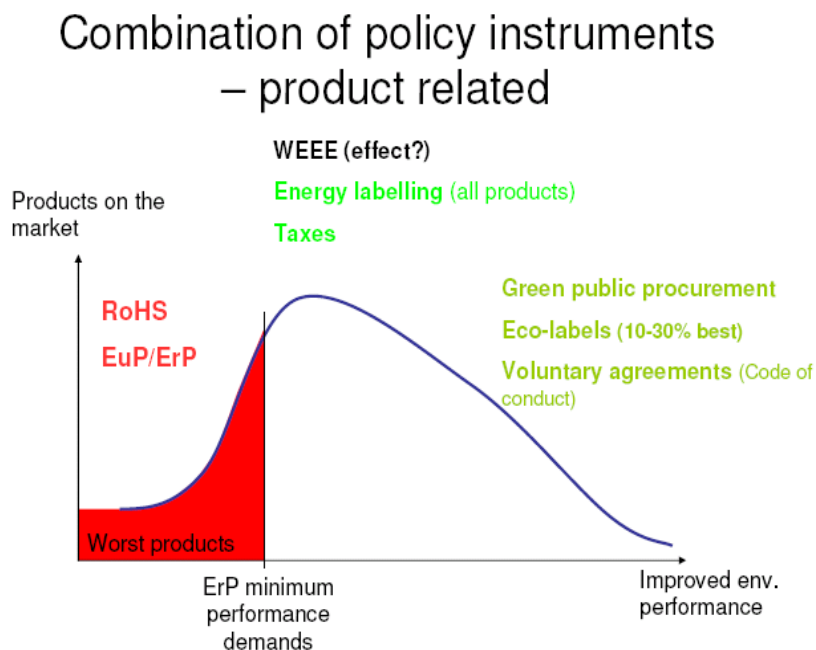


Figura 2.2: Integrazione di strumenti di legislazione e performance ambientali dei prodotti.

La presente direttiva rappresenta un ulteriore passo avanti nella promozione dello sviluppo sostenibile delle attività economiche, che è uno degli obiettivi principali dell'UE e un'applicazione dell'integrazione degli aspetti

⁴ Gli obiettivi della direttiva sui prodotti energy-using sono in fase di espansione per prodotti Energy-related (ErP) che includono, ad esempio finestre e prodotti per isolamenti.

di tutela dell'ambiente all'interno delle altre politiche ambientali, energetiche e del mercato interno e delle azioni comunitarie ad esse correlate⁵.

La direttiva 2005/32/CE, applicando i principi delle Politiche Integrate di Prodotto, cerca di promuovere i miglioramenti delle prestazioni ambientali dei prodotti energy-using mantenendo al tempo stesso le loro funzionalità d'uso.

Inoltre tale direttiva ben si colloca nel Sesto Programma di azione che rappresenta la strategia dell'Unione Europea per la politica ambientale (2002-2010). Tale Programma si articola in quattro settori d'azione principali: Protezione della natura e della biodiversità, Ambiente e salute, Gestione delle risorse naturali e dei rifiuti e Cambiamento climatico.

Il Sesto Programma d'azione continua e rafforza la nuova filosofia già introdotta dal V Programma d'azione, che si fonda sui principi della precauzione e dell'azione preventiva, della partecipazione attiva alla politica ambientale di tutti gli attori sociali, attraverso una redistribuzione delle responsabilità ambientali ed utilizza strumenti quali le Politiche Integrate di prodotto, i sistemi di gestione ambientale, gli accordi volontari. Questi strumenti rappresentano la tendenza della politica ambientale a dirigersi verso una maggiore responsabilizzazione e cooperazione degli attori (pubbliche amministrazioni, imprese, consumatori) al problema ambientale, e verso azioni che cercano di prevenire i problemi piuttosto che risolverli successivamente. Il ricorso all'informazione di tutti gli attori acquisisce un ruolo chiave, che permette di orientare in modo più consapevole le varie scelte e ottimizzare così i benefici delle varie politiche e disposizioni.

⁵ La direttiva EUP (2005/32/CE): principali adempimenti previsti e stato di attuazione- P. Ghisellini Documento ENEA ACS - P9M5 - 004

2.5 Il percorso di eco progettazione per le imprese

Il settore delle *apparecchiature elettriche ed elettroniche* riveste un ruolo importante nell'economia europea. Tuttavia le apparecchiature elettriche ed elettroniche sono molto complesse, consumano energia, producono rifiuti, derivano dall'assemblaggio di parti costruite in luoghi lontani geograficamente rispetto al luogo di produzione, contengono materiali di diverso tipo che potrebbero anche essere nocivi per l'ambiente e la salute umana (Schischke et al., 2005).

Occorre pertanto correlare questo settore a strategie di produzione quali il miglioramento dell'efficienza e la dematerializzazione, che tengano in considerazione la riduzione degli impatti ambientali lungo l'intero ciclo di vita, inteso come: acquisizione di materie prime, produzione di componenti e assemblaggio degli stessi, distribuzione e vendita, uso del prodotto ed eventuale riuso e smaltimento finale nel suo fine vita.

In questo ambito, se da un lato le imprese sono tenute a *rispettare* una serie di norme e iniziative, dall'altro possono *beneficiare* delle opportunità che ne conseguono.

La consapevolezza ambientale porta a creatività e innovazione e quindi ad uno sviluppo strategico delle imprese che si evolvono da un approccio passivo di adempimento delle normative ad un approccio più propositivo. La sfida che le aziende devono cogliere è quella di compiere un'analisi della propria produzione che porti a rivolgere maggiore attenzione all'intero ciclo di vita del proprio prodotto. Da ciò deriva una maggiore efficienza nell'uso di risorse ed energia ed un tornaconto a livello di immagine, positivo nei confronti di dipendenti, clienti e consumatori: un prodotto "più verde" è sintomatico di una maggiore sensibilità ambientale dell'impresa ma anche di una garanzia per il consumatore di maggiore affidabilità e qualità.

Gli interessi ambientali possono essere quindi coniugati con quelli commerciali. L'adozione di una politica aziendale maggiormente attenta all'ambiente rappresenta una possibilità per le imprese di aprirsi nuovi spazi di mercato, attraverso l'attuazione di acquisti verdi da parte della Pubblica Amministrazione e la realizzazione di prodotti/servizi eco-compatibili come elemento di differenziazione rispetto ai concorrenti.

Altri benefici possono essere:

- ✓ Riduzione dei costi di produzione e distribuzione grazie all'identificazione di alcuni processi inefficienti o poco efficienti che possono essere migliorati e trovando nuove strade per produrre di più con meno.
- ✓ Incentivazione di un modo di pensare innovativo all'interno dell'azienda attraverso l'incremento di innovazioni e facilitando la creazione di nuove opportunità di mercato.
- ✓ Miglioramento di immagine dell'azienda e del prodotto dovuto ad un'aumentata consapevolezza ambientale e ad un'attitudine all'innovazione.
- ✓ Conformità con i regolamenti ambientali. Le richieste dei regolamenti esistenti dovrebbero essere considerate come punto d'inizio per i miglioramenti. Il singolo imprenditore dovrebbe poi provare ad "anticipare" la futura legislazione (si stanno sviluppando molte Direttive che riguardano la progettazione dei prodotti e del loro fine vita, come le già descritte RAEE, EuP, RoHS)
- ✓ Incremento del valore aggiunto dei prodotti che hanno migliori caratteristiche ambientali attraverso l'intero ciclo di vita e sono inoltre di una qualità migliore.
- ✓ Accesso alle etichette ambientali.

I vantaggi su menzionati possono essere raggiunti grazie a percorsi di ecoprogettazione che forniscono un vantaggio sia per le aziende che per i

consumatori e per la società, poiché permettono di ottenere prodotti più efficienti sia sotto l'aspetto economico che sotto quello ambientale.

I produttori fabbricando i loro prodotti usando meno acqua, energia e materiali, inevitabilmente beneficiano di una riduzione della quantità di rifiuti da gestire. Inoltre, se l'assemblaggio viene ripensato in fase di progettazione, anche il disassemblaggio può essere più semplice e vantaggioso, fornendo maggiore possibilità di riuso, riparazione, riciclo dei componenti. In tal modo anche i costi di produzione possono essere ridotti.

I consumatori comprando prodotti più sicuri e duraturi, che necessitano di minore energia e beni di consumo per funzionare e al bisogno possono essere facilmente riparabili, godono di benefici sia di tipo economico che pratico. Indagini statistiche mostrano come buona parte della popolazione sarebbe disposta a comprare prodotti “verdi” anche ad un prezzo maggiore (sempre più spesso tale prezzo risulta però altamente competitivo, soprattutto considerando tutti i costi di ciclo di vita).

La società beneficia dell'eco-innovazione, poiché incrementa le disponibilità future di risorse per altri prodotti o servizi e perché previene eventuali danni ambientali, quindi risparmia su alcuni costi di trattamento e di risanamento.

2.6 Ruolo del Life Cycle Assessment

Il “Life Cycle Thinking”, è l'applicazione di principi di continuo miglioramento delle prestazioni ambientali in ogni stadio del ciclo di vita di un sistema: progettazione (eco-design), produzione, utilizzo, smaltimento e fine vita (Pennington et al., 2007).

Questo approccio evita di spostare i carichi ambientali tra le fasi del ciclo di vita così come tra i differenti comparti ambientali ed inoltre costituisce una base per il confronto di prodotti, per l'identificazione di opzioni di miglioramento e per monitorare avanzamenti nelle performance ambientali.

Il Life Cycle Thinking costituisce un modo assolutamente nuovo di affrontare l'analisi dei sistemi industriali: dall'approccio tipico che privilegia lo studio separato dei singoli elementi dei processi produttivi, si passa ad una visione globale del sistema produttivo, in cui tutti i processi di trasformazione a partire dall'estrazione delle materie prime fino allo smaltimento dei prodotti a fine vita, sono presi in considerazione in quanto partecipano alla realizzazione della funzione per la quale essi sono progettati.

Questa impostazione del sistema produttivo fa parte di una cultura più ampia ed alternativa rispetto a quella che ha supportato il tradizionale modello di sviluppo industriale: una cultura che pensa alla produzione industriale nell'ottica del concetto di sviluppo sostenibile, i cui obiettivi fondamentali sono la conservazione delle risorse naturali e la minimizzazione degli effetti delle attività antropiche sull'ambiente.

3. L'ECO-DESIGN

3.1 Che cos'è l'Eco-design?

Con il termine eco-design si intende l'integrazione sistematica degli aspetti ambientali nella fase di progettazione di un prodotto nell'intento di migliorare le prestazioni ambientali del prodotto stesso lungo il suo intero ciclo di vita.

L'approccio tradizionale alla fase progettuale prevede requisiti quali la qualità, la legislazione, i costi e gli aspetti di salute e sicurezza.

Al fine di ridurre gli impatti generati lungo tutto il ciclo di vita di un prodotto occorre integrare tale approccio con strategie che considerano gli aspetti ambientali sin dalla fase di progettazione.

L'eco-design dunque, rappresenta un approccio metodologico-progettuale innovativo: un insieme di strategie, metodi e strumenti finalizzati alla prevenzione e alla riduzione degli impatti ambientali negativi dei prodotti in tutte le fasi del loro ciclo di vita, dalla produzione alla dismissione, evitando di spostare gli impatti da una fase a monte ad una fase più a valle del ciclo di vita e consentendo di accrescere le performance ambientali senza compromettere le prestazioni tecnico-funzionali, la qualità e la sicurezza di un prodotto. L'obiettivo di questo processo è equiparare l'ambiente al medesimo status dei più tradizionali valori industriali, quali il profitto, la funzionalità, l'estetica, l'ergonomia, l'immagine e la qualità generale.

Tale approccio nasce dalla consapevolezza che le decisioni prese durante la progettazione di un prodotto determinano le pressioni potenziali di quest'ultimo sull'ambiente.

Infatti, sebbene sia di per se una fase "pulita", la progettazione è responsabile dei maggiori impatti di tutti gli stadi seguenti: circa l'80% dei

costi ambientali di un prodotto ha origine nella fase di progettazione dello stesso, come mostra la figura 3.1.

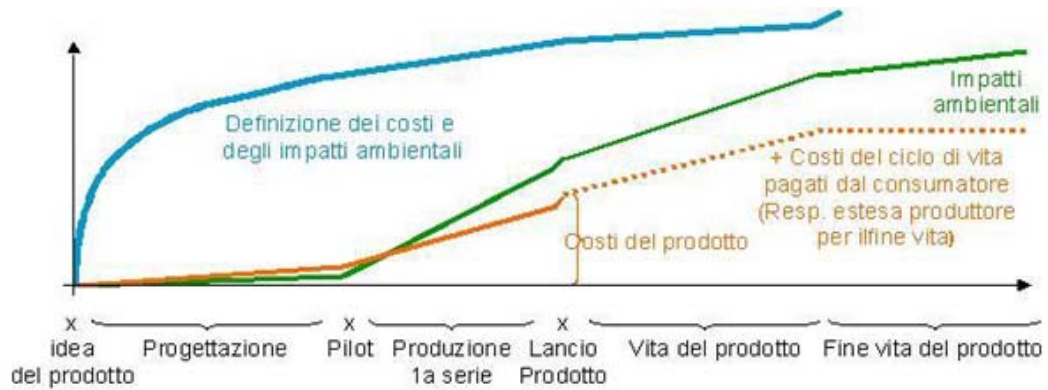


Figura 3.1: Andamento dei costi ambientali e degli impatti ambientali lungo il ciclo di vita del prodotto

In sintesi, l'eco-progettazione utilizza un approccio integrato nella relazione tra prodotto e ambiente su tre livelli:

- valuta l'intero ciclo di vita del prodotto o servizio. Infatti l'impatto ambientale di un prodotto si presenta non solo durante la fase di produzione, uso o di fine vita, ma attraverso il suo intero ciclo di vita. Quest'ultimo include l'estrazione e i trasporti delle materie prime, i processi di lavorazione, la distribuzione, l'uso e la manutenzione, il riuso e il trattamento dei rifiuti;
- considera il prodotto come un sistema, cioè un insieme di unità di processo materialmente e energeticamente connesse, che svolge una o più definite funzioni. Tutti gli elementi che servono ad un prodotto per sviluppare le sue funzioni devono essere valutati;
- utilizza un approccio "multicriteria". Tutti i differenti impatti ambientali, che possono essere generati dal sistema prodotto lungo il suo ciclo di vita, sono valutati in modo da evitare di spostare i problemi tra le diverse categorie di impatto (ad esempio riduzione delle risorse, effetto serra, tossicità, ecc.).

3.2 Perché l'eco-design?

L' integrazione degli aspetti di sostenibilità nella fase progettuale permette di ottenere prodotti più efficienti sia sotto l'aspetto economico che sotto il profilo ambientale e da ciò traggono giovamento le aziende, i consumatori e la società più in generale:

- ✓ le aziende fabbricano i loro prodotti usando meno materiali, acqua ed energia producendo meno rifiuti da gestire, in modo da ridurre i costi di produzione;
- ✓ i consumatori comprano prodotti più sicuri, duraturi e facili da riparare che necessitano di minore energia e materiali per funzionare;
- ✓ la società può risparmiare sui costi di risanamento ambientale poiché previene eventuali danni di carattere ambientale e può incrementare la disponibilità futura di risorse.

Inoltre, i regolamenti europei riconoscono ed enfatizzano le responsabilità del produttore nel minimizzare gli impatti ambientali dei propri prodotti e servizi. In quest'ambito l'eco-progettazione può aiutare le aziende a gestire le responsabilità e a rispettare la legislazione correlata al prodotto.

3.2.1 I drivers interni

Le imprese sono spinte ad implementare le strategie di eco-design nella loro filosofia aziendale da stimoli che spaziano da quelli di carattere soggettivo che si rifanno a convinzioni etiche e morali dei manager, a quelli di tipo strategico che riguardano strettamente il ruolo che l'azienda vuole assumere sul mercato (Brezet, 1997). I drivers di carattere strategico possono essere riassunti come segue:

- *Necessità di aumentare la qualità dei prodotti:* le strategie di eco-design sono tese ad un miglioramento complessivo dei prodotti che

grazie all'innovazione aumentano la loro qualità in aspetti quali la funzionalità, la semplicità d'uso, la durata della vita utile e la facilità di manutenzione.

- *Possibilità di migliorare la posizione di mercato:* in un mercato sempre più attento alle prestazioni ambientali delle imprese, conferire caratteristiche di sostenibilità ai propri prodotti crea un vantaggio competitivo per le aziende. I prodotti “verdi” consentono di sviluppare strategie di marketing che trovano riscontro tra i consumatori al pari delle altre caratteristiche di qualità.
- *Riduzione dei costi:* un beneficio immediato per le aziende è quello che riguarda la riduzione dei costi. La possibilità di minimizzare la quantità di materiali, l'aumento dell'efficienza energetica, la diminuzione dello sfruttamento di risorse come l'acqua e i materiali ausiliari generano vantaggi economici tangibili per le imprese. Inoltre le strategie di eco-progettazione sviluppano prodotti facilmente smaltibili o riciclabili con conseguente riduzione dei costi di trattamento per i rifiuti generati alla fine della vita utile del prodotto.
- *Predisposizione all'innovazione tecnologica:* l'eco-design può portare ad una nuova concezione del prodotto ed alla formulazione di idee innovative. La predisposizione dell'azienda ad anticipare o anche a dettare l'andamento dei trend di mercato crea un vantaggio nei confronti dei concorrenti. Inoltre un cambiamento radicale nel sistema di prodotto dettato dall'innovazione può aprire all'azienda nuovi spazi all'interno dei mercati.
- *Riduzione dei rischi per il personale:* la sostituzione di materiali pericolosi per la salute e l'ambiente con materiali e sostanze più sicuri, accresce la tutela lavoratori.
- *Introduzione di una visione sistemica:* le strategie di eco-design costringono a ragionare in termini di ciclo di vita, dunque

L'implementazione di valutazioni di carattere ambientale nella fase di progettazione richiede il coinvolgimento di varie funzioni aziendali (progettazione, produzione, approvvigionamento, qualità, gestione rifiuti, marketing, sicurezza). I meeting che coinvolgono le varie figure professionali dei diversi settori possono innescare dinamiche tradizionalmente non presenti in azienda: questo aiuta ad acquisire una visione reticolare ed integrata delle procedure aziendali da cui può scaturire un ripensamento dell'organizzazione della struttura dell'impresa più funzionale al raggiungimento degli obiettivi.

3.2.2 I drivers esterni

I motori esterni che sollecitano o obbligano le imprese a prestare sempre più attenzione alle proprie performance ambientali sono raggruppabili nelle seguenti categorie talora interdipendenti:

- la costante crescita della sensibilità ambientale dei consumatori. Oggi possiamo identificare come “green customer” quella frazione di clienti che ritengono fondamentali le variabili ambientali nella scelta dei prodotti e come “consumatori con simpatie ambientali” quella parte della società disposta a privilegiare a parità di prezzo e caratteristiche, prodotti e servizi che dimostrano un impegno nella salvaguardia dell'ambiente. Il consumo di eco-prodotti ha un trend di sviluppo maggiore rispetto ai consumi totali (nei paesi più avanzati rappresenta già oggi il 3-4% del mercato) ed un ulteriore rafforzamento di queste tendenze deriverà dall'obbligo del settore pubblico a favorire lo sviluppo di un mercato di “prodotti verdi”, attraverso i propri acquisti e politiche di sostegno;
- la pressione esercitata da associazioni ambientaliste e dall'opinione pubblica in generale;

- il quadro legislativo in tema di protezione dell'ambiente: l'evoluzione verso regole più restrittive nei confronti degli attori del mercato meno attenti alle problematiche legate all'inquinamento può costituire uno stimolo ad innovare o addirittura a creare nuove imprese, capaci di interpretare in modo appropriato e creativo le nuove limitazioni normative;
- le dinamiche del sistema dei prezzi, spontanee e/o pilotate dalle autorità pubbliche, che tendono a rendere “non economiche” le soluzioni progettuali ritenute dannose per l'ambiente e viceversa “economiche” le misure che rispettano la natura;
- l'aumento dei costi per l'energia e degli oneri per lo smaltimento dei prodotti che la legislazione tende sempre più a delegare ai produttori.

3.3 L'integrazione dell'eco-design nel processo di progettazione tradizionale

Il processo di sviluppo tradizionale di un prodotto inizia con la definizione degli obiettivi e con la programmazione degli steps di progettazione e delle strategie di produzione.

Durante la fase di design i vertici aziendali, in accordo con il team di progettazione, stabiliscono i limiti di tempo e di budget per la realizzazione di un determinato prodotto. Opportunità e rischi vengono bilanciati in riferimento ai punti di forza e di debolezza dell'azienda. Infine vengono delineate le linee d'azione per la realizzazione del prodotto con le specifiche desiderate, tenendo in debita considerazione la fattibilità tecnica ed economica delle strategie progettuali individuate.

La struttura di base del processo di sviluppo di un prodotto non cambia quando in questa vengono integrate le valutazioni di carattere ambientale.

Tuttavia, inserire la variabile ambiente tra gli aspetti considerati durante il processo di progettazione aggiunge dei passaggi nuovi nello sviluppo di un prodotto.

Il caso studio oggetto di questa tesi rappresenta un esempio del processo di integrazione dei principi di eco-design su una modalità tradizionale di concepire la struttura della progettazione.

Il primo passo di un'impresa verso una progettazione più sostenibile consiste nel delineare il profilo ambientale del prodotto. Infatti solo una analisi degli impatti generati basata sul ciclo di vita, può evidenziare gli hot spot ambientali su cui agire in un'ottica di produzione sostenibile.

Esistono diversi strumenti di valutazione ambientale (descritti nel paragrafo 3.5) a cui le aziende possono ricorrere per effettuare una analisi della sostenibilità dei propri prodotti.

In generale alla fase di valutazione ambientale segue una fase decisionale che ha lo scopo di individuare gli interventi in fase di progettazione più consoni per il superamento delle criticità.

Dalla considerazione contestuale degli aspetti economici, ambientali e tecnici deriva la scelta del processo di intervento sul prodotto più funzionale al raggiungimento degli obiettivi che l'azienda si è posta.

Le strategie di azione dell'eco-design, dunque, variano in funzione del caso in analisi e possono essere individuate tra quelle descritte nel paragrafo successivo.

L'efficacia delle misure intraprese in azienda per centrare i propri target di sostenibilità, va infine valutata (sempre con gli strumenti descritti nel paragrafo 3.5) con una analisi ambientale che quantifichi la riduzione degli impatti legati al ciclo di vita del prodotto. I risultati di tale analisi possono essere utilizzati per promuovere comunicazioni di marketing.

3.4 Le strategie dell'eco-design

In ogni fase del ciclo di vita di un prodotto possono essere implementate specifiche azioni di eco-progettazione che mirano alla riduzione del consumo di risorse (materiali, acqua ed energia) e permettono una minimizzazione delle emissioni in aria, acqua e suolo. Le principali linee di azione progettuale sono le seguenti (Brezet, 1997):

- Sviluppo di un nuovo concetto di prodotto
- Riduzione del consumo di materiali
- Selezione di materiali con basso impatto sull'ambiente
- Riduzione degli impatti nei processi di produzione
- Ottimizzazione della rete distributiva
- Riduzione degli impatti ambientali durante l'uso
- Incremento del tempo di vita utile
- Ottimizzazione della gestione del sistema di fine vita



Figura 3.2: Strategie di eco-design

1. Sviluppo di un nuovo concetto di prodotto

Lo sviluppo di un nuovo concetto include diverse strategie di progettazione. Una di queste è la dematerializzazione che consiste nel ridurre il quantitativo di risorse e di materiali usati per un prodotto o servizio. Ad

esempio i servizi di riparazione on line di un software permettono di evitare fisicamente i viaggi per offrire il supporto tecnico e quindi i loro corrispondenti impatti ambientali.

Un'altra soluzione è data dall'uso condiviso del prodotto; si può aumentare il numero di volte in cui il prodotto viene utilizzato nel corso della sua vita favorendo la condivisione da parte di più persone. Il car-sharing e l'affitto di computer fornisce un esempio della strategia di condivisione.

Un'ulteriore possibilità offerta dallo sviluppo di un nuovo concetto in fase di progettazione può essere quella di usare la stessa risorsa moltiplicandone le funzioni in modo da evitare la realizzazione di altri prodotti. Un esempio è dato dalle stampanti che hanno anche le funzioni di fotocopiatrici e scanner.

2. *Riduzione del consumo di materiali*

I materiali sono un fattore chiave poiché determinano le caratteristiche ambientali di molti prodotti e servizi. Meno materiale si usa, minore è il materiale che necessita di essere estratto, lavorato, trasformato e gestito come rifiuto. Per ridurre il quantitativo di materiale usato nei prodotti, si possono attuare le seguenti procedure:

- Minimizzare componenti e parti che non hanno una funzione importante o non fanno aumentare la qualità del prodotto.
- Ottimizzare gli spessori e la densità dei materiali.
- Riusare, dove possibile, le parti o i componenti di un prodotto a fine vita.

3. *Selezionare materiali con basso impatto sull'ambiente*

In un'ottica di eco-progettazione i materiali da preferire sono quelli:

- ricavati da risorse rinnovabili;
- ad alto contenuto di materiale riciclato;
- privi di sostanze pericolose (ad esempio i metalli pesanti);

- ottenuti attraverso processi di estrazione e trasformazione che utilizzano la minore energia possibile;
- facilmente riciclabili: impiego di materiali per i quali esiste un mercato del riciclato, impiego di pochi materiali diversi che siano separabili tramite semplici operazioni (per flottazione, tramite griglie, magneti, ecc.).

4. *Riduzione degli impatti ambientali nei processi di produzione*

Durante la progettazione di un prodotto è possibile pianificare azioni di miglioramento che influenzeranno i processi di fabbricazione. Le scelte possibili includono:

- riduzione del numero di fasi di produzione per diminuire il consumo di energia e materiali;
- scelta di materiali e processi che producano rifiuti che possono essere reintegrati nella catena di produzione;
- selezione di processi di produzione puliti: uso efficiente di acqua ed energia, riduzione della produzione di rifiuti, ricorso ad energie rinnovabili e riciclaggio diretto dei rifiuti prodotti.

5. *Ottimizzazione della rete distributiva*

La distribuzione dei prodotti implica l'utilizzo di imballaggi ed il ricorso a sistemi di trasporto. E' possibile ridurre l'impatto ambientale legato alla distribuzione del prodotto attraverso diverse azioni progettuali:

- riduzione dell'uso di imballaggi: progettazione di imballaggi riutilizzabili e di prodotti facilmente trasportabili, riduzione del quantitativo di materiale utilizzato;
- uso di materiali ecologici per l'imballaggio;
- facile identificazione del tipo di materiale da imballaggio;

- massimizzazione del quantitativo di prodotto per unità di volume durante il trasporto e lo stoccaggio;
- minimizzazione del peso del prodotto e dell'imballaggio per ridurre il consumo energetico durante il trasporto.

6. *Riduzione degli impatti durante l'uso*

Per quei prodotti che necessitano di energia, acqua o materiali durante l'uso, un miglioramento dell'efficienza in questa fase può produrre una riduzione degli impatti significativa. Si può intervenire:

- riducendo il consumo di energia per unità di prodotto o servizio, con un incremento dell'efficienza energetica;
- promuovendo l'uso di energie rinnovabili;
- minimizzando l'uso di acqua per unità di servizio o di prodotto.

7. *Incremento del tempo di vita utile*

Un periodo di vita utile più lungo evita la realizzazione di prodotti di sostituzione e conseguentemente gli impatti ambientali ad essi associati. Per aumentare la vita utile di un prodotto è possibile:

- promuovere il riuso del bene;
- identificare e cercare di eliminare i punti deboli del prodotto (ad esempio le parti che necessitano di essere riparate frequentemente);
- scegliere materiali adeguati e spessori che danno una buona resistenza all'usura;
- ideare il prodotto come la combinazione di più componenti modulari che possano essere sostituiti in caso di guasto o per favorire le richieste di cambiamento d'uso senza dover ricorrere a prodotti realizzati *ex novo*;
- facilitare la riparazione e la manutenzione attraverso la progettazione di un prodotto facile da disassemblare;

- fornire componenti di ricambio per la riparazione;
- prevedere in sede progettuale la possibilità di fare un up-grading del prodotto mediante sostituzione delle componenti tecnicamente obsolete.

8. *Ottimizzazione della gestione del sistema di fine vita*

Per minimizzare gli impatti ambientali è consigliabile stabilire un destino del prodotto alla fine della sua vita utile già in fase di progettazione in modo che questo possa essere riusato o riciclato interamente o in gran parte. Al fine di raggiungere tale obiettivo i criteri generali da considerare in fase di progettazione sono:

- uso di materiali riciclabili e biodegradabili;
- valutazione dell'esistenza di un sistema di riciclaggio economicamente vantaggioso per il materiale scelto per la realizzazione di un prodotto;
- minimizzazione dell'uso di vernici;
- semplificazione del disassemblaggio: adozione di criteri di progettazione modulare e utilizzo di giunzioni non permanenti, quali viti ed incastri, piuttosto che saldature ed incollaggi, al fine di ridurre i tempi e i costi di questa fase e massimizzare la quantità di materiali e componenti riutilizzabili o riciclabili.

Quella appena conclusa è una descrizione generale delle possibili azioni progettuali che concorrono ad un miglioramento delle prestazioni ambientali di un prodotto. Tra tutte le strategie di eco-design presentate occorre scegliere la più adatta al proprio specifico prodotto o servizio attraverso un processo decisionale che individui un punto di ottimo in grado di conciliare gli aspetti ambientali e la fattibilità tecnica ed economica delle differenti alternative. Il grafico di figura 3.3 mostra le fasi di valutazione

per la scelta delle misure di eco-progettazione ideali per un dato prodotto di una specifica azienda.

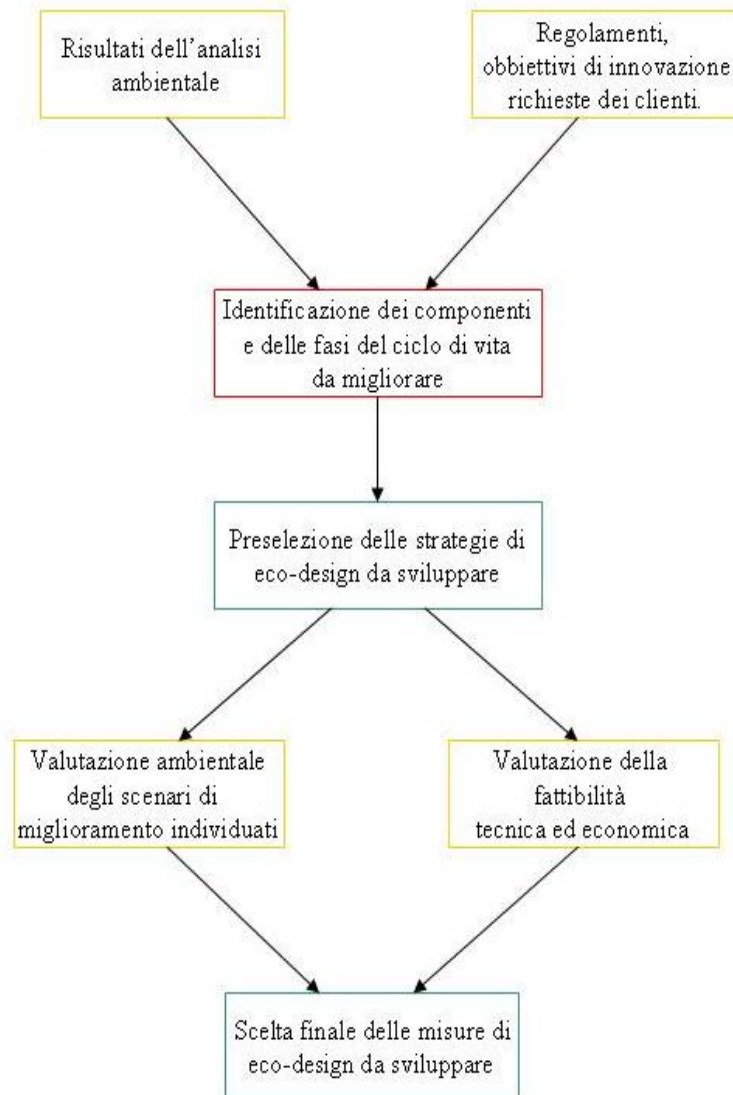


Figura 3.3: Fasi della valutazione per la scelta delle misure di eco-design

3.5 Strumenti di valutazione ambientale per l'eco-design

Come detto nel paragrafo precedente, la valutazione dei potenziali impatti ambientali generati da un prodotto o servizio è una parte essenziale

dell'implementazione dell'eco-progettazione. Questa valutazione ha due obiettivi principali:

- ✓ identificare i punti di forza e le debolezze ambientali;
- ✓ comparare e selezionare le alternative di progetto.

La valutazione ambientale deve essere eseguita considerando l'intero ciclo di vita del prodotto e può essere realizzata usando differenti strumenti:

- Checklist di eco-progettazione
- Matrice MET
- Input di materiale per unità di servizio
- Domanda cumulata di energia
- Diagramma a tela di ragno
- Analisi del Ciclo di Vita

La scelta degli strumenti più vantaggiosi per uno specifico caso dipendono dagli obiettivi della valutazione, dalla complessità del prodotto e dalla disponibilità e qualità dei dati.

Nel prossimo sottoparagrafo verranno brevemente descritti gli strumenti di valutazione ambientale precedentemente elencati, ad eccezione dell'Analisi del Ciclo di Vita di cui si darà una descrizione dettagliata nel quarto capitolo.

3.5.1 Checklist di eco-progettazione

Le checklist sono semplici strumenti a supporto delle analisi qualitative d'impatto ambientale. Esse consentono di mettere in evidenza le questioni più rilevanti nell'analisi degli impatti ambientali e ne individuano le aree di miglioramento.

Comunemente le checklist sono utilizzate nella fase iniziale dell'eco-progettazione, in quanto non richiedono dati dettagliati vista la loro semplicità ed immediatezza.

L'analisi scompone il ciclo di vita in cinque macrofasi e per ognuna di esse propone delle domande che permettono di identificare i punti di forza e di debolezza del prodotto.

3.5.2 Matrice MET

La matrice MET è un semplice modello di analisi che intende verificare i principali impatti ambientali determinati da un prodotto durante il suo ciclo di vita.

Essa mostra l'uso di materiali (M), Energia consumata (E) e tossicità (T) relativi ai differenti stadi del ciclo di vita del prodotto.

L'applicazione del prodotto MET Matrix comporta la conoscenza di numerosi dati al fine di identificare concretamente i valori dei consumi energetici e delle emissioni derivanti dalle diverse trasformazioni.

Le informazioni incluse nella matrice dovrebbero essere di tipo quantitativo, nel caso in cui non ci siano dati disponibili si possono inserire valutazioni di tipo qualitativo.

3.5.3 Input di materiale per unità di servizio

L'analisi MIPS (Material Input per Unit Service) permette di quantificare il materiale usato per sviluppare le sue funzioni.

Considerando un singolo aspetto ambientale come il consumo di materiale, si possono identificare i componenti critici da un punto di vista ambientale.

Con questo strumento può essere effettuato un confronto tra differenti scelte progettuali nei confronti dei materiali da usare.

Questo strumento è stato sviluppato dall'istituto Wuppertal per il Clima, l'Energia e l'Ambiente, che periodicamente pubblica gli input di differenti

tipi di materiali, risorse energetiche e sistemi di trasporto. L'uso di questi dati semplifica l'applicazione del MIPS riducendo di molto i tempi per l'analisi.

3.5.4 Domanda cumulata di energia

L'analisi della Domanda Cumulata di Energia (Cumulated Energy Demand–CED) rappresenta la quantificazione di tutti i consumi energetici diretti ed indiretti durante il ciclo di vita del prodotto. Differenti input di energia possono essere calcolati per ciascuna fase del ciclo di vita, poiché dipendono dagli obiettivi della propria valutazione:

- consumo diretto di energia durante l'estrazione ed il trasporto delle materie prime, la fabbricazione del prodotto, la distribuzione, l'uso e la gestione dei rifiuti;
- consumo di energia dei materiali;
- consumo indiretto di energia correlato alle infrastrutture che sono necessarie per usare il prodotto.

L'analisi CED permette l'identificazione dei punti di forza e di debolezza di un prodotto e anche di effettuare confronti semplificati tra alternative progettuali, poiché considera un solo aspetto ambientale.

3.5.5 Diagramma a tela di ragno

Il diagramma a tela di ragno rappresenta gli aspetti ambientali principali del ciclo di vita del prodotto su differenti assi. Questo strumento è normalmente usato per confrontare differenti prodotti o alternative di progetto ed è particolarmente utile per visualizzare i risultati di una valutazione ambientale.

Sono stati sviluppati diversi tipi di diagramma a tela di ragno come Eco-Compass e la Ruota delle Strategie di eco-progettazione.

3.5.5.1 Eco-Compass

Questo diagramma è stato sviluppato da Dow Europe e World Business Council for Sustainable Development.

E' costituito dai seguenti 6 assi:

- intensità di massa;
- intensità di energia;
- estensione del servizio e della funzione;
- rischi per la salute e per l'ambiente;
- conservazione delle risorse;
- riuso e valorizzazione dei rifiuti.

Nuove opzioni o nuovi progetti sono confrontati con il progetto originale o con il caso base. Il punteggio dei prodotti valutati può avere un valore compreso tra 0 e 5 su ciascun asse. Il caso base ha un punteggio pari a 2 su ogni asse ed il punteggio per la nuova versione viene dato secondo i seguenti criteri:

- ✓ 0: significa che la nuova opzione è peggiore rispetto a quella base per più del 50% (ad esempio la quantità del materiale è più del 50% dell'opzione base).
- ✓ 1: la nuova opzione è peggiore per un valore tra lo 0 e il 50%.
- ✓ 2: la nuova versione è equivalente a quella base.
- ✓ 3: la nuova versione è migliore tra 1-200%.
- ✓ 4: la nuova versione è migliore tra 200-400%.
- ✓ 5: la nuova versione è migliore più del 400%.

Più l'andamento del diagramma si avvicina all'esagono esterno, migliore è la sua prestazione ambientale.

3.5.5.2 Ruota delle strategie di eco-progettazione

La ruota delle strategie è stata sviluppata dal Centre of Sustainable Design (Regno Unito) e dalla Delft University of Technology (Paesi Bassi). Questo

diagramma a tela di ragno è un grafico qualitativo per la valutazione dell'adempimento di sette strategie di eco-progettazione:

- scelta di materiali a basso impatto;
- riduzione dell'uso di materiali;
- ottimizzazione delle tecniche di produzione;
- ottimizzazione dei sistemi di distribuzione;
- riduzione degli impatti durante l'uso;
- ottimizzazione del tempo di vita iniziale;
- gestione ottimizzata del fine vita.

Un elenco di domande attinenti aiuta ad assegnare un punteggio per ciascun asse con un valore qualitativo che può essere basso, medio o alto.

E' possibile anche creare un proprio diagramma a tela di ragno adattandolo al proprio prodotto a seconda delle informazioni ambientali che si vogliono evidenziare. Ad esempio gli aspetti ambientali identificati durante un Sistema di Gestione Ambientale (SGA) possono essere usati come assi e il diagramma a tela di ragno può essere usato anche per strategie di comunicazione.

4. LCA: LIFE CYCLE ASSESSMENT

4.1 Che cos'è una LCA

4.1.1 Definizione e normative di riferimento

La Life Cycle Assessment (LCA) è una procedura che consente l'identificazione dei carichi ambientali associati ad un prodotto, processo o attività, seguendo l'oggetto dello studio lungo tutto il suo ciclo di vita.

Tale percorso, che si esplica sia a monte sia a valle della fase di utilizzo, inizia con l'estrazione delle materie prime, attraversa la fase di lavorazione, distribuzione, uso e riuso del prodotto e termina con lo smaltimento finale, individuando e quantificando i consumi di materia ed energia e le emissioni nell'ambiente. L'insieme di queste macrofasi viene comunemente detto percorso “*from cradle to grave*”, vale a dire “dalla culla alla tomba”.

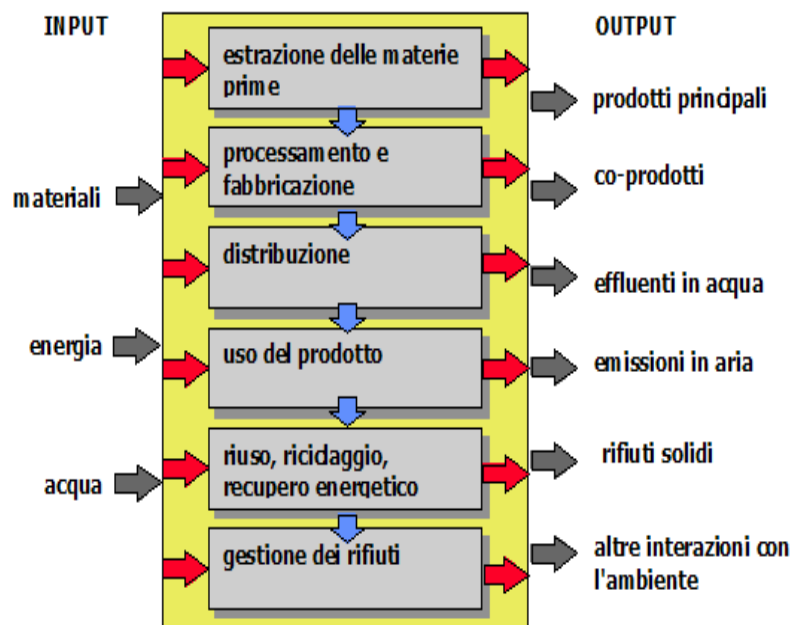


Figura 4.1: Diagramma di flusso di un sistema produttivo.

Il termine LCA, con cui in principio si intendeva indistintamente Life Cycle Assessment o Life Cycle Analysis⁶, fu coniato durante il congresso della Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) di Smuggler Notch (Vermont-USA) nel 1990 per caratterizzare più dettagliatamente le analisi svolte fino ad allora con il nome di REPA (Resource and Environmental Profile Analysis). La definizione che venne stabilita è la seguente:

“è un procedimento oggettivo di valutazione di carichi energetici ed ambientali relativi ad un processo o attività, effettuato attraverso l’identificazione dell’energia e dei materiali usati e dei rifiuti rilasciati nell’ambiente. La valutazione include l’intero ciclo di vita del processo o attività, comprendendo l’estrazione e il trattamento delle materie prime, la fabbricazione, il trasporto, la distribuzione, l’uso, il riuso, il riciclo e lo smaltimento finale.”

Nella definizione vengono sottolineati alcuni aspetti: l’**oggettività** del procedimento, vale a dire l’esecuzione di fasi analitiche precise e ben determinate, nonché lo studio di dati confrontabili e scientificamente verificabili e la considerazione dell’**intero ciclo di vita**, che presuppone una visione globale del sistema in esame.

L’**obiettivo** da perseguire, nella prospettiva di un possibile miglioramento, è rappresentato dalla valutazione degli impatti ambientali imputabili allo stato in essere del processo o dell’attività studiata.

La quantificazione dei carichi ambientali del ciclo di vita di un prodotto o servizio avviene attraverso la contabilizzazione di tutti i consumi di materie

⁶ La sigla LCA ha il significato di Life Cycle Assessment, come stabilito dal comitato tecnico ISO per le norme della serie 14000.

prime, acqua e fonti energetiche, detti “*input*” e di tutte le emissioni gassose, liquide e solide, di rifiuti e di altri rilasci, detti “*output*”. In particolare l’LCA valuta anche i “risparmi ambientali” dovuti alla produzione evitata di materiali ed energia grazie al riuso, al riciclo o alla termovalorizzazione del prodotto considerato.

Infatti, è proprio grazie all’identificazione di criticità ambientali, in gergo “*bottleneck*” cioè “colli di bottiglia”, che si può mirare all’ottimizzazione dei processi e dell’uso delle risorse.

La normativa di riferimento nel campo della LCA è la serie ISO 14040:

Valutazione del Ciclo di Vita
<i>Serie ISO 14040</i>
UNI EN ISO 14040: 2006 “Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Principi e quadro di riferimento”.
UNI EN ISO 14044: 2006 “Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Requisiti e linee guida”.
ISO 14047: 2003 “Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Esempi di applicazione delle ISO 14042”.
ISO 14048: 2002 “Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Modello per la documentazione della qualità del dato”.
ISO 14049: 2000 “Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Esempi di applicazione delle ISO 14041 per la definizione dell’obiettivo, dello scopo e dell’analisi d’inventario”.

Tabella 4.1: La serie ISO 14040.

Le nuove edizioni delle norme internazionali **ISO 14040:2006** e **ISO 14044:2006** - elaborate in seno all'ISO/TC 207 "Environmental management" SC 5 "Life cycle assessment"- sono state pubblicate dall'UNI come norme UNI EN ISO in lingua inglese. Le due norme hanno l'obiettivo di facilitare il processo di valutazione degli effetti che un prodotto può avere sull'ambiente nell'intero suo ciclo di vita, incoraggiando in tal modo un più efficiente utilizzo delle risorse.

La **UNI EN ISO 14040:2006** "*Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Principi e quadro di riferimento*" fornisce in un quadro generale le pratiche, le applicazioni e le limitazioni dell'LCA, ed è destinata ad una vasta gamma di potenziali utenti e parti interessate, anche con una conoscenza limitata della valutazione del ciclo di vita.

La presente norma è la versione ufficiale della norma europea EN ISO 14040 (edizione luglio 2006). La norma descrive i principi ed il quadro di riferimento per la valutazione del ciclo di vita (LCA).

La **UNI EN ISO 14044:2006** "*Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Requisiti e linee guida*" è stata elaborata per la preparazione, la gestione e la revisione critica del ciclo di vita. Fornisce le linee guida per la fase di valutazione dell'impatto dell'LCA, la fase di interpretazione dei risultati, la valutazione relativa alla natura e alla qualità dei dati raccolti.

Aggiornate per migliorarne la leggibilità ma inalterate nei requisiti e nei contenuti tecnici (eccetto per gli errori e le discordanze), le UNI EN ISO 14040:2006 e UNI EN ISO 14044:2006 sostituiscono le precedenti edizioni delle norme (UNI EN ISO 14040:1998, UNI EN ISO 14041:1999, UNI EN ISO 14042:2001 ed UNI EN ISO 14043:2001).

4.1.2 Origini e sviluppo

Le origini del concetto di analisi del “ciclo di vita” risalgono agli anni '60. La relazione di Harold Smith alla World Energy Conference del 1963, riguardante le richieste di energia per la produzione di intermedi chimici, si può considerare uno dei primi esempi della metodologia, seppure la valutazione degli impatti sull'ambiente fosse ancora marginale. Verso la fine degli anni Sessanta furono pubblicati alcuni studi di modelli globali in *The Limits to Growth* (Meadows et al., [1972]) nei quali si cercava di predire quali sarebbero stati gli effetti di un aumento della popolazione mondiale sulla richiesta di materie prime e di energia. La prospettiva di un rapido esaurimento dei combustibili fossili e di eventuali modifiche climatiche, da attribuire soprattutto all'eccesso di calore immesso nell'atmosfera da parte dei processi di combustione, spinsero verso calcoli meticolosi sui consumi energetici e sui rifiuti termici delle industrie. In quel periodo furono compilati una dozzina di studi che stimavano i costi e le conseguenze ambientali di risorse energetiche alternative.

Nel 1969, un gruppo di ricercatori del Midwest Research Institute (MRI) condusse uno studio per conto della Coca-Cola confrontando diversi tipi di contenitori per le bevande, con lo scopo di determinare quale fosse l'involucro con il minor impatto sull'ambiente in termini di emissioni e di consumo di materie prime. Il calcolo fu realizzato quantificando le materie prime, il combustibile e i rilasci nell'ambiente per la produzione di ogni singolo contenitore. La procedura fu denominata Resource and Environmental Profile Analysis (REPA). Nel frattempo anche in Europa furono condotti studi simili, rivolti soprattutto ai sistemi d'imballaggio e denominati procedure di Ecobalance.

In Italia la necessità di uno strumento di contabilizzazione per i carichi ambientali associati alla produzione delle merci si delineò nel 1977-79 quando, presso l'Istituto di Merceologia dell'Università di Bari,

l'economista Nebbia condusse ricerche sull'analisi dei flussi di energia attraverso i vari cicli produttivi distinguendo fra energia impiegata nell'impianto di produzione e energia incorporata nelle materie prime.

L'interesse per l'LCA aumentò negli anni Ottanta con lo sviluppo di una serie di metodi per la valutazione quantitativa degli impatti, riguardo a differenti tematiche ambientali (impoverimento delle risorse, riscaldamento globale, ecc.); in questo modo gli studi di LCA si diffusero divenendo sempre più trasparenti e disponibili al pubblico.

Alla fine degli anni Ottanta permaneva, tuttavia, una situazione di enorme confusione: rapporti riguardanti LCA condotti sugli stessi prodotti contenevano spesso risultati contrastanti. Il motivo di ciò è da attribuire alla scarsa uniformità delle valutazioni, perchè gli studi effettuati si basavano su dati, metodi e terminologie fra di loro differenti. Divenne presto evidente la necessità di una metodologia univoca e standardizzata. Il dibattito scientifico fu portato avanti sotto il patrocinio della SETAC e uno dei risultati più importanti fu la pubblicazione di un quadro di riferimento universalmente accettato (SETAC, 1993).

Oggi la maturità e l'unificazione della metodologia sono testimoniate dall'emissione, da parte dell'ISO (International Standards Organization) e segnatamente del suo Technical Committee 207 (TC207), della normativa tecnica della serie ISO 14040 Valutazione del Ciclo di Vita, la quale copre numerosi aspetti della gestione ambientale d'impresa, incontrando le esigenze espresse dalle aziende, dai governi, dalle organizzazioni non governative (ONG) e dai consumatori stessi. Attualmente l'utilizzo dell'LCA è in forte crescita in molti paesi europei, nonché in America e in Asia. La Svezia resta il paese più avanzato nell'uso sistematico della LCA a livello aziendale e ciò è ulteriormente confermato dal sempre crescente numero di certificazioni ambientali di prodotto rilasciate (EPD - *Environmental Product Declaration*).

4.1.3 Differenti tipologie di LCA

Il sopra citato approccio “*from cradle to grave*” fornisce la descrizione più accurata dei carichi ambientali del sistema in studio in una LCA.

La scelta di seguire l’oggetto dello studio dalla culla alla tomba è dettata principalmente da due ragioni:

- ✓ in primo luogo, una singola operazione industriale può apparentemente essere resa più efficiente e “più pulita” trasferendo l’inquinamento in altri comparti ambientali, così che i benefici derivanti da queste azioni vengono controbilanciati da problemi generati altrove, senza conseguire nel complesso alcun reale miglioramento;
- ✓ in secondo luogo tale approccio permette di passare da una tipologia di studio tipica dell’ingegneria tradizionale, focalizzata sull’efficienza dei singoli sistemi produttivi, ad una visione globale dell’intera catena produttiva.

Tuttavia condurre una LCA completa può risultare a volte molto onerosa sia in termini di tempo che di denaro. In risposta a queste considerazioni, sono stati individuati metodi per semplificare la metodologia di LCA, per renderla più veloce e meno dispendiosa, senza rinunciare alle caratteristiche fondamentali di uno studio completo e senza perdere l’accuratezza e l’attendibilità dei risultati. Infatti a seconda dello scopo e degli obiettivi dello studio, una LCA può essere condotta più o meno dettagliatamente.

Le strategie semplificative possono riguardare la limitazione degli obiettivi, la riduzione della quantità di dati richiesti o il restringimento dei confini del sistema.

In quest’ultimo caso le semplificazioni introdotte producono degli studi di LCA definiti come segue:

- “*from cradle to gate*” (dalla culla al cancello): lo studio inizia con l’approvvigionamento delle materie prime e delle fonti di energia e si conclude con l’immissione del prodotto finito sul mercato, escludendo quindi la fase di utilizzo e di smaltimento dello stesso;
- “*from gate to gate*” (dal cancello al cancello): lo studio analizza unicamente la realtà aziendale, quindi comprende le fasi di fabbricazione e assemblaggio del prodotto.

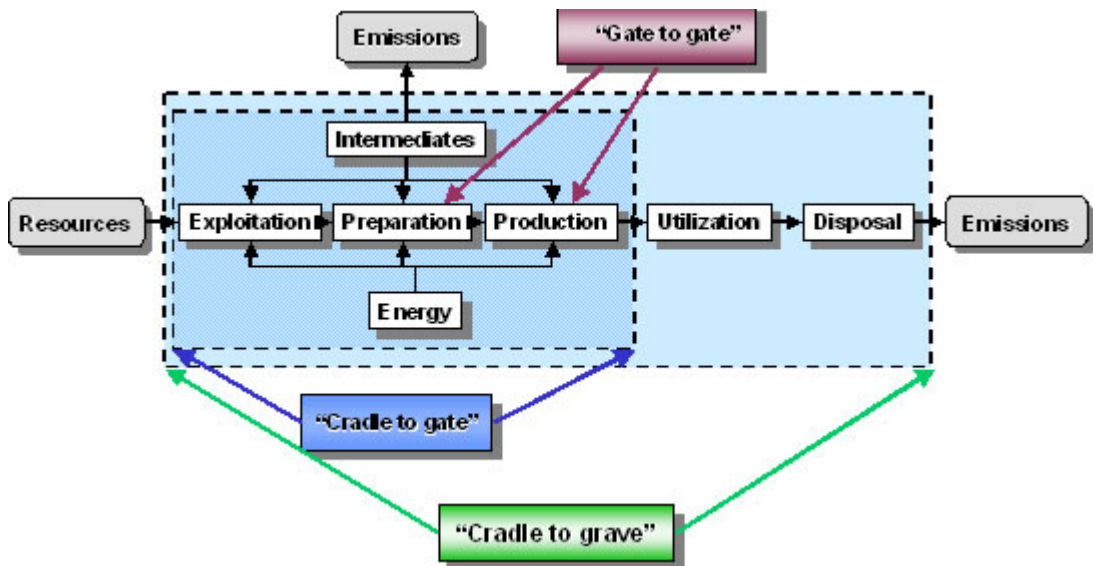


Figura 4.2: Schema di sintesi di vari approcci di uno studio LCA.

Recentemente però gli studiosi del settore si sono orientati verso un approccio del tipo “*from cradle to cradle*” che comprende anche la rivalorizzazione del prodotto a fine vita attraverso il recupero di energia e materiali, nell’ottica di diminuire progressivamente la quantità di rifiuti da inviare allo smaltimento in discarica.

Conferire valore intrinseco a un qualsiasi prodotto a fine vita vuol dire promuovere ogni attività di recupero, reimpiego e riciclaggio, considerando lo smaltimento finale in discarica una fase residuale da attuare in condizioni di massima sicurezza che arrechi il minor danno possibile all’ambiente.

Nella pratica, chi conduce una LCA col fine di progettare o riprogettare un prodotto ecosostenibile non è interessato tanto alle quantità dettagliate, quanto piuttosto alle differenze tra le possibili alternative di progettazione in esame. Inoltre la progettazione di un processo o di un prodotto attraversa varie fasi prima di arrivare alla sua conclusione e non è detto che la LCA relativa ad esso debba essere compiuta solo alla fine, poiché tale analisi può essere importante anche nelle fasi intermedie per indirizzare le scelte dei progettisti. In queste fasi non sarà naturalmente possibile eseguire uno studio completo visto che il prodotto o processo in esame è ancora in fase di definizione. Dunque possiamo distinguere varie tipologie di LCA sulla base del tipo di dati a disposizione, della loro qualità e dello scopo per il quale lo studio viene eseguito.

La classificazione originaria sulle tipologie di LCA è quella offerta dalla CIT Ekologik, società svedese di consulenza in ecologia ambientale del prodotto e dell'amministrazione che coopera con alcune importanti organizzazioni mondiali come la SETAC e rappresenta la Svezia nel comitato ISO (International Standards Organization) nell'ambito delle norme concernenti l'LCA.

La classificazione proposta dalla CIT Ekologik è la seguente:

- *Streamlined LCA* - LCA semplificata o parziale – una LCA di questo tipo in genere costituisce la base sulla quale poggiano le decisioni prese per conferire la giusta direzione allo sviluppo di nuovi prodotti o servizi soprattutto quando questi non sono troppo complessi. Spesso i dati utilizzati in una LCA semplificata sono per la maggior parte di tipo qualitativo. Infine essa richiede un tempo di realizzazione breve, variabile da alcune settimane fino ad un paio di mesi;

- *Screening LCA* - LCA selettiva – questo tipo di LCA si utilizza principalmente nel caso in cui si vogliono individuare e “selezionare” le fasi di vita di un prodotto che determinano gli impatti ambientali più consistenti. Si ricorre per lo più a dati standard, senza approfondire la ricerca delle informazioni né dare loro effettiva valutazione. Solo in seguito, dai risultati così ottenuti e da un’analisi di sensibilità, si individuano i dati critici dei quali è necessario migliorare la qualità. La LCA di screening pur non essendo uno studio esaustivo è un sistema rapido per la valutazione degli aspetti realmente importanti del ciclo di vita di un prodotto o servizio sui quali è necessario focalizzare l’attenzione negli eventuali approfondimenti successivi dello studio;

In alcuni casi la LCA è condotta con tipologie di dati e modalità che appartengono in parte alla LCA di selezione e in parte a quella di screening. Le caratteristiche dello studio che ne deriva dipenderà naturalmente dalle scelte considerate relativamente ai dati considerati, dalla loro qualità e dai criteri adottati.

I risultati che si possono ottenere sono buoni e addirittura in alcuni casi possono raggiungere una qualità prossima a quella dei risultati di una LCA dettagliata.

In ogni caso l’uso di tali procedure semplificate dovrebbe avvenire per studi compiuti in tempi limitati e di portata ridotta e deve comunque essere opportunamente documentato e giustificato.

- *Detailed LCA* - LCA dettagliato - è lo studio necessario nel caso di una valutazione completa, che presuppone a monte uno o più studi di tipo selettivo. Un’analisi di questo tipo è indispensabile nel caso in cui i risultati debbano essere utilizzati per comunicazioni pubbliche.

Una LCA dettagliata prevede una elevata qualità di dati e comprende, dunque, la raccolta sistematica di valori specifici del caso in esame (dati primari) da preferire a dati presi da bibliografia (dati secondari). Inoltre include lo studio di piccoli flussi di energia e di materiali in modo da aumentare il livello di dettaglio dell'analisi.

4.2 LCA: metodologia

Come definito dalla norma ISO 14040 la metodologia LCA si compone di quattro fasi principali:

1. Definizione degli obiettivi e dei confini del sistema (*Goal and scope definition*).
2. Redazione e analisi dell'inventario (*Inventory analysis*) – compilazione di un inventario completo dei flussi in ingresso (materiali, energia, risorse naturali) e in uscita (emissioni in aria, acqua e suolo, rifiuti) che siano rilevanti per il sistema definito.
3. Valutazione degli impatti ambientali (*Life cycle impact assessment*) – valutazione dei potenziali impatti ambientali diretti e indiretti, associati a questi input e output e della loro significatività.
4. Interpretazione dei risultati e analisi di miglioramento (*Interpretation and improvement analysis*) – analisi dei risultati delle due fasi precedenti e definizione delle possibili linee di intervento.



Figura 4.3: Schema sintetico della metodologia LCA.

4.2.1 Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione dello studio

La prima fase di uno studio LCA consiste nella dichiarazione degli obiettivi e delle motivazioni dello studio e nella definizione dell'oggetto dell'analisi e dei confini del sistema.

L'obiettivo di una LCA deve stabilire senza ambiguità le motivazioni per le quali si realizza lo studio, quale sarà l'applicazione prevista per i suoi risultati ed il tipo di pubblico a cui è destinato. Nella definizione del campo di applicazione si deve descrivere il sistema oggetto dello studio ed elencare le categorie di dati da considerare in esso. Tale definizione deve essere fatta con cura per assicurare che l'ampiezza, la profondità e il dettaglio dello studio siano compatibili con l'obiettivo che ci si è prefissi di conseguire.

Essendo poi la LCA una tecnica iterativa, a volte può essere necessario modificare il campo di applicazione a seguito di informazioni supplementari raccolte nel corso del lavoro, allo scopo di soddisfare l'obiettivo originale dello studio.

E' evidente che questa prima fase delinea notevolmente le linee di svolgimento dell'analisi e può portare a significativi cambiamenti dei risultati.

Al fine di comprendere in che maniera nella metodologia LCA vengono scelti i confini del sistema, è utile riportare le definizioni di sistema di prodotto e unità di processo fornite dalla norma ISO 14040.

Per sistema di prodotto si intende un insieme di unità di processo interconnesse da flussi di prodotti intermedi che rappresentano una o più funzioni definite, in cui con il termine funzione si indica una caratteristica prestazionale del sistema. La descrizione di un sistema di prodotti comprende le unità di processo, i flussi elementari e i flussi di prodotti che oltrepassano i confini del sistema, nonché i flussi intermedi dentro il sistema.

Le unità di processo sopra citate sono la più piccola parte di un sistema di prodotto per la quale sono stati raccolti i dati nel corso della Valutazione del Ciclo di Vita. Sono collegate tra loro da flussi di prodotti intermedi (materiali di base, semilavorati) e/o rifiuti da trattare e sono collegate con altri sistemi di prodotti e con l'ambiente da flussi elementari in input (materie prime, energia) e in output (radiazioni, emissioni in aria, acqua, suolo).

La suddivisione di un sistema di prodotti in unità di processo rende più facile l'identificazione delle entità in ingresso e in uscita da esso. La sua descrizione comprenderà dunque quella delle unità di processo, dei flussi elementari e dei flussi di prodotti che oltrepassano i confini del sistema nonché quella dei flussi intermedi interni al sistema stesso.

La descrizione iniziale delle unità di processo considerate è fondamentale per definire innanzitutto dove ha inizio ogni sistema di prodotti in termini di ricevimento di materie prime e prodotti intermedi, ma anche per la definizione della natura delle trasformazioni e delle operazioni che si svolgono al suo interno. Inoltre, poiché una unità di processo genera a sua

volta altre entità in uscita come risultato delle sue attività, il suo confine sarà dunque determinato dal livello di dettaglio richiesto per soddisfare l'obiettivo dello studio.

Infine poiché il sistema considerato è un sistema fisico, ogni unità di processo deve soddisfare le leggi di conservazione di massa ed energia e perciò la validità della descrizione dell'unità di processo potrà essere controllata proprio attraverso un bilancio di massa ed energia.

Per una descrizione chiara di un sistema di prodotti può essere molto utile l'uso di un diagramma di flusso di processo, che permette di illustrare rapidamente quali sono le unità di processo considerate.

Gli studi di LCA sono dunque condotti mediante lo sviluppo di modelli descrittivi degli elementi chiave di un sistema fisico. La scelta degli elementi del sistema fisico da introdurre nel modello dipenderà dalla definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione dello studio. Infatti non sarebbe pratico né utile studiare tutte le relazioni tra le unità di processo di un sistema di prodotti o quelle tra un sistema di prodotti e l'ambiente. Ovviamente è necessario specificare le ipotesi alla base delle semplificazioni introdotte e descrivere i modelli utilizzati nell'analisi.

4.2.1.1 Le funzioni del sistema di prodotto e l'unità funzionale

Nella descrizione del campo di applicazione di una LCA si deve specificare con chiarezza quali sono le funzioni del sistema in analisi, ovvero le caratteristiche prestazionali del sistema di prodotti o dei sistemi nel caso di studi comparativi.

Allo scopo di quantificare le suddette funzioni si utilizza l'unità funzionale, definita dalla norma ISO 14040 come:

“Prestazione quantificata di un sistema di prodotto da utilizzare come unità di riferimento in uno studio di Valutazione del Ciclo di Vita. Lo scopo principale dell'unità funzionale è di fornire un

riferimento a cui legare i flussi in entrata ed in uscita. Questo riferimento è necessario per consentire la comparabilità dei risultati della LCA, che risulta critica quando si valutano sistemi differenti perché ci si deve assicurare che il confronto venga fatto su base comune”.

In definitiva l'unità funzionale costituisce il riferimento a cui tutti i dati dello studio in ingresso e in uscita saranno normalizzati, perciò essa deve essere chiaramente definita e misurabile.

Va sottolineato che i confronti tra sistemi devono essere effettuati sulla base della medesima funzione e quantificati attraverso la stessa unità funzionale.

4.2.1.2 Le funzioni del sistema di prodotto e l'unità funzionale

I confini di un sistema di prodotto definiscono le unità di processo da includere nel sistema in cui si costruisce il modello e devono essere scelti in maniera tale che tutti i flussi in ingresso e in uscita siano flussi elementari. La scelta dei confini, il livello di aggregazione dei dati e il modello scelto per il sistema devono essere coerenti con l'obiettivo dello studio.

Quando non c'è sufficiente tempo, dati o risorse per condurre uno studio completo, si può decidere di escludere delle unità di processo dalla composizione del modello. In questo caso qualunque decisione di eliminare fasi del ciclo di vita, processi o flussi in ingresso o in uscita deve essere chiaramente indicata e giustificata.

4.2.2 Analisi di inventario - LCI

La redazione dell'inventario (Life Cycle Inventory – LCI) è il cuore di un'analisi LCA. In questa fase vengono riportati tutti i flussi di energia e di materia del sistema/prodotto in esame normalizzati all'unità funzionale. Questi flussi sono espressi in unità fisiche (unità di massa e di energia) e

comprendono l'utilizzo di risorse e di energia e tutti i rilasci in aria, in acqua e nel suolo associati al sistema.

Nell'inventario devono essere inclusi i dati raccolti per ognuna delle unità di processo comprese nei confini del sistema. La qualità dei dati raccolti ed usati nella fase di inventario è propedeutica alla qualità finale dello studio LCA. La raccolta di informazioni deve rispondere a criteri di completezza, precisione, rappresentatività, coerenza e riproducibilità. Un metodo di valutazione semplice consiste nell'effettuare un bilancio di massa per ogni processo, tenendo conto del fatto che l'ammontare degli input deve essere pari al rilascio degli output. E' necessario descrivere dettagliatamente la qualità dei dati per poter successivamente operare confronti fra studi su sistemi analoghi. Tale descrizione deve definire alcuni parametri quali:

- Fattori relativi ad area geografica, tecnologia e periodo temporale di riferimento.
- Precisione, completezza e rappresentatività dei dati.
- Incertezza dell'informazione.

Durante la raccolta è opportuno usare un consistente numero di fonti come altre analisi LCA, banche dati internazionali o disponibili in software, dati provenienti dalla letteratura, proceedings di convegni e congressi, informazioni disponibili in internet e dati raccolti sul campo presso aziende e industrie.

I dati misurati direttamente dall'autore presso siti industriali sono definiti dati primari (primary data) mentre quelli ricavabili da letteratura e da banche sono dati secondari (secondary data) di cui è bene controllare la fonte e la data di pubblicazione.

Allo stato attuale, il problema della qualità dei dati rappresenta ancora il punto critico della metodologia del ciclo di vita, poiché esistono sia troppi dati di natura confidenziale, sia differenze consistenti se si paragonano banche dati su uguali processi produttivi.

La situazione è precaria soprattutto in Italia, poiché le realtà aziendali non sempre possiedono dati accurati dei propri processi e soprattutto i dati disponibili spesso non sono catalogati in maniera funzionale all'uso degli stessi in un'Analisi del Ciclo di Vita.

Nella fase di inventario si raccolgono i dati di processo anche per l'energia utilizzata nel sistema produttivo (energia elettrica, idrocarburi) e nel sistema di trasporto (idrocarburi).

Il procedimento per condurre un'analisi di LCA è iterativo, man mano che i dati vengono raccolti, i confini iniziali del sistema potrebbero essere revisionati in accordo con i criteri stabiliti nel campo di applicazione.

La definizione del confine del sistema e l'assegnazione degli input e output ai vari sottosistemi del processo non è sempre semplice da operare. Per agevolare l'indagine LCA, è opportuno suddividere il processo in una serie di sotto-sistemi in cui vengano correttamente assegnati gli input e output, in modo che riflettano le relazioni fisiche insite tra i flussi e i differenti prodotti.

Una volta individuati i flussi in ingresso ed in uscita dal sistema si passa all'aggregazione di questi, tenendo presente che le categorie di dati dovrebbero essere aggregate solo se si riferiscono a sostanze equivalenti e ad impatti ambientali simili.

4.2.2.1 Allocazione dei flussi e dei rilasci

Una analisi di inventario si basa essenzialmente sulla capacità di correlare delle unità di processo all'interno di un sistema con flussi elementari di materiali ed energia. Tuttavia in realtà sono davvero pochi i processi industriali che producono un solo flusso in uscita o che sono fondati sulla linearità tra materie prime in ingresso e in uscita. Nella maggior parte dei casi, infatti, i processi industriali comportano più di un prodotto, senza contare che alcuni prodotti intermedi o di scarto possono essere riciclati e riutilizzati come se fossero materie prime.

La conseguenza di tutto ciò è che i flussi di materiali ed energia, nonché i rilasci nell'ambiente ad essi associati, dovranno essere ripartiti nel sistema di prodotto considerato. Tale processo prende il nome di allocazione e dovrà essere documentato e giustificato per ognuna delle unità di processo considerate e dovrà essere condotto secondo procedure chiaramente definite.

Le procedure di allocazione, che dovrebbero approssimare meglio possibile le relazioni che sussistono tra i flussi in ingresso e in uscita, possono basarsi su:

- Proprietà fisiche: ad esempio in base al peso o al volume dei vari prodotti
- Valore economico di ciascun prodotto.

Se possibile il processo di allocazione dovrebbe essere sempre evitato, ad esempio mediante la divisione delle unità di processo da allocare in due sottoprocessi e collegando i dati in ingresso e in uscita relativi a tali sottoprocessi, oppure tramite l'espansione del sistema in modo che quest'ultimo includa funzioni aggiuntive relative ai coprodotti.

4.2.2.2 Interpretazione dei risultati e limitazioni dell'analisi di inventario

L'interpretazione dei risultati di una LCI deve avvenire in accordo con l'obiettivo ed il campo di applicazione dello studio e dovrà comprendere:

- una valutazione della qualità dei dati e un'analisi di sensibilità dei flussi in ingresso e in uscita significativi nonché delle scelte metodologiche adottate, con lo scopo di poter valutare l'incertezza dei risultati;
- l'identificazione delle limitazioni dello studio sempre mediante una valutazione della qualità dei dati e un'analisi di sensibilità;

- una verifica del fatto che le definizioni del sistema e dell'unità funzionale siano appropriate;
- una verifica del fatto che la definizione dei confini del sistema sia appropriata.

Si deve sempre tener presente che i risultati dell'interpretazione di una analisi di inventario si riferiscono a dati in ingresso e in uscita e non direttamente agli impatti sull'ambiente, anche per questo una LCI non dovrebbe essere utilizzata come base per fare dei confronti.

4.2.3 Analisi degli impatti

4.2.3.1 Definizione e finalità

Lo scopo di questa fase è di valutare la portata degli impatti ambientali del sistema trasformando ogni flusso di sostanze della tabella di inventario in un contributo agli impatti stessi mediante gli indicatori di impatto.

Questa valutazione possiede come matrice di base l'inventario dell'oggetto in esame, cioè il complesso bilancio materiale ed energetico in uscita dalla LCI, e permette di ottenere risultati di più immediata comprensione che permetteranno di definire i miglioramenti ambientali da apportare al sistema dello studio.

Nelle suddette norme ISO si legge:

“Il fine della LCIA è valutare i risultati dell'analisi dell'inventario del ciclo di vita (LCI) di un sistema di prodotto, per comprendere meglio la loro significatività ambientale.”

In via di principio le ISO adottano la metodologia denominata “a fase multipla” già prevista dalla SETAC, per distinguerla da quella “a fase singola” secondo cui le emissioni erano valutate sulla base di un cosiddetto

“volume critico” necessario per ridurre le concentrazioni a livelli accettabili. Alle emissioni veniva poi assegnato un singolo punteggio rappresentativo della loro nocività ambientale.

Il metodo “a fase multipla” consiste nell’associare quantitativamente tutti i consumi delle risorse e i rilasci ambientali a determinate categorie d’impatto (eutrofizzazione delle acque, formazione di smog fotochimico, impoverimento dell’ozono stratosferico, ecc.) che saranno successivamente stimate assegnando loro un peso fino a giungere alla determinazione dell’indicatore ambientale finale, somma degli indicatori delle singole categorie d’impatto.

Tale approccio si articola in quattro momenti principali:

- 1. classificazione,**
- 2. caratterizzazione,**
- 3. normalizzazione,**
- 4. ponderazione.**

Per la ISO i primi due momenti, cioè la raccolta dei risultati di indicatore per le diverse categorie d’impatto, sono obbligatori, mentre la normalizzazione e la ponderazione rappresentano elementi facoltativi da essere utilizzati in funzione dell’obiettivo e del campo di applicazione dello studio LCA.

4.2.3.2 Classificazione

Durante la classificazione si identificano le categorie d’impatto attribuendo le emissioni inquinanti e i consumi di materie prime, energia ed acqua alle specifiche categorie da essi provocati.

4.2.3.3 Caratterizzazione

Nella fase di caratterizzazione si moltiplica la quantità di una certa sostanza (informazione presente nell'inventario) per la sua relativa attitudine o incidenza a provocare quella determinata categoria d'impatto. Generalmente questa incidenza riguarda una sostanza presa a riferimento, emblematica per quella categoria. Ad esempio, per l'effetto serra, la sostanza di riferimento è l'anidride carbonica (CO₂), e si esprimono i contributi di tutti i gas serra in kg di CO₂ equivalente.

Dire che il metano ha un potenziale effetto serra pari a 21 kg di CO₂ vuol dire che un kg di metano ha un'incidenza sull'effetto serra pari a 21 kg di CO₂. L'impatto totale sull'effetto serra del prodotto analizzato sarà dato dalla somma di tutti i contributi dei gas serra espressi in kg di CO₂ equivalenti.

Grazie alla classificazione e alla caratterizzazione si riduce notevolmente il numero di voci dell'inventario giungendo ad un numero limitato (in genere si considerano da otto a dieci effetti ambientali) che rappresenta il "profilo ambientale" (o "eco-profilo") dell'analisi.

Prima di passare al terzo momento vengono di seguito approfondite le categorie d'effetto ambientale maggiormente considerate negli studi LCA.

4.2.3.3.1 Categorie di impatto

Si considerano principalmente le seguenti categorie d'impatto⁷:

- diminuzione delle risorse (abiotiche e biotiche);
- cambiamenti climatici in riferimento al riscaldamento globale
- impoverimento dell'ozono stratosferico⁸;
- acidificazione del suolo;
- formazione di smog fotochimico;

⁷ Categorie d'impatto proposte dalla SETAC-Europe: Second Working Group on LCIA (WIA-2) (International Journal of LCA 4 (3) 167-174 (1999)).

⁸ La stratosfera è la regione atmosferica che va da 10 a 50 km di quota.

- arricchimento in nutrienti (eutrofizzazione);
- tossicità umana;
- eco-tossicità;
- uso del territorio.

Queste categorie devono essere considerate soltanto effetti ambientali potenziali, essenzialmente per due motivi: in primo luogo lo strumento LCA non svolge una determinazione puntuale delle emissioni inquinanti in un preciso istante temporale e in un preciso sito, in secondo luogo esistono ancora incertezze nelle conoscenze scientifiche relative ai meccanismi causa-effetto dell'inquinamento globale.

Ciascun effetto ambientale è inoltre caratterizzato da una diversa e specifica sfera di influenza (globale, regionale o locale), come rappresentato in tabella. In particolare, esistono alcuni effetti, come l'eutrofizzazione, la tossicità ecologica e umana, ecc. che presentano una forte dipendenza dalle condizioni del corpo ricevente. E' in questo senso che deve muoversi la ricerca della metodologia LCA, tentando di diminuire le incertezze dovute alla variabilità geografica degli ecosistemi.

SCALA	EFFETTO
Globale	effetto serra impoverimento dell'ozono stratosferico diminuzione delle risorse non rinnovabili
Regionale	acidificazione del suolo eutrofizzazione formazione di smog fotochimico tossicità cronica (ambientale e umana)
Locale	tossicità acuta (ambientale e umana) degradazione dell'area disturbi di tipo fisico (traffico, rumori)

Tabella 4.2: Principali effetti ambientali e scala d'influenza.

Diminuzione delle risorse

Considerando la categoria “risorse” nella sua globalità, è necessario effettuare una distinzione netta: quella tra le risorse intrinsecamente rinnovabili, anche definite risorse flusso (acqua, aria, energia solare, energia eolica, risorse biotiche⁹) e le risorse non rinnovabili, denominate risorse stock (combustibili fossili e minerali, sabbia, ghiaia, risorse del territorio in generale).

Con il graduale aumento della conoscenza della loro disponibilità fisica, queste risorse diventano riserve note all’umanità e quindi sfruttate. Naturalmente è chiaro che il volume globale della riserva di una risorsa è limitato rispetto all’effettiva disponibilità fisica in tutta la litosfera.

Nell’ottica di uno sviluppo sostenibile la diminuzione delle riserve, delle risorse flusso e delle risorse stock assume un’importanza primaria e dipende soprattutto dalla loro grandezza fisica e dal loro grado di impiego (nell’indice di questa categoria è ragionevole considerare risorse il cui esaurimento potrebbe accadere in un periodo di cento anni). La letteratura prevede un indice per la diminuzione delle risorse calcolato come somma di valori dimensionali che fuoriescono dal seguente rapporto:

$$D = \text{materia prima utilizzata [kg]} / \text{produzione annuale materia [kg]}$$

Questo indicatore è stato però costruito senza tener presente la riserva della specifica materia prima, ignorando quindi il concetto della limitatezza della risorsa. Un approccio più rigoroso consiste nel confrontare il consumo di risorse con il rapporto riserve/produzione:

$$D = Ci / Ri / Pi$$

dove:

Ci rappresenta il consumo della risorsa considerata;

⁹ Le risorse biotiche comprendono fauna, flora, animali in estinzione, ma in genere sono poco usate negli studi LCA.

R_i rappresenta l'ammontare delle sue riserve;

P_i è la produzione annuale della risorsa.

In realtà D offre una stima della disponibilità delle riserve in maniera compatibile con i livelli attuali di consumo e produzione.

Riscaldamento globale

Il meccanismo noto come “effetto serra” si genera perché alcuni gas atmosferici non sono trasparenti (hanno una buona capacità di assorbimento) alla radiazione infrarossa riemessa dal suolo terrestre. Questo comportamento provoca il surriscaldamento di tutto il globo terrestre a causa dell'aumento di temperatura¹⁰ che si verifica negli strati più bassi dell'atmosfera.

I gas serra più importanti sono l'anidride carbonica, il metano, l'ozono troposferico¹¹ e il vapore acqueo; tra questi è il primo a destare le maggiori preoccupazioni poiché il suo continuo aumento di concentrazione deriva principalmente dalla combustione dei combustibili fossili e dalla distruzione della foresta pluviale dei tropici.

Nell'ultimo secolo le attività antropiche industriali hanno fortemente disturbato il ciclo naturale della CO_2 in quanto l'enorme impiego di carbone e petrolio ha provocato l'immissione in atmosfera di circa $5 \cdot 10^{14}$ kg di anidride carbonica, facendone aumentare la concentrazione da ≈ 290 ppm nel 1890 a ≈ 354 ppm nel 1990, con un tasso, negli ultimi decenni, pari a 1,25 ppm all'anno.

Oltre ai già citati gas, gas serra minori sono: il protossido di azoto (N_2O), i Cloro-Fluoro-Carburi (CFC) e i gas correlati (Idro-Cloro-Fluoro-Carburi, HCFCs).

¹⁰ Gli scienziati della IPCC (*International Panel on Climate Change*) hanno stimato un aumento della temperatura media del Pianeta intorno a $0,4^\circ C$ per decennio.

¹¹ La troposfera è la regione atmosferica compresa tra la superficie terrestre e circa 10km di quota.

Il riscaldamento medio globale causerà lo spostamento delle fasce climatiche ad una velocità superiore alla capacità di adattamento della vegetazione. I conseguenti eventi meteorologici estremi quali alluvioni, tempeste e siccità potrebbero portare ad un innalzamento del livello del mare, nei prossimi cento anni, di circa 70 centimetri. Le zone aride e i deserti rischiano di aumentare tanto che l'acqua potrebbe diventare un bene raro.

I quantitativi di gas serra, espressi in kg di CO₂-equivalenti, sono valutati utilizzando i potenziali di riscaldamento globale (*Global Warming Potentials – GWPs*). Determinati dalla IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), questi potenziali sono stati calcolati considerando sia l'attitudine del gas serra ad assorbire radiazioni infrarosse, sia il tempo di permanenza del gas in atmosfera. Il GWP è quindi la misura, basata sulla concentrazione e sul periodo di esposizione, del potenziale contributo che una sostanza arreca all'effetto serra, rispetto a quello provocato dalla stessa quantità di anidride carbonica (Tabelle 4.2 – 4.3). In genere i GWPs sono valutati per diversi periodi di esposizione, "tempi-orizzonte", normalmente pari a 20, 100, 200 anni.

Ad esempio, se si vuole standardizzare l'emissione di y kg di metano, basterà utilizzare il relativo GWP, che vale 62, ottenendo: y*62 kg di CO₂-equivalenti.

Infine, il potenziale complessivo sarà dato dalla seguente relazione:

$$GWP = \sum GWP_i * m_i$$

dove:

GWP_i è il potenziale di riscaldamento globale della sostanza i-esima,
 m_i è la massa della stessa sostanza, espressa in kg.

Categoria d'impatto	Sostanza	GWP a 20 anni [kgCO₂ equival.]
Effetto serra	CO ₂	1
	NH ₃	< 1
	C ₃ H ₈	20

Tabella 4.3: Alcuni valori di GWP.

Categoria d'impatto	Sostanza	GWP a 20 anni [kg CO₂ equival.]
Effetto serra	CFC R-11	4000
	CFC R-12	8100
	HCFC R-22	1500
	HFC R-134a	1300

Tabella 4.4: Alcuni valori di GWP per i CFC, HCFC, HFC.

Come si nota dalla tabella, i Cloro-Fluoro-Carburi mostrano elevati indici di GWP dovuti essenzialmente alla loro elevata vita atmosferica, lunga anche centinaia di anni, come nel caso del CFC-115, pari a 1700 anni.

Impoverimento dell'ozono stratosferico

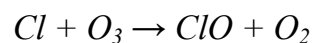
L'ozono (O₃) è presente in atmosfera con una concentrazione notevolmente variabile che va dai 50 ppb a suolo a circa 5 ppm in stratosfera. Nonostante la sua bassa concentrazione, l'ozono stratosferico è un costituente di fondamentale importanza per la vita sulla Terra. Infatti è in grado di assorbire efficacemente la radiazione solare ultravioletta con lunghezza d'onda compresa fra 0,2 e 0,3 μm¹², letale per le forme di vita terrestri.

L'esposizione eccessiva dell'uomo alla radiazione ultravioletta aumenta il rischio di cancro alla pelle, di depressione del sistema immunitario, di danni alla vista e la frequenza di dolorosi casi di eritema negli individui di pelle

¹² L'intervallo spettrale che ha λ : 0,2 – 0,3 μm è denominato banda di Hartley. In particolare l'O₃ stratosferico assorbe circa il 99% della radiazione solare con $\lambda < 0,32$ μm.

bianca. Sugli ecosistemi l'assottigliamento della fascia di ozono minaccia l'equilibrio alimentare oceanico e marino, causa una riduzione dell'azoto atmosferico che influisce sui raccolti agricoli, aumenta la frequenza di piogge acide e smog ed arreca un rapido degrado a diversi materiali¹³.

I principali responsabili della rottura delle molecole di ozono, composti molto stabili che raggiungono inalterati la stratosfera, sono i clorofluorocarburi (CFC) e gli idroclorofluorocarburi; questi ultimi sono detti halons¹⁴ e comunemente usati come sostanze antincendio. In particolare le molecole di CFCl_3 e CF_2Cl_2 raggiungono stabilmente la stratosfera dove, per azione della radiazione elettromagnetica con lunghezza d'onda pari a $0,23 \mu\text{m}$, si scindono e liberano atomi di cloro. L'atomo di cloro interagisce con l'ozono secondo la reazione:



Dando luogo a una specie instabile, che si chiama ipoclorito (ClO) e a ossigeno molecolare. La molecola di ipoclorito appena formata, reagendo con ossigeno atomico, si dissocia rapidamente perché molto instabile e libera nuovamente atomi di cloro, pronti a distruggere altre molecole di ozono e molecole di ossigeno molecolare. Un singolo atomo di cloro può arrivare a rompere fino a diecimila molecole di ozono prima di tornare sulla troposfera, sottoforma di acido.

L'indice costruito per questa categoria d'impatto è il potenziale di riduzione dell'ozono (*Ozone Depletion Potential-ODP*) da parte della World Meteorological Organization (WMO). Per gli ODP la sostanza di riferimento è il CFCl_3 , anche conosciuto come CFC-11 (Tabella 4.5).

Come nel caso dei GWPs, anche qui il potenziale complessivo, espresso in kg di CFC-11 equivalenti, sarà dato dalla seguente relazione :

$$\text{ODP} = \sum \text{ODPi} * mi$$

¹³ Effetti elencati dalla United Nations Environment Program.

¹⁴ La quarta Conferenza delle Parti del Protocollo di Montreal (Copenaghen, 1992) ha stabilito il divieto di produzione degli halons e dei CFC a partire dal 1/1/1994.

dove:

ODP_i è il potenziale di diminuzione dello strato di ozono del gas considerato,

m_i è la massa del generico gas rilasciato, espressa in kg.

Esistono però ancora incertezze sul fenomeno dell'impoverimento dell'ozono stratosferico; infatti, pur essendo riconosciuto l'effetto dannoso dell' NO_2 e dell' N_2O , non è mai stato possibile determinarne i relativi ODP, perché non sono ancora chiari alcuni meccanismi di causa-effetto.

Categoria d'impatto	Sostanza	ODP a 20 anni [kg CFC-11 equival.]
Diminuzione strato di ozono	CFC1	1
	CFC1CFCl₂	0,59
	CCl₄	1,23

Tabella 4.5: Alcuni valori di ODP.

Acidificazione del suolo

L'acidificazione è quel fenomeno che si genera in seguito all'emissione nel suolo di particolari composti che hanno la capacità di rilasciare protoni; ne consegue l'abbassamento del pH di terreni agricoli, falde acquifere, laghi e foreste. Anche le costruzioni, i monumenti e i materiali in genere riportano danni rilevanti in seguito alle deposizioni acide. Vistosi effetti di acidificazione si sono registrati in Scandinavia e in alcune regioni europee centro-orientali.

Essendo un impatto ambientale regionale, l'acidificazione dipende molto dalla natura degli ecosistemi riceventi, quindi risulta particolarmente complesso valutare tutti i meccanismi che la generano.

I composti responsabili dell'acidificazione sono quelli che, con l'intervento di catalizzatori (per esempio ossidi di ferro e umidità), riescono a generare ioni idrogeno (H^+), come SO_x , NO_x , NH_x .

La sostanza di riferimento per la standardizzazione è l'anidride solforosa (SO₂).

L'indice costruito è il Potenziale di Acidificazione (*Acidification Potential – AP*), espresso in kg di SO₂ equivalente (Tabella 4.6).

Il potenziale di acidificazione del sistema in esame è dato dalla seguente relazione, analoga a quella per il GWP e l'ODP:

$$AP = \sum AP_i * m_i$$

dove per un generico gas:

AP_i è il potenziale di acidificazione della sostanza rilasciata,

m_i è la massa della sostanza, espressa in kg.

Categoria d'impatto	Sostanza	AP [kg SO₂ equival.]
Acidificazione	SO ₂	1
	NO ₃	1,88
	NO _x	0,7

Tabella 4.6: Alcuni valori di AP.

Formazione di smog fotochimico

Lo smog fotochimico (*Photosmog*) costituisce una manifestazione dell'inquinamento atmosferico in ambiente urbano e suburbano. Il termine si riferisce ad un miscuglio di inquinanti, fra i quali predominano gli ossidi di azoto, l'ozono, l'ossido di carbonio, aldeidi e idrocarburi, che si forma nella bassa atmosfera per azione della luce solare sulle emissioni derivanti dalle attività umane.

L'espressione "smog fotochimico" è stata coniata per analogia con lo "smog" convenzionale; anche quest'ultimo interessa le aree urbane, ma è formato prevalentemente da anidride solforosa, composti parzialmente combustibili e particolato carbonioso, e si manifesta prevalentemente intorno all'alba nella stagione invernale.

Nello smog fotochimico la luce solare fornisce l'energia di attivazione per numerose reazioni chimiche, di conseguenza esso assume intensità massima nel periodo estivo e nelle ore intorno a mezzogiorno.

In sintesi il fenomeno si articola in quattro fasi:

1. reazione tra i composti organici volatili (COV) e i radicali idrossidi (OH) per formare radicali-perossidi organici;
2. reazione dei radicali perossidi (ad esempio CH_3OO) con monossido di azoto (NO) per formare NO_2 ;
3. reazione del biossido di azoto, in presenza di raggi solari ($\lambda=0,43 \mu\text{m}$) per formare NO e atomi di ossigeno;
4. reazione degli atomi di ossigeno con le molecole di ossigeno (O_2) per formare ozono.

Durante la seconda fase l' NO_2 può anche reagire con i radicali perossidi e portare alla formazione del perossiacetil-nitrato (PAN) e del perossibenzoil-nitrato (PBzN), molecole altamente irritanti.

I disturbi generati da questo smog, legati essenzialmente alla presenza di ozono, PAN e PBzN negli strati bassi dell'atmosfera, sono irritazione agli occhi, problemi occasionali o cronici all'apparato respiratorio e danni agli alberi e alle coltivazioni (rallentamento della crescita e morte delle piante).

Sebbene lo smog fotochimico sia stato studiato prevalentemente in ambiente urbano, di recente si sono riscontrati processi analoghi in vaste regioni tropicali e subtropicali, determinati dai gas emessi dai periodici incendi delle erbe della savana. In queste aree il fenomeno è favorito dalla radiazione solare che può portare, attraverso le complesse reazioni, ad un livello ozono cinque volte superiore al valore normale.

L'indicatore di conversione utilizzato è il potenziale di formazione di smog fotochimico (*Photochemical Ozone Creation Potentials – POCP*), espresso in kg di etilene (C_2H_4) equivalente .

Il sistema in esame avrà un potenziale di formazione di smog fotochimico derivante dalla seguente relazione:

$$POCP = \sum POCP_i * m_i$$

dove:

POCP è il potenziale di formazione di ozono fotochimico relativo al gas rilasciato,

m_i è la massa del gas rilasciato, espressa in kg.

Questo metodo prevede però fattori di equivalenza solo per i COV.

Eutrofizzazione

L'eutrofizzazione, detta anche fertilizzazione, è un processo di arricchimento di sostanze nutritive di un ambiente acquatico, per mutazione naturale o favorito da scarichi urbani, agricoli e industriali, che spesso determina uno sviluppo abnorme di alghe. Le sostanze di cui si parla sono in particolare fosforo e azoto e sono dette "biostimolanti". Questo fenomeno si verifica soprattutto nei laghi e nei fiumi a corso molto lento, dove queste sostanze tendono progressivamente a concentrarsi. Il graduale accumulo, che si sviluppa in modo naturale (tutte le acque che giungono al corpo d'acqua contengono sostanze nutritive derivanti dal dilavamento del terreno, dalla presenza di organismi, ecc.), è stato esasperato dall'uomo con l'immissione, in modo massiccio e concentrato nel tempo, di grandi quantità di sostanze contenute nelle acque di rifiuto, oltre che nei fertilizzanti utilizzati in agricoltura.

Nel corpo d'acqua recettore si instaura allora una reazione a catena: le alte concentrazioni favoriscono la crescita, in particolare durante il periodo estivo, di grandi quantità di plancton, costituito specialmente da microalghe. Con le sfavorevoli condizioni climatiche del periodo invernale (scarsa luminosità, bassa temperatura), la flora acquatica formatasi in gran

parte muore, precipita sul fondo del corso d'acqua e si decompone inducendo l'assorbimento di forti quantitativi di ossigeno.

Si instaura così un deficit di ossigeno, cioè si sviluppano condizioni anaerobiche che si estendono costantemente in tutta la massa liquida provocando gravi sconvolgimenti nell'equilibrio biologico dell'ecosistema. In particolare si liberano sostanze tossiche (come ammoniaca e idrogeno solforato) con conseguenti morie di pesci ed altri organismi che esigono un ambiente aerobico e si solubilizzano di nuovo le sostanze nutritive alla base del ciclo. Contemporaneamente l'acqua tende a intorbidirsi, limitando la trasmissione della luce in profondità e peggiorando ulteriormente la situazione. Alcuni effetti negativi dell'eutrofizzazione sono:

- aumento della biomassa di fitoplancton
- sviluppo di specie tossiche di fitoplancton
- aumento della quantità di alghe gelatinose (mucillagini)
- aumento delle piante acquatiche in prossimità dei litorali
- aumento della torbidità e del cattivo odore dell'acqua
- diminuzione della quantità di ossigeno disciolto nell'acqua
- diminuzione della diversità biotica
- scomparsa di alcune specie ittiche pregiate (ad esempio i salmonidi).

Per contrastare l'eutrofizzazione sono necessari interventi che riducano gli afflussi di nutrienti ai corpi idrici (riduzione dei fertilizzanti in agricoltura, depurazione degli scarichi civili ed industriali, trattamento delle acque di scolo delle colture tramite agenti sequestranti ed impianti di fitodepurazione). Si ritiene che il riscaldamento globale contribuirà a peggiorare il fenomeno dell'eutrofizzazione; il riscaldamento delle acque superficiali infatti fa diminuire la solubilità dei gas (e quindi anche dell'ossigeno).

L'entità del processo di eutrofizzazione dipende fortemente dalla qualità di partenza dell'acqua e dalla natura del corpo idrico; per questo motivo risulta molto complessa la risoluzione della componente spaziale nell'applicazione dell'indicatore specifico della categoria.

La standardizzazione di tale fenomeno si effettua utilizzando un indice che misura l'attitudine delle diverse sostanze emesse a favorire lo sviluppo di biomassa.

Con lo stesso approccio visto per le altre categorie, è stato costruito un potenziale di eutrofizzazione (*Nutrition Potential – NP*), espresso in kg di ione fosfato equivalente (Tabella 4.7).

Il sistema avrà un potenziale di eutrofizzazione globale dato dalla sommatoria dei diversi NP, come mostra la seguente relazione:

$$NP = \sum NP_i * m_i$$

dove:

NP_i è il potenziale di eutrofizzazione della generica sostanza,

m_i è la massa della rispettiva sostanza.

Categoria d'impatto	Sostanza	NP [kg PO₄³⁻ equival.]
Eutrofizzazione	PO ₄ ³⁻	1
	NO _x	0,13
	NH ₄	0,33

Tabella 4.7: Alcuni valori di NP.

Tossicità umana

Per tossicità umana si intende un fenomeno fortemente complesso riguardante l'esposizione dell'uomo a composti chimici e biologici nocivi per le cellule del suo corpo.

Ad esempio una sostanza altamente tossica per l'uomo è il monossido di carbonio (CO); se respirato anche in piccole quantità il CO si lega all'emoglobina formando un complesso detto carbossi-emoglobina. L'emoglobina, molecola complessa del sangue che ha il compito di

trasportare l'ossigeno, si ritrova così a veicolare il CO in tutte le cellule del corpo umano. In un ambiente chiuso l'aumento repentino di CO (dovuto ad esempio ad una stufa che non funziona bene) ha effetti mortali.

Esistono poi sostanze tossiche che si accumulano lungo tutta la catena alimentare perché non sono né degradate né metabolizzate e giungono ad organismi di ordine superiore. E' il caso dei Poli-Cloro-Bifenili (PCB)¹⁵ che possono arrivare all'uomo, ad esempio, dopo l'ingestione involontaria di pesce contaminato. I PCB si depositano nel tessuto adiposo e possono procurare dermatiti, danni al fegato e ai reni e, benché non sia stata accertata la loro cancerogenicità, vi è il sospetto che siano anche potenzialmente oncogeni.

Questa categoria di impatto è complessa e intricata; in letteratura sono stati sviluppati diversi metodi che hanno preso in considerazione il tempo di permanenza degli inquinanti nell'ambiente, la loro tossicità rispetto al tempo di esposizione (basandosi su funzioni dose-effetto) e il loro effetto tossicologico. Il dibattito scientifico, sia in sede ISO che in sede SETAC, ha riguardato la possibilità di introdurre indicatori di categoria sulla salvaguardia nella catena cause-effetto, tra cui il numero di anni di vita persi, noto come YLL (*Years of Life Lost*), il numero di anni di vita con disabilità, noto come YLD (*Years Lived Disabled*) e il numero di anni di vita per rimediare alle inabilità, noto come DALY (*Years Disability Adjusted Life*).

Eco-tossicità

La eco-tossicità interessa gli ecosistemi, acquatici e terrestri, esposti a sostanze chimiche e biologiche nocive. Il destino di questi inquinanti nell'ambiente dipende da:

¹⁵ Fino al divieto di produzione i PCB sono stati utilizzati come liquido di isolamento e raffreddamento in trasformatori e condensatori, come additivo, lubrificante e plastificante in masse di sigillatura, lacche, materie plastiche e carta.

- bioaccumulazione,
- tassi di degradazione (anaerobica e aerobia, idrolitica e fotolitica),
- deposizione,
- evaporazione.

Generalmente l'ecotossicità è espressa come la percentuale di specie di piante che vivono in una certa area in condizioni ambientali mutate, ovvero in condizioni di stress dell'ecosistema.

Uso del territorio

Il degrado del territorio, nel quale sono inclusi anche disturbi di tipo fisico quali il traffico, il rumore e gli odori, rappresenta una categoria d'impatto piuttosto vasta per la quale sono ancora in atto elaborazioni di standardizzazione.

Gli effetti di un inopportuno uso del territorio consistono nel deterioramento del suolo (erosione, eventuali rischi di frane), nella lenta distruzione degli ecosistemi e nella perdita di qualità ambientale nel paesaggio.

Questa categoria d'impatto può ricavare conoscenze e informazioni utili da un altro strumento metodologico, di tipo procedurale, denominato Valutazione di Impatto Ambientale (VIA).

4.2.3.4 Normalizzazione

Terminate le fasi di classificazione e caratterizzazione e ottenuto l'eco-profilo, si passa al terzo step: la normalizzazione. Le norme ISO la definiscono così:

“Calcolo dell'entità dei risultati di indicatore di categoria in rapporto all'informazione di riferimento.”

Infatti, una volta quantificati i differenti indicatori, risulta ancora complesso interpretare l'effettiva grandezza delle varie categorie d'impatto, essendo espresse in unità di misura diverse. Normalizzare vuol dire allora dividere la quantità calcolata di una categoria d'impatto per la quantità totale della stessa categoria che si verifica in uno specifico arco temporale e in una determinata zona. Si ottengono così degli indici sintetici, grazie ai quali si può effettivamente comprendere a quale categoria d'impatto il sistema contribuisce maggiormente. I risultati normalizzati mostrano i problemi ambientali generati dal ciclo di vita di un prodotto secondo il loro "ordine di grandezza". Solo con la normalizzazione si iniziano a capire le fasi ambientalmente critiche del sistema in esame o si possono iniziare ad operare confronti tra prodotti che hanno a monte tecnologie produttive differenti.

La suddetta norma ISO definisce questa fase "opzionale" per le numerose incertezze legate all'individuazione della validità di un impatto circoscritto nel tempo e nello spazio; incertezze dovute essenzialmente alla carenza di dati statistici.

4.2.3.5 Ponderazione

La ponderazione o pesatura (*weighting across impact categories*) è definita dalle norme ISO nel seguente modo:

“La ponderazione è il processo di conversione dei risultati di indicatore delle diverse categorie d'impatto mediante fattori numerici basate sulle scelte dei valori. Essa può comprendere l'aggregazione dei risultati di indicatore ponderati.”¹⁶

¹⁶ Dalla SETAC questa fase era stata denominata "valutazione" ed era definita come: "la fase in cui i contributi delle diverse categorie d'impatto sono pesate in modo che possano essere comparate tra di loro."

In questa fase si attribuisce un peso di importanza ai diversi effetti causati dal sistema, in modo che possano essere comparati tra loro per effettuare successivamente una ulteriore aggregazione dei dati.

Con la pesatura si determina alla fine un indice assoluto, il cosiddetto eco-indicatore, che esprime in modo complessivo le prestazioni ambientali del sistema. Questo indice sarà ottenuto dalla seguente relazione:

$$I = \sum w_i * E_i$$

dove:

E_i è l'effetto normalizzato della generica categoria d'impatto,

w_i è il peso attribuito alla rispettiva categoria d'impatto.

4.2.4 Interpretazione dei risultati

La parte conclusiva di uno studio LCA è l'interpretazione che ha lo scopo di riassumere e discutere i risultati dell'inventario e della valutazione d'impatto. Viene definita nel seguente modo:

“L'interpretazione del ciclo di vita è un procedimento sistematico volto alla identificazione, qualifica, verifica e valutazione delle informazioni contenute nei risultati del LCI e/o LCIA di un sistema di prodotto, nonché alla loro presentazione in forma tale da soddisfare i requisiti dell'applicazione descritti nell'obiettivo e nel campo di applicazione dello studio.”

Questa fase si prefigge di analizzare e riportare i risultati in modo trasparente, di giungere alle conclusioni e di spiegare le limitazioni del sistema/prodotto dello studio.

Nella suddetta ISO questa fase comprende i tre stadi seguenti:

1. identificazione dei fattori ambientali significativi, sulla base dei risultati dell'inventario e della valutazione d'impatto, al fine di proporre eventuali opzioni di miglioramento,

2. valutazioni, cioè verifica della completezza di inputs e outputs, della sensibilità e della coerenza dei risultati,
3. conclusioni, raccomandazioni e redazione di un rapporto finale.

Infine la fase di miglioramento completa il ciclo di analisi e permette di indirizzare il sistema verso un reale obiettivo di eco-sostenibilità, nonché di eco-efficienza.

A livello organizzativo e progettuale, il miglioramento della produzione, attuato sulla base di uno studio LCA, richiede uno sforzo notevole, infatti risulta complicato scegliere tra le varie alternative applicabili al sistema o scegliere l'alternativa che massimizza l'efficienza energetico-ambientale totale.

4.3 Software per LCA

Nell'ultimo decennio la rapida divulgazione della metodologia LCA è stata accompagnata dallo sviluppo di numerosi strumenti software tali da agevolare l'utente nella costruzione del modello da studiare offrendo fogli di calcolo e visualizzazioni grafiche che, evidenziando i risultati, ne facilitano l'interpretazione e le conclusioni.

Anche se con caratteristiche e livelli di complessità differenti, qualsiasi software LCA ha la principale funzione di supportare l'utente nelle seguenti tre fasi di analisi:

- **Inventario:** essendo la fase più impegnativa, un software LCA ha il vantaggio di offrire una notevole quantità di dati disponibili pertinenti a svariati settori e con ottimi livelli di qualità. Si cerca così di limitare la soggettività nella scelta delle fonti informative.
- **Analisi degli impatti:** la valutazione degli impatti viene effettuata grazie ai differenti modelli di calcolo presenti in

questi strumenti. L'utente può scegliere il metodo di valutazione più appropriato al suo studio realizzando anche comparazioni tra i diversi metodi. Inoltre c'è anche la possibilità di considerare soltanto alcune categorie d'impatto oppure solo alcuni specifici stadi del ciclo di vita.

- **Interpretazione:** la fase conclusiva viene agevolata grazie al supporto di svariate visualizzazioni grafiche; inoltre alcuni software consentono anche analisi di sensibilità, simulazione di scenari alternativi ed elaborazioni statistiche dei risultati.

Essendo il mercato del settore in continua espansione, attualmente sono disponibili approssimativamente 35-40 software tools per analisi LCA, differenti tra loro in prestazioni e campi di applicazione.

4.3.1 Database per LCA

Uno studio LCA comporta, sin dall'inizio del lavoro, la gestione di un consistente set di informazioni quantitative riferite al ciclo di vita in esame; naturalmente l'attendibilità di questi dati è propedeutica alla validità dell'intera analisi.

I dati che costituiranno l'inventario possono essere distinti in tre categorie:

1. **dati primari**, provenienti da rilevazioni dirette,
2. **dati secondari**, ricavati da banche dati, studi di letteratura o da database presenti nel software,
3. **dati terziari**, provenienti da stime e da valori medi.

Per quanto possibile i dati dovrebbero essere raccolti da fonti dirette, solo così lo studio LCA potrà vantare un elevato grado di qualità. Nel caso si utilizzino informazioni ricavate da progetti simili o da fonti letterarie è necessario controllare la data di pubblicazione, operare dei confronti ed eventualmente effettuare rielaborazioni.

Agli inizi degli anni '90 il rapido sviluppo di numerosi strumenti software è stato accompagnato dal difficile scambio e confronto di dati tra soggetti differenti, poiché i vari database utilizzavano metodi e formati diversi sia per la raccolta che per la rappresentazione delle informazioni. Questo problema è stato rimediato con la creazione di un formato standard per i dati LCA. Attualmente sono due i formati presenti:

- formato SPINE (*Sustainable Product Information Network for the Environment*), sviluppato dalla CPM (Centre for Environmental Assessment of Product and Material System) dal 1993 al 1995;
- formato SPOLD, sviluppato dalla omonima società SPOLD (Society for Promotion of Life cycle Development) dal 1994 al 1997.

Lo sviluppo di questi formati vuole standardizzare le caratteristiche dei dati per un'applicazione LCA mediante la definizione di una struttura comune che contiene, oltre all'informazione numerica del dato in sé, anche informazioni sulla fonte e sull'applicabilità ad altri studi (*metadati*).

Entrambi i formati rispecchiano i requisiti di qualità dei dati quali la precisione, la coerenza, la rappresentatività e l'identificazione di caratteri spaziali, temporali e tecnologici.

Il formato SPOLD si distingue però per una maggiore complessità e un più alto dettaglio delle informazioni richieste, risulta quindi fruibile soprattutto da esperti di LCA a causa di un linguaggio più tecnico del formato SPINE.

Si riporta di seguito un elenco dei principali database per Life Cycle Inventory.

NOME	ORGANIZZAZIONE	TIPOLOGIA DATI
<i>ECOINVENT</i>	Institute for Energy Technology ETH Zentrum, Zurich, Svizzera	Sistemi energetici Produzione di energia
<i>BUWAL 250</i>	Institute of Process Engineering and Cryogenics ETH Zentrum, Zurich, Svizzera	Produzione, distribuzione e smaltimento dei materiali da imballaggio
<i>IVAM</i>	IVAM Environmental Research, Amsterdam, Olanda	Settore delle costruzioni Attività estrattive
<i>FEFCO</i>	FEFCO, rue d'Amsterdam, Paris, Francia	Produzione di carta e cartone ondulato
<i>VITO</i>	VITO, Flemish Institute for Technological Research, Boeretabg 200, Belgio	Materiali (plastica, metalli, tessili) e processi (elettricità, trasporto materie prime)
<i>GaBi</i>	Institut für Kunststoffkunde und Kunststoffprüfung, Universität Stuttgart, Germania	Processi industriali, trasporti, estrazione, manutenzione, usura, fonti energetiche, plastica, metalli, riciclaggio
<i>PEMS</i>	Packaging Industry Research Association (PIRA) Leatherhead, Surrey, Regno Unito	Diversi materiali e energia, trasporti e gestione dei rifiuti
<i>IDEMAT</i>	Delft University of Technology, Jaffalaan 9, Delft, Olanda	Diversi materiali, processi e componenti. Indicato per progettisti
<i>LCAiT</i>	CIT Chalmers Industriteknik Chalmers Teknikpark, Göteborg, Svezia	Svariati processi produttivi, trasporti, produzioni energetiche
<i>UMBERTO</i>	IFE Institut für Umweltinformatik, Hamburg GmbH, Germania	Produzione vari materiali ed energia, trasporti e trattamento rifiuti
<i>TEAM/DEAM</i>	Ecobilan Ecobalance, Omega Drive, Suite 220 Rockville, Maryland, Regno Unito	Carta, plastica e materiali petrolchimici, composti chimici inorganici, acciaio, metalli, vetro, energia, trasporti, rifiuti
<i>LCAD</i>	Battelle Memorial Institute, King Avenue Columbus, Ohio	Produzione/distribuzione combustibili ed energia. Carta, metalli, cemento, plastica
<i>EUKLID</i>	Fraunhofer-Institute for Process Engineering and Packaging IVV System Analysis, Freising, Germania	Dall'estrazione delle materie prime fino alla gestione rifiuti, fabbisogni energetici, trasporti

Tabella 4.8: Rassegna dei principali database per LCA.

Nell'LCA oggetto di questa tesi sono stati utilizzati dati provenienti dalla banche dati Ecoinvent e ELCD/PE. Di seguito viene fornita una breve descrizione dei due database suddetti.

Ecoinvent

La banca dati Ecoinvent è stata creata dall'Institute for Energy Technology ETH di Zurigo (CH). Contiene dati su quasi 4000 processi appartenenti ai seguenti settori industriali:

- Energia
- Trasporti
- Materiali da costruzione
- Chemicals
- Agenti di lavaggio
- Carta
- Agricoltura
- Gestione dei rifiuti

La documentazione di tutti i processi prevede un'ampia descrizione della tecnologia e informazioni sull'incertezza dei dati.

ELCD

L'European Reference Life Cycle Database(ELCD) fa parte del più ampio progetto della Commissione Europea di creazione di una piattaforma europea sull'LCA. Il progetto è condotto dal Commission's Joint Research Centre in collaborazione con DG Environment.

ELCD contiene dati su processi di

- produzione materiali;
- produzione energia;
- trasporti;
- gestione dei rifiuti.

La documentazione allegata ai processi fornisce informazioni sulla qualità dei dati, la consistenza e l'applicabilità degli stessi.

I dati contenuti database ELCD contribuiranno alla creazione del database internazionale ILCD.

4.3.2 GaBi 4.3

Lo studio di LCA prodotto in questo lavoro di tesi è stato realizzato tramite l'ausilio del software tedesco GaBi4.

Con GaBi è possibile compiere una valutazione del Ciclo di Vita di un prodotto o servizio con approccio “dalla culla alla tomba”, conformemente alla normativa relativa alla metodologia contenuta nella serie ISO 14040.

In GaBi il sistema in analisi viene schematizzato attraverso un diagramma di flusso visualizzato con l'aiuto dei diagrammi di Sankey in cui le caselle di testo rappresentano i processi e le frecce che li collegano i relativi flussi. Il suddetto diagramma, chiamato “plan” in GaBi, rappresenta la descrizione più generale delle fasi del ciclo di vita dell'oggetto dello studio. Ogni fase verrà poi descritta attraverso un nuovo plan specifico per quello stadio del ciclo di vita e così via fino a giungere al grado di dettaglio sufficiente per il raggiungimento degli obiettivi stabiliti per lo studio. Questo modello a scatole cinesi rappresenta una descrizione molto intuitiva del sistema in esame: un semplice doppio clic su una delle caselle del diagramma che indica una particolare fase del ciclo di vita permette di visualizzare i processi contenuti in tale stadio.

La semplicità con cui l'utente interagisce con il software e la completezza dei suoi database fanno di GaBi uno programma di LCA molto valido. Oltre che un potente strumento per la realizzazione di studi di LCA, GaBi è un ottimo supporto all'eco-design. Infatti attraverso la parametrizzazione dei dati di input permette di ottenere diversi scenari di impatto a seconda del valore scelto per ogni parametro. Tale funzione può essere molto utile in fase di progettazione poiché consente la valutazione in termini di impatti prodotti in riferimento a diverse strategie progettuali.

Inoltre GaBi consente una valutazione economica (LCC – Life Cycle Costing) e una valutazione dei costi sociali (LCWT – Life Cycle Working Time) lungo l'intero ciclo di vita del sistema studiato. In definitiva questo

software non è solamente un valido strumento di calcolo per supportare studi di LCA, ma è uno strumento che permette di includere oltre agli aspetti ambientali quelli economici e sociali in un'analisi integrata, proprio come suggeriscono le linee concettuali alla base dell'eco-progettazione e del Life Cycle Thinking più in generale.

Il software mette a disposizione dell'utente una banca dati contenente più di 3000 flussi e consente di crearne di nuovi. Anche il database relativo ai processi industriali è molto ricco e flessibile: è infatti possibile modificare alcuni parametri dei processi in modo da poter analizzare rapidamente diversi scenari, tenendo conto della tecnologia disponibile o di quella che si prevede di introdurre nel processo. Tutti i processi disponibili sono accompagnati da descrizioni dettagliate sulla qualità dei dati, dalle modalità di raccolta alle tecnologie industriali di riferimento.

Il calcolo dei bilanci ambientali ed economici relativi all'intero ciclo di vita del sistema è automatico e può essere riportato secondo modalità differenti:

- variando la tipologia di bilancio (massa, energia, quantità ambientali);
- mostrando i differenti livelli del ciclo di vita e il contributo dei singoli flussi e processi;
- visualizzando non solo i valori assoluti ma anche i contributi percentuali relativi ad ogni flusso o ad un sotto-stadio del ciclo.

GaBi permette di realizzare automaticamente anche le fasi di Normalizzazione e Pesatura e di scegliere tra diverse categorie di impatto e tra 7 metodi di valutazione:

- ✓ CML 2001
- ✓ CML 1996
- ✓ EI 99
- ✓ EI 95
- ✓ UPB
- ✓ IO2+

I risultati della valutazione possono essere visualizzati sottoforma di grafici, le cui impostazioni (tipologia, colori, etichette, ecc.) possono essere modificate a piacimento evitando il ricorso ad altri programmi. Tuttavia è possibile importare ed esportare singoli oggetti del software da/ad altri programmi come ad esempio Excel.

5. IL CASO STUDIO DI CARPIGIANI

Il Carpigiani Group è una delle aziende storiche del territorio bolognese ed in virtù di una quota di mercato pari al 46%, rappresenta oggi il leader mondiale nel settore della produzione di macchine per gelato tradizionale.

Nel mercato globale sono attive circa 500.000 macchine Carpigiani che producono circa 100 milioni di gelati ogni giorno.

La presenza del Carpigiani Group in oltre 100 paesi del mondo, conferma giorno per giorno la posizione di leadership nei settori del gelato artigianale, yogurt gelato, granite e panna montata.

La filosofia aziendale, basata sull'innovazione continua dei prodotti, ha ispirato al reparto di ricerca della Carpigiani un rinnovamento progressivo nella concezione delle macchine, capace di anticipare i trend di mercato. Sotto la spinta dei vertici aziendali, che hanno individuato nel mercato in crescita dei prodotti "verdi" un'opportunità di sviluppo, la sezione progettuale ha intrapreso la realizzazione di una nuova tecnologia per gli impianti frigoriferi che abbracci i criteri di sostenibilità suggeriti dall'Unione Europea (capitolo 2)

Il progetto, attualmente ancora in fase di sviluppo, prevede un ripensamento della catena del freddo nella macchina per la produzione di gelato soft e shake conosciuta con il nome commerciale di K3. Nello specifico la macchina attualmente in produzione prevede il ricorso ad un ciclo di refrigerazione a compressione di vapore classico tramite l'R404A, un fluido refrigerante il cui impatto ambientale, in particolare per quanto riguarda l'effetto serra è noto e rilevante (maggiori dettagli sull'R-404A verranno fornite nel paragrafo 5.2). Nella nuova versione della macchina (che da questo momento in avanti indicheremo con Eco-K3) si intende sostituire questo refrigerante sintetico, appartenente alla famiglia degli HFC, con

l'adozione di diossido di carbonio in un ciclo transcritico in bassa temperatura.

5.1 Carpigiani e la variabile ambiente.

In un'ottica di miglioramento continuo come motore delle dinamiche aziendali, l'approdo ad una tecnologia del freddo basata su un refrigerante ecologicamente vantaggioso appare la naturale conclusione di un processo iniziato in Carpigiani negli anni passati con la sostituzione dei CFC e degli HCFC, composti che causano una forte diminuzione dell'ozono troposferico, con gli idrofluorocarburi (HFC), il cui potenziale distruttivo dello strato di O₃ può considerarsi pari a zero.

Il motore dell'innovazione che ha portato alla sostituzione dei CFC e degli HCFC nelle macchine Carpigiani con gli HCF, è stato il regolamento comunitario 2037/2000 sulle sostanze responsabili dell'assottigliamento dello strato di ozono entrato in vigore il 1° ottobre del 2000.

Il Regolamento ha obbligato la cessazione della produzione di CFC dal 1° ottobre 2000 ed ha previsto il phase-out degli HCFC, con una riduzione progressiva dei volumi prodotti ed utilizzati in Europa che porti alla loro completa eliminazione dal mercato entro il 31 dicembre 2025.

Il Regolamento 2037/2000 prevede anche l'obbligo del recupero e dello smaltimento controllato sia dei CFC che degli HCFC.

L'Italia ha recepito quanto stabilito dagli articoli del Regolamento della Comunità Europea 2037/2000, con il decreto del Ministero dell'Ambiente del 3 ottobre 2001.

Nel caso del nuovo prodotto Eco-K3 non sono state le pressioni legislative a muovere Carpigiani verso la sfera della sostenibilità ma la spinta è arrivata da drivers differenti:

- la sensibilità ambientale dei consumatori in costante crescita e parallelamente il trend positivo di richiesta degli eco-prodotti nei

paesi più avanzati. In quest'ottica lo sviluppo di prodotti con migliori performance ambientali rappresenta per l'azienda un vantaggio competitivo nella conquista di nuovi spazi di mercato;

- la percezione delle tematiche ambientali non come limiti imposti dalle normative ma come possibilità di sviluppo ed innovazione. Concepire i prodotti in conformità alle direttive comunitarie, cercando di anticipare gli sviluppi della legislazione in materia di ambiente, pone l'azienda in una posizione di privilegio rispetto ai competitors;
- la possibilità di ottenere certificazioni che testimonino la sostenibilità della macchina. Questo facilita ed intensifica i rapporti con i partner commerciali attenti alle prestazioni ambientali dei propri fornitori.

L'innovazione di prodotto intrapresa con il progetto discusso in questo lavoro di tesi può intendersi come la materializzazione della nuova percezione della variabile ambiente in azienda.

Infatti Carpigiani intende affrontare le tematiche ambientali con un approccio maggiormente consapevole e con una programmazione di ampio respiro. La volontà è quella di rendere sistematico il ricorso alla filosofia del life cycle thinking e ai principi dell'eco-design e dei suoi strumenti (LCA).

L'azienda si attende da tale strategia benefici sia di breve che di lungo periodo.

Benefici immediati

Nel breve termine Carpigiani intende realizzare una macchina che concretizzi i criteri suggeriti dall'eco-design:

- ✓ sostituendo le materie prime inquinanti (eliminazione degli HFC in favore di diossido di carbonio);
- ✓ ottenendo una riduzione dei consumi della macchina anche in previsione della possibilità che le macchine frigorifere industriali in

un futuro prossimo divengano oggetto della normativa sulle apparecchiature ad alto consumo energetico (EuP);

- ✓ riducendo i materiali utilizzati (soprattutto materiali pregiati come il rame);
- ✓ realizzando un design della macchina che favorisca il disassemblaggio ed il recupero di materiali in conformità con la direttiva europea sui RAEE.

Centrare i quattro obiettivi appena elencati aprirà le porte per una certificazione ambientale di prodotto della Eco-K3 spendibile a livello di marketing e di certo apprezzata dai clienti di cui Carpigiani è fornitore. Uno dei maggiori acquirenti di prodotti Carpigiani ha dimostrato il proprio interesse per la conversione delle macchine frigorifere alla tecnologia del CO₂ aderendo al programma “Refrigerant, Naturally!”. Quest’iniziativa, supportata da Greenpeace e dalla Commissione delle Nazioni Unite sullo Sviluppo Sostenibile, promuove la sostituzione dei refrigeranti sintetici con fluidi frigoriferi naturali (in particolare diossido di carbonio) e sostiene lo sviluppo di tecnologie nel campo della refrigerazione che necessitino di minori consumi energetici in fase d’uso rispetto a quelle attualmente diffuse.

Benefici di lungo periodo

In virtù dei primi positivi risultati che si delineano all’orizzonte, Carpigiani intende proseguire il processo iniziato con la Eco-K3 investendo con la filosofia del life cycle thinking tutti i settori aziendali.

- ✓ Programmare in un’ottica di ciclo di vita ed elevare le considerazioni ambientali al medesimo status degli altri fattori abitualmente considerati nel campo aziendale (profitto, estetica, ergonomia, costi, qualità, ecc) potrà favorire oltre che l’innovazione dei prodotti (Eco-K3) anche un’innovazione di processo ad esempio attraverso la riorganizzazione di alcuni aspetti della produzione.

- ✓ Ragionare in un'ottica di ciclo di vita incoraggia il confronto tra settori dell'azienda che in una visione tradizionale dell'impresa non interagiscono. Da ciò scaturiscono dinamiche nuove che possono essere il motore per la formulazione di ulteriori progetti di innovazione.
- ✓ Ottimizzare le prestazioni aziendali nel campo ambientale riducendo le materie prime utilizzate, aumentando la frazione di materiale riciclato e ricorrendo ad una gestione ottimizzata del fine vita dei prodotti, implica una sensibile riduzione sia dei costi di esercizio e che di produzione.

Carpigiani e l'Analisi del Ciclo di Vita

Lo strumento scelto da Carpigiani per intraprendere l'implementazione delle le strategie di tutela dell'ambiente delineate nel precedente paragrafo è la Life Cycle Assessment a cui è dedicato il capitolo 4.

Attraverso una LCA comparativa, che prevede il confronto tra l'attuale K3 e la sua nuova versione maggiormente eco-compatibile, sono stati individuati gli hot spot della macchina oggi in produzione le possibilità di miglioramento applicabili alla Eco-K3.

Tale analisi infatti rappresenta una parte integrante del processo di sviluppo del prototipo. Infatti i risultati della LCA comparativa tra i due macchinari servono a confermare se la direzione seguita nella progettazione è effettivamente quella che comporta una riduzione degli impatti. In secondo luogo attraverso un ciclo check and do circolare, l'LCA e l'eco-progettazione concorrono alla crescita del profilo ambientale della macchina secondo uno sviluppo step by step.

Va sottolineato poi, che l'analisi del ciclo di vita oltre ad essere uno strumento completo e funzionale alla progettazione, è basata su una metodologia condivisa ed accettata. Queste caratteristiche del metodo permetteranno, nel momento in cui la nuova Eco-K3 sarà pronta per la

commercializzazione, la realizzazione di una LCA completa e dettagliata sul macchinario che permetterà l'acquisizione di certificazioni ambientali e la redazione di comunicazioni di marketing.

5.2 La macchina per gelato K3 di Carpigiani

La K3 è il prodotto Carpigiani più avanzato per la produzione combinata di gelato soft e gelato shake. La macchina (di cui viene proposta una fotografia in appendice) è costituita da due parti modulari pressoché identiche che assolvono alla funzione di produzione, mantecazione e pastorizzazione del gelato shake da una parte e del gelato soft dall'altra.

Il peso complessivo della K3 è di 395 kg e le dimensioni complessive della macchina sono riportate nella figura 4.1.

Il telaio che sostituisce la struttura portante della K3 è in ferro verniciato mentre le parti accessorie come i rubinetti per l'erogazione della miscela o i coperchi delle vasche sono composti per la quasi totalità da plastiche.

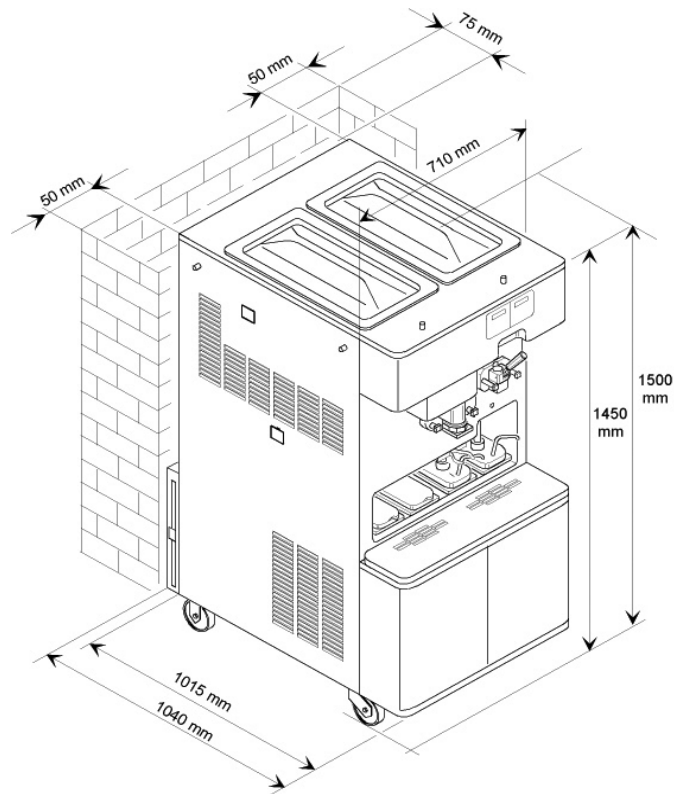


Figura 5.1: La macchina per gelato K3 di Carpigiani.

Come è possibile vedere nello schema dell'impianto frigorifero di figura 4.2 ciascuna delle due parti speculari che compongono la macchina prevede nella zona superiore:

- due evaporatori vasca per la conservazione e pastorizzazione della miscela;
- due evaporatori cilindro per la produzione di gelato soft e milk shake muniti al loro interno di due agitatori raschiatori motorizzati e collegati alle vasche mediante un condotto che consente il passaggio della miscela gelato mediante l'utilizzo di pompe.

L'impianto frigorifero è completato da due compressori semiermetici alterativi (componente numero 168 della figura 5.2), due pressostati (177) che fermano i compressori se la pressione di mandata supera un certo valore prestabilito, due condensatori che raffreddano il gas in uscita dai compressori impiegando una corrente d'aria generata da due ventole motorizzate (170).

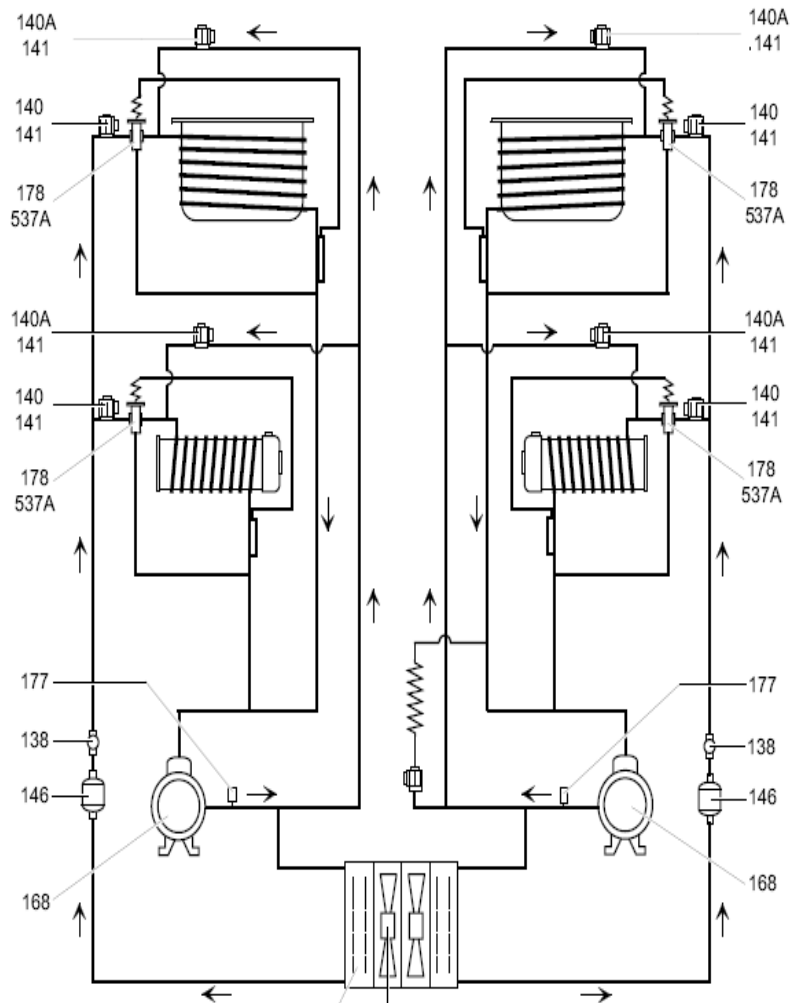


Figura 5.2: Schema dell'impianto frigorifero della K3.

Il controllo dei processi di produzione, mantecazione e pastorizzazione della miscela è regolato da un sistema elettronico che utilizza una facile interfaccia per la programmazione.

Il processo frigorifero applicato è un ciclo a compressione di vapore di letteratura che opera tra 1,3 bar e 17 bar.

Tramite un'inversione di ciclo, l'impianto frigorifero della K3 funziona da pompa di calore e permette di riscaldare la miscela gelato durante il processo di pastorizzazione.

Il refrigerante utilizzato nel ciclo è l'R-404 A, una miscela di fluidi di origine sintetica appartenenti alla categoria degli HFC, la cui composizione espressa in percentuali in massa viene riportata di seguito:

- 52% di R-143 = 1,1,2 trifluoroetano
- 44% di R-125 = pentafluoroetano
- 4% di R-134 a = 1,1,2,2 tetrafluoroetano

L'R-404 A insieme all'R-134 a è uno dei fluidi frigoriferi maggiormente utilizzati nel panorama delle macchine frigorifere. Entrambi presentano un potere di assottigliamento dello strato di ozono (ozone depletion) pressoché nullo, ma di contro contribuiscono in maniera significativa al riscaldamento globale: l'R-134 a ha un valore di GWP pari a 1300 kg di CO₂ equivalente, mentre l'R-404A ha un GWP pari a 3260 kg di CO₂ equivalente (Bovea, 2006). Per questo motivo quando la macchina giunge a conclusione della sua vita utile, l'R-404 A deve essere recuperato quando possibile, o termodistrutto nei casi in cui non sia previsto un riutilizzo del fluido per nuove applicazioni.

5.3 La macchina Eco-K3 di Carpigiani

Secondo quanto previsto dai programmi aziendali la Eco-K3 andrà a sostituire nel parco macchine di Carpigiani la K3 attualmente in produzione. Analogamente alla K3 presentata nel precedente paragrafo, la nuova macchina assolve alla duplice funzione di preparazione di gelato shake e gelato soft.

Le due macchine apparentemente risultano identiche:

- producono le stesse quantità di gelato negli stessi tempi;
- hanno una struttura esterna perfettamente uguale e lo stesso quadro elettronico per la programmazione delle fasi di preparazione della

miscela alimentare, della sua mantecazione e pastorizzazione attraverso l'inversione del ciclo frigorifero

- hanno una struttura modulare costituita da due parti pressoché speculari.

La differenza sostanziale tra le due macchine è rappresentata dall'impianto frigorifero.

La nuova catena del freddo della Eco-K3 di Carpigiani prevede l'utilizzo di diossido di carbonio quale fluido frigorifero in un ciclo transcritico in bassa temperatura. Lo schema impiantistico del circuito di refrigerazione è stato ovviamente modificato per permettere la realizzazione del ciclo suddetto. Prima di focalizzare l'attenzione sui dettagli tecnici dell'innovazione sviluppata da Carpigiani verrà presentato un breve excursus sulle caratteristiche di alcuni refrigeranti con un approfondimento sulle potenzialità ed i limiti della CO₂ come fluido frigorifero, al fine di poter meglio comprendere il lavoro svolto dai tecnici sulla Eco-K3.

5.3.1 I fluidi frigoriferi.

Il diossido di carbonio, indicato con la sigla R-744 nel campo della refrigerazione, è stato ampiamente utilizzato quale fluido frigorifero fino alla prima metà del secolo scorso per le sue caratteristiche di non tossicità, non infiammabilità ed ampia disponibilità. Tuttavia, le elevate pressioni di esercizio che ne caratterizzano l'impiego ne hanno causato il progressivo abbandono a favore dei fluidi di origine sintetica (CFC, HCFC, HFC), caratterizzati da pressioni di lavoro estremamente più contenute.

Purtroppo le ottime caratteristiche tecniche dei fluidi refrigeranti di sintesi non sono supportate da altrettanto buone prestazioni sotto il profilo ambientale:

- i clorofluorocarburi (CFC) e gli idroclorofluorocarburi (HCFC) presentano un elevato potenziale dannoso nei confronti dello strato

di ozono (i CFC in maniera particolare) ed apportano un considerevole contributo all'aumento del riscaldamento globale (global warming). Basti pensare che il rilascio in atmosfera di una tonnellata di HCFC-22 equivale all'effetto serra causato da 1500 di CO₂ (tabella di figura 4.3);

- gli idrofluorocarburi (HFC) sono caratterizzati un potenziale di ozono depletion molto più basso sia dei CFC che degli HCFC (pressoché pari a zero) ma apportano un contributo all'effetto serra ugualmente elevato come mostra la tabella 5.1

Sostanza	GWP
CFC R-11	4000
HCFC R-22	1500
HFC R-134a	1300
HFC R-404A	3260

Tabella 5.1: Valori di Global Warming Potential (kg di CO₂ equivalente) di alcuni refrigeranti.

In virtù di queste considerazioni e delle progressive restrizioni sull'uso dei refrigeranti sintetici volte a limitare l'assottigliamento dello strato di ozono (protocollo di Montréal, 1987) ed a contenere l'immissione nell'atmosfera di gas serra (protocollo di Kyoto, 1997), il settore della refrigerazione ha cercato nuove soluzioni in fluidi eco-compatibili che garantissero le stesse possibilità tecniche dei loro predecessori sintetici.

L'attenzione degli operatori si è focalizzata su:

- idrocarburi (ad esempio il propano)
- ammoniaca
- diossido di carbonio

Gli *idrocarburi* presentano impatti legati alla produzione maggiori di quelli di CO₂ ed NH₃ oltre ad una vasta schiera di operatori che manifestano preoccupazioni per la sua infiammabilità.

L'*ammoniaca* ha molte ottime qualità:

- un altissimo valore del coefficiente di conduttività termica del liquido, che permette di realizzare elevati coefficienti di scambio termico;
- una bassissima densità della fase vapore, che limita le perdite per laminazione attraverso le valvole dei compressori alternativi.

D'altra parte l'incompatibilità con il rame e la sua tossicità ed infiammabilità (caratteristiche queste ultime che rendono obbligatorie misure di sicurezza) ne limitano le sue applicazione industriali.

5.3.1.1 Il diossido di carbonio

Il *diossido di carbonio* presenta numerose caratteristiche che ben si prestano alla progettazione e alla realizzazione di impianti di refrigerazione:

- è abbondantissimo in natura ed è un prodotto di scarto di numerosi processi industriali, dunque è facilmente reperibile e poco costoso;
- ha un bassissimo impatto ambientale se paragonato ai refrigeranti maggiormente diffusi: il suo valore di ozono depletion è pari a 0 mentre il global warming potential è 1;
- è compatibile con tutti i materiali e gli oli lubrificanti più comunemente utilizzati negli impianti di refrigerazione;
- non è infiammabile dunque non necessita di particolari accorgimenti per garantire la sicurezza dell'impianto;
- non è tossico quindi non danneggia i prodotti congelati in caso di fughe che interessino gli ambienti dove vengono conservati i prodotti;
- ha un elevato effetto frigorifero volumetrico che permette di avere componenti più piccoli per ottenere lo stesso effetto. In particolare a parità di condizioni è possibile ricorrere a compressori compatti e a piccola corsa che rendono trascurabile l'effetto negativo di perdite di carico attraverso le valvole;

- ha proprietà termodinamiche molto buone che favoriscono la realizzazione di elevati coefficienti di scambio negli scambiatori con la conseguente possibilità di ridurre le dimensioni;
- possiede un elevato valore del calore di vaporizzazione volumetrico (calore latente di vaporizzazione diviso per il volume specifico del vapore saturo secco) che rende necessario un basso valore della portata volumetrica per produrre una fissata potenza frigorifera. Questo implica l'utilizzo di tubazioni con piccole sezioni con conseguente riduzione del materiale utilizzato.

5.3.1.2 I cicli frigoriferi del diossido di carbonio

La CO₂ nella refrigerazione è utilizzata in tre differenti cicli, di cui solo due implicano la presenza di compressori (Giuliani, 2007):

1. CO₂ usata come refrigerante secondario
2. Sistemi a cascata subcritici
3. Sistemi transcritici

Nei sistemi che utilizzano diossido di carbonio come refrigerante secondario, questo viene fatto circolare per mezzo di pompe e nel circuito non è usato alcun compressore. I vapori generati per mezzo dell'evaporatore sono successivamente condensati per mezzo di un refrigerante primario che di cui si vuole limitare la carica perché dannoso per l'ambiente nel caso di un fluido sintetico o a causa della sua tossicità e infiammabilità nel caso di ammoniacca.

I sistemi subcritici a cascata sono utilizzati sia nella refrigerazione commerciale che in quella industriale. Rispetto ai sistemi in cui la CO₂ è usata come refrigerante secondario la pompa viene sostituita da un compressore. Le caratteristiche del sistema danno una temperatura ottimale a cui la CO₂ viene condensata.

Il ciclo transcritico, che è il ciclo utilizzato nella macchina Eco-K3 di Carpigiani, avviene tra due isobare, la prima delle quali a pressione

inferiore al valore critico (evaporatore), l'altra a pressione superiore al valore critico (gas cooler).

Dal momento che il CO₂ presenta una temperatura critica molto bassa (31°C), prossima a quella ambiente estiva dei paesi a clima temperato, il rigetto del calore all'ambiente esterno non comporta la condensazione del fluido frigorifero, ma piuttosto il raffreddamento progressivo di una fase gassosa densa. Nell'impianto a diossido di carbonio non sarà quindi presente un condensatore, ma un refrigeratore di gas denso, detto refrigeratore di alta pressione o gas-cooler.

5.3.2 L'impianto frigorifero della Eco-K3

Come nell'impianto frigorifero della K3, il prototipo della Eco-K3 prevede quattro evaporatori:

- 2 vasche per la conservazione e pastorizzazione della miscela;
- 2 cilindri per la produzione di gelato soft e milk shake muniti al loro interno di due agitatori raschiatori motorizzati e collegati alle vasche mediante un condotto che consente il passaggio della miscela gelato mediante l'utilizzo di pompe.

Il ciclo a cui ricorre la macchina per il raffreddamento dei cilindri e delle vasche, è un ciclo transcritico di diossido di carbonio che lavora tra la pressione minima di 15 bar e quella massima di 75 bar. Dunque, come già accennato nel paragrafo precedente, il sistema di refrigerazione non comprende un condensatore ma un refrigeratore di gas denso, il gas-cooler.

L'anidride carbonica dunque passa da una pressione inferiore alla sua pressione critica ad una pressione superiore al valore critico.

La compressione del fluido ne comporta necessariamente un aumento di temperatura. Conseguentemente, il refrigerante entra nel gas-cooler dove abbassa la propria temperatura a pressione costante, sino alla fase gassosa densa, cedendo calore all'ambiente.

Successivamente, per effetto di una laminazione, il diossido di carbonio subisce un'espansione adiabatica dalla pressione superiore a quella inferiore.

Il fluido frigorifero entra quindi in un evaporatore per assorbire il calore dal contenitore del prodotto alimentare, completando così il ciclo termodinamico con una fase di riscaldamento isobaro.

Il compressore utilizzato è di tipo bi-stadio (per parzializzare il salto di pressione mantenendo un unico corpo componente) interrefrigerato.

Il compressore, nell'attuale stadio di avanzamento del prototipo, presenta dimensioni e peso maggiori del suo predecessore montato sulla K3. Si prevede che l'ottimizzazione delle prestazioni del ciclo frigorifero della Eco-K3 possano portare ad una riduzione di peso, e quindi di materiali impiegati nel compressore, con ripercussioni positive sugli impatti prodotti dalla macchina come verrà meglio documentato nel capitolo riguardante lo studio di LCA comparativa tra i due macchinari.

Con riferimento al gas-cooler, quest'ultimo è posto in comunicazione di fluido con il compressore ed è disposto a valle di quest'ultimo.

Il raffreddamento del fluido avviene per mezzo di aria. Infatti il gas-cooler comprende un radiatore in cui scorre il fluido frigorifero compresso e caldo ed una ventola per generare un flusso di aria atto ad asportare calore dal fluido.

Il sistema di refrigerazione comprende inoltre più organi di laminazione disposti a valle del dispositivo di raffreddamento della CO₂ compressa per realizzare la citata fase di espansione adiabatica del ciclo transcritico.

I già citati evaporatori sono in collegamento di fluido con gli organi di laminazione per ricevere da questi il fluido frigorifero espanso e realizzarne il riscaldamento.

Come già accennato, tale fase implica l'asportazione di calore dal contenitore della miscela al fine di mantenere quest'ultima alla temperatura ideale per la sua preparazione e conservazione.

Va sottolineato che anche in seguito all'espansione e al riscaldamento, il biossido di carbonio rimane allo stato gassoso denso non subendo alcuna transizione di fase.

In uscita dagli evaporatori, il sistema di refrigerazione comprende un filtro per intercettare un'eventuale porzione di fluido in fase liquida così da preservare il compressore da possibili avarie causate dalla presenza di liquido nell'aspirazione.

A valle del filtro e subito a monte del compressore è posto uno scambiatore intermedio di calore come indicato nella figura 5.3 che riporta lo schema di impianto di una delle due unità modulari di cui è costituita la macchina frigorifera della Eco-K3.

Il suddetto scambiatore intermedio innalza la temperatura del fluido in aspirazione al compressore per aumentare l'efficienza della fase di compressione.

Lo scambiatore intermedio di calore è di tipo controcorrente, in cui il flusso di fluido frigorifero espanso viene raffreddato prima del suo ingresso al compressore dal flusso di fluido frigorifero compresso in uscita dal dispositivo di raffreddamento.

L'impianto inoltre comprende mezzi di controllo della pressione del diossido di carbonio. Tali mezzi di controllo verificano che la pressione della gas frigorifero non superi un determinato valore di sicurezza precedentemente impostato. Tra i mezzi di controllo è previsto almeno un pressostato disposto subito a valle del compressore (punto in cui si verifica il massimo valore di pressione) che con un meccanismo retroattivo, all'approssimarsi del valore massimo stabilito per la pressione diminuisce la potenza termica fornita al fluido frigorifero durante la compressione.

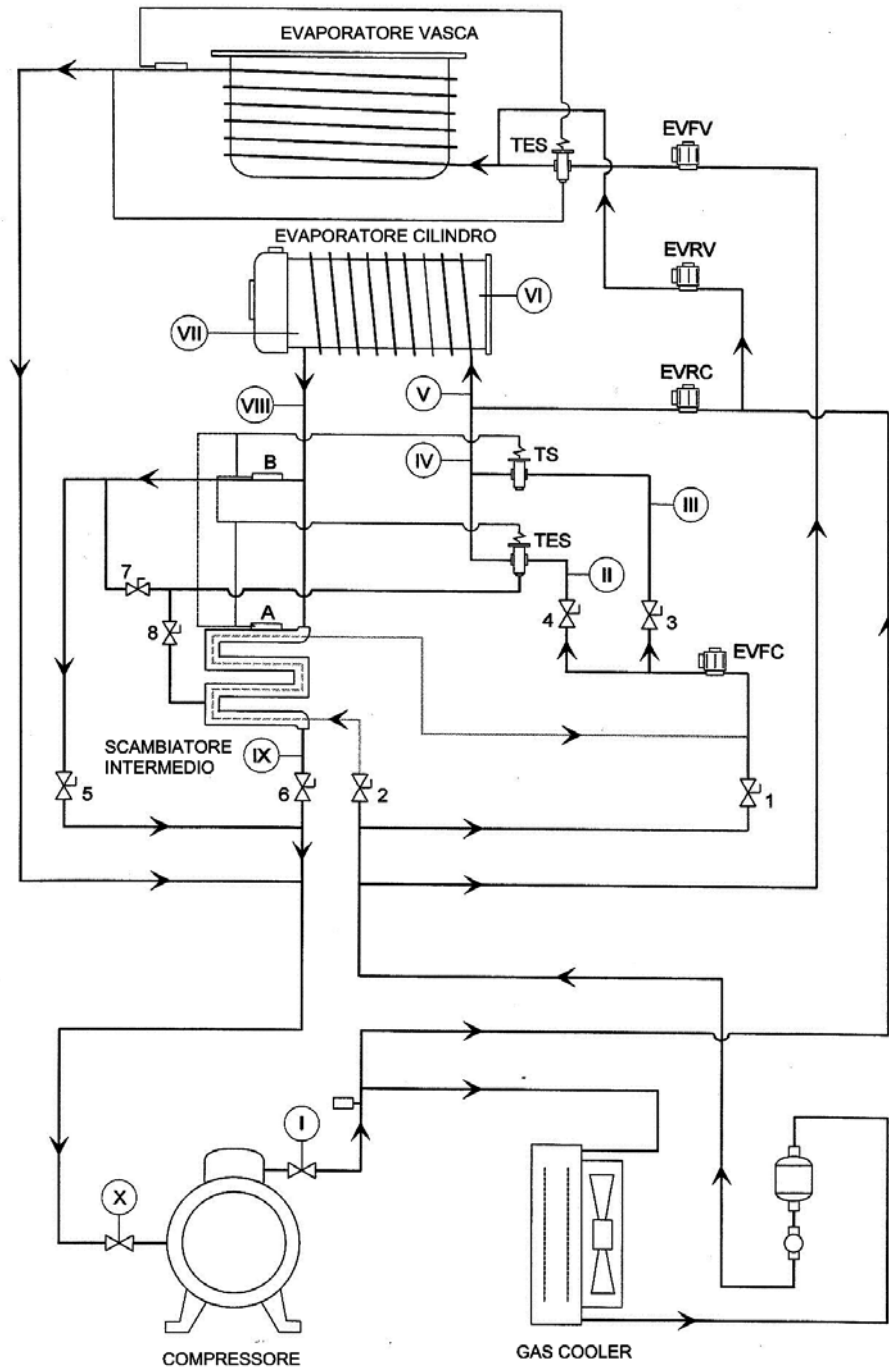


Figura 5.3: Schema dell'impianto frigorifero della Eco-K3.

6. STUDIO DI LCA COMPARATIVA: il caso Carpigiani.

6.1 Introduzione

La messa al bando dei CFC, la futura eliminazione dal mercato degli HCFC prevista per dicembre 2025 (Regolamento 2037/2000 CE) e le preoccupazioni che destano gli HFC in relazione al loro elevato contributo all'aumento della temperatura globale, hanno recentemente spinto l'industria del settore della refrigerazione a cercare soluzioni alternative ai refrigeranti sintetici che garantiscano un minore impatto ambientale (idrocarburi, ammoniaca, diossido di carbonio).

Gli studi in questo senso vengono condotti parallelamente su due fronti. Da una parte le sperimentazioni volte ad avvalorare la validità tecnica dei nuovi refrigeranti (rendimenti di ciclo, volumi in gioco dei componenti dell'impianto frigorifero), dall'altra le analisi che confortino le ipotesi di migliori performance ambientali degli stessi.

Tra gli strumenti di analisi ambientale utilizzati nella letteratura riferita al campo della refrigerazione vi è la valutazione del ciclo di vita (LCA). Il carattere trasversale dell'LCA, che considera tutti gli impatti durante il ciclo di vita del prodotto, dall'estrazione delle materie prime per la produzione fino allo smaltimento finale, permette una valutazione integrale delle prestazioni ambientali del fluido. Questo evita considerazioni affrettate sulla migliore qualità ambientale di un fluido refrigerante rispetto ad un altro dettate dalla valutazione degli impatti riferita solo a particolari fasi del ciclo di vita o alla fattibilità tecnica del suo utilizzo.

E' importante sottolineare che il fluido in analisi deve essere visto come "componente" del più ampio sistema rappresentato dalla macchina

frigorifera. Le caratteristiche del fluido, infatti, influiscono sui volumi in gioco nell'impianto frigorifero e dunque sui materiali utilizzati.

Inoltre il rendimento del ciclo in cui tale fluido viene sfruttato, condiziona fortemente i consumi dell'impianto frigorifero. Aspetto questo non trascurabile, considerando che le macchine per la produzione del freddo sono macchine ad elevati consumi energetici (EuP, capitolo 2).

6.2 L'Analisi del Ciclo di Vita nel campo delle macchine frigorifere.

A conferma delle considerazioni precedenti, va detto che la maggior parte degli studi presenti in letteratura nel campo delle macchine frigorifere tende ad evidenziare come gli impatti derivanti dai consumi nella fase d'uso siano una parte preponderante degli impatti prodotti lungo l'intero ciclo di vita.

In "Analisi comparativa dell'indice TEWI di Idrofluorocarburi (HFC) e Idrocarburi (HC) per apparecchi di refrigerazione domestica" (Masoni, 2000) l'autore dimostra l'importanza del destino dei fluidi frigoriferi a fine vita e dell'efficienza energetica dei cicli che sfruttano tali fluidi.

L'ottimizzazione di questi due aspetti, considerando un tempo di vita utile del macchinario sufficientemente lungo, può rendere maggiormente valido da un punto di vista ambientale l'utilizzo di fluidi refrigeranti con valori di GWP più elevati ma con un'efficienza di ciclo migliore.

Anche lo studio condotto nel 2004 da R.W. Johnson, dal titolo "The effect of blowing agent choice on energy use and global warming impact of a refrigerator", pur focalizzando l'attenzione sulle schiume isolanti e non sui fluidi refrigeranti, sottolinea il peso che il consumo energetico ha nella fase d'uso di una macchina frigorifera sugli impatti riferiti all'intero ciclo di vita. Anche nel lavoro di Johnson viene dimostrata l'importanza dei

trattamenti di fine vita per le apparecchiature frigorifere utilizzando schiume isolanti a base di HFC.

6.3 Perché uno studio di LCA comparativa?

Uno studio di LCA comparativo non prende in considerazione tutti i flussi (di materia ed energia) e tutte le fasi del ciclo di vita comuni ai due (o più) oggetti dello studio che vengono posti a confronto.

Un'analisi comparativa quindi, focalizza l'attenzione solo sulle differenze esistenti tra i modelli rappresentativi della realtà fisica oggetto dello studio. In una LCA comparativa si confrontano i risultati ottenuti dal processo di analisi di ognuno dei due modelli in esame. Infatti le valutazioni derivanti dall'analisi di ogni modello preso singolarmente, hanno una significatività modesta proprio in relazione alle ipotesi attraverso le quali i modelli sono stati costruiti. Al contrario un confronto degli impatti dei due sistemi permette di evidenziare i punti di debolezza ed i miglioramenti derivanti da una delle due soluzioni proposte. Infatti, essendo il confronto delle prestazioni ambientali uno degli scopi dello studio, i componenti comuni sono ininfluenti ai fini dei risultati, proprio perché hanno gli stessi impatti ambientali

Nel caso della Carpigiani è stata effettuata un'analisi comparativa di LCA utilizzando il software GaBi, attraverso la costruzione di due modelli semplificati del ciclo di vita della K3 e della Eco-K3 in cui sono stati considerati solo i flussi e le fasi che differenziano i due macchinari.

Realizzare un'analisi di LCA completa di ognuno dei due macchinari sarebbe stato troppo dispendioso in termini di tempo in relazione allo scopo per il quale lo studio è stato intrapreso da Carpigiani.

I risultati dell'analisi, infatti, costituiscono una parte integrante del processo di eco-design e devono dunque essere forniti in tempi compatibili con i

tempi della progettazione, al fine di fornire delle indicazioni (anche di massima) ai progettisti sulle criticità ambientali individuate nel prototipo.

Data la necessità di uno scambio costante di informazioni tra analisti di LCA e progettisti che producesse un miglioramento incrementale continuo del prototipo, lo strumento individuato per l'analisi doveva essere snello, per ovviare al vincolo del tempo, e flessibile per rispondere al meglio alle esigenze dei tecnici di valutare le performances di scenari differenti.

L'analisi del ciclo di vita comparativa ben si presta ad assecondare entrambe le esigenze suddette e si pone in conformità con l'obiettivo dello studio che prevede la quantificazione dei miglioramenti delle prestazioni ambientali derivanti dalla sostituzione della K3 con la nuova Eco-K3.

6.4 Lo studio di LCA comparativa tra la K3 e della Eco-K3 di Carpigiani

6.4.1 Obiettivi dello studio e campo di applicazione dello studio

6.4.1.1 Obiettivi dello studio

Obiettivo di questo studio di LCA è il confronto delle prestazioni ambientali della macchina K3 con quelle del prototipo della Eco-K3 (sviluppo eco-compatibile dell'attuale K3). L'analisi è indirizzata a Carpigiani ed intende evidenziare i miglioramenti ambientali relativi al prototipo della Eco-K3 rispetto al modello attualmente in produzione ed individuare eventuali hot spot ambientali su cui intervenire con strategie di eco-design.

6.4.1.2 Unità funzionale

L'unità funzionale dello studio è una macchina per la produzione di gelato soft e shake ed il tempo di vita utile considerato per la macchina è di 10 anni.

6.4.1.3 Confini del sistema

L'analisi del ciclo di vita valuta gli impatti ambientali attraverso la quantificazione degli scambi tra il sistema oggetto dello studio e l'ambiente. E' perciò necessaria la definizione dei confini del sistema per valutare tutti i flussi in input dall'ambiente ed in output verso l'esterno.

Il ciclo di vita di entrambi i sistemi su cui si opera il confronto è stato studiato con un approccio "dalla culla alla tomba".

Trattandosi di una LCA comparativa, i due modelli costruiti per rappresentare la realtà fisica in esame contengono, all'interno dei rispettivi confini del sistema, solo quei flussi e quei processi che differiscono tra i due macchinari.

	K3	Eco-K3
Peso totale	395 kg	415 kg
Componenti in rame	35,20 kg	26,85
Fornitore rame	Udine	Verona
Compressori	80 kg	120 kg
Fluido refrigerante	2,94 kg R-404A	3 kg CO ₂
Consumi (10 anni)	4,6 E005 MJ	5,8 E005 MJ
Fine vita fluido	Incenerimento	rilascio in atmosfera

Tabella 6.1: Differenze tra la K3 e la Eco-K3.

Per i processi differenti individuati, i sistemi comprendono all'interno dei propri confini:

- i processi di estrazione e di produzione delle materie prime utilizzate nell'assemblaggio;
- i processi di assemblaggio, distribuzione, uso della macchina, nonché il suo trasporto al centro di smaltimento e i processi di smaltimento e recupero a fine vita;

- i processi di produzione ed uso dell'energia utilizzata nei processi produttivi, nella fase d'uso delle macchine frigorifere e nei processi di recupero dei materiali a fine vita;
- i processi di produzione ed uso del diesel consumato per i trasporti dei componenti della macchina in azienda e per i trasporti di distribuzione e di conferimento del macchinario al centro di smaltimento.

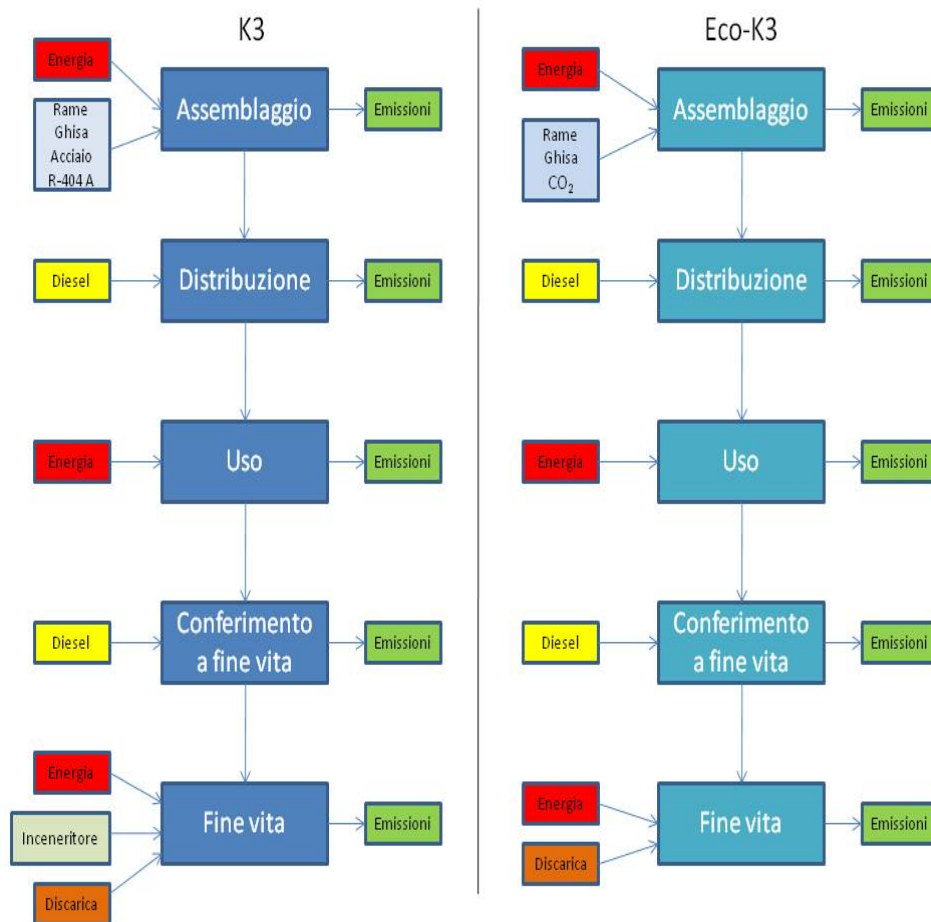


Figura 6.1: Digrammi di flusso del ciclo di vita della K3 e della Eco-K3.

Non fanno parte dei confini del sistema la costruzione del sito di produzione delle macchine, le infrastrutture, la produzione dei macchinari utilizzati e le attività del personale.

Il dettaglio della costruzione dell'inventario per tutte le fasi incluse nei confini del sistema verrà fornito nel paragrafo 6.4.2.

6.4.1.4 I dati

Nello studio sono stati utilizzati:

- *dati primari* forniti direttamente dalla Carpigiani, per quanto riguarda il peso dei materiali utilizzati nella fase di assemblaggio ed i consumi nella fase d'uso. I dati raccolti presso la Carpigiani, il cui stabilimento produttivo è sito nella provincia di Bologna, sono relativi al 2007 e la tecnologia a cui i dati si riferiscono è stata precedentemente descritta (capitolo 5);
- *dati secondari* ricavati da letteratura e da database specifici per LCA. Per coerenza dello studio e uniformità dei risultati, quando possibile è stata utilizzata la banca dati ELCD/PE (European Reference Life Cycle Database), limitando alla produzione del refrigerante nella fase di assemblaggio della K3 il ricorso alla banca dati Ecoinvent. Una breve descrizione di entrambi i database utilizzati nello studio è stata data nel capitolo 4.

Per i dati energetici è stato utilizzato il mix italiano di produzione dell'energia elettrica, fornito da database ELCD/PE (IT:power grid mix ELCD/PE GaBI, anno 2002), la cui ripartizione in percentuale tra le differenti forme di generazione energetica è riportata nella figura 5.1.

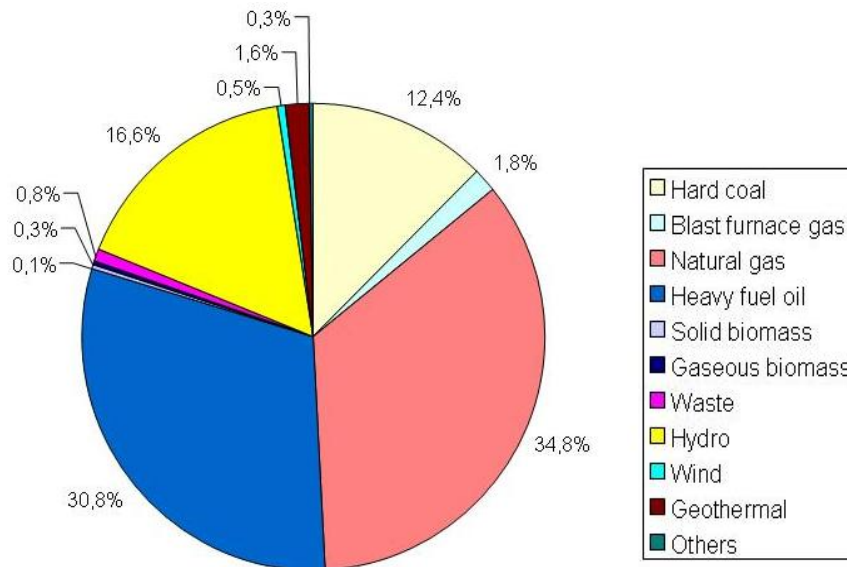


Figura 6.2: Mix energetico italiano come da database ELCD.

- *dati terziari*: provenienti da stime basate su processi simili presenti in letteratura. Si è fatto ricorso a dati terziari per la stima delle energie utilizzate e delle rese di recupero dei materiali nella fase di fine vita. Sia i dati secondari che quelli terziari sono relativi a studi condotti negli ultimi 10 anni e fanno riferimento al panorama europeo e alla tecnologia descritta nel capitolo 5 di questo lavoro di tesi.

I dati necessari per la costruzione dell'inventario rispondono ad un bilancio di massa. Sul bilancio totale è possibile applicare un cut-off, seguendo un criterio di massa che consente di escludere alcune quantità dal bilancio di massa (Raynold et al. 2000, ISO 14049).

Informazioni di maggior dettaglio sui dati utilizzati nello studio verranno fornite nella successiva fase di inventario, parallelamente alla descrizione particolareggiata delle fasi del ciclo di vita e dei processi contenuti in ognuna di queste.

6.4.1.5 Assunzioni dello studio

Viene di seguito fornito un elenco delle assunzioni fatte nello studio che saranno giustificate più precisamente nel capitolo dell'inventario all'interno della descrizione di ciascuna fase del ciclo di vita.

- ✓ E' stato effettuato un cut-off di massa dello 0,05% che ha escluso dall'analisi la spina, presente solo nella K3, che indica il tasso di umidità del fluido refrigerante e le valvole termostatiche presenti negli impianti frigoriferi di entrambe le macchine.
- ✓ E' stato supposto che il macchinario venga prodotto, distribuito, utilizzato e smaltito in Italia.
- ✓ Nella fase di assemblaggio sia della K3 che della Eco-K3 i componenti che differiscono tra i due macchinari ovvero compressori, condensatori e tubi in rame, sono stati assimilati ai materiali di cui sono costituiti (ed in particolare delle parti differenti tra i due macchinari) e pertanto sono stati inseriti i dati relativi alla produzione dei materiali stessi.
- ✓ Nella fase di assemblaggio della Eco-K3 è stata considerata la produzione sintetica di diossido di carbonio piuttosto che il recupero dello stesso come materiale di scarto di altri processi produttivi.
- ✓ Nella fase di assemblaggio della K3, il fluido frigorigeno considerato è R-134a in luogo del refrigerante effettivamente impiegato dalla macchina che è la miscela R-404A di cui l'R134a è uno dei componenti.
- ✓ Nella fase di distribuzione è stata supposta una distanza media di 500 km e l'utilizzo di un mezzo di trasporto tra le 14 ed le 20 tonnellate.
- ✓ Nella fase d'uso di entrambi i macchinari sono stati utilizzati i consumi per una produzione media giornaliera di gelato (i consumi sono differenti se si considera una produzione alta o bassa e questo verrà valutato con analisi di sensitività).

- ✓ Nella fase d'uso sono state considerate solo le perdite in fase di manutenzione legate alla sostituzione completa del fluido refrigerante e sono state trascurate le perdite parziali di fluido.
- ✓ Nella fase di raccolta e conferimento a smaltimento del macchinario è stata supposta una distanza percorsa di 100 km e l'utilizzo di un mezzo di portata compresa tra le 14 e le 20 tonnellate.
- ✓ Nella fase di fine vita di entrambi i macchinari è stato ipotizzato che il disassemblaggio del macchinario, il riciclo dei materiali e lo smaltimento (sia dei materiali che vanno in discarica che di quelli che vanno ad incenerimento) avvenga nello stesso sito.
- ✓ Nella fase di fine vita di entrambi i macchinari sono stati considerati rendimenti di recupero (per disassemblaggio macchinario e recupero materie prime) del 90% per il rame, la ghisa e l'acciaio.
- ✓ Nel fine vita di entrambe le macchine è stata considerata solo l'energia necessaria per il trattamento e recupero dei rottami di rame, ghisa e acciaio, ma è stata trascurata l'energia necessaria per il disassemblaggio.
- ✓ Nel fine vita della K3 è stato supposto l'incenerimento del fluido refrigerante.
- ✓ Nella fase di fine vita della K3 il processo di incenerimento del refrigerante è stato assimilato alla combustione di vetro in quantità equivalente alla quantità di fluido mandata a smaltimento.
- ✓ Nella fase di fine vita della Eco-K3 si è ipotizzato che il fluido refrigerante (CO₂) contenuto nella macchina mandata a smaltimento viene liberato in atmosfera.

6.4.1.6 Metodologia di valutazione dell'impatto ambientale

Il metodo di valutazione degli impatti utilizzato nel seguente studio di LCA è il CML 2001 aggiornato al dicembre 2007.

Il metodo “CML 2001-Dec.07” è stato sviluppato dal Centro di Scienze Ambientali (Institute of Environmental Sciences - CML) dell’Università di Leiden.

Le categorie d’impatto considerate in questo metodo riguardano:

1. Esaurimento delle risorse naturali.

Questo indicatore di categoria d’impatto, Abiotic Depletion Potential (ADP), è collegato all’estrazione di minerali e combustibili fossili quelli che sono gli input del sistema. Questo indice focalizza l’attenzione sull’impoverimento delle varie risorse piuttosto che sugli impatti ambientali causati dalla loro estrazione (ad esempio le emissioni di metano nell’estrazione del carbone). Il fattore di esaurimento delle risorse naturali è determinato per l’estrazione del minerale e del combustibile fossile (espresso in kg Antimonio equiv/kg estrazione) sulla concentrazione delle riserve e sul tasso di depauperamento. Questo rientra in un problema a scala globale.

2. Cambiamento climatico.

Il modello di caratterizzazione sviluppato dal Quadro Intergovernativo sui Cambiamenti Climatici (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) è quello selezionato per lo sviluppo dei fattori di caratterizzazione. Questi fattori sono espressi come riscaldamento globale in 100 anni (GWP 100), in kg CO₂/kg di emissione. Il cambiamento climatico rientra in un problema a scala globale.

3. Esaurimento dell’ozono stratosferico.

A causa dell’esaurimento dello strato di ozono, una grande frazione di radiazioni UV-B raggiunge la superficie della terra e può avere effetti dannosi sulla salute umana, la salute della fauna e sull’ecosistema terrestre ed acquatico. Il modello di caratterizzazione è sviluppato dall’Organizzazione Meteorologica Mondiale (World Meteorological Organization - WMO) e definisce il potenziale di esaurimento dello strato

di ozono (Ozone layer Depletion Potential – ODP) di differenti gas (kg CFC-11 Equiv/kg di emissione). La scala di questo problema è scala globale.

4. *Ossidazione fotochimica.*

E' la formazione di sostanze reattive (principalmente ozono) che incidono sulla salute umana e l'ecosistema. Questo problema è anche chiamato "smog estivo". Lo smog invernale non entra in questa categoria. Sotto il nome di smog fotochimico vengono raggruppate tutte quelle sostanze organiche volatili che portano alla formazione fotochimica (in presenza di radiazione solare) di ozono troposferico.

Il fattore di caratterizzazione è chiamato potenziale di formazione di ozono fotochimico (POCP, Photochemical Ozone Creation Potential) per le emissioni di sostanze in atmosfera viene calcolato con il modello "UNECE Trajectory", ed è espresso in kg di etilene Equiv/kg di emissione. La scala del problema varia da quella locale a quella continentale.

5. *Acidificazione.*

Le sostanze acidificanti causano una vasta serie di impatti sul suolo, sull'acqua sotterranea, sull'acqua superficiale, sugli organismi, sugli ecosistemi ed sui materiali (edifici). Il potenziale di acidificazione (AP) per la emissioni in atmosfera è calcolato con il modello adattato RAINS 10, che descrive il destino e la deposizione delle sostanze acidificanti. L'AP è espresso in kg SO₂ Equiv/kg di emissione. La scala del problema varia da quella locale a quella continentale.

6. *Eutrofizzazione.*

L'eutrofizzazione è il fenomeno connesso all'eccessivo apporto di sostanze nutrienti nell'ambiente acquatico che provoca un'imponente proliferazione di vegetazione sommersa con conseguenti alterazioni dell'equilibrio nella distribuzione di ossigeno nelle acque. Le sostanze che concorrono al fenomeno dell'eutrofizzazione sono i composti a base di fosforo e di azoto.

L'eutrofizzazione è espressa in kg PO₄ Equiv/kg di emissione. La scala del problema varia da quella locale a quella continentale.

6.4.2 Analisi di inventario

Di seguito vengono descritti gli inventari utilizzati per la valutazione dei due scenari di questo studio con approfondimento di ciascuno dei due per ciascuna fase del ciclo di vita: assemblaggio dei macchinari (paragrafo 6.4.2.1) distribuzione (paragrafo 6.4.2.2), uso (paragrafo 6.4.2.3) disassemblaggio macchinari (chiamato anche smaltimento, paragrafo 6.4.2.2) e fine vita (paragrafo da 6.4.2.4).

6.4.2.1 Fase di assemblaggio

In questa fase vengono assemblati i vari componenti della macchina.

Trattandosi di una LCA comparativa non sono stati considerati tutti quei componenti e materiali comuni alla K3 e alla Eco-K3.

Le differenze in fase di assemblaggio si riducono a quelle elencate di seguito:

- i pesi e i materiali di cui sono composti i compressori (ghisa e acciaio);
- il peso dei componenti in rame;
- la quantità ed il tipo di refrigerante utilizzato (CO₂ nella Eco-K3, R-404 A nella K3);
- i trasporti di ghisa e acciaio poiché, pur avendo entrambe le macchine gli stessi fornitori, il peso di tali materiali tra K3 e Eco-K3 è differente e quindi questa differenza si ripercuote sui trasporti;
- il trasporto di rame poiché oltre a variare il peso di rame da trasportare tra i due macchinari come nel caso precedente, variano anche i fornitori (maggiori dettagli sulle distanze in gioco verranno forniti quando si parlerà dei componenti in rame della macchina);

- la presenza nella K3 di una spia dell'umidità del refrigerante in ottone del peso di 0,1 kg che è stata eliminata nella Eco-K3;
- il numero di valvole termostatiche: nella K3 sono 9 mentre nella Eco-K3 sono 13;

Il cut-off di massa dello 0,05% esclude dall'analisi le valvole termostatiche e la spia in ottone.

Tutte le informazioni riferite alle quantità di sostanze utilizzate nella fase di assemblaggio provengono da dati primari forniti dall'azienda.

Le differenze tra i due macchinari che sono state considerate nello studio per la fase di assemblaggio sono riportate nella tabella 6.2.

	K3	Eco-K3
Ghisa	23 kg	38 kg
Acciaio	2 kg	-
Rame	35,20 kg	26,85 kg
Fornitore rame	Udine	Verona
Refrigerante	2,94 kg di R-404 A	3 kg di CO ₂

Tabella 6.2: Differenze tra la K3 e la Eco-K3 nella fase di assemblaggio.

ASSEMBLAGGIO K3

Come già detto, sono state valutate solo le parti differenti tra i due macchinari ed in luogo dei componenti utilizzati per la realizzazione della macchina sono stati considerati i materiali per la sua costruzione. In definitiva, in seguito a tali ipotesi, rispetto al peso complessivo della K3 (395 kg) è stato considerato un 30% del suo peso totale (118 kg) costituito da ghisa (23 kg), acciaio (2 kg) che fanno parte del compressore e rame (35,20 kg). La fase di assemblaggio include la produzione ed il trasporto di tali materiali al sito produttivo, per una distanza di 110 km per ghisa e acciaio e di 285 km per il rame, la produzione del diesel necessaria per il

trasporto, i consumi energetici associati all'assemblaggio stesso e la produzione del fluido refrigerante (figura 6.3).

Assemblaggio K3

GaBi 4 process plan:Reference quantities

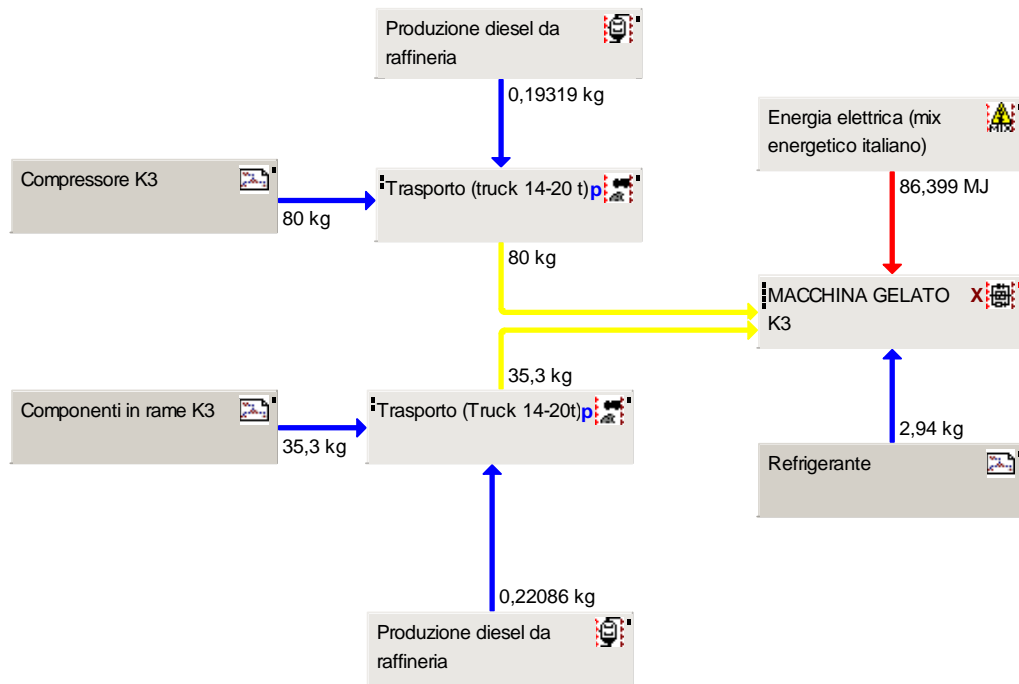


Figura 6.3: Diagramma di flusso della fase di assemblaggio della K3.

Compressore K3

Il processo compressore comprende la produzione di ghisa e acciaio, i due materiali costituenti le parti che differiscono tra i compressori utilizzati nella K3 e nella Eco-K3.

Ghisa	2 kg
Acciaio	23 kg

Tabella 6.3: peso dei materiali del compressore della K3.

I compressori nella K3 sono due, uno per ogni modulo che compone la macchina, pertanto i valori inseriti nel processo compressore sono il doppio di quelli presenti nella tabella.

Componenti in rame K3

Nel processo “componenti in rame” sono stati considerati le parti in rame che differiscono tra i due macchinari: i tubi dell’impianto di refrigerazione e gli scambiatori di calore.

Tubi	4,015 kg
Scambiatori	13,365 kg

Tabella 6.4: peso dei tubi e degli apparati di scambio termico nell’impianto frigorifero della K3.

Anche in questo caso i valori in tabella si riferiscono ad uno solo dei due moduli che costituiscono la macchina, dunque nel processo totale “componenti in rame” il valore di input del processo di produzione del rame è di 35,2 kg.

Refrigerante K3

Come già ampiamente descritto nel capitolo 5, il refrigerante utilizzato nell’impianto frigorifero della K3 è R-404A.

L’R-404 A è una miscela di fluidi di origine sintetica appartenente alla categoria degli HFC, la cui composizione espressa in percentuali in massa viene riportata di seguito:

- 52% di R-143 a = 1,1,2 trifluoroetano
- 44% di R-125 = pentafluoroetano
- 4% di R-134 a = 1,1,2,2 tetrafluoroetano

Nello studio di LCA in questione si è supposto che nella macchina K3 venga usato come fluido refrigerante l’R134 a al posto dell’R-404 A. Tale sostituzione è stata dettata dall’assenza nelle banche dati a disposizione del Centro Ricerche ENEA del processo di produzione dell’R-404 A. L’unico

fluido refrigerante, tra quelli che compongono la miscela dell'R-404 A, presente nei database disponibili è appunto l'R-134 a.

Va detto che l'R-404 A è costituito solo in minima percentuale (4%) dall'R-134 a.

Per quanto riguarda le emissioni legate al processo di produzione possiamo considerarle simili in quanto gli intermedi usati nel processo produttivo sono gli stessi. Inoltre l'R-134 a ha un valore di Global Warming Potential pari a 1300 kg di diossido di carbonio equivalente, mentre la miscela utilizzata nella macchina ha un GPW di 3260 kg di CO₂ equivalente (media pesata dei valori di GPW dei componenti della miscela, tabella 6.5). Dunque, anticipando una considerazione che verrà approfondita nella fase di valutazione dei risultati dell'analisi, almeno riguardo al GPW, l'assunzione fatta risulta di tipo cautelativo.

R-143 a	3800 kg
R-125	2800 kg
R-134 a	1300 kg

Tabella 6.5: Valori di GPW (arco temporale di 100 anni) espressi in kg di CO₂ equivalente per ognuno dei componenti della miscela R-404 A.

Il processo di produzione dell'R-134 a è stato implementato nel database di GaBi dalla banca dati di Ecoinvent attraverso l'apposita costruzione di un processo "fluido refrigerante K3" (riportato in figura 5.4) in cui sono stati inseriti i flussi di input e di output legati alla produzione di R-134 a. Tutti i processi Ecoinvent sono stati correlati ai rispettivi processi di produzione presenti nel database di GaBi come è possibile vedere in figura 6.4; dove non si è rinvenuta la corrispondenza sono stati considerati i flussi più affini.

Refrigerante

GaBi 4 process plan:Reference quantities

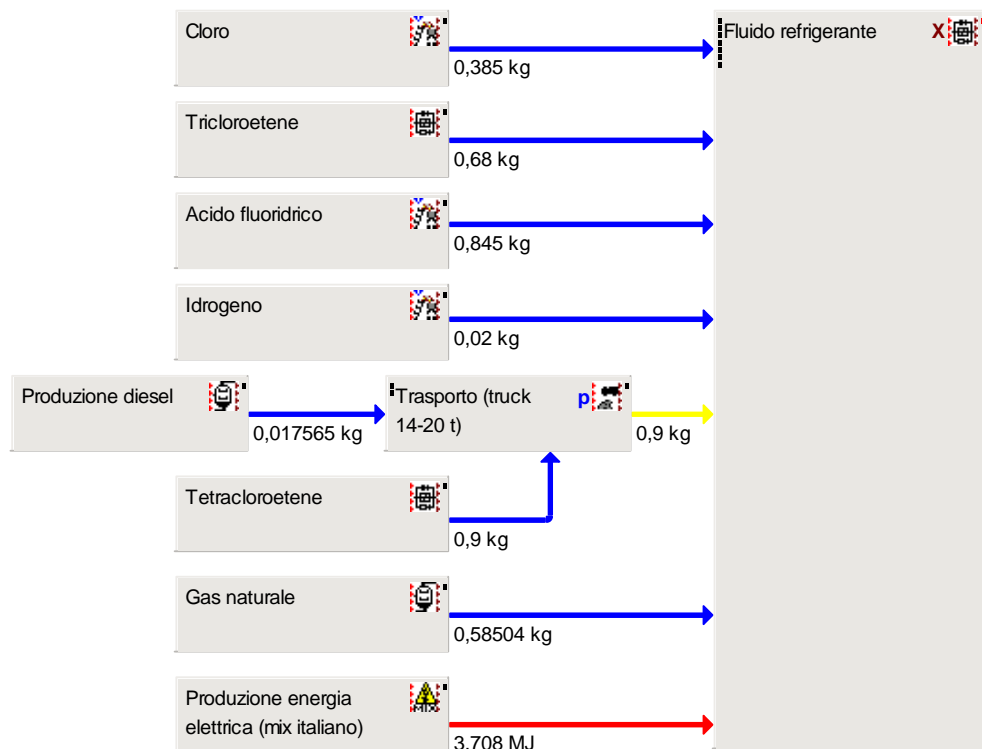


Figura 6.4 : Il processo di produzione dell'R-134 a.

ASSEMBLAGGIO Eco-K3

Come è possibile vedere nel diagramma di flusso riportato in figura 6.5, la struttura del modello che è stato costruito per riprodurre la realtà fisica dell'assemblaggio della Eco-K3 è pressoché identica a quella della K3.

L'unica vera differenza riguarda il refrigerante utilizzato nell'impianto frigorifero che, come già descritto nel capitolo 5, è diossido di carbonio allo stato gassoso.

Per quanto riguarda i processi di produzione del compressore e dei componenti in rame i processi utilizzati sono gli stessi della K3, quello che cambia sono le quantità.

Anche per la Eco-K3 è stata considerata solo una parte della massa totale della macchina (415 kg). Il peso dei materiali di cui si è considerata la produzione è il 36% del totale. Tale assunzione deriva come già spiegato

dall'impostazione comparativa data allo studio. La fase di assemblaggio include la produzione ed il trasporto di tali materiali al sito produttivo, per una distanza di 110 km per ghisa e acciaio e di 141 km per il rame, la produzione del diesel necessaria per il trasporto, i consumi energetici associati all'assemblaggio stesso e la produzione del diossido di carbonio (figura 6.5).

Assemblaggio K3 CO2

GaBi 4 process plan:Reference quantities

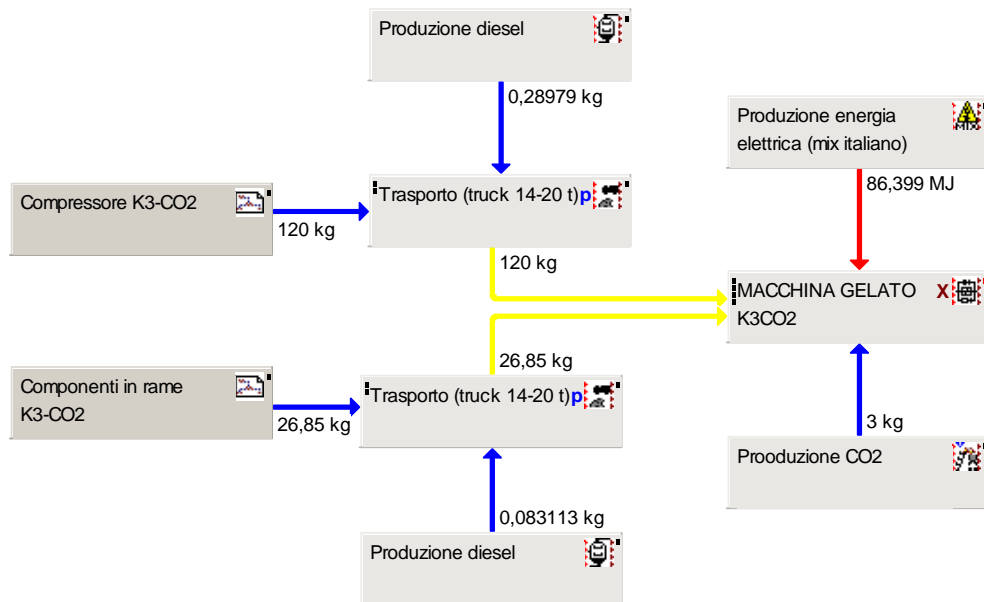


Figura 6.5: Diagramma di flusso della fase di assemblaggio della Eco-K3.

Compressore Eco-K3

Nel processo costruito per il compressore della Eco-K3 l'unico flusso risulta essere quello della ghisa (38 kg) poiché tra le parti che differiscono nei compressori della K3 e della Eco-K3 l'unico materiale impiegato è proprio la ghisa. Al flusso ghisa è stato poi riferito il processo produttivo di quest'ultima ed il processo di produzione dell'energia necessaria, secondo il mix energetico italiano.

I compressori della Eco-K3 allo stadio attuale del prototipo risultano essere di dimensioni maggiori rispetto a quelli della versione della macchina

attualmente in commercio. Tuttavia i progettisti della Carpigiani contano di ottimizzare le prestazioni del ciclo a diossido di carbonio fino a ridurre il peso del compressore fino al valore che attualmente ha nella K3. Tale prospettiva di sviluppo appare ragionevole ed in accordo con le caratteristiche dei componenti dell'impianto in un ciclo a CO₂. Infatti, pur aumentando gli spessori nel compressore per resistere alle maggiori pressioni di ciclo del diossido di carbonio, tale tecnologia permette di ottenere componenti più compatti (Giuliani, 2007).

Componenti in rame Eco-K3

Anche i componenti in rame sono stati considerati all'interno della fase di assemblaggio della Eco-K3 con lo stesso processo a cui si è ricorsi per la K3. In questo caso però la quantità di rame utilizzato si riduce passando da 35,2 kg nella K3 a 26,85 kg nella Eco-K3. Infatti, l'aumento dello spessore dei tubi e delle pareti degli scambiatori (gas-cooler, scambiatore intermedio), è compensato dalla diminuzione del diametro dei tubi e delle dimensioni degli apparati di scambio termico dovuto all'elevato calore di vaporizzazione volumetrico del diossido di carbonio (capitolo 5).

Oltre al quantitativo di rame in tale processo differiscono tra le due macchine le distanze di trasporto considerate dato che per la K3 il fornitore dei componenti in rame è sito ad Udine mentre per la Eco-K3 il fornitore è di Verona.

Refrigerante Eco-K3

La vera innovazione apportata nella Eco-K3 è la sostituzione del fluido refrigerante: nella nuova versione della macchina nell'impianto frigorifero circolano 3 kg di CO₂. Il processo di produzione dell'R-134 a, descritto precedentemente, di conseguenza è stato sostituito nella fase di assemblaggio del prototipo, dal processo produttivo del diossido di carbonio. Va sottolineato che a causa del cut-off di massa effettuato la differenza di 0,06 kg di peso tra i due refrigeranti è stata trascurata al fini

del trasporto, anche in virtù del fatto che il fornitore dei due fluidi è lo stesso (RIVOIRA s.p.a.).

Va infine detto che è stato ipotizzato che il CO₂ sia ottenuto di un apposito processo di produzione e non sia un prodotto secondario derivante dalla produzione di altri beni o dal recupero e trattamento di flue gas industriali secondo modalità ormai consolidate. Anche questa, in virtù dei risultati che verranno spiegati in fase di valutazione può considerarsi un'assunzione conservativa.

6.4.2.2 Fase di distribuzione e fase di conferimento al fine vita.

Distribuzione K3

GaBi 4 process plan:Reference quantities

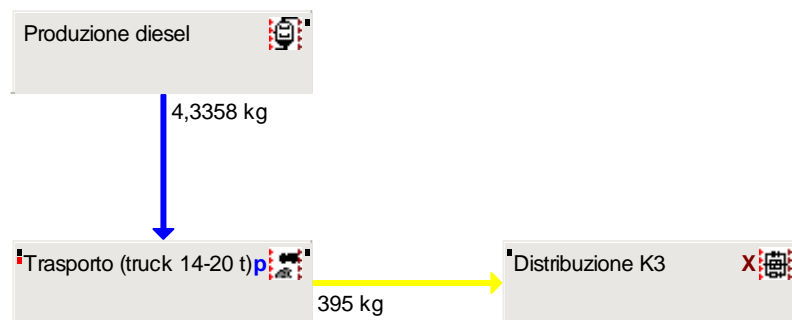


Figura 6.6: Diagramma di flusso della fase di distribuzione della K3.

La struttura delle fasi di distribuzione (figura 6.6) e di conferimento al fine vita coincide perfettamente per i due macchinari per i processi inseriti e per le distanze percorse mentre differisce per i pesi trasportati che sono diversi per i due macchinari: per la K3 è di 395 kg mentre per la Eco-K3 è di 415 kg.

Nelle fasi di distribuzione e conferimento al fine vita sono pressoché identiche tra loro. In entrambe è previsto un processo di trasporto con un mezzo di portata compresa tra le 14 e le 20 tonnellate di una certa tipologia di macchinario, ma differiscono per le distanze percorse.

Tuttavia alla base delle due fasi del ciclo di vita (distribuzione e conferimento al fine vita) ci sono ipotesi differenti, che fanno variare il parametro della distanza percorsa dal mezzo:

- come già detto nel paragrafo delle assunzioni sia per la K3 che per la Eco-K3 è previsto l'utilizzo in Italia e ciò presuppone che la distribuzione sia confinata all'interno del territorio nazionale italiano. Essendo la sede della Carpigiani situata nella provincia di Bologna è sembrata una buona ipotesi quella di assumere la distanza di distribuzione pari a 500 km;
- per quanto riguarda la fase di conferimento alla fase di fine vita dei macchinari, la distanza tra il sito della fase d'uso ed il centro che si occupa di smaltimento e disassemblaggio della macchina e del riciclo dei materiali separati è stata ipotizzata di 100 km.

Inoltre sia la fase di distribuzione che quella di conferimento tengono conto della produzione del diesel consumato dal mezzo durante il trasporto.

6.4.2.3 Fase d'uso

Nella fase d'uso della macchina sono stati considerati due aspetti:

- i consumi
- le perdite di fluido refrigerante

Per quanto riguarda i consumi sono stati utilizzati dati primari forniti dall'azienda. I dati riferiti alla K3 fanno parte delle specifiche contenute nella scheda tecnica della macchina mentre per valutare i consumi della Eco-K3 sono stati effettuati dei test di laboratorio.

Nella registrazione dei consumi di entrambe le macchine è stato ipotizzato uno scenario di produzione medio giornaliero che prevede:

- 12 ore di modalità stand-by
- 15 minuti per l'accensione della macchina
- 6 ore di produzione "half capacity"

- 2 ore e 15 minuti di produzione “full capacity”
- 3 ore e 15 minuti di pastorizzazione
- 15 minuti di fase di spegnimento.

Con tale modalità di utilizzo della macchina, che descrive l’andamento tipo della produzione nell’arco della giornata, sono stati misurati i seguenti consumi giornalieri:

K3	Eco-K3
44,29 kWh	35,11 kWh

Tabella 6.6: Consumi energetici giornalieri in fase d’uso per la K3 e per la Eco-K3.

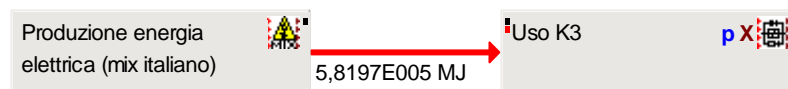
I dati parlano dunque di una riduzione sostanziale dei consumi elettrici per la Eco-K3 con un risparmio energetico del 23% rispetto alle prestazioni attuali della K3.

I valori in tabella si riferiscono a consumi giornalieri, mentre per entrambe le macchine è stato considerato un tempo di vita di 10 anni.

I consumi riferiti all’arco temporale di vita utile dei macchinari sono quelli riportati nei diagrammi di flusso della fase d’uso dei due macchinari (figura 6.7). La produzione di energia è stata considerata sempre quella riferita al mix italiano, la cui descrizione è stata fornita nel paragrafo 5.4.1.4.

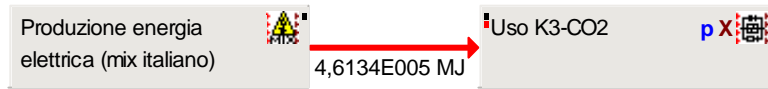
Fase di Uso K3

GaBi 4 process plan:Reference quantities



Fase d'uso K3-CO2

GaBi 4 process plan:Reference quantities



6.7: Confronto tra la fase d'uso della K3 e la fase d'uso della Eco-K3

Nella fase d'uso oltre ai consumi si è tenuto conto delle perdite di fluido refrigerante legate alla manutenzione della macchina. In questo studio non si è tenuto conto delle perdite parziali di fluido refrigerante che non causassero un guasto nella macchina, ovvero di tutte quelle micro-perdite che si verificano nell'arco di vita utile delle macchine ma che non ne inficiano la normale funzionalità.

Le perdite considerate sono quelle legate alla fuoriuscita totale della carica di refrigerante dall'impianto frigorifero. I dati forniti dalla Carpigiani stimano che in 10 anni 18 macchine K3, a fronte delle 6000 prodotte (600 all'anno), hanno subito una sostituzione completa della carica di fluido frigorifero.

Ipotizzando il rilascio completo in atmosfera della carica di fluido delle 18 macchine risulta che in 10 anni le K3 hanno disperso in atmosfera circa 52,92 kg di R-134 a (in realtà il fluido rilasciato è la miscela R-404A). Dividendo tale valore per le 6000 macchine prodotte in dieci anni è stato assegnata alla macchina una quantità di R-134 a disperso in atmosfera di 0,009 kg.

Ricordando che il valore di GWP per l'R-404A è di 3260 kg di CO₂ equivalente, contro i 1300 kg dell'R-134a, almeno rispetto alla categoria d'impatto che tiene conto del riscaldamento globale l'ipotesi fatta risulta fortemente conservativa.

Non avendo dati a disposizione riguardo la manutenzione della Eco-K3 è sembrato ragionevole ipotizzare lo stesso valore di perdite nell'arco dei 10

anni registrate per la K3, anche in virtù delle forti similitudini tra i due macchinari.

K3	Eco-K3
0,009 kg di R-134 a	0,009 kg di CO ₂

Tabella 6.7: Perdite in atmosfera del fluido refrigerante in fase d'uso per la K3 e per la Eco-K3.

6.4.2.4 Fase di fine vita

La fase di fine vita prevede per entrambi i macchinari i processi di trattamento dei materiali (rame, ghisa, acciaio) al fine di un loro recupero e di smaltimento in discarica degli scarti. Il recupero dei materiali è stato modellizzato inserendo il consumo energetico associato al trattamento dei rifiuti ed effettuando un'espansione dei confini del sistema attraverso l'inclusione dei prodotti che si eviterebbe di produrre grazie a tale recupero. Il destino dei due fluidi refrigeranti è invece differente come si vedrà in seguito. Sia per la K3 che per la Eco-K3 si è supposto che il recupero dei materiali e lo smaltimento in discarica avvengano nello stesso centro di trattamento.

FINE VITA K3

Lo scenario di fine vita ipotizzato per la K3 prevede una fase di riciclo dei materiali di cui è composta la macchina ed una fase finale di conferimento degli scarti del processo di recupero in discarica e di termodistruzione del fluido refrigerante in un impianto di incenerimento.

Fine vita K3

GaBi 4 process plan:Reference quantities

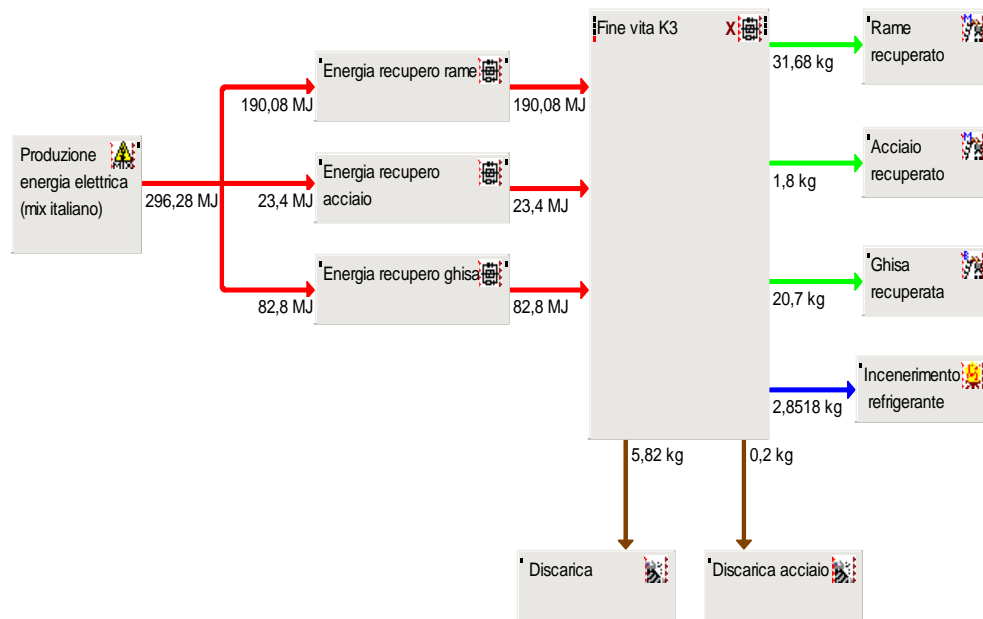


Figura 6.8: Diagramma di flusso della fase di fine vita della K3.

Recupero dei materiali

Fatta eccezione per il refrigerante gli unici materiali considerati in questo studio di LCA comparativo sono metalli (ghisa, acciaio, rame). Dai dati raccolti in letteratura i materiali metallici presentano rese di recupero molto elevate, che arrivano a valori di prodotto riutilizzabile pari al 98-99% dei rottami in ingresso al processo di riciclaggio.

La modellizzazione della fase di assemblaggio realizzata in questo studio impone delle riflessioni in riferimento alla fase di fine vita. Infatti considerare come dati di input al processo di recupero dei materiali le quantità di ghisa, rame e acciaio della fase di assemblaggio è un'ipotesi poco realistica in quanto nello studio è stata trascurata la fase di disassemblaggio che presenta un proprio rendimento. Aver focalizzato l'attenzione solo sui materiali utilizzati in fase di produzione e non sulle modalità di assemblaggio dei vari componenti e sullo specifico design degli

stessi, impedisce di stimare un valore per la resa del processo di disassemblaggio.

Per questo motivo si è scelto un valore indicativo di recupero dei materiali del 90% che rappresenta la media dei valori di recupero trovati in letteratura per i diversi materiali in esame¹⁷.

Si è infine considerato un valore di energia necessaria per il recupero di ognuno dei materiali coinvolti nel processo. I dati di letteratura utilizzati sono riferiti al consumo energetico per la sola fase di riciclo.

Il processo indicato come fine vita nel diagramma di flusso di figura 6.8 ha in input ed in output i seguenti flussi di massa ed energia per ognuno dei tre materiali considerati:

	Input (kg)	Recuperato (kg)	Scarti (kg)	Energia (MJ)
Ghisa	23	20,7	2,3	82,8
Acciaio	2	1,8	0,2	23,4
Rame	35,2	31,68	3,52	190,08

Tabella 6.8: Energie e flussi in massa coinvolti nel processo di recupero nella fase di fine vita della K3.

Fine vita fluido refrigerante

Per quanto riguarda il fluido refrigerante, i dati forniti dalla Eco.El. , società modenese che si occupa dello smaltimento di apparecchiature elettriche ed anche di macchine frigorifere, indicano che:

- il refrigerante viene in parte recuperato e smaltito (97%) mentre la restante parte (3%) è dispersa in atmosfera;

¹⁷ <http://www.bir.org/aboutrecycling/index.asp>

<http://www.copper.org/applications/automotive/radiators/recyclability.html>

Pavoni P. et al., 2005 “La produzione e il riciclaggio dell’acciaio: impatto ambientale e aspetti economici”.

- lo smaltimento della parte recuperata prevede l'incenerimento come fine vita dell'R-134 a.

Nella tabella 6.9 viene riassunto il destino della carica di fluido refrigerante alla fine della vita utile della K3.

	Incenerimento	Perdite in atmosfera
2,94 kg di R-134 a	2,852 kg	0,088 kg

Tabella 6.9: Destino a fine vita dell'R-134 a contenuto nella K3.

Non essendo presente nei database a disposizione un processo di incenerimento dell'R-134 a, si è ipotizzato di bruciare 2,852 kg di vetro in luogo di 2,852 kg di fluido refrigerante, in quanto la combustione di un inerte non arreca un vantaggio dovuto a recupero energetico.

FINE VITA Eco-K3

La fase di fine vita della Eco-K3 differisce da quella appena descritta della K3 solo per quanto riguarda il trattamento del fluido refrigerante.

Fine vita K3-CO2

GaBi 4 process plan:Reference quantities

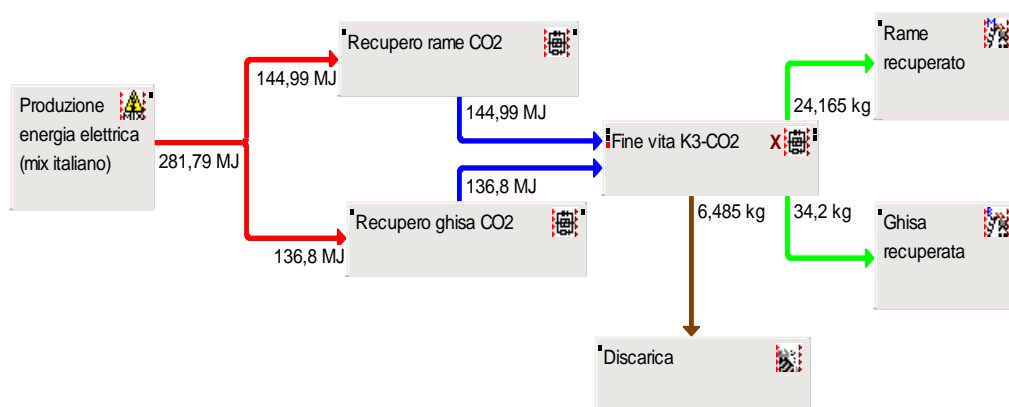


Figura 6.9: Diagramma di flusso della fase di fine vita della Eco-K3.

Recupero dei materiali

Il processo di recupero dei materiali della Eco-K3 è perfettamente coincidente con quello della K3. Cambiano i valori in input al processo essendo diversi i pesi di ghisa e rame (nella modellizzazione della Eco-K3 l'acciaio è assente) considerati in fase di assemblaggio. In tabella sono riassunti i flussi di massa ed energia in input ed in output alla fase di riciclaggio dei materiali.

	Input (kg)	Recuperato (kg)	Scarti (kg)	Energia (MJ)
Ghisa	38	34,2	3,8	136,8
Rame	26,85	24,16	2,68	144,99

Tabella 5.10: Energie e flussi in massa coinvolti nel processo di recupero nella fase di fine vita della Eco-K3.

Fine vita fluido refrigerante

Nella Eco-K3 il fluido refrigerante (3 kg di CO₂) non deve essere trattato e dunque viene totalmente rilasciato in atmosfera.

6.4.3 Valutazione degli impatti

I risultati della valutazione d'impatto sono espressioni relative e non predicano né i superamenti di soglia, né i margini di sicurezza o rischio ma rappresentano gli impatti potenziali degli scenari analizzati. Di seguito vengono descritti i risultati della valutazione comparativa dei due sistemi descritti per le fasi di caratterizzazione, normalizzazione e pesatura.

Nella valutazione degli impatti è stato utilizzato il metodo CML 2001-Dec.07 descritto precedentemente.

6.4.3.1 Analisi del ciclo di vita dei sistemi

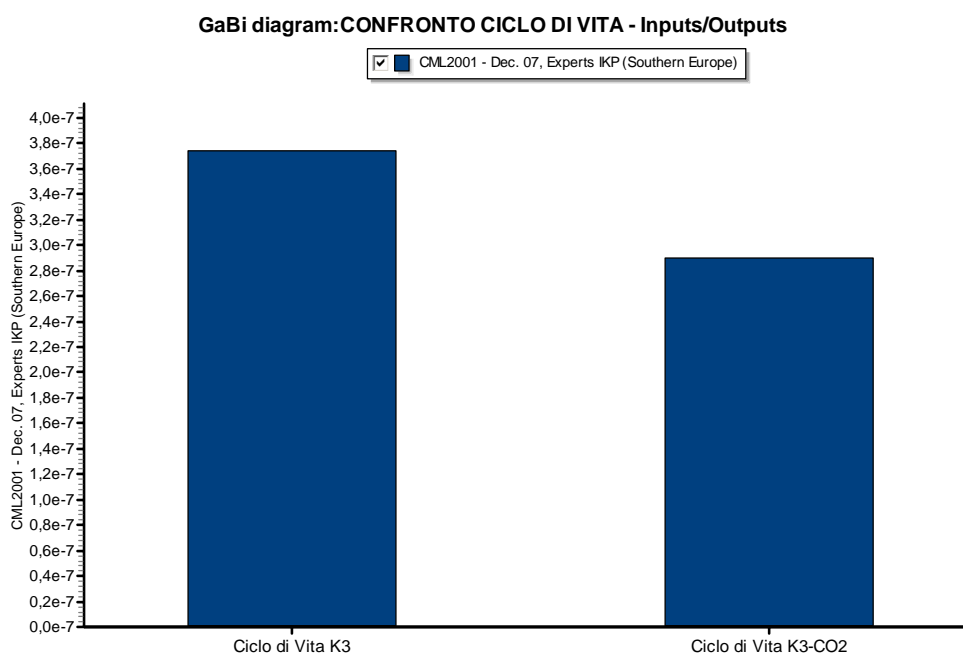


Figura 6.10: Confronto degli impatti della K3 e della Eco-K3 lungo il ciclo di vita aggregati in un unico indicatore.

Il grafico di figura 5.10 mostra un confronto della prestazione ambientale in fase di pesatura delle due macchine per l'intero ciclo di vita.

Gli impatti prodotti dalla Eco-K3 risultano complessivamente minori rispetto a quelli imputabili al ciclo di vita della Eco-K3. Questo dato viene

di seguito analizzato nel dettaglio per poter capire quali sono i hot spot di entrambi i sistemi messi a confronto.

L'andamento riscontrato nell'indice aggregato di pesatura è confermato per ognuna delle categorie di impatto considerate dal metodo. In figura 6.11 si può notare come in tutte le categorie di impatto la Eco-K3 abbia prestazioni ambientali migliori rispetto alla K3.

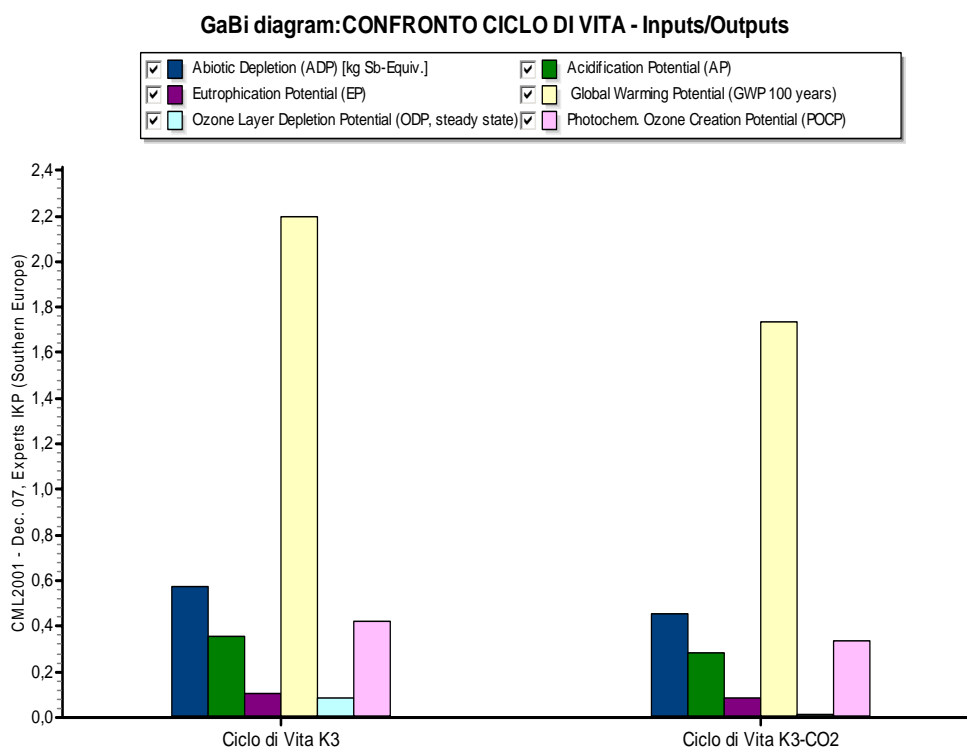


Figura 6.11: Confronto dei contributi della K3 e della Eco-K3 lungo il ciclo di vita per le categorie di impatto analizzate.

I maggiori impatti sono legati al consumo di risorse abiotiche (Abiotic Depletion) e al riscaldamento globale (Global Warming Potential) sia per la K3 che per la Eco-K3.

Questi risultati mettono dunque in evidenza le categorie d'impatto più significative per questo studio che vengono di seguito analizzate nel dettaglio della caratterizzazione. I dati in tabella 6.11 si riferiscono ai valori di Abiotic Depletion della fase di **caratterizzazione** di entrambe le macchine considerate lungo tutto il loro ciclo di vita.

Abiotic Depletion (kg Sb-Equiv.)	
K3	ECO-K3
645,1	511,52

Tabella 6.11: Valori di Abiotic Depletion per la K3 e per laEco-K3.

La Eco-K3 ha un valore di kg di antimonio equivalente consumati inferiore del 20% rispetto al consumo di risorse attribuibile alla K3.

I dati in tabella 6.12 riportano i valori di Global Warming Potential della fase di caratterizzazione di entrambe le macchine considerate lungo tutto il loro ciclo di vita. Anche la riduzione dei kg di CO₂ equivalente prodotti lungo il ciclo di vita della Eco-K3 (90386 kg) si attesta al 20% rispetto alla quantità prodotta lungo l'intero ciclo di vita della K3 (114370 kg).

In quest'ottica l'assunzione fatta di considerare R-134 a in luogo di R-404A risulta conservativa poiché il miglioramento ambientale prodotto dalla Eco-K3 in riferimento al contributo della macchina all'effetto serra sarebbe stato probabilmente superiore se si fosse considerato R-404 A visti i valori di GWP dell'R-134 a (1300 kg CO₂ equiv.) e dell'R-404 A (3260 kg CO₂ equiv.)

Global Warming Potential (kg CO ₂ -Equiv.)	
K3	Eco-K3
114370	90386

Tabella 6.12: Valori di Global Warming Potential per la K3 e per la Eco-K3.

La tabella 6.13 mostra gli impatti potenziali per ciascuna categoria per i due sistemi nel loro intero ciclo di vita, in seguito a caratterizzazione dei flussi dell'inventario così come costruito.

Categoria d'impatto	Unità	K3	Eco K3
Abiotic Depletion (ADP)	kg Sb eq	645,1	511,5
Global Warming (GWP100)	kg CO ₂ eq	114373	90386
Ozone Layer Depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	0,033	0,005
Photochemical Oxidation (POCP)	kg C ₂ H ₄	37,5	29,7
Acidification (AP)	kg SO ₂ eq	598,6	474,6
Eutrophication (EP)	kg PO ₄ ³⁻ eq	27,6	21,9

Tabella 6.13: Risultati della caratterizzazione per il ciclo di vita della K3 e della Eco-K3 per le categorie di impatto e le relative unità di misura, secondo il metodo CML 2001

6.4.3.2 Analisi delle fasi del ciclo di vita dei sistemi

La figura 6.12 offre la possibilità di valutare in fase di pesatura la criticità delle varie fasi del ciclo di vita dei due sistemi analizzati. Si nota come la fase d'uso di entrambe le macchine risulti nettamente la più impattante per tutte le categorie di impatto e il suo elevato valore non rende ben visibili i contributi delle altre fasi.

Occorre tener presente che, essendo un'analisi comparativa, la maggior parte dei flussi (e quindi degli impatti) relativi ai componenti comuni, non sono stati calcolati. Infatti, le ipotesi alla base dell'analisi comparativa condotta in questo studio hanno portato a trascurare circa 2/3 dei materiali utilizzati e di conseguenza gli impatti legati alla loro produzione, al trasporto e allo smaltimento. L'attendibilità dei risultati dovrebbe essere verificato attraverso una LCA completa della macchina.

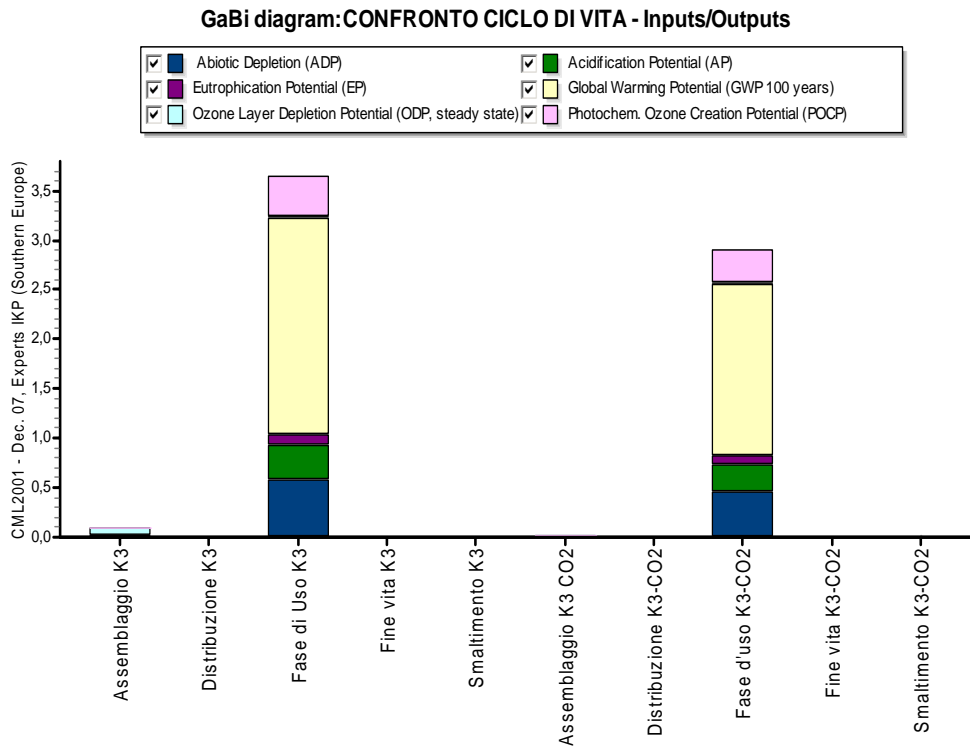


Figura 6.12: Confronto degli impatti delle fasi del ciclo di vita della K3 e della Eco-K3.

Considerando gli elevati consumi energetici ed il tempo di vita utile della macchina piuttosto lungo (10 anni) la fase d'uso è comunque molto significativa. Analizzando solo la fase d'uso delle due macchine (figura 6.13) si ha conferma del fatto che i maggiori impatti sono presenti nella categoria di GWP a causa del consumo energetico associato ad entrambi i macchinari e che la Eco-K3 presenta migliore performance ambientale in virtù dei suoi minori consumi energetici.

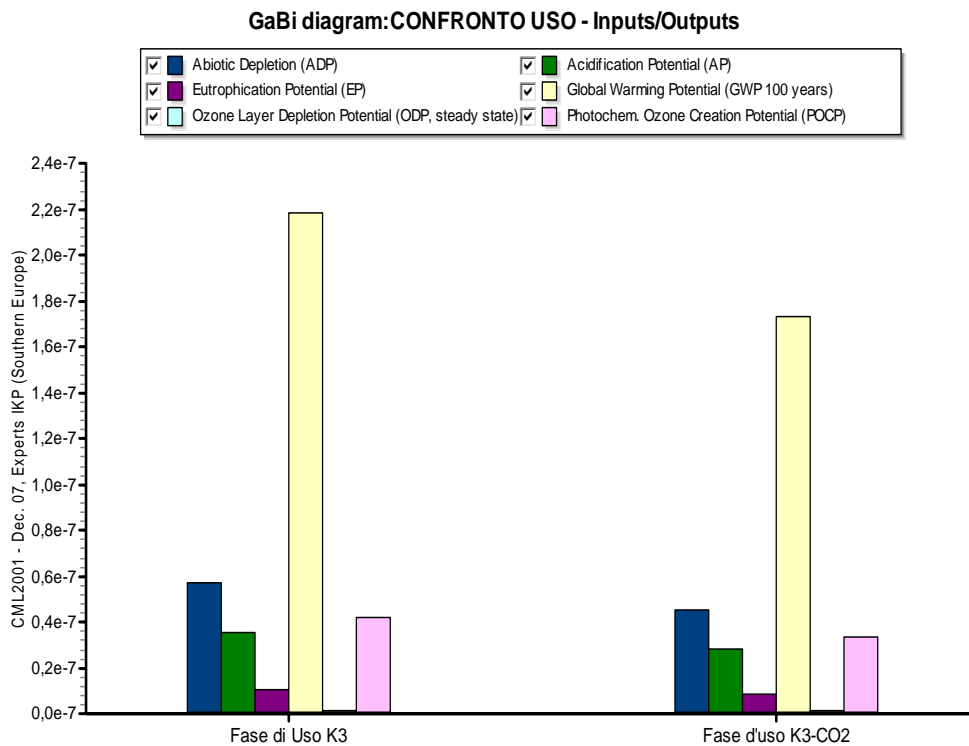


Figura 6.13: Confronto degli impatti delle fasi d'uso della K3 e della Eco-K3.

Si è proceduto ad analizzare i due sistemi escludendo dal ciclo di vita la fase d'uso per mettere in evidenza le criticità delle altre fasi di assemblaggio e fine vita (figura 6.14). Il miglioramento conseguito dalla Eco-K3 nella riduzione in entrambe le fasi per tutte le categorie di impatto viene confermato anche da questa analisi, pur non considerando le minori pressioni sull'ambiente prodotte dai minori consumi energetici del prototipo.

GaBi diagram: CONFRONTO CICLO DI VITA SENZA USO - Inputs/Outputs

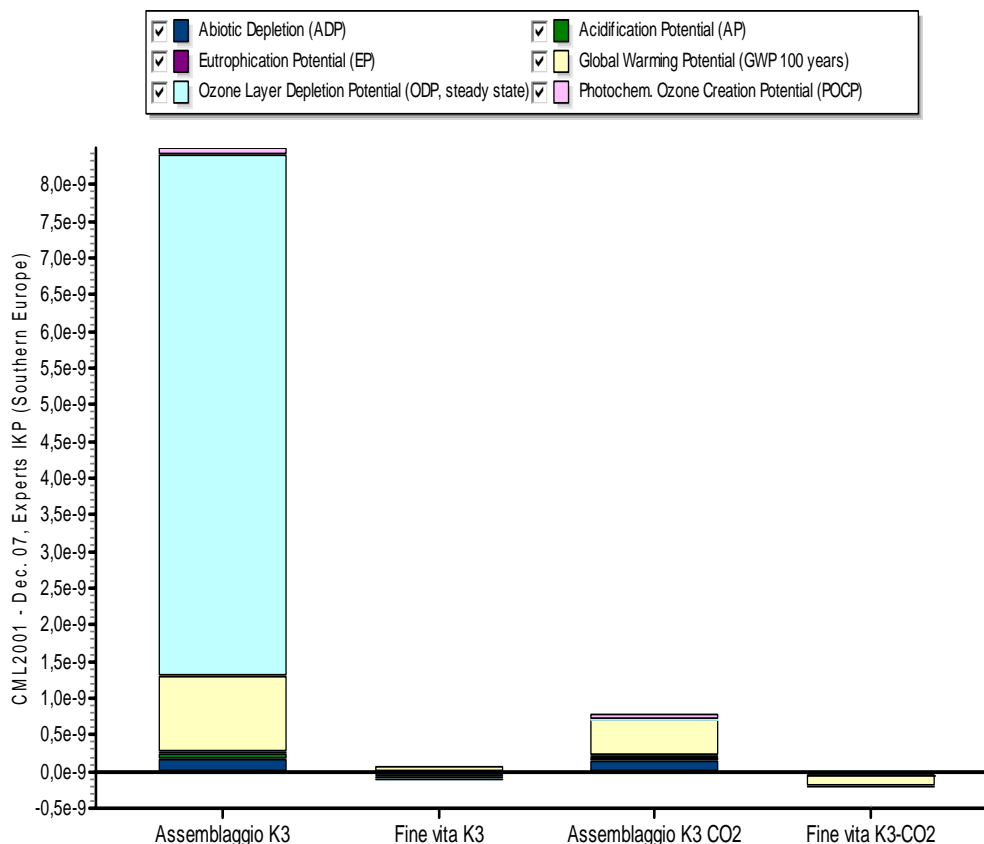


Figura 6.14: Confronto degli impatti dell'assemblaggio e del fine vita della K3 e della Eco-K3.

In questa analisi di ciclo di vita semplificato si nota come la categoria di impatto di riduzione dello strato di ozono (ODP) è significativa per il macchinario K3 nella fase di assemblaggio e questo è imputabile alla produzione e all'uso del refrigerante. Anche in questo caso le ipotesi alla base dello studio (eliminazione di tutti gli aspetti comuni delle due macchine), consigliano prudenza: il refrigerante nella K3 rappresenta lo 0,7% del peso totale della macchina mentre nel modello costruito per questo studio la carica di fluido refrigerante costituisce invece il 2,5% del peso totale dei materiali considerati. Dunque, gli impatti legati al refrigerante utilizzato nella K3 sono discriminanti nella valutazione comparativa dei due macchinari (figura 6.15) ma, relativamente al ciclo di vita della K3 con l'esclusione dei consumi, non si può affermare con

certezza siano in assoluto i più significativi. Tuttavia, grazie ai risultati riportati nel grafico di figura 6.15, si può dire che la produzione di R-134 a utilizzato nella K3 ha impatti maggiori rispetto alla produzione di diossido di carbonio utilizzato nella Eco-K3.

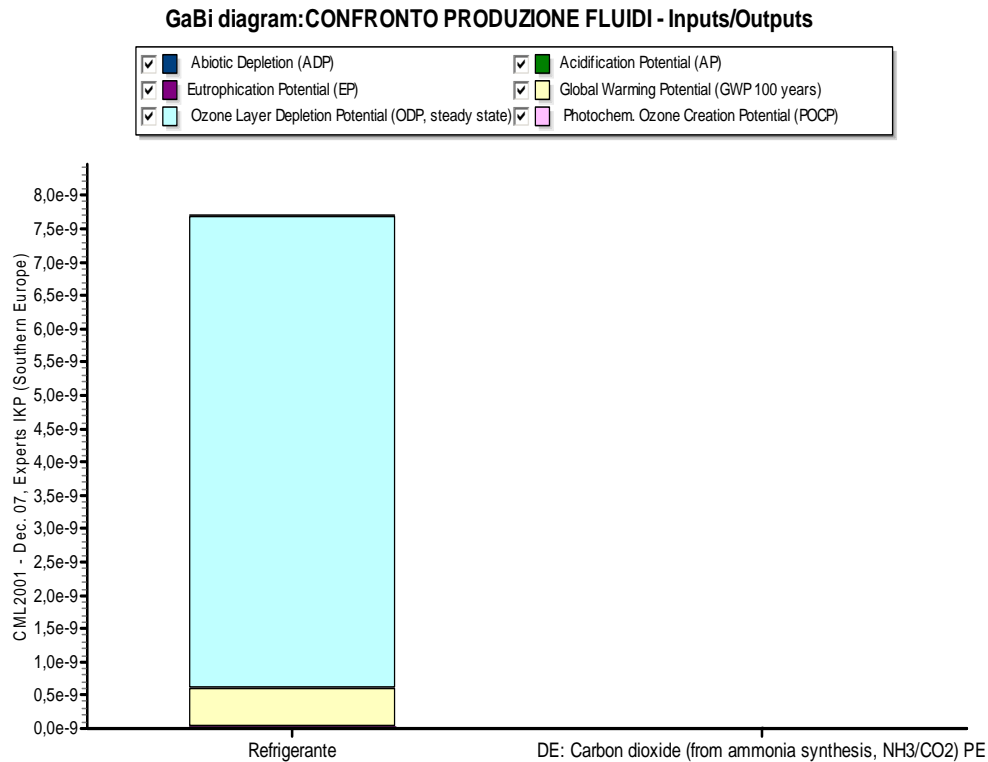


Figura 6.15: Confronto del processo di produzione dei due fluidi refrigeranti.

Gli impatti legati all’HFC utilizzato nella K3 sono superiori di diversi ordini di grandezza rispetto a quelli della Eco-K3, al punto che con il grado di risoluzione scelto per la rappresentazione non è possibile vedere gli impatti legati al CO₂. Il potenziale di riduzione dell’ozono risulta la categoria maggiormente colpita per la K3 mentre la produzione di CO₂ ha un potenziale impoverimento dello strato di ozono trascurabile al confronto. Si è inoltre investigata l’incidenza degli altri componenti presenti in fase di assemblaggio rispetto agli impatti e quindi è stata effettuata la valutazione del confronto tra le sole fasi di assemblaggio dei due macchinari senza includere la produzione dei fluidi refrigeranti.

La situazione si presenta più articolata: se nei confronti analizzati fino ad ora vi è sempre stata l'evidenza del miglioramento delle prestazioni ambientali della Eco-K3, in questa analisi gli impatti prodotti nella fase di produzione ed assemblaggio sono pressoché gli stessi. Per la Eco-K3 si riscontrano riduzioni contenute per tutte le categorie di impatto, ad eccezione del Global Warming Potential in cui si registra un leggero aumento del valore dell'indicatore. L'interpretazione di questi risultati va cercata nell'analisi dell'inventario. Infatti nella Eco-K3 a fronte di una riduzione della quantità di rame utilizzato nell'impianto frigorifero a diossido di carbonio, è presente un incremento delle dimensioni del compressore con conseguente aumento del materiale utilizzato per la sua produzione (e più precisamente della ghisa).

Per meglio comprendere come la riduzione di rame nella Eco-K3 e l'aumento della ghisa influiscano sui risultati si riportano i risultati normalizzati della valutazione del confronto del processo di produzione di compressore e componenti in rame per le due macchine.

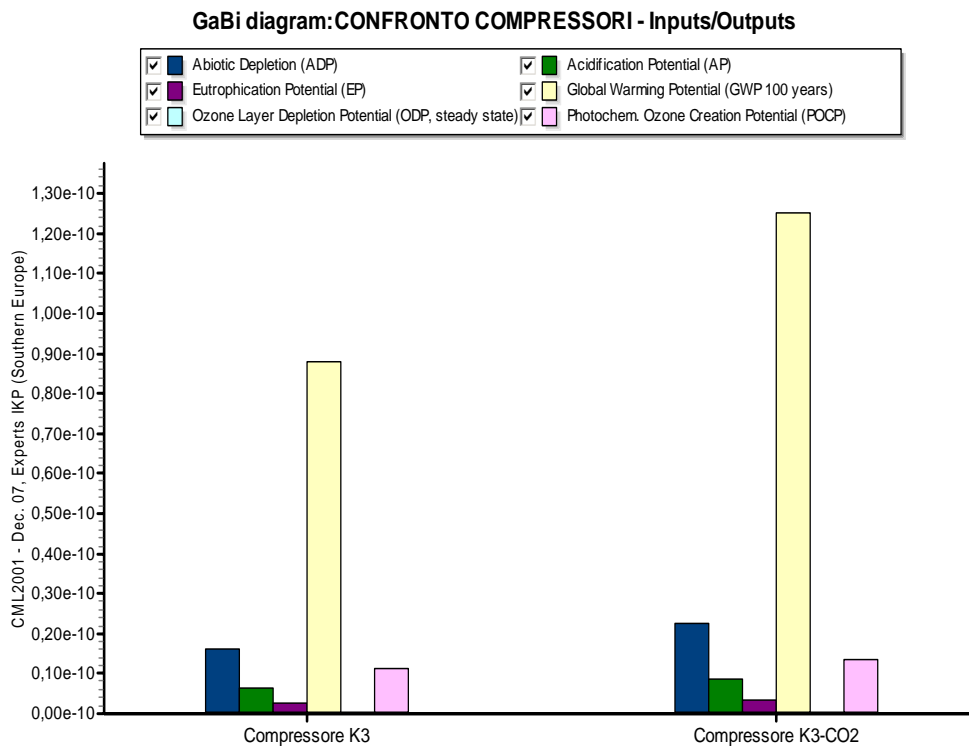


Figura 6.16: Confronto degli impatti del processo di produzione del compressore della K3 e della Eco-K3.

Essendo maggiori i quantitativi di materiale utilizzato nel compressore della Eco-K3, come prevedibile gli impatti prodotti dal prototipo risultano maggiori rispetto a quelli generati dalla K3.

Anche i valori degli impatti riportati nel grafico di figura 6.17 sono coerenti con le quantità di rame utilizzato nelle due macchine. Andando a focalizzare l'attenzione sul GWP, risulta che ad una riduzione del 16% del rame utilizzato nella Eco-K3 rispetto al quantitativo in peso necessario nella K3, corrisponde una riduzione del GWP del 23% rispetto al valore che tale indicatore assume in riferimento al processo di produzione dei componenti in rame della K3.

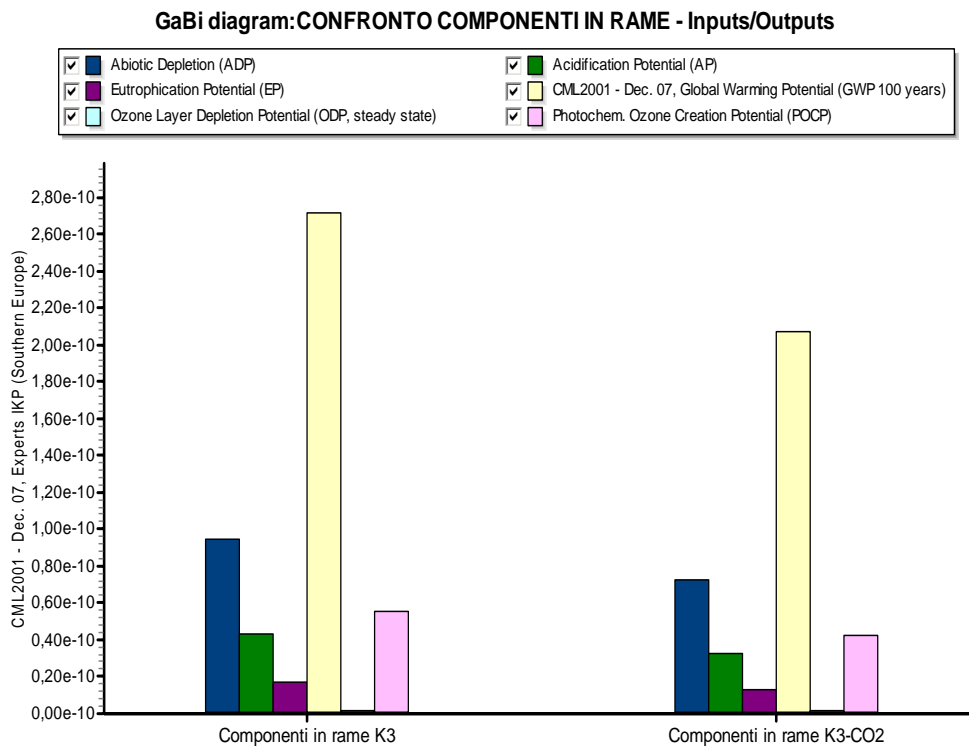


Figura 6.17: Confronto degli impatti del processo di produzione dei componenti in rame.

La figura 6.18 mostra l'andamento dei risultati per la valutazione del fine vita del confronto tra K3 e Eco-K3. Entrambi i macchinari presentano valori negativi degli indicatori di impatto e questo è dovuto alla modalità di modellizzazione che prevede il recupero del 90% di ghisa, acciaio e rame con conseguente risparmio di energia e materie prime necessarie alla loro produzione ex novo e questo può considerarsi un impatto evitato. Entrando nel dettaglio, il fine vita della Eco-K3 presenta valori negativi per tutte le categorie di impatto (impatti evitati), mentre il GWP dovuto allo smaltimento della K3 ha un valore positivo (impatto) attribuibile alla spesa associata all'incenerimento dell'HFC.

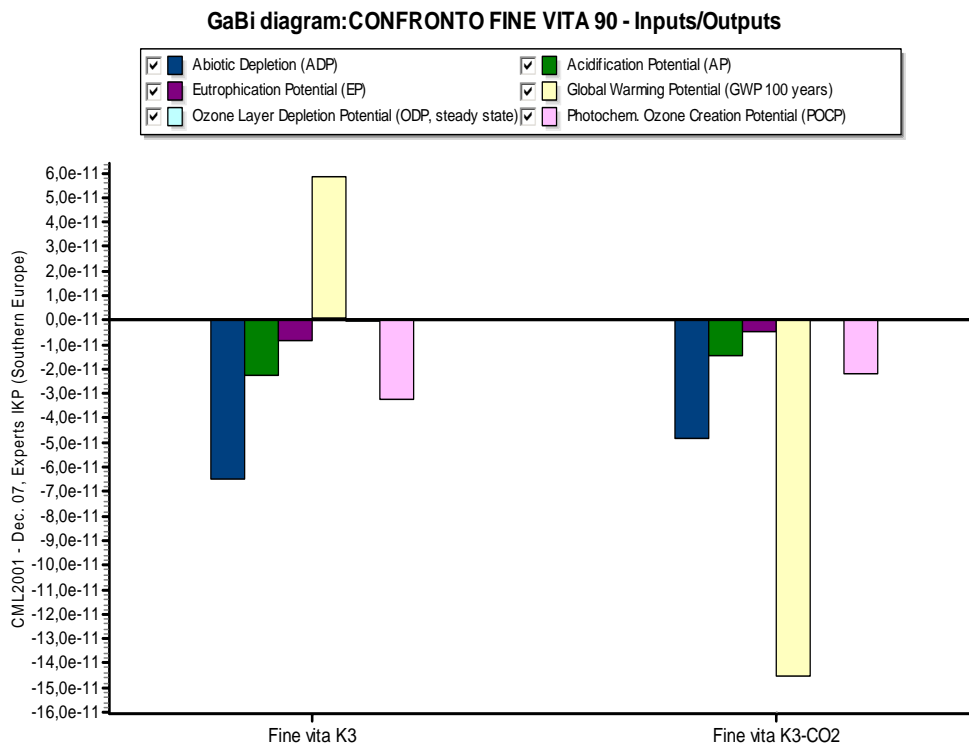


Figura 6.18: Confronto degli impatti del fine vita della K3 e della Eco-K3.

6.4.3.3 Analisi di sensitività

E' stata effettuata un'analisi di sensitività al fine di investigare la variabilità dei risultati dei potenziali impatti ambientali in seguito alla modifica di alcuni parametri facenti parte dell'inventario che risultano essere più sensibili in quanto maggiormente soggetti a calcoli o stime o assunzioni effettuate durante il LCI.

I parametri individuati riguardano:

- produzione della miscela gelato;
- percentuale di recupero dei materiali nel fine vita.

Scenari di produzione del gelato

Per quanto concerne il primo punto sono stati individuati tre scenari di produzione giornaliera di gelato:

- produzione media
- produzione bassa
- produzione alta

Lo scenario di **produzione media** giornaliera è quello considerato nella valutazione dei consumi della fase d'uso precedentemente descritta e prevede:

- 12 ore di modalità stand-by
- 15 minuti per l'accensione della macchina
- 6 ore di produzione "half capacity"
- 2 ore e 15 minuti di produzione "full capacity"
- 3 ore e 15 minuti di pastorizzazione
- 15 minuti di fase di spegnimento

Lo scenario di **bassa produzione** prevede:

- 8 ore di modalità stand-by
- 15 minuti per l'accensione della macchina
- 12 ore di produzione "half capacity"
- 3 ore di pastorizzazione
- 15 minuti di fase di spegnimento

Lo scenario di **alta produzione** prevede:

- 8 ore di modalità stand-by
- 15 minuti per l'accensione della macchina
- 12 ore di produzione "full capacity"
- 3 ore di pastorizzazione
- 15 minuti di fase di spegnimento

Nella tabella che segue sono riportati i consumi relativi ai tre scenari proposti sia per la K3 che per la Eco-K3.

	Consumi K3	Consumi Eco-K3
Alta	61,49 kWh	50,40 kWh
Media	44,29 kWh	35,11 kWh
Bassa	55,65 kWh	45,34 kWh

Tabella 6.15 :Consumi giornalieri in kWh per i tre scenari proposti.

I risultati della valutazione per i tre scenari proposti sono riportati nella figura 6.18 e mostrano come la produzione media giornaliera sia quella che genera meno impatti sull'ambiente sia per la K3 che per la Eco-K3.

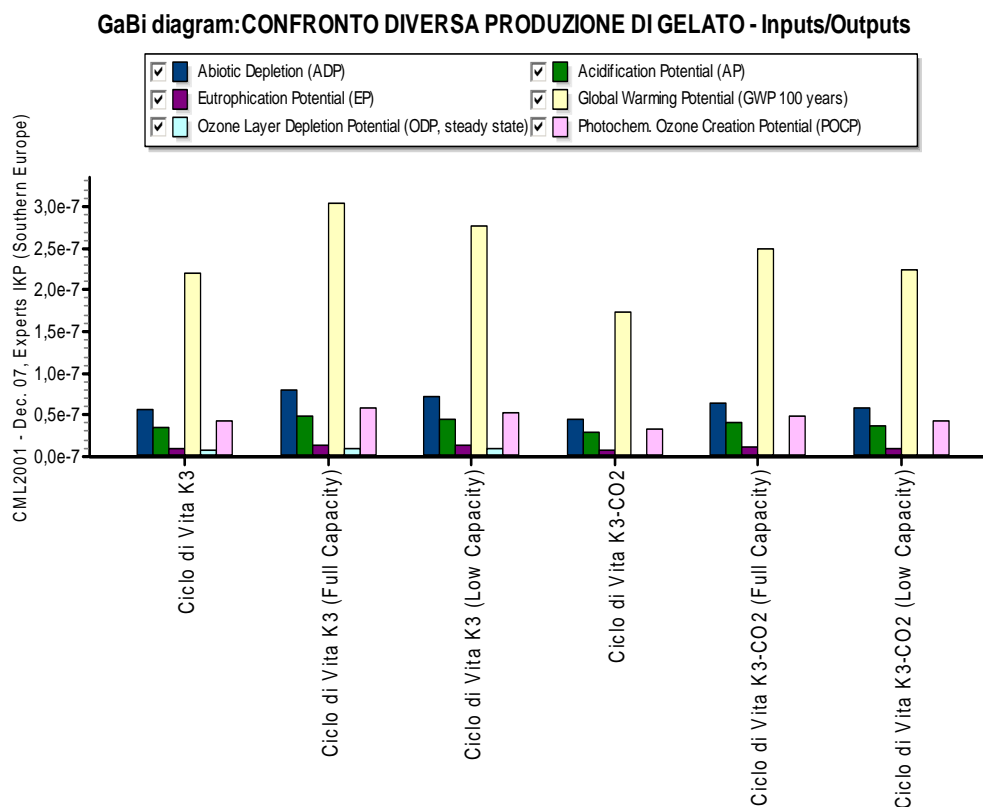


Figura 6.18: Confronto degli scenari di produzione di gelato.

Scenari di recupero dei materiali a fine vita

Nello scenario base utilizzato per lo studio di LCA è stata calcolata una percentuale di recupero dei materiali nella fase di fine vita dei due macchinari pari al 90%.

E' stata effettuata un'analisi di sensitività modificando la percentuale di recupero in quanto è possibile ipotizzare che la fase di disassemblaggio della macchina possa essere migliorata e che si possa giungere ad una percentuale di recupero dei materiali del 95%. I risultati di questa analisi indicano che si avrebbe un aumento degli impatti evitati sia per la K3 che per la Eco-K3 come è possibile vedere in figura 6.19.

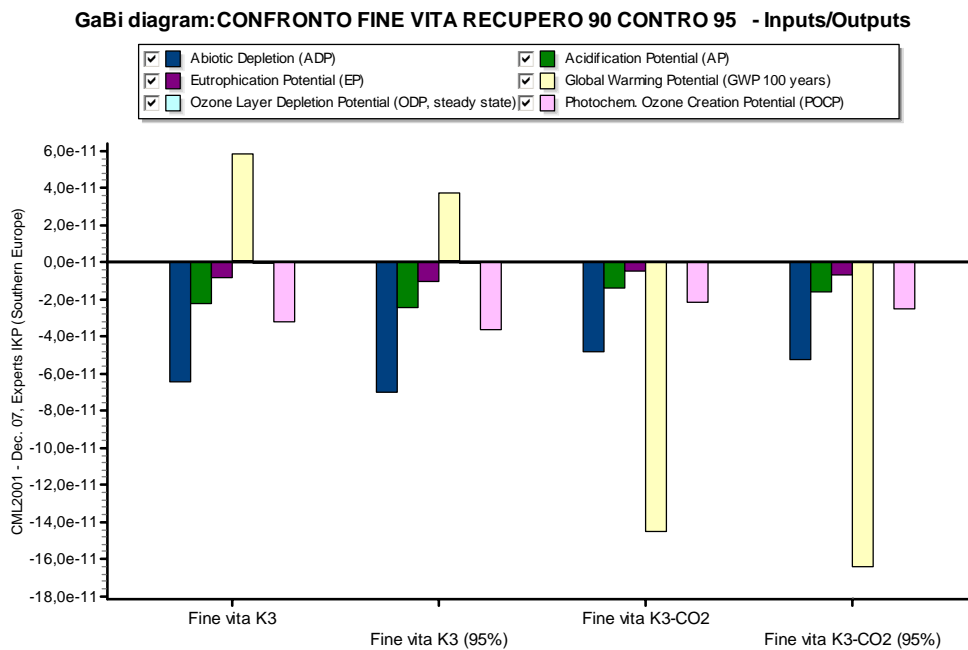


Figura 6.19: Confronto degli impatti derivanti dai due scenari proposti per il fine vita.

7. CONCLUSIONI

Questo lavoro di tesi di laurea presenta un caso di applicazione di strategie di eco-design ad una macchina per produrre gelato, sviluppata dall'azienda Carpigiani. Lo studio è stato svolto utilizzando la metodologia di LCA e ponendo a confronto la macchina K3, utilizzante come fluido refrigerante un HFC, e la macchina in fase di prototipazione Eco-K3, utilizzante CO₂.

Lo studio è stato condotto in collaborazione con il Centro di Ricerche ENEA di Bologna e con l'attiva partecipazione dello stakeholder industriale (azienda Carpigiani).

Dalla valutazione degli impatti dell'analisi di LCA comparativa tra i due macchinari risulta che il nuovo macchinario Eco-K3 esercita pressioni sull'ambiente complessivamente minori rispetto a quelle imputabili al ciclo di vita della K3. Le due categorie di impatto che risultano essere più significative sono il consumo di risorse abiotiche (Abiotic Depletion) ed il riscaldamento globale (Global Warming Potential), considerando l'intero ciclo di vita delle macchine, le riduzioni che la Eco-K3 apporta rispetto alla K3, si attestano su valori superiori al 20%.

L'analisi dettagliata delle fasi del ciclo di vita ha evidenziato come per entrambi i macchinari la fase di maggior impatto è la fase di uso a causa dell'elevato consumo di energia elettrica. Le migliori prestazioni energetiche della Eco-K3, evidenziate nei test di laboratorio condotti da Carpigiani, hanno prodotto una riduzione nei consumi elettrici del 23 % rispetto alla richiesta di energia in fase d'uso della K3.

L'analisi ha evidenziato dunque, che la Eco-K3 presenta una riduzione delle emissioni di CO₂ e dei consumi energetici superiore al 20%. La linea progettuale intrapresa con il nuovo design della K3 è perfettamente in linea con le strategie promosse dal pacchetto clima-energia approvato dal Parlamento Europeo il 12 dicembre 2008 che punta alla riduzione del 20%

delle emissioni di gas serra e dell'energia consumata e ad un aumento dell'energia prodotta da fonti rinnovabili del 20% entro il 2020.

Oltre che nella fase d'uso, riduzioni nelle emissioni, anche se più contenute, si riscontrano anche nelle fasi di assemblaggio e di smaltimento finale della Eco-K3 rispetto ai valori calcolati per la K3.

La sostituzione di un HFC (R-404 A) con CO₂ nel ciclo di refrigerazione, che costituisce certamente l'innovazione più profonda nel design della Eco-K3, comporta una significativa riduzione delle pressioni sull'ambiente generate nella fase di produzione del macchinario. Basti pensare che il valore di Ozone Depletion Potential, che misura il potenziale di impoverimento dello strato di ozono, si riduce di un valore maggiore all'80%.

Dunque in definitiva, l'utilizzo di un fluido refrigerante naturale produce benefici tali da annullare la crescita delle emissioni legata alla maggiore quantità totale di materiale utilizzato in fase di assemblaggio.

Tuttavia, le sperimentazioni ancora in corso e le proprietà di refrigerante della CO₂ (elevato effetto frigorifero volumetrico) indicano come sia possibile una diminuzione del volume dei componenti dell'impianto frigorifero della Eco-K3, che porti a valori equivalenti se non minori dei materiali utilizzati in fase di produzione, ad esempio del compressore, con conseguente risparmio di ghisa.

A questo possibile sviluppo della Eco-K3 si affianca la già concreta riduzione del rame utilizzato nell'impianto frigorifero della Eco-K3, che ha portato ad una riduzione degli impatti legati alla produzione dei tubi e degli scambiatori. Test di laboratorio hanno già evidenziato possibili ulteriori riduzioni delle sezioni dei tubi e delle dimensioni degli scambiatori di calore (a causa dell'elevato valore del calore di vaporizzazione volumetrico della CO₂), che oltre a produrre interessanti vantaggi economici legati al risparmio dei materiali, implicano non trascurabili progressi ambientali. Dalle analisi effettuate risulta una diminuzione dell'emissione di gas serra

più che proporzionale alla riduzione di rame utilizzato: infatti a fronte di 8,35 kg in meno di rame necessari per l'attuale versione del prototipo della Eco-K3 (- 16%) rispetto alla K3, è stata riscontrata una diminuzione del GWP (Global Warming Potential) pari al 23%.

Lo studio di LCA comparativa condotto è stato utile per confermare la linea intrapresa dai tecnici della Carpigiani nel loro percorso di progettazione. I dirigenti dell'azienda attraverso questo caso studio hanno potuto valutare l'efficacia dell'implementazione dei concetti dell'eco-design, ponendo le basi per una loro introduzione delle strategie di eco progettazione nella filosofia aziendale .

L'eco-design rappresenta un approccio metodologico-progettuale innovativo, che ha l'obiettivo di equiparare l'ambiente al medesimo status dei più tradizionali valori industriali, quali il profitto, la funzionalità, l'estetica, l'ergonomia, l'immagine e la qualità generale.

L'eco-innovazione proposta con la sostituzione dell'R-404 A con il CO₂ costituisce dunque solo il primo passo del piano ambizioso di Carpigiani di includere l'ambiente tra i driver della strategia aziendale.

Le intenzioni di Carpigiani sono confermate dalla volontà di non fermare la crescita del prodotto Eco-K3 alla sostituzione del refrigerante.

Infatti l'utilizzo di materie prime meno inquinanti costituisce solo una delle possibili strategie di eco-design.

La riduzione della quantità di materiale utilizzato o ipotesi migliorative del fine vita di un prodotto (recupero, riciclo) rappresentano concrete possibilità per il miglioramento del profilo ambientale del prodotto.

Dunque Carpigiani intende continuare le sperimentazioni volte alla riduzione delle dimensioni dei componenti dell'impianto frigorifero e sta valutando la possibilità di una diminuzione dei materiali utilizzati non solo nell'impianto frigorifero, ma anche estendendola a tutte le parti della Eco-K3.

Inoltre sempre in un'ottica di eco-design, uno schema di impianto della macchina volto a facilitare la fase di disassemblaggio (in conformità con le linee delle direttiva sui RAEE) potrebbe costituire una delle linee di sviluppo del prototipo Eco-K3. Ciò implicherebbe un aumento della possibilità di recupero dei materiali alla fine della vita utile della macchina. Lo studio condotto in questo lavoro di tesi ha evidenziato come un aumento del 5% della quantità di recupero nella fase di smaltimento produca benefici evidenti nella riduzione degli impatti dell'intero ciclo di vita della macchina (figura 6.19, Capitolo 6). In quest'ottica andrebbe ulteriormente analizzata la fase di disassemblaggio, valutando i tempi di smontaggio della macchina e la facilità di individuare componenti con materiali a elevato impatto ambientale (oli, metalli e materiali pregiati..) e materiali riciclabili (plastiche, alluminio).

Concretizzare le ipotesi di sviluppo del prodotto appena descritte, consentirebbe di rispondere sempre meglio ai requisiti previsti dalle direttive europee (RAEE, EuP) ed aprirebbe le porte per l'ottenimento di una certificazione ambientale certamente spendibile a livello di marketing. Carpigiani ha compreso come in mercati sempre più attenti alle prestazioni ambientali dei prodotti, la variabile ambiente sia elemento strategico fondamentale per la conquista di nuove spazi di mercato.

A conferma di quanto detto c'è la recente decisione di Carpigiani di allargare il processo di ecoprogettazione anche ad altri prodotti. Presto una delle macchine per la produzione di granite di Carpigiani seguirà lo stesso percorso di analisi (LCA) ed eco-design che attualmente interessa la nuova versione della K3.

Dunque Carpigiani costituisce un ottimo esempio di come partendo dalla eco-innovazione di un prodotto, un'azienda possa intraprendere un processo di rinnovamento della filosofia aziendale volta a percepire l'ambiente non come una limitazione ma come un'opportunità.

Il percorso intrapreso da Carpigiani ben incarna i principi proposti dalla direttiva sui prodotti ad elevati consumi energetici (EuP).

Per il periodo 2009-2011 la Commissione Europea ha previsto l'estensione della direttiva EuP anche alle attrezzature per il congelamento e la refrigerazione tra cui sono comprese le macchine per la produzione di gelato.

Il Nuovo Piano di Lavoro prevede la definizione di requisiti di eco-design, tra i quali il miglioramento dell'efficienza energetica per tutti i prodotti utilizzanti energia di vari settori (sia domestico che industriale)

La prima fase prevede uno studio preparatorio che definisca i requisiti di eco design per un particolare prodotto, in modo da fornire raccomandazioni per il miglioramento delle prestazioni ambientali del prodotto.

La tecnologia innovativa adottata da Carpigiani, oggetto di questa tesi, potrebbe essere di riferimento per lo studio preparatorio del gruppo di prodotti relativi alle attrezzature per il congelamento e la refrigerazione.

Attualmente Carpigiani si sta interessando per partecipare alla consultazione delle parti interessate prevista dalla Direzione Generale dei Trasporti e dell'Energia (DG TREN) che sta effettuando gli studi per definire i requisiti di eco-design previsti dalla normativa.

Lo studio di LCA condotto in questa tesi di laurea ha consentito ad ENEA, che da oltre un decennio è attivo nella ricerca e sviluppo metodologico e degli strumenti operativi in materia di LCA, di ampliare la propria banca dati di LCA relativa a processi di realtà specifiche locali e di consentire a diffondere maggiormente l'**eco-innovazione** quale strumento per le aziende del territorio

Il caso studio di Carpigiani può costituire, infine, un valido esempio di connubio tra ricerca ed innovazione aziendale, attraverso il quale le valutazioni di carattere ambientale diventano parte integrante del processo produttivo fin dalla fase progettuale ed offrono un vantaggio competitivo in mercati sempre più attenti al tema del rispetto dell'ambiente.

BIBLIOGRAFIA

- Bonauguri E., Miari D., *“Tecnica del freddo”*, HOEPLI, 1977
- Bovea M., Cabello R., Querol D., *“Comparative Life Cycle Assessment of commonly used refrigerants in commercial refrigeration systems”*, 2006
- Brezet H., Van Hemel C., *“Ecodesign - A promising approach to sustainable production and consumption”*, Delft University of Technology, 1997
- Cappellaro F., *“Introduzione alla LCA”*, ENEA, 2001
- Eifel M., DG Enterprise and Industry Unit H/5, *“A framework for setting eco-design requirements for energy –using products”*
- Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni sul Piano d'Azione "Produzione e consumo sostenibili" e "Politica industriale sostenibile", Bruxelles 16.7.2008. COM(2008) 397 definitivo (PCS).
- Consoli F. et al., *Guidelines for Life-Cycle Assessment : a code of practice*, SETAC Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 1993, Brussels, Belgium. documentation format, 2002
- Direttiva 2000/53/CE (ELV)
- Direttiva 2002/95/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 27 gennaio 2003, sulla restrizione dell'uso di determinate sostanze pericolose nelle apparecchiature elettriche ed elettroniche (RoHS).
- Direttiva 2002/96/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio 27 gennaio 2003 sui rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE)
- Direttiva 2005/32/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio relativa all'istituzione di un quadro per l'elaborazione di specifiche per la

progettazione ecocompatibile dei prodotti che consumano energia e recante modifica della direttiva 92/42/CEE del Consiglio e delle direttive 96/57/CE e 2000/55/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio.

- Direttiva quadro 2005/32/CE (EuP) – Definizione di specifiche per l’eco-design e per la certificazione di prodotti con elevati consumi energetici.
- Garret P., Madsen J., Wallen E., “*Enviromental tradeoffs of the Energy-using Products (EuP) directive and Product Policy*”, 2007
- Ghisellini P., “*La direttiva EUP (2005/32/CE): principali adempimenti previsti e stato di attuazione*”. Documento ENEA ACS - P9M5 – 004, 2007
- Giuliani M., Tavecchio R., “*L’applicazione della CO₂ con ciclo a cascata nella refrigerazione industriale*”, Proceedings of “*Natural refrigerant: will carbon dioxide be the ultimate solution?*”, Padova 4 dicembre 2007
- ISO (UNI EN) 14025, Environmental labels and declarations – Type III environmental declaration- Principles and Procedures ISO 14025:2006, International Organization for Standardization, 2006, Geneve, Switzerland.
- ISO (UNI EN) 14040, Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework, ISO 14040:2006(E), International Organization for Standardization, 2006, Geneve, Switzerland.
- ISO (UNI EN) 14044, Environmental Management - Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines, ISO 14040:2006(E), International Organization for Standardization, 2006, Geneve, Switzerland.
- Jeffus L., “*Refrigeration and air conditioning*”, Prentice Hall, 2004

- Johnson R.W., “*The effect of blowing agent on Energy use and global warming impact of a refrigerator*, *International Journal of Refrigeration*” 27, 794-799, 2004
- Libro Verde sull’efficienza energetica: fare di più con meno, COM 265 definitivo, 2005
- Masoni P., “*Analisi comparativa dell’indice TEWI (Total Equivalent Warming Impact) di Idrofluorocarburi (HFC) e Idrocarburi (HC) per apparecchi di refrigerazione domestica*”, ENEA, 2000
- Pavoni P., Bonoli A., 2005. Tesi di laurea Ingegneria Gestionale “*La produzione e il riciclaggio dell’acciaio: impatto ambientale e aspetti economici*”.
- Pennington David, Wolf Marc-Andree, Bersani Raffaella and Pretato Ugo. *Overcoming Barriers to the Broader Implementation of Life Cycle Thinking in Business and Public Administration*. Int J LCA 12 (7) 458 – 460, 2007
- Regolamento (CE) n. 1907/2006 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 18 dicembre 2006, concernente la registrazione, la valutazione, l'autorizzazione e la restrizione delle sostanze chimiche (REACH).
- Regolamento (CE) N. 2037/2000 del Parlamento Europeo e del Consiglio, relativo alle sostanze che riducono lo strato di ozono e dei miscugli contenenti sostanze che riducono lo strato di ozono.
- Regolamento (CE) N. 1980/2000 del Parlamento Europeo e del Consiglio, relativo al sistema comunitario, riesaminato, di assegnazione di un marchio di qualità ecologica (Ecolabel).
- Regolamento (CE) N. 761/2001 del Parlamento Europeo e del Consiglio e successive modifiche, sull’adesione volontaria delle organizzazioni a un sistema comunitario di ecogestione e audit (EMAS).
- Schischke K., Hagelüken M., Steffenhagen G., “*An Introduction to EcoDesign Strategies – Why, what and how?*” Brussels, 2005.

<http://www.anie.it/browse>

<http://www.ecosmes.net>

<http://www.elsevier.com>

<http://www.freepatentsonline.com/4937398.html>

<http://lca.jrc.ec.europa.eu/>

<http://www.arcoveggio.enea.it.lca>

<http://lca.jrc.ec.europa.eu/EPLCA/>

<http://www.bir.org/aboutrecycling/index.asp>

<http://www.copper.org/applications/automotive/radiators/recyclability.html>