



Università Ca' Foscari Venezia

Facoltà di Scienze Fisiche Naturali Matematiche

Corso di laurea specialistica in Scienze Ambientali

TESI DI LAUREA

**VALUTAZIONE DEL CICLO DI VITA DI UNA
MACCHINA PER MOVIMENTO TERRA**

Laureanda: Elisa Davirno

Numero di matricola: 799972

Relatore: Prof. Leo Breedveld

Correlatori: Prof. Daniele Pernigotti

Ing. Angelo Brusiani

Anno Accademico 2004/2005

TITOLO DELLA TESI DI LAUREA

**VALUTAZIONE DEL CICLO DI VITA DI UNA
MACCHINA PER MOVIMENTO TERRA**

Laureanda: Elisa Davirno

Numero di matricola: 799972

Relatore: Prof. Leo Breedveld

Correlatori: Prof. Daniele Pernigotti

Ing. Angelo Brusiani

Anno Accademico 2004/2005

Grazie a tutti coloro che hanno contribuito alla riuscita del progetto!

Elisa

Indice

Introduzione	7
1. Komatsu e l'ambiente	8
1.1. Dal processo produttivo al prodotto: evoluzione della politica ambientale	8
1.2. Integrazione tra il Sistema di Gestione ambientale e la Valutazione del Ciclo di Vita	9
1.3. Strategie aziendali nei confronti dell'ambiente	13
1.4. L'azienda	14
1.5. Realtà ambientale di Komatsu	15
1.5.1. Politica Ambientale della casa madre	16
1.5.2. Politica Ambientale di Komatsu Italia	18
1.6. Motivazioni dell'implementazione dell'LCA	20
1.7. Scelta del tipo di LCA	22
1.8. Tempi e luoghi di realizzazione dello studio	23
2. Descrizione del metodo Life Cycle Assessment (LCA)	24
2.1. Cos'è l'LCA	24
2.2. Storia	25
2.3. Metodologia	27
2.3.1. Definizione dell'obiettivo e campo di applicazione	29
2.3.2. Inventario	31
2.3.3. Valutazione dell'impatto	32
2.3.4. Interpretazione	36
2.4. Applicazioni	37
2.5. Vantaggi e limiti del metodo LCA	40
3. LCA della macchina per movimento terra "Terna WB93, Komatsu"	42
3.1. Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione	43
3.1.1. Finalità dello studio	43
3.1.2. Unità funzionale	43
3.1.3. Confini di sistema	46

3.1.4. Dati utilizzati	47
3.2. Inventario	48
3.2.1. Produzione estrazione lavorazione delle materie prime	48
3.2.2. Assemblaggio della terna	48
3.2.3. Utilizzo	56
3.2.4. Fine vita	60
3.3. Valutazione degli impatti	64
3.3.1. Valutazione degli impatti con il metodo Ecoindicator	64
3.3.2. Valutazione degli impatti con il metodo CML 2001	71
3.4. Interpretazione	76
4. Conclusioni e raccomandazioni	83
Glossario	86
Bibliografia	88

Introduzione

In questo documento è presentata l'applicazione del metodo *Life Cycle Assessment*, LCA, ad una macchina per movimento terra. Lo studio è stato realizzato su richiesta di un'azienda del settore.

L'obiettivo di questo lavoro è studiare gli impatti ambientali potenziali del prodotto lungo tutto il suo ciclo di vita al fine di proporre dei miglioramenti. Lo studio è condotto con il metodo LCA e con il supporto informatico di un programma apposito.

Questo documento è articolato in tre parti:

- Integrazione del prodotto nei sistemi di gestione ambientale.

In questa parte viene presentata l'evoluzione dei sistemi di gestione ambientale con integrazione del prodotto come ambito di miglioramento per l'impresa, la politica ambientale dell'azienda, aspetti operativi dello studio.

- Descrizione del metodo LCA.

In questa parte viene presentata la base teorica della metodologia LCA, la storia, alcuni esempi di applicazione.

- LCA di una macchina movimento terra.

In questa parte è presentato, analizzato e discusso lo studio realizzato sul prodotto.

Sono proposte e valutate alcune possibili opzioni di miglioramento sul prodotto e sono fornite indicazioni di miglioramento per lo studio stesso.



Foto della macchina studiata

1. Komatsu e l'ambiente

1.1 Dal processo produttivo al prodotto: evoluzione della politica ambientale

La politica ambientale ha avuto nel corso dell'ultimo trentennio una notevole evoluzione qualitativa.

Durante gli anni '70 e la prima parte degli anni '80 la protezione dell'ambiente e la riduzione dell'inquinamento sono attuate tradizionalmente con un approccio del tipo "*Command and Control*", attraverso l'emaneazione di prescrizioni legislative e il successivo controllo amministrativo del loro rispetto. Gli interventi sono essenzialmente improntati su azioni di disinquinamento e risanamento ambientale, mirati a rimediare le numerose emergenze ambientali. Gli interventi a impianti produttivi sono del tipo "*end of pipe*".

Gli anni '80 vedono la definizione del concetto di "sviluppo sostenibile" e l'influenza sempre maggiore da parte dell'opinione pubblica sui temi ambientali. Le azioni ambientali mirano alla prevenzione dell'inquinamento, con lo sviluppo di tecnologie più pulite. Al meccanismo di "comando e controllo" si sostituisce quello di "chi inquina paga".

Negli anni '90 si ha la progressiva internalizzazione della variabile ambientale nei settori produttivi. Sono definite nuove forme di intervento: i sistemi di gestione ambientale, accordi volontari che ricercano una soluzione consensuale ai problemi ambientali. I sistemi di gestione ambientale hanno, in accordo con l'evoluzione della legislazione, lo scopo di instaurare all'interno delle aziende delle procedure chiare volte al miglioramento della performance ambientale delle attività svolte dalle imprese [1].

La norma internazionale ISO 14001 fornisce la seguente definizione di sistema di gestione ambientale (*EMS, Environmental Management System*): "Il sistema di gestione ambientale è la parte del sistema di gestione generale che comprende la struttura organizzativa, le attività di pianificazione, le responsabilità, le prassi, le procedure, i processi, le risorse per elaborare, mettere in atto, conseguire, riesaminare e mantenere attiva la politica ambientale"[2].

I sistemi di gestione ambientale rappresentano il primo passo verso il miglioramento delle prestazioni ambientali di un'azienda in quanto consentono di valutare le proprie prestazioni e di migliorarle. Caratteristica fondamentale risulta il fatto che questi sistemi non sono prescrittivi: non specificano come il miglioramento deve essere ottenuto, ma delineano una serie di procedure e regole per lo sviluppo di un ruolo proattivo delle

aziende nel miglioramento delle performance ambientali, stimolando soluzioni ad hoc.

Essi comprendono tra le attività svolte:

- la definizione di una politica ambientale e di specifici obiettivi;
- l'attribuzione di chiare e precise responsabilità;
- l'introduzione di prassi e procedure di attuazione e controllo;
- l'attuazione di azioni di informazione e formazione [1].

Relativamente ai sistemi di gestione ambientale, esistono due standard principali:

- il Regolamento *Eco-Management and Audit Scheme* (EMAS);
- lo standard internazionale UNI EN ISO 14001.

1.2 Integrazione tra il Sistema di Gestione ambientale e la Valutazione del Ciclo di Vita

Lo sviluppo sostenibile del settore produttivo non può essere affrontato in termini di semplice riduzione dell'impatto ambientale prodotto a livello di singola impresa, ma deve essere impostato con un approccio preventivo che, attraverso interventi sui cicli produttivi e sugli stessi prodotti, permetta di minimizzare gli effetti negativi sull'ambiente. Gli interventi, per essere efficaci ed evitare il semplice spostamento del problema, non vanno pensati a livello dei singoli impianti o industrie, ma devono essere progettati tenendo conto dell'intera catena del valore.

È su questa base che la commissione Europea sta modificando il suo tradizionale approccio alla gestione ambientale applicata ai prodotti a favore di uno nuovo basato sulla Politica Integrata di Prodotto (IPP) definita come “una politica pubblica esplicitamente orientata a modificare la prestazione ambientale dei sistemi di prodotto”. (DECISIONE N. 1600/2002/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 22 luglio 2002 che istituisce il sesto programma comunitario di azione in materia di ambiente). Questo orientamento e le prime azioni conseguenti sono testimoniate dal Libro Verde sulla IPP della comunità europea che prevede, tra le varie azioni, “il riesame delle potenzialità della normativa di nuovo approccio per incentivare una progettazione più ecologica dei prodotti e la creazione di un collegamento con il sistema europeo EMAS” [3].

In questa fase l'azione delle imprese già attive nel campo dei sistemi di gestione ambientale è semplificata, poiché la gestione dei prodotti è vista come una naturale estensione del proprio sistema di gestione aziendale.

Una delle motivazioni di tale propensione è dovuta alla necessità di individuare nuovi ambiti di miglioramento delle prestazioni ambientali: dopo un primo periodo nel quale si interviene con provvedimenti di miglioramento dei processi produttivi che vedono una riduzione dell'impatto ambientale, ci si trova spesso nella difficoltà di individuare altre azioni di miglioramento, impegno necessario per il rispetto del "principio di miglioramento continuo" previsto dal sistema di gestione ambientale.

Gli strumenti attuativi per una politica di prevenzione ambientale integrata di prodotto sono basati sostanzialmente sull'analisi del ciclo di vita dei prodotti: *Life Cycle Assessment*, LCA, che prende in considerazione le seguenti fasi: l'estrazione e il trattamento delle materie prime, la fabbricazione, il trasporto, la distribuzione, l'uso, il riuso, il riciclo e lo smaltimento finale.

In questo modo si supera il "limite" del processo produttivo attraverso la progressiva integrazione con le politiche ambientali di prodotto. Questo orientamento è già stato adottato autonomamente da molte imprese perché si integra perfettamente nella logica dei sistemi di gestione ambientale, che in base a questo nuovo approccio sono stati revisionati. La novità è costituita dall'introduzione di elementi relativi all'identificazione degli aspetti ambientali rilevanti associati ai prodotti e ai servizi oltre che alle attività sotto il diretto controllo dell'organizzazione che attua il Sistema di Gestione Ambientale.

Nella UNI EN ISO 14001 sono stati modificati i seguenti punti:

- Scopo e campo di applicazione,
- Aspetti ambientali,

in cui sono state individuate più chiaramente le due diverse tipologie di aspetti: quelli da tenere sotto controllo e quelli dove l'organizzazione può esercitare un'influenza.

Nella seguente tabella, Tab. 1.1 si riportano i punti modificati.

UNI EN ISO 14001: 1996	UNI EN ISO 14001: 2004
<p>1.Scopo e campo di applicazione</p> <p>“Essa si applica a quegli aspetti ambientali sui quali l’organizzazione può esercitare un controllo e ci si può attendere che abbia influenza.”</p> <p>4.3.1 Aspetti ambientali</p> <p>“L’organizzazione deve stabilire e mantenere attiva una procedura (o procedure) per individuare gli aspetti ambientali delle proprie attività, prodotti o servizi che può tenere sotto controllo e su cui ci si può attendere che abbia un’influenza, al fine di determinare quelli che hanno o possono avere impatti significativi sull’ambiente”.</p>	<p>1.Scopo e campo di applicazione</p> <p>“La presente norma internazionale si applica agli aspetti ambientali che l’organizzazione identifica come quelli che essa può tenere sotto controllo e come quelli sui quali essa può esercitare un’influenza”</p> <p>4.3.1 Aspetti ambientali</p> <p>“L’organizzazione deve stabilire, attuare e mantenere attive una o più procedure per: identificare gli aspetti ambientali delle proprie attività, prodotti e servizi che, all’interno del campo di applicazione definito per il sistema di gestione ambientale, l’organizzazione può tenere sotto controllo e quelli sui quali essa può esercitare un’influenza, tenendo conto degli sviluppi nuovi o pianificati, o di attività, prodotti e servizi nuovi o modificati...”</p>

Tab.1.1: Modifiche tra ISO 14001: 1996 e ISO 14001: 2004.

ISO 14001 (2004) – Appendice A

Gli aspetti ambientali indiretti:

“Oltre agli aspetti ambientali che può tenere sotto controllo direttamente, un'organizzazione dovrebbe considerare anche gli aspetti sui quali essa può esercitare un'influenza, per esempio quelli relativi ai beni e servizi utilizzati dall'organizzazione e quelli relativi ai prodotti e servizi che essa fornisce.” ... “Bisognerebbe tenere in giusta considerazione quegli aspetti relativi ad attività, prodotti e servizi dell'organizzazione, quali:

- progettazione e sviluppo;
- processi produttivi;
- imballaggio e trasporto;
- prestazione ambientale e prassi in uso presso appaltatori e fornitori;
- gestione dei rifiuti;

- estrazione e distribuzione di materie prime e risorse naturali;
- distribuzione, uso e fine vita dei prodotti;
- fauna e biodiversità.”

... “Un'organizzazione responsabile della progettazione dei propri prodotti può influenzare tali aspetti in modo significativo, cambiando per esempio un singolo materiale in ingresso...”.

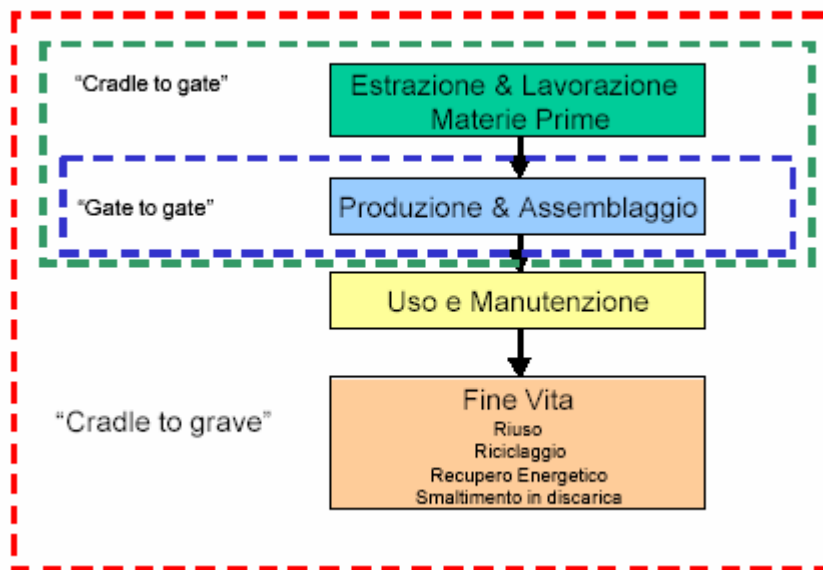


Figura 1.1: Fasi di vita del prodotto

Fonte: “Valutazione del ciclo di vita e sue applicazioni in azienda”

Ecobilancio srl per Ambiente Italia [18].

Si tratta dei primi passi importanti nella direzione della introduzione di elementi di politica di prodotto, basati sulla valutazione del ciclo vita LCA, strumento a carattere volontario, all’interno dei Sistemi di Gestione Ambientale. Accanto a questo, tuttavia, sta muovendo i primi passi anche un nuovo strumento specificamente orientato al prodotto. Si tratta dei POEMS (*Product-Oriented Environmental Management Systems*), che potrebbero rappresentare l'evoluzione futura della gestione ambientale. I POEMS sono strumenti ancora non codificati da norme riconosciute a livello internazionale, ma sui quali già si stanno realizzando le prime esperienze (le più importanti hanno avuto luogo in Olanda, Francia e Danimarca) [3].

1.3 Strategie aziendali nei confronti dell'ambiente

Nell'ambito della definizione delle diverse strategie aziendali nei confronti dell'ambiente si può distinguere fra le tipologie d'approccio passivo, adattivo e proattivo.

L'impresa passiva considera la variabile ambientale un vincolo, interviene con misure a valle del processo produttivo (*end of pipe*), subisce l'evoluzione della produzione normativa, eventuali modifiche impiantistiche per l'adeguamento ai nuovi provvedimenti sono demandate ai tecnici di produzione. La comunicazione è limitata alla sola informazione rivolta alle istituzioni su quanto, per legge, da loro richiesto.

L'impresa adattiva considera l'impegno ambientale una necessità: oltre all'impiego di tecnologie di abbattimento a valle, sono introdotte modifiche di processo. La variabile ambientale non è considerata un vincolo ma un'opportunità di riduzione dei costi di gestione. Gli sforzi di miglioramento sono incentrati a livello di sola produzione. La comunicazione avviene in risposta a sollecitazioni esterne e vengono divulgate solo quelle informazioni che comportano un vantaggio diretto per le imprese.

L'impresa proattiva ha iniziato il processo di internalizzazione della variabile ambientale., è implementato un sistema di gestione ambientale che coinvolge tutti i livelli e le funzioni aziendali. La comunicazione con l'esterno è considerata un punto di forza sia per l'immagine dell'impresa che per una maggiore legittimazione in campo sociale.

1.4 L'azienda



Figura 1.2: Logo Komatsu

Komatsu Italia è tra i principali protagonisti nella distribuzione delle macchine movimento terra sul mercato italiano, con un fatturato annuo di circa 200 milioni di Euro e con più di 600 dipendenti si colloca tra le così dette “grandi aziende”.

L'azienda, con sede ad Este in provincia di Padova, è una filiale del gruppo giapponese Komatsu. La casa madre si trova a Tokyo in Giappone e dirige stabilimenti produttivi in un panorama internazionale, con una distribuzione su tutti i continenti.

La storia di Komatsu inizia nel 1917 quando la società *Takeuchi Mining Industry*, costituita nel 1894, fonda *Komatsu Iron Works* allo scopo di produrre macchine per l'attività mineraria ad uso interno. La produzione è in seguito indirizzata alla realizzazione di grandi presse, livellatrici e macchine movimento terra per l'edilizia. Risale al 1967 la costituzione della prima filiale d'oltremare: N.V. Komatsu Europe S.A. in Belgio. Da allora inizia una progressiva espansione internazionale degli stabilimenti Komatsu. Ad oggi l'azienda ha sedi produttive in Stati Uniti (1970), Cina (1971), Messico (1974), Brasile (1975), Australia (1979), Indonesia (1982), Regno Unito (1985), Germania (1986), Italia (1991), Vietnam (1995), Sudafrica (1997), Russia (1998), Emirati Arabi (1999).

Komatsu arriva in Italia nel 1991 e inizia una partecipazione paritaria nella FAI S.p.A., industria metalmeccanica con sede a Noventa Vicentina ed Este, nel 1995 si ha la costituzione di FKI Fai Komatsu Industries S.p.A. che nel giugno 2000 assume la nuova denominazione Komatsu Utility Europe S.p.A.. Attualmente la sede legale si trova presso Noventa Vicentina (VI) e la sede operativa ad Este (PD). [21]

L'azienda detiene la certificazione di qualità secondo la norma UNI EN ISO 9001 VISION 2000, conseguita nel 2003 e la certificazione ambientale UNI EN ISO 14001, conseguita nel novembre 2001.

Nello stabilimento di Este avviene la progettazione delle macchine con un reparto specializzato nella realizzazione di prototipi, e l'assemblaggio delle stesse, i cui componenti provengono da fornitori esterni. Sono presenti anche un settore per la verniciatura, uno di carpenteria e uno per i collaudi.

1.5 Realtà ambientale di Komatsu

Komatsu è un'azienda proattiva nei confronti dell'ambiente, ha adottato da tempo una Politica Ambientale sia a livello internazionale, sia nazionale.

Il sito di Este detiene dal 2001 la certificazione UNI EN ISO 14001, che rappresenta la conferma dell'impegno preso verso l'ambiente.

Relazioni tra le attività del Gruppo Komatsu con l'Ambiente e la Società

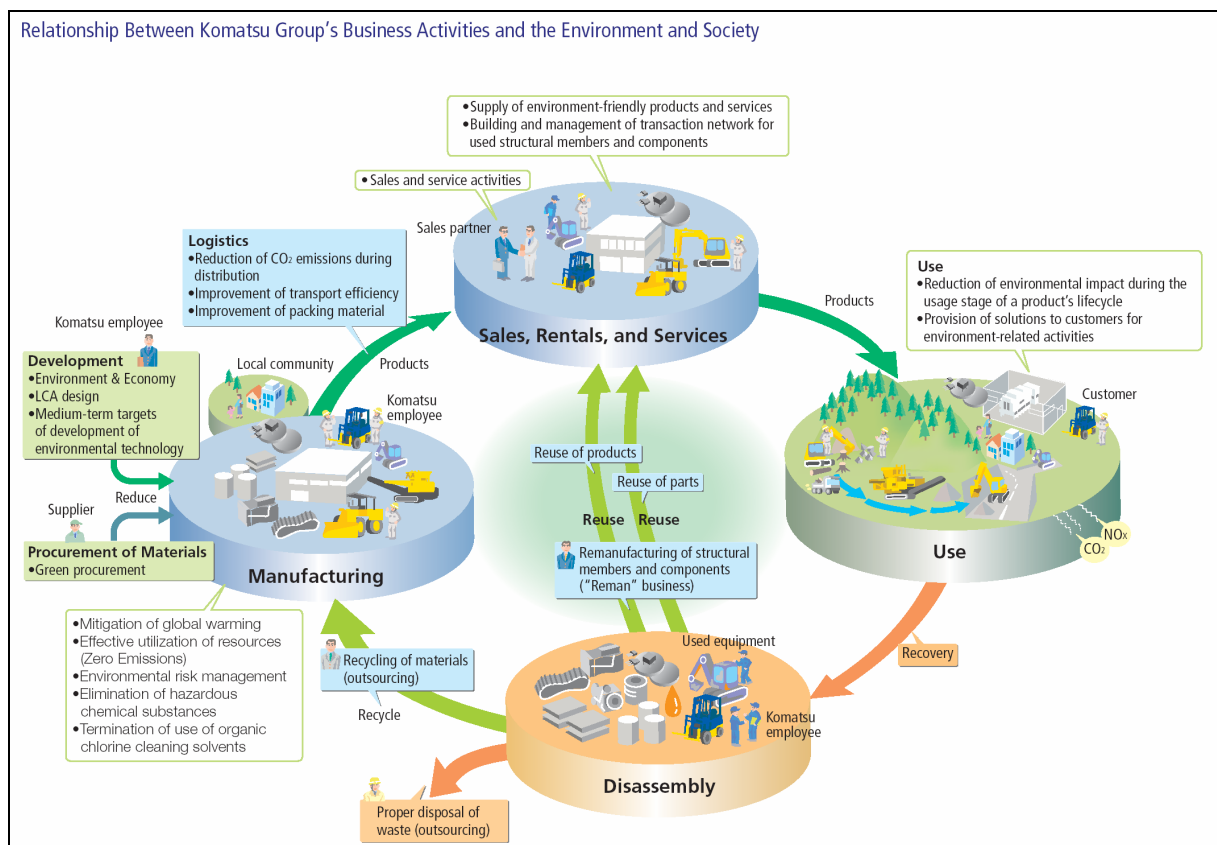


Figura 1.3: Relazioni tra le attività del Gruppo Komatsu con l'Ambiente e la Società

Fonte: Komatsu Environmental & Social Report, 2005 [19]

1.5.1 Politica Ambientale della casa madre

La casa madre realizza e pubblica annualmente il *Komatsu Environmental & Social Report*, un documento in cui è illustrata la Politica Ambientale ovvero “le intenzioni e direttive complessive di un’organizzazione relative alla propria prestazione ambientale come espresso formalmente dall’alta direzione” (UNI EN ISO 14001, 2004).

La Politica Ambientale è realizzata nella forma di una “carta dei principi” che va sotto il nome di *Komatsu Earth Environment Charter*. Questo documento presenta i principi che il Gruppo Komatsu deve perseguire e le linee guida per le attività.

1. Principi

- Contribuire alla realizzazione di uno sviluppo sostenibile
Il Gruppo Komatsu riconosce che la conservazione dell’ambiente per uno sviluppo sostenibile è un dovere fondamentale della società del 21° secolo. Il Gruppo Komatsu s’impegna a rispettare questo dovere integrando conservazione dell’ambiente e business, ritenendo questo impegno un’importante priorità gestionale.
- Realizzare allo stesso tempo performance ambientali ed economiche
Il Gruppo Komatsu s’impegna a migliorare le performance ambientali e l’efficienza economica, puntando ad aumentare la qualità della produzione per la soddisfazione dei clienti. A questo scopo il gruppo presta attenzione alla nascita di nuove tecnologie per sviluppare prodotti innovativi che migliorino allo stesso tempo le performance ambientali ed economiche lungo il ciclo di vita del prodotto.
- Responsabilità sociale da parte di ciascuna filiale
Ogni stabilimento del Gruppo Komatsu ha delle responsabilità sociali nel Paese in cui si trova di cui deve rispettare leggi e regolamenti per la conservazione ambientale.

2. Linee guida per l’attività

2.1 Sistema di gestione ambientale globale dell’intero gruppo

- Gli stabilimenti produttivi che hanno conseguito la certificazione ambientale devono impegnarsi a mantenere e migliorare il sistema di gestione ambientale, mentre gli stabilimenti che ne sono privi devono impegnarsi ad acquisire la certificazione quanto prima. Il Gruppo Komatsu si impegna a migliorare la gestione ambientale non solo a livello della produzione ma a tutti i settori del business.

- Komatsu Environmental Committee sviluppa dei piani d'azione ambientale, che devono essere perseguiti da ciascuno stabilimento secondo specifici provvedimenti, e un manuale ambientale con linee guida generali che ciascun stabilimento deve implementare in base alle circostanze in cui opera.

2.2 Sviluppo di prodotti e tecnologie con performance ambientali ed economiche migliori.

2.3 Abbattimento totale delle missioni : obiettivo “*Zero Emissions*”.

- Il Gruppo Komatsu sta lavorando per realizzare l'abbattimento totale delle emissioni nei siti produttivi in Giappone con dei sistemi innovativi da estendere progressivamente a tutti gli stabilimenti. L'obiettivo è di estendere questi sistemi d'abbattimento anche presso i fornitori a cui è richiesta la standardizzazione ISO e a cui viene dato supporto tecnico per il conseguimento.
- Il Gruppo Komatsu s'impegna a ridurre gli impatti ambientali anche presso le proprie attività di vendita e distribuzione.
- Il Gruppo Komatsu s'impegna ad estendere l'analisi del ciclo di vita a tutti i propri prodotti.

2.4 Gestione del rischio ambientale e controllo delle responsabilità sociali.

- Ciascun affiliato del Gruppo Komatsu è tenuto a rispettare gli standard ambientali del Paese in cui opera, a perseguire gli obiettivi della Casa madre, a impegnarsi per prevenire gli impatti ambientali.
- Il Gruppo Komatsu s'impegna a sensibilizzare ed educare i propri dipendenti sull'importanza della conservazione dell'ambiente con attività di formazione e verifica mirate.
- Il Gruppo Komatsu intende rendere pubbliche informazioni sulle proprie attività connesse alla conservazione ambientale, a cui ciascun stabilimento deve provvedere in modo appropriato al contesto in cui opera [19].

1.5.2. Politica Ambientale di Komatsu Italia



Foto 1.1: Dettaglio

Komatsu Utility Europe S.p.A. (KUE) è pienamente consapevole che una responsabile strategia economica, rivolta alle problematiche ambientali derivanti dalle proprie attività, risulta essere essenziale per il proprio successo e per la soddisfazione dei propri clienti.

KUE riconosce inoltre che il miglioramento continuo delle proprie performance ambientali conduce a significativi vantaggi, soddisfacendo, nello stesso tempo, le attese di miglioramento ambientale relativo al contesto territoriale in cui l'azienda opera.

KUE si impegna pertanto a perseguire una politica di continuo miglioramento delle proprie performance ambientali, minimizzando e prevenendo, ove tecnicamente possibile ed economicamente sostenibile, ogni impatto negativo verso l'ambiente.

KUE intende raggiungere i traguardi sopra indicati mediante le seguenti azioni:

- Assicurare che le proprie attività siano svolte in conformità con le vigenti disposizioni di legge e con eventuali codici di pratica sottoscritti;
- Mettere in atto e mantenere un efficace Sistema di Gestione Ambientale secondo i requisiti della norma UNI EN ISO 14001;
- Attuare ogni sforzo in termini organizzativi, operative tecnologici per prevenire l'inquinamento dell'acqua, dell'aria, del suolo;
- Minimizzare il consumo di energia, di acqua, di materie prime e la produzione di rifiuti, favorendone il recupero dove possibile;
- Definire obiettivi e traguardi ambientali, da integrare con la gestione operative degli stabilimenti e i programmi di sviluppo aziendali;

- Promuovere tecnologie per sviluppare prodotti che migliorino, al tempo stesso, sia le performance ambientali, durante tutto il ciclo del prodotto, sia le performance economiche dello stesso;
- Assicurarsi che la politica ambientale qui esposta e il relativo sistema di gestione siano compresi, attuati e mantenuti a tutti i livelli dell'organizzazione e che il sistema sia sostenuto da periodiche e sistematiche attività di formazione e addestramento;
- Assicurarsi che il presente documento sia noto a tutto il personale dell'azienda e a tutti coloro che hanno rapporti con la stessa [20].

Gli Aspetti Ambientali considerati sono: consumi energetici, consumi idrici, consumi di materie prime, sostanze ozono lesive, sostanze pericolose, rumore, amianto, PCB, contaminazione suolo e sottosuolo, impatto visivo, elettromagnetismo, emissioni in atmosfera, rifiuti, inquinamento idrico.

Periodicamente vengono proposti nuovi obiettivi ambientali così da perseguire e realizzare un miglioramento continuo, come richiesto dalla UNI EN ISO14001.



Foto 1.1: Comunicazione ambientale all'interno dell'azienda

1.6 Motivazioni dell'implementazione dell'LCA

Le motivazioni che hanno spinto KUE a intraprendere uno studio ambientale sul prodotto basato sull'LCA e integrarlo nel proprio Sistema di Gestione ambientale sono molteplici.

Da un punto di vista generale vale la considerazione che la gestione ambientale di un'attività industriale, oltre a garantire una buona immagine dell'impresa dal punto di vista dei consumatori, comporta un'ottimizzazione delle tecniche produttive in grado di garantire notevoli risparmi anche dal punto di vista economico. Ulteriori vantaggi economici consistono nell'anticipare scelte tecnologiche che potrebbero successivamente diventare obbligatorie in una legislazione in continua evoluzione e con normative sempre più restrittive.

Una spinta importante è costituita dagli orientamenti della casa madre a cui i vari stabilimenti fanno riferimento, che prevedeva già dal 2003 l'impegno verso la realizzazione di prodotti ambientalmente ed economicamente superiori. Da parte sua la casa madre segue l'evoluzione a livello internazionale degli orientamenti in materia di economia e ambiente in modo proattivo.

Un'altra motivazione è legata ad un'attenta osservazione dell'evoluzione della politica ambientale a livello dell'Unione Europea che punta alla realizzazione di sistemi di gestione ambientale orientati al prodotto. La coerenza con l'impegno preso con la certificazione ISO 14001 implica una responsabilità verso i propri prodotti. Questa responsabilità è maggiore per quelle imprese, come Komatsu, che prevedono la progettazione del prodotto stesso, poiché hanno la possibilità di utilizzare i risultati di studi ambientali per creare prodotti "ecologicamente ed economicamente superiori".

Oltre alle motivazioni interne all'azienda uno stimolo importante è stato dato dal confronto con le realtà ambientali di altre imprese del settore, condotto mediante un'analisi di *benchmarking*. Il *benchmarking* può essere definito come un: "Processo sistematico e continuo di comparazione delle performance di organizzazioni, funzioni e processi rispetto alle eccellenze a livello internazionale, non solo al fine di eguagliare questi livelli di prestazione, ma di superarli" (DGIII, 1996) [1].

Il *benchmarking* ambientale rappresenta il livello di prestazione considerato come eccellenza, e quindi come riferimento con cui confrontarsi, per una determinata attività. Si tratta di uno strumento innovativo e ancora poco diffuso che consente alle imprese di valutare il proprio posizionamento rispetto a situazioni analoghe gestite in modo ottimale

o anche in modo "medio" e di individuare, di conseguenza, quali sono gli ambiti di miglioramento rispetto ai quali sono possibili i maggiori progressi. Il *benchmarking* stimola la competitività delle imprese mettendo in essere un circuito virtuoso finalizzato al miglioramento continuo delle prestazioni ambientali.

La volontà dell'azienda è la realizzazione di una LCA ad un modello di macchina in fase di revisione. Alla luce dei risultati ottenuti studiando la macchina esistente è stato possibile valutare eventuali modifiche costruttive per il nuovo modello. Questo studio ha effettuato un importante passo in avanti relativamente a questo obiettivo. I risultati dello studio entrano come informazione di cui tener conto nella progettazione di tutti i futuri modelli.

La macchina oggetto di studio è la terna WB93.



Foto 1.3: Terna WB93

1.7 Scelta del tipo di LCA

In termini generali la completezza di uno studio di LCA, la sua complessità e la validità degli strumenti migliorano con l'aumentare del tempo d'esecuzione implicando d'altra parte un incremento dei costi. C'è da dire inoltre che l'LCA aumenta la propria utilità al diminuire dei tempi d'esecuzione e di conseguenza dei relativi costi, perciò in base alle tempistiche di realizzazione e agli investimenti esistono diversi modi di applicazione dello studio.

Allo stato attuale si possono individuare tre tipi fondamentali di LCA:

- **LCA a breve termine** o “screening LCA”: serve principalmente nel caso in cui si vogliono individuare e "selezionare" le fasi di vita di un prodotto che ne determinano i principali impatti ambientali. Non verrà approfondita, quindi, la ricerca dei dati a disposizione né si provvederà ad una loro valutazione. I dati ottenuti serviranno per determinare la necessità di attività ulteriori su aspetti o fasi di vita specifiche. Tempo di realizzazione: alcune settimane.
- **LCA a medio termine** o “LCA semplificata”: è uno studio più articolato ed approfondito del precedente ma i risultati sono impiegati esclusivamente per uso interno all'azienda. Lo studio permette di individuare le cause dei maggiori impatti ambientali nelle diverse fasi del ciclo di vita e si possono fare dei confronti con prodotti simili della concorrenza relativamente all'impatto ambientale del prodotto. Tempo di realizzazione: alcuni mesi.
- **LCA a lungo termine** o “LCA dettagliata”: è uno studio necessario se l'obiettivo è quello di una dichiarazione ambientale pubblica. Dovrà essere realizzato in accordo con la norma ISO 14040. I requisiti per il rapporto dello studio devono rispettare degli standard più elevati. Le procedure adottate devono essere descritte accuratamente e con esse le scelte operate e i dati impiegati. Tempo di realizzazione: da uno a due anni [4].

La scelta dell'azienda è stata quella di effettuare uno studio di LCA semplificata a medio termine.

1.8 Tempi e luoghi di realizzazione dello studio

Il progetto ha preso il via nel novembre 2004 e si è concluso nel febbraio 2006 con il controllo da parte dell'ente di verifica esterno che ne ha valutato positivamente i contenuti e lo svolgimento. Il tempo effettivo di realizzo è stato di circa 6 mesi.

Lo studio si è svolto presso l'azienda sotto la supervisione e controllo di studi di consulenza esterni.

Il progetto ha coinvolto e unito i settori *Progettazione* e *Ambiente & Sicurezza*, si è articolato in tre fasi:

- Fase I: raccolta dei dati all'interno dell'azienda e da parte dei fornitori esterni.
Durata: 9 mesi. La raccolta dei dati ha richiesto molto tempo per diversi motivi: l'alto numero di dati/informazioni necessari, la mancata disponibilità di dati per alcune informazioni richieste a cui è seguita necessariamente una ricerca mirata, lunghi tempi di risposta da parte di fornitori esterni contattati.
- Fase II: elaborazione dati.
Tempo: 3 mesi.
- Fase III: creazione di un modello con software apposito.
Tempo: 2 mesi.

Le tre fasi di studio sono state portate avanti contemporaneamente a seconda della disponibilità di informazioni raccolte.

2. Descrizione del metodo LCA

2.1 Cos'è la Valutazione del ciclo di vita , LCA

La valutazione del ciclo di vita, dall'inglese *Life Cycle Assessment* (LCA), è “un procedimento per valutare gli aspetti ambientali associati ad un prodotto, processo o servizio identificando e quantificando i consumi di energia e materie prime, le emissioni e i rifiuti, al fine di determinare delle opportunità di miglioramento ambientale. La valutazione include l'intero ciclo di vita del prodotto, processo o servizio: l'estrazione e produzione delle materie prime, l'assemblaggio, i trasporti, la distribuzione, l'uso, la manutenzione, la dismissione”. (SETAC , Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 1991) [23].

Attraverso lo studio LCA si finiranno allora con l'individuare le fasi e i momenti in cui si concentrano maggiormente le criticità ambientali, i soggetti che dovranno farsene carico (produttore, utilizzatore ecc.) e le informazioni necessarie per realizzare gli interventi di miglioramento.

Le principali caratteristiche dell'LCA sono:

- l'approccio sistemico definito “*from cradle to grave*”, cioè “dalla culla alla tomba”: il prodotto, processo o servizio, è analizzato in ogni fase della sua vita, dall'estrazione e trasformazione delle materie prime, attraverso la produzione, l'utilizzo fino allo smaltimento;
- la valutazione integrata di consumi ed emissioni;
- limitata differenziazione spaziale e temporale: non è possibile avere indicazioni su quando e dove si verifichi un impatto.
- non rientrano direttamente nell'analisi aspetti economici e sociali.

Come tutti i modelli scientifici la LCA sviluppa una rappresentazione semplificata della realtà, perciò le interazioni con l'ambiente non possono essere definite in modo esaustivo e dettagliato. Nonostante questa limitazione il metodo intende:

- fornire un quadro il più completo possibile delle interazioni ambientali,
- contribuire all'acquisizione conoscenza e consapevolezza riguardo alle implicazioni ambientali legati alle attività umane,
- fornire utili informazioni di supporto nelle decisioni.

2.2 Storia

L'LCA rientra nel concetto più ampio di *Life Cycle Thinking*, che costituisce un'impostazione di pensiero che permette di avere una visione aperta e completa delle cose. L'applicazione di questo paradigma al tema ambientale risale agli anni '60, quando ci sono i primi esempi di studi su problemi affrontati con questo tipo di approccio. Si trattava di studi riguardanti il consumo di risorse e la produzione di rifiuti nei processi industriali: si intendeva capire e valutare le prestazioni ambientali del processo studiando la storia degli input ed output del processo stesso.

Questo approccio ha portato alla definizione dello strumento *Life Cycle Assessment*. Il salto è stato notevole: si è passati da uno studio limitato ad un solo processo della filiera produttiva ad uno nuovo che tiene conto degli aspetti ambientali lungo tutta la filiera, in modo trasversale rispetto ai settori economici.

Le prime applicazioni dell'LCA a prodotti, come strumento di ricerca di miglioramento per le performance ambientali sono state condotte negli Stati Uniti dall'EPA, *Environmental Protection Agency*, per il confronto l'ecocompatibilità tra diversi materiali. Studi "storici" sono quelli condotti negli anni '70 dal *Midwest Institute Research* per la *Coca-Cola Company* e la *Mobile Chemical Company*. La prima compagnia intendeva valutare quale materiale tra alluminio, plastica e vetro, utilizzato per i contenitori delle bevande, fosse il più ecocompatibile relativamente al trattamento finale. La seconda compagnia intendeva confrontare l'ecocompatibilità di due sistemi di imballaggio: sacchetti di plastica e sacchetti di carta. La novità e punto di forza di questi studi sta nella valutazione integrata di input di materia ed energia ed output di rifiuti ed emissioni [17].

Negli stessi anni la crisi energetica dell'OPEC e più tardi la definizione del concetto di sviluppo sostenibile (1987) hanno contribuito a dare una decisiva spinta in avanti per lo sviluppo di questa metodologia, in coincidenza con l'aumentata influenza dell'opinione pubblica sui temi ambientali.

Nel 1990 nel convegno SETAC presso Smuggler Notch (Vermont, USA) viene data la prima definizione ufficiale dell'LCA. Negli stessi anni in Olanda vengono pubblicate le linee guida CML. [25] Il documento, pubblicato nel 1992, è stato il risultato della collaborazione tra CML (*Centrum Milieukunde Leiden, Centre of Environmental Science – Leiden University*), TNO (*Netherlands Organisation of Applied Scientific Research*) e

B&G (*Fuels and Raw materials Bureau*). Questo manuale è stato revisionato e aggiornato in base agli sviluppi che il metodo stesso ha visto negli anni, la nuova pubblicazione è del 2001. Sempre negli anni '90 vengono pubblicate in Scandinavia le “*Nordic Guidelines*”.

Nel 1993 è prodotto il primo “*Code of Practice*” dell’LCA e nel 1996 viene pubblicata la prima rivista specializzata “*Journal of Life Cycle Assessment*”.

Nel periodo 1997-2000 sono definiti gli standard internazionali ISO 14040, 41, 42, 43 che definiscono le diverse fasi della metodologia, seguiti nel periodo 1999-2001 dalle norme ISO 14020, 25, 48, 49. La messa a punto delle serie ISO ha fortemente contribuito alla credibilità e successiva diffusione della metodologia LCA. La serie ISO 14040 rappresenta un riferimento importante per la diffusione di tali studi in quanto sviluppata e riconosciuta in ambito internazionale all'interno di un più vasto corpus di norme (serie ISO 14000) sui sistemi di gestione ambientale.

A livello europeo l’importanza strategica dell’adozione della metodologia LCA come strumento di base e scientificamente adatto all’identificazione di aspetti ambientali significativi è espressa chiaramente all’interno del Libro Verde COM 2001/68/CE e della COM 2003/302/CE sulla Politica Integrata dei Prodotti, ed è suggerita, almeno in maniera indiretta, anche all’interno dei Regolamenti Europei: EMAS (761/2001/CE) ed Ecolabel 1980/2000/CE.

Attualmente per ragioni di tempi di realizzazione e costi questa metodologia è utilizzata solo da grandi aziende ed enti pubblici.

Il nuovo paradigma in cui si colloca l’LCA è costituito dall’Ecologia Industriale. Il punto fondamentale di quest’impostazione è l’analogia tra l’ecosistema naturale e l’economia umana e l’obiettivo finale è rappresentato dalla realizzazione degli ecodistretti in cui si realizzi la chiusura dei cicli industriali.

2.3 Metodologia

La metodologia per effettuare uno studio di LCA si articola in 4 fasi ed è di tipo iterativo: ogni fase può essere migliorata o modificata alla luce dei dati, informazioni e risultati ottenuti nella fase precedente.

Le fasi previste, definite negli standard internazionali ISO 14040-14043, sono le seguenti:

- 1) Definizione dell'obiettivo e campo di applicazione
- 2) Inventario;
- 3) Valutazione degli impatti;
- 4) Interpretazione.

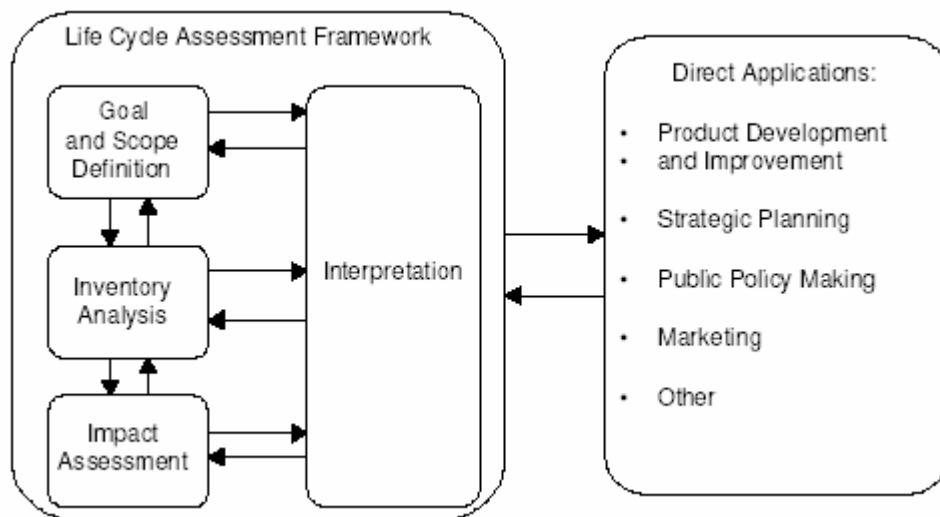


Figura 2.1: metodologia come definita dalle norme ISO [15]

La serie di norme ISO 14040 descrive come realizzare uno studio di LCA completo per qualsiasi tipologia di prodotti, non si tratta dunque di norme specifiche di prodotto, ma di norme contenenti requisiti generali applicabili a tutti i prodotti, indipendentemente dalla loro natura [4].

La UNI EN ISO 14040 “Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Principi e quadro di riferimento” è la norma principale della serie in quanto specifica la struttura dello studio di LCA, i principi e i requisiti per condurre lo studio e per poi diffonderlo mediante report, non entra però nel merito dei dettagli specifici delle tecniche di valutazione [10].

Nella UNI EN ISO 14041 “Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione e analisi dell'inventario” vengono trattati la definizione dell'obiettivo e le limitazioni del sistema. È in questa fase che prende forma lo studio di LCA, individuando inizialmente i motivi per i quali si effettua lo studio, identificando poi il sistema attorno al quale costruire lo studio, con le opportune limitazioni, e tutti i dati utili alla compilazione dell'inventario dei flussi, prendendo in considerazione tutti i processi che caratterizzano il sistema [11].

La UNI EN ISO 14042 “Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Valutazione dell'impatto del ciclo di vita” tratta la valutazione degli impatti in base ai risultati dell'analisi dell'inventario. In questa fase si studia la significatività degli impatti ambientali del prodotto, costruendo un modello basato su indicatori di categoria rappresentativi degli impatti legati ai flussi in uscita (emissioni) oppure all'utilizzo dei flussi in ingresso (risorse) [12].

Nella UNI EN ISO 14043 “Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Interpretazione del ciclo di vita”, è definita la conclusione del processo, in cui si quantificano gli impatti ambientali. È la fase in cui la valutazione del ciclo di vita conduce a risultati misurabili che possono essere di supporto al processo decisionale, soprattutto se utilizzati in combinazione alle opportune valutazioni tecnico-economiche [13].

La serie ISO 14040 si completa infine con alcuni rapporti tecnici di supporto per l'applicazione delle norme: l'ISO/TR 14049 (esempi di analisi dell'inventario secondo la ISO 14041), l'ISO/TR 14047, in fase di elaborazione a livello internazionale (esempi di valutazione degli impatti), l'ISO/TR 14048, anch'esso ancora allo studio, definisce il formato dei dati per la presentazione dei risultati dello studio in maniera omogenea [14] [24].

E' importante sottolineare che tutte le fasi della LCA, e quindi anche i risultati, dipendono totalmente dagli obiettivi preposti allo studio e dalla scelta del campo di applicazione, che sono parametri soggettivi.

Lo studio si avvale di software appositi per la creazione del modello per il ciclo di vita del prodotto e la valutazione degli impatti ambientali potenziali. Un modello è per definizione una rappresentazione semplificata della realtà, di conseguenza le semplificazioni implicano che la realtà sia in qualche modo distorta. E' necessario perciò sviluppare il modello in modo tale che le semplificazioni non alterino la bontà dei risultati.

2.3.1 Definizione dell'obiettivo e campo di applicazione

La definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione costituisce la fase preliminare dell'LCA: in essa sono definiti l'obiettivo dello studio, l'unità funzionale, i confini di sistema, i requisiti di qualità dei dati, il livello di dettaglio dell'analisi e le sue limitazioni. Questa fase costituisce un momento critico per lo studio intero poiché ne determina l'impostazione: infatti in funzione dell'obiettivo e dell'utilizzazione prevista variano l'estensione spaziale e temporale dello studio e il grado di dettaglio [15].

Nell'obiettivo dello studio vanno definiti chiaramente: l'applicazione prevista, le motivazioni per condurre l'LCA, le domande a cui si vuol dare risposta con questo tipo di studio, una descrizione del prodotto e delle sue funzioni, il destinatario dello studio, le assunzioni e le limitazioni-semplificazioni del modello. In particolare è molto importante definire il destinatario dello studio perché tale scelta implica delle variazioni nella procedura da seguire: uno studio interno non necessita di revisione critica da parte di un ente verificatore esterno indipendente.

Determinante è la definizione dell'unità funzionale, necessaria a quantificare le funzioni del prodotto e legare i dati in ingresso e uscita dal sistema. L'unità funzionale deve essere definita e misurabile, questo riferimento è necessario per consentire la comparabilità dei risultati dell'LCA.

I confini di sistema definiscono le unità di processo da includere nel sistema di cui si costruisce il modello. Idealmente il sistema di prodotti dovrebbe essere modellizzato in modo che i flussi in ingresso e in uscita ai suoi confini siano dei flussi elementari, dove per flusso elementare si intende materia o energia prelevati da o scaricati nell'ambiente senza alcuna preventiva trasformazione da parte dell'uomo.

In molti casi non vi sono sufficiente tempo, dati e risorse per condurre uno studio completo, è necessario perciò decidere quali unità di processo compongano il modello, senza spendere risorse per quantificare flussi in ingresso/uscita che non modifichino significativamente le conclusioni globali dello studio. In questa direzione la norma ISO 14041 dà alcune indicazioni: si possono trascurare input di materia se la massa risulta inferiore ad una percentuale fissata dagli analisti, o se il peso ambientale dell'input è inferiore ad un valore soglia prefissato. Quest'ultima indicazione è abbastanza problematica da applicare essenzialmente per due motivi: non è possibile conoscere il reale contributo ambientale prima che il processo sia investigato, solo a posteriori è

possibile decidere quale input è possibile trascurare. Il secondo motivo è legato alla mancanza di una definizione rigorosa di “peso ambientale” che nella norma ISO non viene fornito [16].

I requisiti di qualità dei dati sono necessari per l’affidabilità dei risultati dello studio, tra i principali parametri da considerare ci sono i fattori temporali (anzianità dei dati) e geografici (luogo di reperimento dei dati).

La natura delle scelte e delle assunzioni fatte in questa fase sono soggettive perciò rappresentano una limitazione del metodo stesso. L’importante è che le scelte fatte siano documentate, motivate e trasparenti.

2.3.2 Inventario

In uno studio di LCA l'analisi d'inventario rappresenta la fase più laboriosa e che occupa buona parte del tempo per una LCA, sia che si tratti di uno studio semplificato sia dettagliato.

L'analisi d'inventario comprende la raccolta dei dati e i procedimenti di calcolo che consentono di quantificare i flussi in entrata e in uscita di un sistema di prodotto [11].

Il procedimento per condurre un'analisi d'inventario è iterativo: man mano che i dati vengono raccolti e il sistema è meglio conosciuto possono essere identificati nuovi requisiti o limitazioni che richiedono un cambiamento delle procedure di raccolta dei dati affinché siano soddisfatti gli obiettivi dello studio. Talvolta possono emergere dei problemi che richiedono una revisione dell'obiettivo o del campo di applicazione.

Operativamente si inizia l'inventario con la realizzazione di un diagramma di flusso in cui si schematizza la vita del prodotto mediante i processi che si intendono includere nei confini di sistema. Per ciascun processo si cercano quindi gli input, in termini di materia ed energia, e gli output, in termini di emissioni in aria, acqua, suolo e rifiuti. E' da includere nello studio anche il sistema dei trasporti [16].

In questa fase dello studio è opportuno effettuare un bilancio di massa per verificare che sia rispettato il principio di conservazione. Questa operazione consente di verificare che ci sia una corrispondenza tra ingressi e uscite nel modello che si sta sviluppando, in modo da non dimenticare qualche processo il cui destino finale risulterebbe non specificato.

L'analisi prevede di iniziare con dati generici (*background data*). Usando dati disponibili in appositi database per l'LCA si realizza un modello di partenza che ha lo scopo di fornire informazioni su quali siano le fasi più critiche del ciclo di vita e su quali siano i dati con maggiore peso ambientale così da poter effettuare una raccolta mirata di dati specifici e dettagliati (*foreground data*) per quelle fasi o processi che risultano più significativi. Anche in uno studio dettagliato i "*background data*" sono utilizzati per materiali generici (metalli, plastiche), energia, trasporti e sistemi per la gestione dei rifiuti, rappresentano delle LCA per i soggetti elencati. Per quanto riguarda i "*foreground data*" si tratta di dati specifici che servono a modellizzare il sistema specifico oggetto dello studio. Sono dati che servono per descrivere un particolare sistema di produzione o di prodotto. In molti casi vanno ricercati presso aziende o compagnie specifici, ad esempio presso dei fornitori per un'azienda che effettua assemblaggi di prodotto. La richiesta di

tali informazioni viene condotta mediante questionari appositi per la raccolta dei dati necessari. A volte il reperimento di questa tipologia di dati può risultare difficoltosa.

Uno dei problemi che può presentarsi nell'effettuare il bilancio di massa è quello dell'allocazione, che si ha quando da un singolo processo escono più prodotti. E' necessario quindi ripartire consumi ed emissioni tra tutti i coprodotti allocando a ciascuna una quota di consumo ed emissione.

Le soluzioni proposte dalla norma ISO 14041 sono tre:

- se possibile si dovrebbe evitare l'allocazione mediante divisione o espansione dei confini di sistema di prodotto per includere tutte le funzioni relative ai coprodotti.
- dove non sia possibile evitare l'allocazione, i dati dei flussi in ingresso e in uscita dovrebbero essere allocati tra i coprodotti in base alle caratteristiche fisiche (per esempio: il peso) relativo di ognuno.
- dove le caratteristiche fisiche non possono essere utilizzate come termine per l'allocazione, i dati dei flussi in ingresso e in uscita dovrebbero essere allocati tra i coprodotti in proporzione al valore economico di ciascuno [11].

2.3.3 Valutazione dell'impatto

La valutazione dell'impatto ha lo scopo di valutare la portata dei potenziali impatti ambientali utilizzando i risultati dell'analisi d'inventario del ciclo di vita.

Lo svolgimento di questa fase avviene mediante l'utilizzo di metodi di valutazione dell'impatto. I metodi sviluppati sono molteplici e la scelta di un metodo piuttosto di un altro dipende dall'obiettivo dello studio. Poiché la scelta è soggettiva dev'essere motivata.

Ci sono due tipologie di metodi: i metodi orientati al problema ambientale, definiti "*mid points*", e quelli orientate al danno, definiti "*end points*".

I "*mid points*" e "*endpoints*" costituiscono due diversi livelli a cui si valuta l'impatto, nei primi "il bersaglio" dell'impatto è costituito da un tema ambientale, per esempio l'effetto serra, che è causa a sua volta di danni per la salute umana, l'ecosistema e le risorse che rappresentano i "bersagli ultimi", (*end points*). I termini utilizzati derivano dal fatto che i metodi "*midpoints*" si trovano idealmente posti in mezzo tra i risultati dell'analisi d'inventario e gli "*end points*".

Nei metodi “*mid points*” i risultati dell’inventario, ossia i flussi in ingresso e uscita, vengono classificati secondo dei temi ambientali per i quali sono ritenuti determinanti. Lo scopo di questi metodi è infatti quello di raccogliere in piccolo numero di aree tematiche i numerosi flussi dell’inventario. In gergo i temi ambientali sono definiti come “categorie d’impatto”, ad esempio “Cambiamenti climatici”, “Eutrofizzazione”, “Tossicità umana”. I metodi “*mid points*” sono basati su approcci scientifici riconosciuti a livello internazionale. Esempi di metodi sono EDIP o CML 2000.

I metodi “*end points*” prevedono la classificazione dei flussi secondo dei temi ambientali, ma il riferimento ultimo della categoria d’impatto è costituito da tre macro categorie, quali “salute umana”, “salute dell’ecosistema”, “distruzione di risorse naturali”. Un esempio di metodo “*end points*” è EcoIndicator 99 [16].

Gli elementi principali della valutazione dell’impatto sono:

- classificazione,
- caratterizzazione,
- normalizzazione,
- pesatura.

Solo le prime due sono obbligatorie, secondo la norma ISO 14042, le ultime sono facoltative.

Classificazione

La classificazione consiste nel distribuire i consumi di materia /energia e le emissioni nelle varie categorie d’impatto in funzione degli effetti che possono provocare nell’ambiente a scala locale, regionale o globale. Le categorie d’impatto dipendono dal metodo di valutazione scelto, quelle comuni a quasi tutti i metodi sono: “effetto serra”, “assottigliamento dello strato di ozono”, “consumo di risorse rinnovabili e non rinnovabili”, “acidificazione”, “eutrofizzazione”, “formazione di smog fotochimico”, “tossicità per l’uomo”, “ecotossicità”. Ad esempio CO₂ e CH₄ sono entrambi assegnati alla categoria “Cambiamenti climatici”.

Caratterizzazione

La caratterizzazione consiste nella quantificazione degli impatti ambientali mediante modelli scientifici e fattori di equivalenza riconosciuti a livello internazionale. Nei metodi “*mid points*” per esempio per la quantificazione dell’effetto serra IPCC, *International*

Panel on Climate Changes, ha elaborato un modello per calcolare il potenziale di riscaldamento globale espresso in equivalenti CO₂: il fattore di caratterizzazione della CO₂ nella categoria “Cambiamenti climatici” è pari a 1, il metano è 21. Ciò vuol dire che il rilascio di 1kg di metano causa lo stesso impatto sui cambiamenti climatici di 21kg di CO₂. Per ciascuna categoria d’impatto è realizzato un modello di quantificazione basato sullo stesso principio: ad esempio il potenziale di riduzione per l’ozono è espresso in equivalenti CFC11, il potenziale di acidificazione è espresso in equivalenti di SO₂.

Nei metodi “*end points*” per esempio l’indicatore per i cambiamenti climatici è espresso in DALY, *Disability Adjusted Life Years*. Si tratta di un’unità di misura usata dall’Organizzazione Mondiale della Sanità e dalla Banca Mondiale per la valutazione dei dati statistici sulla salute. L’indicatore per la categoria d’impatto per l’Acidificazione è espresso in percentuale di diminuzione di biodiversità per area per un certo periodo di tempo. Questi indicatori sono più difficili da calcolare e presentano maggiori incertezze ma hanno il vantaggio di essere più facilmente comprensibili.

Normalizzazione

La normalizzazione, facoltativa, serve a quantificare il contributo di ciascuna categoria d’impatto al problema ambientale a livello regionale o globale. Questa operazione si realizza normalizzando l’indicatore della categoria d’impatto rispetto ad un valore nominale di riferimento. Ci sono diversi modi per determinare il valore “Normale” di riferimento: molto spesso si adotta il carico medio annuo, in una nazione o regione, diviso per il numero di abitanti, in modo da stimare il carico di inquinamento “pro-capite”. La normalizzazione ha due scopi principali:

- capire quali categorie d’impatto hanno un peso maggiore in modo da concentrare lo studio su di queste;
- i risultati normalizzati mostrano un ordine di grandezza dei problemi ambientali generati nell’intero ciclo di vita, rispetto ai carichi ambientali a livello regionale, ad esempio l’Europa.
- analisi dell’errore: dà indicazioni sulla correttezza del modello. Se i risultati sono molto diversi da quelli attesi, il risultato può essere dovuto ad errori nell’inserimento dei dati o nella costruzione del modello.

Pesatura

La pesatura serve a determinare e confrontare l'importanza dei singoli effetti ambientali: i risultati delle categorie d'impatto sono moltiplicati per dei fattori di peso, la somma dei valori ottenuti fornisce un singolo indice. Diversi sono i metodi di pesatura sviluppati ma poiché non esiste una metodologia scientifica condivisa, si tratta di una tecnica soggettiva. I metodi più diffusi sono tre: valutazione da parte di esperti, distanza dall'obiettivo, monetizzazione. Si tratta in ogni caso di un'operazione che presenta molte difficoltà e punti critici in fase di studio e miglioramento.

In generale si può dire che il quadro metodologico e scientifico della valutazione d'impatto ha raggiunto un buon grado di sviluppo, variabile però da categoria a categoria.

2.3.4 Interpretazione del ciclo di vita

L'interpretazione è la fase in cui i risultati ottenuti nell'analisi dell'inventario e nella valutazione d'impatto vengono combinati tra loro al fine di trarre conclusioni e raccomandazioni.

Si tratta inoltre di una fase di controllo sul modello realizzato di cui si può valutare l'incertezza a più livelli. In particolare si possono distinguere tre ambiti di incertezza: incertezza sui dati, incertezza sulla rappresentatività del modello, incertezza dovuta alle omissioni del modello. L'incertezza sui dati è stimata mediante l'analisi di Montecarlo, una tecnica che permette di calcolare l'incertezza sui risultati. L'incertezza sulla rappresentatività del modello è condotta mediante analisi di sensitività, in cui si valutano i cambiamenti dei risultati dopo aver cambiato specifici assunti. L'incertezza dovuta alla semplificazione del modello è condotta effettuando entrambe le analisi precedenti.

Un altro strumento utile alla comprensione dell'incertezza del modello è l'analisi di contributo, che permette di determinare quali siano i processi che giocano un ruolo significativo nei risultati.

In questo modo è anche possibile creare scenari alternativi e confrontare i diversi risultati. Queste operazioni sono supportate da funzioni apposite nei software per l'LCA.

2.4 Applicazioni della LCA

Le applicazioni del metodo LCA sono molteplici, in generale si può dire che l'utilizzo principale ha soprattutto una funzione di supporto nei processi decisionali relativi a investimenti, sviluppo e confronto tra diversi prodotti, pianificazione gestionale. Il soggetto utilizzatore può essere un'industria, un ente pubblico o un'organizzazione non governativa.

Si possono definire tre ambiti d'applicazione preferenziali:

- progettazione, ricerca e sviluppo;
- confronto tra prodotti esistenti e alternative di progetto;
- divulgazione di informazioni ed educazione di consumatori e *stakeholders*.

L'LCA è utilizzata dalle aziende essenzialmente per valutare strategie di gestione, incrementare le prestazioni ambientali di un prodotto, per progettare di nuovi o migliorare quelli esistenti, aumentando i vantaggi competitivi, in questa direzione quindi non va sottovalutato il potenziale dell'LCA nell'accelerare i cambiamenti interni di un'impresa:

- *Ecodesign*: è uno strumento per innovare prodotti esistenti o progettarne di nuovi attraverso un processo che tenga conto non solo delle variabili tecniche, economiche, funzionali, ma anche di quelle ambientali. L'applicazione dell'Ecodesign richiede che nella fase di progettazione di un prodotto venga eseguita un'analisi di LCA che identifichi il peso delle diverse risorse consumate e delle emissioni prodotte in relazione ad ogni singola fase del ciclo di vita. In questo modo è possibile confrontare prodotti aventi la stessa funzione e di scegliere quelli maggiormente ecocompatibili.
- *Budgeting* ambientale: crea un sistema informativo che supporti un sistema di gestione ambientale, tenendo sotto controllo le emissioni, i consumi di risorse e i connessi effetti.
- Decisioni di investimento: l'LCA è anche uno strumento indispensabile nelle decisioni di investimento in quanto fornisce le informazioni utili all'analista ambientale su quelle che dovranno essere le aree d'intervento o i processi produttivi da modificare.

- Riduzione dei costi: un'analisi a tutto campo della "vita" del prodotto può permettere di scovare aree, prima nascoste, dove realizzare economie più significative. Livelli maggiori di ottimizzazione si possono ad esempio raggiungere nell'acquisizione di materie prime e in particolare nell'utilizzo razionale degli imballaggi.

Le applicazioni possono anche avere una valenza esterna come ad esempio la commercializzazione di prodotti dotati di dichiarazione ambientale:

- *Ecolabel*: è un'etichetta ecologica europea che attesta che il prodotto su cui è apposta ha un ridotto impatto ambientale nel suo intero ciclo di vita.

Attualmente ci sono tre tipi di etichette ecologiche, secondo le norme Iso 14020-14025: quelle di tipo 1° (ISO 14024) che devono essere sottoposte a certificazione esterna obbligatoria; tipo 2° (ISO 14021) basate su autodichiarazioni; tipo 3° (ISO 14025) che riportano dichiarazioni basate su parametri stabiliti e certificati (ad esempio l'EPD, "*Environmental Product Declaration*" [5] [6] [7] [8]).

La differenza principale tra l'Ecolabel e l'EPD consiste nel fatto che per ottenere l'Ecolabel l'applicante deve rispettare dei criteri ecologici, definiti usando un approccio "dalla culla alla tomba", riguardo il proprio gruppo di prodotti, mentre per ottenere l'EPD non ci sono criteri di prestazione ambientale ma è obbligatoria l'applicazione dell'LCA [15].

- Marketing: l'LCA può essere anche usato per realizzare vantaggi competitivi sul mercato confrontando l'impatto ambientale tra più prodotti o famiglie di prodotti.
- Relazioni con le istituzioni: l'impresa può utilizzare questo strumento per orientare decisioni pubbliche, per dimostrare il perseguimento dei suoi obiettivi ambientali [9].

Un'altra applicazione molto diffusa nel settore pubblico è il "*Green procurement*", cioè una "politica di acquisto verde" in cui la LCA può contribuire all'identificazione dei prodotti ecocompatibili. Quest'applicazione si sta diffondendo anche presso le aziende, in particolare quelle certificate ISO 14001.

Oltre alle applicazioni sul singolo prodotto l'LCA può essere utilizzata in una prospettiva più ampia per il confronto di servizi, processi o scenari:

- Scelta degli imballaggi da parte di un'industria;

- Confronto tra modalità diverse di gestione dei rifiuti;
- Confronto strategico tra diverse tipologie di trasporto;
- Ecodesign nel settore edilizio;

Valutazione delle migliori tecnologie disponibili.

2.5 Vantaggi e limiti del metodo LCA

Le attività sull'LCA hanno visto negli ultimi anni l'impegno di svariati Istituti ed Organizzazioni (ISO, SETAC, OCSE, UNEP) interessati ad evidenziare da un lato l'utilità di tale strumento, dall'altro i limiti ed i vincoli sia intrinseci al metodo sia che esistono per un suo pieno utilizzo.

Le limitazioni intrinseche al metodo LCA sono:

- la natura soggettiva delle scelte e delle assunzioni,
- i risultati degli studi centrati su questioni regionali o globali possono non essere adatti ad applicazioni locali o viceversa,
- l'accuratezza degli studi può essere limitata dall'accessibilità e disponibilità dei dati,
- l'assenza di dimensioni spaziali e temporali nell'inventario dei dati utilizzati per la valutazione dell'impatto introduce incertezza nei risultati dell'impatto [10].

Per quanto riguarda l'utilizzo pratico è stato evidenziato come, sia che l'utente risulti pubblico o privato, l'LCA aumenta la propria utilità al diminuire dei tempi d'esecuzione e di conseguenza dei relativi costi; al contrario la completezza dello studio, la sua complessità e la validità degli strumenti migliorano con l'aumentare del tempo d'esecuzione ed il conseguente incremento dei costi [9].

Come per altri strumenti di gestione ambientale, anche nella LCA gli effetti positivi non sono tangibili nel breve periodo, ma occorre aspettare del tempo prima che l'organizzazione recepisca l'intera portata del processo intrapreso.

I benefici attesi da questo tipo di approccio sono:

- la migliore qualità del prodotto,
- la riduzione dei costi mediante l'ottimizzazione dell'utilizzo delle risorse, dell'efficienza energetica e della produzione dei rifiuti,
- un maggiore incentivo all'innovazione nei processi e nei prodotti,
- nuove opportunità di business mediante l'identificazione di nuovi prodotti o l'utilizzo di materiali di scarto,
- la soddisfazione del cliente o addirittura il superamento delle stesse aspettative dei clienti,
- il miglioramento dell'immagine e delle quote di mercato dell'organizzazione,

- la riduzione dei rischi ed il miglioramento della motivazione dei dipendenti,
- migliori relazioni con la pubblica amministrazione e con gli enti di controllo.

Attualmente le incertezze che permangono nell'utilizzo di questo strumento riguardano principalmente il livello di soggettività che sta dietro diverse valutazioni sia nella fase dell'inventario che nella successiva valutazione degli impatti, nonché sul difficile reperimento di dati, sulla loro attendibilità e scientificità. Tutto ciò richiede un'evoluzione graduale ma costante di questo strumento.

Nelle attuali applicazioni è pertanto necessario accrescere il rigore, la trasparenza metodologica e delle fonti informative, la qualità dei dati e degli indicatori adottati, per consentire una credibilità più elevata al sistema stesso adottato e ai risultati da esso ottenuti. Ingrediente fondamentale è il buon senso nelle scelte.

3. LCA della macchina per movimento terra “Terna WB93, Komatsu”

Premessa

L'applicazione qui affrontata costituisce una LCA semplificata interna all'azienda, di conseguenza alcuni requisiti metodologici richiesti dalle norme ISO, secondo quanto precedentemente illustrato, non sono obbligatori per questo tipo di studio. Questi aspetti verranno segnalati nel corso dell'analisi.

Parte dei dati utilizzati nello studio rappresentano informazioni riservate dell'azienda perciò non saranno riportati in questo documento, in cui saranno illustrate solamente le tipologie di dati e le procedure di calcolo con qualche esempio. L'intera documentazione ed elaborazione si trovano depositate presso l'azienda [26].

3.1 Definizione dell'obiettivo e campo di applicazione

“L’obiettivo e il campo di applicazione di un LCA devono essere definiti con chiarezza e essere coerenti con l’applicazione prevista.” ... “L’obiettivo di un LCA deve stabilire senza ambiguità quali siano l’applicazione prevista, le motivazioni che inducono a realizzare lo studio e il tipo di pubblico a cui è destinato...” UNI EN ISO 14040:1998

3.1.1 Finalità dello studio

Questo applicazione costituisce una LCA semplificata della terna WB93 ad uso interno all’azienda. Lo studio è necessario per l’estensione del campo di applicazione del sistema di Gestione Ambientale al prodotto, in linea con gli indirizzi sostenuti nella Politica Ambientale. L’obiettivo dello studio è di conoscere gli impatti ambientali del prodotto lungo tutto il ciclo di vita al fine di determinare le fasi che presentano le maggiori criticità. Obiettivo a lungo termine per l’azienda è quello di utilizzare i risultati dello studio per ricercare e sviluppare possibili miglioramenti da attuare in fase di progettazione per i nuovi modelli, si tratta quindi di un’applicazione nell’ambito dell’Ecodesign. Poiché si tratta di una LCA ad uso interno non è prevista la revisione critica, obbligatoria solo quando lo studio serve a condurre dei confronti tra prodotti.

3.1.2 Unità funzionale

“Una unità funzionale costituisce una misura della prestazione del flusso in uscita funzionale del sistema prodotto. Lo scopo principale dell’unità funzionale è di fornire un riferimento a cui legare i flussi in entrata e in uscita.” ... “...deve essere definita e misurabile.” UNI EN ISO 14040:1998

L’unità funzionale rappresenta la prestazione quantificata del servizio espletato dal prodotto.

Funzione del prodotto:

Il servizio svolto dalla terna è quello di spostare prevalentemente terra e in misura minore materiali di altro tipo. Si assume perciò che la funzione sia di spostamento di terra per il 90% e del 10% per altro, sulla base dei dati disponibili a livello del mercato internazionale. La terna WB93 prodotta ad Este, infatti, viene venduta in Europa, Stati Uniti, Sudafrica, Australia, Messico e altri stati dell'America Latina.

Si considera che la macchina sia utilizzata al 75% della capacità massima di spostamento terra, questo utilizzo, definito "medio", è ritenuto infatti il più diffuso e il più realistico.

Quantificare la funzione del prodotto significa a questo punto trovare il volume di materiale spostato nel lifetime.

La prima cosa da determinare è stata il lifetime della macchina, per il quale è stato necessario effettuare delle assunzioni precise.

Lifetime

Il lifetime rappresenta il periodo di utilizzo, o vita, della macchina. E' un dato stimato, che rappresenta necessariamente la media della vita della macchina nei vari mercati. La macchina è pensata e costruita per una durata teorica di 5 anni, ma ad esempio nei Paesi in via di sviluppo è utilizzata anche per 15 anni. Visto che la maggior parte del prodotto è destinato al mercato europeo, circa l'85% delle vendite, questo scenario pesa di più. Si è calcolato, pertanto, il lifetime in modo ponderale in funzione della diversa vita teorica a livello internazionale. Il calcolo effettuato è il seguente:

$$\text{Lifetime} = (85\% * 5 \text{anni}) + (15\% * 15 \text{anni}) = 6,5 \text{anni}.$$

Una volta stabilito il lifetime di 6,5 anni si è stimato il tempo di effettivo utilizzo della macchina. Anche in questo caso sono state operate delle scelte specifiche.

Si è assunto come tempo di impiego giornaliero 6 ore giorno⁻¹ poiché si ritiene che nelle 8 ore lavorative svolte da un operatore, 6 siano quelle di effettivo utilizzo della macchina.

Il numero di giorni lavorativi in una settimana è stato considerato in 5 giorni settimana⁻¹, poiché si ritiene che questo sia la modalità di lavoro più diffusa.

Infine si è calcolato il numero di giorni lavorativi in un anno:

$$5 \text{ giorni settimana}^{-1} * 4 \text{ settimane} * 11 \text{ mesi} = 220 \text{ giorni anno}^{-1} \text{ poiché si ritiene che ci sia un mese di ferie in cui il mezzo non è utilizzato.}$$

Il numero di ore di utilizzo nel lifetime è stato così calcolato:

$$220 \text{ (giorni/anno)} * 6 \text{ (ore/giorno)} * 6,5 \text{ (anni)} = 8580 \text{ ore}$$

Volumi spostati (uso medio):

Per il calcolo dei volumi spostati si è ritenuto opportuno suddividere il tempo di utilizzo secondo le diverse modalità d'impiego della macchina. L'utilizzo della terna infatti prevede l'uso di pala anteriore, retroescavatore e trasferimenti. Secondo il parere dei progettisti la pala è usata per un tempo inferiore rispetto al retroescavatore, più agevole da utilizzare per lo spostamento di piccoli volumi di terra.

Le ore effettive di utilizzo nel lifetime sono state ripartite tra le modalità di utilizzo secondo le seguenti percentuali definite dall'esperienza dei progettisti.

- Uso della pala anteriore: 30% del tempo totale, corrispondente a 2574 ore.
- Uso del retroescavatore: 60% del tempo totale, corrispondente a 5148 ore.
- Trasferimenti(all'interno di uno stesso sito di lavoro): 10% del tempo totale, corrispondente a 858 ore.

Si è ritenuto opportuno considerare un uso medio della macchina, ossia al 75% delle potenzialità massime di spostamento terra. Sono infatti previste tre potenzialità di utilizzo, secondo un uso leggero (55% delle potenzialità massime), un uso medio (75% delle potenzialità massime), un uso intensivo (100% potenzialità massima) a seconda che la macchina sia usata ininterrottamente o alternata a periodi di inattività più o meno lunga. Note le capacità di spostamento e i tempi di utilizzo i volumi spostati sono stati calcolati come di seguito illustrato:

- capacità spostamento della pala anteriore: $150 \text{ m}^3 \text{ ora}^{-1}$ (uso intensivo), cioè $112,5 \text{ m}^3 \text{ ora}^{-1}$ (uso medio)
- capacità spostamento del retroescavatore : $68 \text{ m}^3 \text{ ora}^{-1}$ (uso intensivo), cioè $51 \text{ m}^3 \text{ ora}^{-1}$ (uso medio)

I volumi spostati nel lifetime risultano:

$$\text{Pala: } (150 \cdot 75 / 100) \cdot (8580 \cdot 30 / 100) = 289575 \text{ m}^3$$

$$\text{Retroescavatore: } (68 \cdot 75 / 100) \cdot (8580 \cdot 60 / 100) = 262548 \text{ m}^3$$

$$\text{per un totale di } 289575 + 262548 = 552123 \text{ m}^3$$

Per il calcolo degli input e output nei processi inclusi nel sistema, di seguito illustrati, si è fatto riferimento al monte ore calcolato nel lifetime perché la maggior parte dei dati raccolti nell'inventario sono espressi con un'unità di misura temporale come ad esempio le emissioni orarie o i consumi orari. Il calcolo del volume spostato è stato comunque

necessario per l'utilizzo di dati provenienti da altri studi di LCA su macchine per movimento terra, in cui input e output sono calcolati per unità di volume spostato.

L'unità funzionale è rappresentata dal ciclo di vita una macchina per movimento terra, nel caso specifico si tratta della Terna WB93 prodotta da Komatsu Utility per il mercato internazionale, che un lifetime medio di 6,5 anni in cui 552123 m³ vengono spostati durante un periodo di utilizzo di 8580 ore. Il flusso di riferimento corrisponde quindi ad una quantità media di volumi spostati nel lifetime: 552123 m³ in 8580 ore.

3.1.3 Confini di sistema

"I confini del sistema determinano le unità di processo che devono essere incluse nell'LCA." UNI EN ISO 14040:1998

Lo studio comprende i seguenti processi:

- produzione e lavorazione dei materiali costituenti la terna (plastiche, metalli...);
- assemblaggio della terna;
- distribuzione;
- utilizzo della terna;
- materiali ausiliari per la manutenzione (per cui si è scelto di effettuare delle LCA complementari con dati che tengono conto della produzione e del fine vita);
- fine vita della terna;
- trattamento finale per ciascun tipo di rifiuto.
- trasporti

Nello studio si sono considerate solamente le emissioni in atmosfera perché sono state ritenute le più significative sia nella fase di utilizzo che nell'assemblaggio.

Nell'utilizzo le emissioni in atmosfera sono quelle prodotte dal motore della macchina in funzione, le emissioni in acqua e al suolo sono considerate trascurabili, dovute ad esempio ad accidentali e sporadici sversamenti di oli che normalmente non dovrebbero accadere e che in ogni caso è pressoché impossibile quantificare.

Per mancanza di dati e difficoltà oggettiva di reperimento degli stessi non si sono considerate le emissioni al suolo dovute all'usura dei pneumatici durante l'uso.

Nell'assemblaggio le emissioni in atmosfera sono quelle prodotte dalle varie lavorazioni e dalle macchine durante collaudi e spostamenti, le emissioni in acqua e al suolo sono ritenute trascurabili. L'acqua impiegata nel processo produttivo è raccolta e inviata a trattamento.

Le emissioni al suolo sono limitate ai soli sversamenti accidentali, che devono essere prontamente risolti secondo procedure specifiche.

3.1.4 Dati utilizzati

Sono stati utilizzati sia dati generici (*background data*) che specifici (*foreground data*).

In particolare i dati generici sono stati utilizzati per il processo di produzione dei materiali più comuni come plastiche e metalli da costruzione, i trasporti, i sistemi di trattamento finale dei rifiuti. Le librerie scelte sono "Ecoinvent" e "Idemat" nelle versioni aggiornate al 2004 che contengono dati medi a livello europeo.

Per quanto riguarda l'assemblaggio della macchina e il suo utilizzo si sono impiegati dati specifici del processo produttivo dello stabilimento di Este e della macchina oggetto di studio.

In particolare i dati sulla macchina si riferiscono alla terna WB93, versione in fase di revisione per realizzare la futura B93. Per la WB93 si hanno dati reali e le modifiche del nuovo modello, B93, sono trascurabili, consentendo di assimilare i risultati anche alla B93.

Questa scelta è stata fatta sia per l'obiettivo iniziale di condurre una LCA semplificata, sia per la difficoltà oggettiva di reperire dati specifici e di reperirli nei tempi richiesti per la realizzazione del progetto.

Non è richiesta una descrizione dei requisiti di qualità dei dati poiché lo studio è per uso interno, si è ritenuto comunque opportuno operare le seguenti scelte:

- utilizzare dati aggiornati,
- utilizzare dati rappresentativi per il contesto europeo.

3.2. Inventario

“L’analisi d’inventario comprende la raccolta dei dati e i procedimenti di calcolo che consentono di quantificare i flussi in entrata e in uscita di un sistema prodotto.” UNI EN ISO 14040:1998

Per ciascuna unità di processo inclusa nei confini di sistema vengono quantificati consumi (flussi in ingresso) ed emissioni (flussi in uscita).

3.2.1 Produzione estrazione lavorazione delle materie prime

Questa fase non è stata affrontata con dati specifici, si sono selezionati dati di *background* che contengono “la storia” dei materiali più comuni come acciai da costruzione, plastiche, vetro, eccetera. I dati specifici inseriti riguardano le quantità utilizzate. Questa unità di processo rientra in quella dell’assemblaggio.

3.2.2 Assemblaggio della terna

Il processo di assemblaggio descrive tutto ciò che avviene nell’impianto di Este: dal momento in cui arrivano i componenti da assemblare fino alla vendita.

Nel processo di assemblaggio si sono considerati i seguenti input ed output:

- materiali costituenti la macchina,
- consumi di energia elettrica,
- consumo di acqua industriale,
- consumo di acqua potabile,
- consumo di gas metano,
- consumo di prodotti chimici,
- rifiuti da lavorazione e rifiuti da imballaggi,
- emissioni in atmosfera dalle lavorazioni e dalla macchina,
- sistema di trasporto dei componenti della macchina e dei rifiuti al sito di trattamento finale.

Per quantificare input ed output relativi ad una sola terna è stato necessario risolvere il problema dell'allocazione poiché nell'azienda sono assemblati numerosi modelli di macchine. E' stato perciò necessario calcolare un coefficiente di allocazione per attribuire una quota di consumi ed emissioni della fase di produzione relativi alla sola terna.

Il coefficiente di allocazione è stato utilizzato solo nei casi in cui non c'erano dati disponibili per una sola macchina o calcolabili secondo altri criteri. Si sono considerate le fasi di lavorazione in cui è coinvolta direttamente la terna o sue parti.

Per la determinazione di questo coefficiente si è seguito un criterio di massa, come consigliato nella norma ISO 14041. Lo si è ritenuto il più opportuno per il seguente motivo: il tempo di residenza in linea di montaggio di una macchina (e di conseguenza i relativi consumi ed emissioni per le varie lavorazioni) è direttamente proporzionale al peso della macchina stessa. Si è perciò calcolato il rapporto tra il peso totale della terna WB93 e il peso di tutte le macchine prodotte nel medesimo anno. Tutti i dati fanno riferimento all'anno fiscale 2004.

Il coefficiente di allocazione è risultato pari a $2,21 \cdot 10^{-4}$.

Materiali costituenti la terna

I dati riguardano quantità e tipologia dei materiali che costituiscono la terna. I materiali impiegati sono acciai da costruzione, leghe, plastiche, gomme, vetro.

I pesi considerati sono costituiti da misure reali, dati d'archivio, dati provenienti dai fornitori. Di conseguenza, a causa dei diversi strumenti e metodi di misura usati, le quantità trovate sono affette da incertezza. Il peso finale trovato presenta una discrepanza relativa del 3,7% (*). Questa discrepanza è comunque trascurabile rispetto ai risultati trovati nello studio complessivo e non li compromette.

Si è scelto di trascurare i componenti con peso inferiore all'1% sul totale.

(*) Peso teorico della terna non operativa variabile tra 7200 e 7300 kg

Peso complessivo trovato: 7587 kg

Discrepanza 3,7%

Consumo di energia per l'assemblaggio di una terna

Il consumo di energia elettrica per assemblare una terna è stato così calcolato.

Il consumo energetico totale annuo è stato ripartito tra le diverse aree dell'impianto secondo delle percentuali definite dai tecnici dell'Ufficio Sicurezza e Ambiente, di regola utilizzate nei documenti ufficiali.

Le aree in cui rientra "fisicamente" la terna, o sue parti, sono tre: "Linea montaggio terne", "Carpenteria/martinetti", "Verniciatura". Si è ritenuto però opportuno allocare una parte dei consumi per la terna anche ad altri reparti dove sono svolte attività comunque necessarie all'assemblaggio della macchina, per esempio "Reparto prototipi", "Uffici".

Nella "Linea montaggio terne" la quota di elettricità consumata per singola terna è stata calcolata mediante rapporto tra la quantità di energia elettrica consumata nell'anno di riferimento nell'area e il numero di terne prodotte nel medesimo anno. Nel reparto "Carpenteria/martinetti" sono trattate solo alcune parti della terna, perciò è stato necessario utilizzare il coefficiente di allocazione. Nel reparto "Verniciatura" si è utilizzato lo stesso metodo. Per gli altri reparti si è utilizzato il coefficiente di allocazione. La quantità di energia elettrica necessaria all'assemblaggio della terna è data dalla somma delle singole quote nella aree sopra descritte, risulta pari a 1131 kWh.

Consumi di acqua industriale, acqua potabile, metano

Per il calcolo dei consumi di acqua industriale e gas metano si sono seguiti gli stessi criteri usati per il calcolo dell'energia elettrica.

L'acqua industriale impiegata per una terna è $1,176 \text{ m}^3$ (1176 kg).

Il gas metano impiegato per una terna è 173 m^3 , pari a 5099 MJ. ($1\text{MJ}=0,034 \text{ m}^3$).

L'acqua potabile allocabile alla terna è $0,58 \text{ m}^3$ (580 kg).

Consumo di prodotti chimici

Si è allocata una quota dei consumi relativa ai prodotti chimici utilizzati nell'assemblaggio moltiplicando le quantità impiegate complessivamente in un anno per il coefficiente di allocazione. I prodotti chimici utilizzati sono costituiti da oli lubrificanti, vernici, solventi, prodotti per lo grassaggio, detergenti e altro.

Emissioni in atmosfera da lavorazioni e collaudi

I dati utilizzati sono i risultati delle analisi effettuate in laboratorio su campioni prelevati dai camini in normali condizioni di funzionamento degli impianti. Le analisi vengono effettuate secondo scadenze prefissate. E' stato necessario elaborare i dati per poterli utilizzare per lo scopo prefissato.

I dati si riferiscono a tipologia e quantità di sostanza emessa per ora di lavorazione.

Noti il flusso di massa, ossia la quantità di inquinante specifico effettivamente emessa durante un'ora di lavorazione, le ore totali annue di funzionamento dell'impianto e il tempo necessario per l'assemblaggio della terna è stato possibile calcolare la quantità di sostanza emessa per ogni singola terna. Il tempo di funzionamento è considerato proporzionale alla quantità di emissioni.

Per quanto riguarda la verniciatura i dati disponibili sulle emissioni degli inquinanti sono costituiti dalle concentrazioni delle sostanze emesse. Si è calcolato il valore medio delle concentrazioni disponibili, lo si è moltiplicato per la portata secca dei fumi per trovare il flusso di massa. Il calcolo dell'emissione totale annua è il medesimo descritto precedentemente. Note la quantità di vernice usata in un anno per l'intera produzione e la quantità necessaria per la terna si è trovata la quota di emissioni attribuibile alla verniciatura delle componenti della terna.

Rifiuti nell' assemblaggio

I dati disponibili sui rifiuti riguardano tipologia del rifiuto e le quantità annue prodotte.

Partendo da dati complessivi si è calcolata la quota di rifiuti, suddivisa per tipologia, attribuibile alla terna moltiplicando il dato totale per il coefficiente di allocazione.

Si è poi considerato il destino finale di ciascun rifiuto, che costituisce un dato specifico. Si è invece utilizzato un dato generico per descrivere il trattamento finale.

Si è inoltre tenuto conto del trasporto al sito di trattamento finale. Anche in questo caso si sono utilizzati dati specifici sulle distanze e quantità trasportate, mentre si sono utilizzati dati generici sul mezzo di trasporto.

L'allocazione per la terna è calcolata così: si è moltiplicata la massa totale smaltita per il coefficiente di allocazione, trovando la massa di rifiuto allocabile ad una sola terna. Per quanto riguarda il trasporto dei rifiuti da Komatsu al sito di trattamento finale si è calcolato il prodotto tra il peso di rifiuto (per singola terna) trasportato per il doppio della distanza percorsa (viaggio di andata e di ritorno).

Il destino finale dei rifiuti considerati è stato definito da esperti del settore e vuol essere il più realistico possibile anche se questa fase del ciclo è assai problematica e molte volte è impossibile seguire il vero destino del rifiuto. Per il sistema di trattamento finale si sono utilizzati dati generici.

Solo per la vernice e il carburante non è possibile specificare il destino finale: il carburante è consumato, la vernice è in parte persa durante l'utilizzo e può costituire un'emissione al suolo difficilmente quantificabile. Una parte è ridotta a polvere nella demolizione della macchina.

Consumi ed emissioni della terna

L'azienda effettua una verifica sul funzionamento della macchina ogni 3 anni di produzione. Questa prova dura circa 500 ore e la terna è testata secondo varie modalità di utilizzo per dei tempi stabiliti. I consumi e le emissioni del motore dipendono dalle modalità di utilizzo.

Poiché la prova è ripetuta periodicamente, la quota di emissioni allocabile a una terna è calcolata dividendo le emissioni totali per il numero di terne prodotte in tre anni.

I dati disponibili riguardano il consumo orario di carburante ed oli e le emissioni orarie di CO₂, CO, HC, NO_x, specifiche della terna WB93.

Si è ritenuto opportuno integrare i dati disponibili, ritenuti incompleti, con dati di emissioni presi dallo studio effettuato su una macchina movimento terra simile. Si è voluto in questo modo fornire una soluzione “temporanea” in attesa di eventuali aggiornamenti futuri dello studio. Si ricorda infatti che la metodologia LCA prevede il miglioramento continuo basato sull'acquisizione di nuovi dati e informazioni.

Nella seguente tabella, Tab.3.1, sono illustrati i dati “presi in prestito” dalla libreria “Ecoinvent”, essi rappresentano l'emissione media per m³ di materiale spostato.

Ecoinvent : Emissioni in atmosfera	(kg m³)
Ammonia	2,61E-06
Benzo(a)pyrene	3,91E-09
Cadmium	1,3E-09
Carbon dioxide, fossil	4,08E-01
Carbon monoxide, fossil	1,48E-03
Chromium	6,52E-09
Copper	2,22E-07
Dinitrogen monoxide	1,57E-05
Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin	7,84E-15
Heat, waste	5,92
Methane, fossil	2,09E-05
Nickel	9,13E-09
Nitrogen oxides	5,76E-03
NMVOOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	6,76E-04
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	4,39E-07
Particulates, < 2.5 um	5,26E-04
Particulates, > 10 um	3,51E-05
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	2,34E-05
Selenium	1,3E-09
Sulfur dioxide	1,32E-04
Zinc	1,3E-07

Tab. 3.1 Emissioni in atmosfera - kg m³

I dati sulle emissioni sono espressi in kg di sostanza emessa su m³ di volume spostato, si è dovuto trasformarli in kg di sostanza emessa all'ora, moltiplicando per il volume medio spostato dalla macchina in un'ora.

Il volume medio spostato è stato calcolato tenendo conto dei tempi di utilizzo.

$$\text{Volume medio spostato} = (112,5 * 30\%) + (51 * 60\%) = 64,35 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$$

Dove:

112,5 m³ h⁻¹ è il volume medio spostato dalla pala,

30% è il tempo di utilizzo stimato per la pala,

51 m³ h⁻¹ è il volume medio spostato dal retroescavatore,

60% è il tempo di utilizzo stimato per il retroescavatore.

Si sono inoltre confrontati i valori delle emissioni per sostanze di cui si avevano i dati reali per la terna per verificare la corrispondenza con i valori "presi in prestito". I dati calcolati e i reali sono risultati dello stesso ordine di grandezza e discostano solo di poche unità (Esempio:

CO reale per la terna è di 34,22 g h⁻¹, CO calcolato è di 35,1 g h⁻¹). Si è ritenuto di poter utilizzare i dati “presi in prestito” perché rappresentativi della terna WB93.

Le emissioni espresse in kg h⁻¹ sono illustrate nella seguente tabella, Tab. 3.2.

Emissioni in atmosfera	Kg h⁻¹
Ammonia	26,79E-5
Benzo(a)pyrene	2,51E-7
Cadmium	8,36E-8
Chromium	4,19E-7
Copper	1,43E-5
Dinitrogen monoxide	1,01E-3
Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin	5,04E-13
Heat, waste	380,95 MJ
Methane, fossil	1,34E-3
Nickel	5,87E-7
NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	43,5E-3
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	2,82E-5
Particulates, < 2.5 um	33,84E-3
Particulates, > 10 um	22,58E-4
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	15,05E-4
Selenium	8,36E-8
Sulfur dioxide	84,94E-4
Zinc	8,36E-6

Tab. 3.2 Emissioni in atmosfera – kg ora⁻¹

Emissioni durante i trasferimenti della terna nel parco macchine

Prima di essere trasferita su mezzo per la vendita, la terna è spostata più volte all'interno del parco macchine. Sono stati calcolati i consumi di carburante e le emissioni in atmosfera moltiplicando i valori orari per un tempo di spostamento medio. Quest'ultimo è stato calcolato effettuando una media dei tempi registrati nel contaore delle terne nel parco macchine. Anche in questo caso i dati disponibili sulle emissioni sono stati integrati come precedentemente illustrato.

Trasporto dei componenti della terna dai fornitori all'azienda

Si è considerato il sistema dei trasporti dei componenti della terna dai fornitori ad Este.

Nota la distanza del fornitore, il peso del componente trasportato e la modalità di trasporto è stato possibile calcolare il prodotto “peso trasportato per chilometro”.

Questo calcolo è necessario per l'inserimento del dato nel programma utilizzato per la modellizzazione (SimaPro). Anche in questo caso sono stati utilizzati dati specifici sulle quantità trasportate e le distanze, mentre sono stati usati dati generici per quanto riguarda il mezzo di trasporto.

Per la distanza percorsa si sono considerati sia il viaggio di andata sia di ritorno del mezzo e il peso degli imballaggi dei componenti trasportati.

Tutti i componenti sono trasportati su gomma ad eccezione di uno che proviene dal Giappone con nave.

3.2.3 Utilizzo

Nella fase di utilizzo si considerano:

1. la terna durante il funzionamento, “terna operativa”, nelle tre modalità previste,
2. il sistema di trasporto della terna dalla fabbrica al cliente (distribuzione),
3. il sistema di trasporto della terna tra due siti di lavoro,
4. l’uso di materiali ausiliari necessari alla manutenzione delle terna (tubi, pneumatici).

Terna operativa

Nella fase di utilizzo sono state effettuate le seguenti assunzioni:

- il consumo di carburante e oli è costante nel tempo,
- la quantità di sostanze emesse in atmosfera aumenta nel tempo.

Da misure effettuate è risultato che dopo 3000 ore di lavoro, in condizioni di scarsa o nulla manutenzione, i valori di emissione che può raggiungere la macchina sono decisamente superiori ai valori rilevati quando la macchina è nuova. Tali valori sono stati ritenuti i valori massimi di emissione.

Si è ritenuto opportuno quindi suddividere il lifetime, 6,5 anni pari a 8580 ore, in tre periodi per poter attribuire a ciascun periodo i valori di emissione più plausibili:

1. da 0 a 3000 ore;
2. da 3000 a 6600 ore, in cui il limite di 6600 ore equivale ai 5 anni di vita teorica della macchina;
3. da 6600 a 8580 ore, che rappresenta l’anno e mezzo che rimane;

Per il primo periodo (0-3000 ore) i dati sulle emissioni provengono dalla scheda di omologazione per il motore, ai sensi della direttiva 97/68/CE, modificata nella direttiva 2001/63/CE. Rappresentano i risultati di prove di emissioni basate su varie modalità di funzionamento. I dati specifici disponibili riguardano CO₂, CO, HC, NO_x.

Per il terzo periodo (6600-8580 ore) si sono considerati i valori massimi di emissione.

Per il secondo periodo (3000-8580 ore) si è fatta una media tra i valori dei due periodi.

I dati specifici disponibili riguardano CO₂, CO, HC, NO_x.

La terna prevede tre modalità di utilizzo, come già detto, a ciascuna modalità corrisponde una diversa potenza del motore, perciò i valori delle emissioni e dei consumi nelle tre modalità sono diversi. In particolare i consumi sono maggiori nella modalità “pala” e “trasferimenti”. Perciò ciascuno dei tre periodi sopra individuati sono stati suddivisi in tre “sottoperiodi” a

seconda della modalità d'utilizzo come di illustrato in Tab. 3.3. Questo passaggio è necessario perché le dimensioni temporali e spaziali non sono rappresentabili nell'LCA.

	Totale ore nel lifetime	0-3000 ore 35% lifetime	3000-6600 ore 42% lifetime	6600-8580 ore 23% lifetime
Pala	2574	900,9	1081,08	592,02
Retroescavatore	5148	1801,8	2162,16	1184,04
Trasferimenti	585	204,75	245,7	134,55

Tab. 3.3 Tempi e modalità di utilizzo

Il consumo di oli e carburante nel lifetime è stato calcolato moltiplicando il consumo orario per il monte ore stimato.

Per quanto riguarda le emissioni i dati specifici disponibili riguardano CO₂, CO, HC, NO_x, e i valori di emissione nei tre periodi sono noti. E' stato calcolato l'incremento nel tempo dei dati disponibili per stimare l'incremento nel tempo dei dati "presi in prestito", con cui si è scelto di integrare le informazioni.

Trasporto della terna dalla fabbrica al cliente

Per il trasporto della terna dalla industria al cliente/distributore si sono seguite delle indicazioni specifiche previste da procedure interne all'azienda.

Sono fatte le seguenti assunzioni:

- la distanza tra la fabbrica e il sito di lavoro è di 500km,
- il veicolo che trasporta la terna è di 20 ton e consuma 2,5 L km⁻¹

Si calcola che il veicolo trasporti in un viaggio di distribuzione 7515 ton km, tale dato è ottenuto così:

- Distanza tra fabbrica e cliente: 500 km
- Peso delle terna non operativa: 7,515 ton (7590 kg – 75 kg, peso medio dell'operatore)
- Si considera un viaggio di andata (veicolo carico) e ritorno (veicolo vuoto)

$$500 * 2 * 7,515 = 7515 \text{ ton km}$$

Per il mezzo di trasporto è stato utilizzato un processo disponibile nel database.

Trasporto della terna tra due siti di lavoro

Per il trasporto della terna dalla industria al cliente/distributore si sono seguite delle indicazioni specifiche previste da procedure interne all'azienda.

Sono fatte le seguenti assunzioni:

- la distanza tra due siti di lavoro è di 25 km,
- il veicolo che trasporta la terna è di 20 ton e consuma 2,5 L km⁻¹

Si calcola che il veicolo trasporti in uno spostamento 43962,75 ton km, tale dato è ottenuto così:

- Distanza tra due siti: 25km
- Peso delle terna non operativa: 7,515 ton (7590 kg – 75 kg, peso medio dell'operatore)
- Si considera un viaggio di andata (veicolo carico) e ritorno (veicolo vuoto)
- Si considerano 1,5 trasferimenti in un mese, cioè $1,5 * 12 * 6,5 = 117$ trasferimenti nel lifetime

$$(25 * 2 * 7,515) * 117 = 43962,75 \text{ ton km}$$

Impiego di materiali necessari all'utilizzo delle terna (tubi e pneumatici)

Nella fase di utilizzo della terna si considerano le parti da sostituire periodicamente per la manutenzione, tubi, o per l'usura, pneumatici. Per questi pezzi sono stati creati due cicli di vita supplementari.

Pneumatici

Si sono considerati i materiali che compongono il pneumatico, il numero di pneumatici necessari nei 6,5 anni di utilizzo previsti e lo smaltimento.

Il numero di pneumatici da sostituire nell'utilizzo (6,5 anni) è stato stimato in base alla durata media del pneumatico, stimata in 3000-3500 ore. La durata di un pneumatico varia molto con il tipo di uso per cui è impiegato, la minima è di 2000 ore, più difficile è la stima della durata massima. Si è considerata una sola sostituzione, dopo le prime 3500 ore.

Per il fine vita si veda più avanti.

Anche in questo caso sono stati utilizzati dati specifici e generici.

Tubi

Si sono considerati tubi in ferro e gomma dei diversi impianti da sostituire periodicamente. Per entrambi i tipi di tubo (in ferro e in gomma) si sono considerati i materiali che li compongono. Per comodità operativa è stato calcolato un peso medio del materiale che compone un tubo. Il numero di tubi necessari per la manutenzione standard nell'utilizzo (6,5 anni) è stato stimato in base alla durata media (4000 ore). Si sono considerati 54 tubi in gomma e 20 in ferro.

Per il fine vita si veda più avanti.

All'inizio dello studio si erano considerati anche i filtri ma si sono ritenuti trascurabili rispetto agli altri componenti.

3.2.4 Fine vita

Lo scenario di fine vita di un prodotto descrive il destino ultimo del prodotto stesso dopo il tempo di utilizzo.

Secondo il parere di esperti del settore nell'azienda è possibile ipotizzare che dopo i 6,5 anni di servizio:

- Il 5% delle terne è subito rottamato.
- Il 35% delle terne rimane fermo per circa 10 anni presso un'officina dove è utilizzato per ricavare pezzi di ricambio e poi rottamato.
- Il 30% delle terne è venduta a privati, da cui sono utilizzate per circa 20 anni, con un impiego stimato del 10% rispetto a quello considerato nei 6,5 anni .
- Il 30% delle terne è venduta nei Paesi in via di sviluppo e utilizzato per circa 20 anni, con un impiego stimato del 20% rispetto a quello considerato nei 6,5 anni.

Nella metodologia LCA le dimensioni temporale e spaziale non sono contemplate: ciò significa che non è possibile determinare luoghi e tempistiche degli impatti. La variabile temporale è da considerarsi sempre “al presente” perciò è necessario definire delle percentuali per i diversi scenari di fine vita.

Demolizione

Per il 5% delle terne subito rottamate è stato creato un processo detto “Demolizione immediata” che rappresenta lo smaltimento di un terna presso un impianto di demolizione. Questo processo è suddiviso in quattro sottoprocessi che servono ad illustrare la fine dei materiali disassemblati della terna: metalli ferrosi, metalli non-ferrosi, plastiche e vetro.

Fine dei metalli ferrosi

Quasi tutti i metalli impiegati nella terna sono riciclabili ma la riciclabilità è comunque limitata dalla difficoltà fisica di separare le parti metalliche da parti plastiche o di altra natura. Inoltre non avendo a disposizione dati specifici da parte dei demolitori sulle effettive quantità riciclate o smaltite si è ritenuto più opportuno considerare che il 90% dei metalli sia riciclato e il 10% finisca in discarica.

Fine dei metalli non-ferrosi

I metalli non ferrosi impiegati nella terna sono di per sé riciclabili ma essendo difficilmente separabili non possono essere riciclati. Si considera finiscano in discarica.

Fine delle plastiche

Buona parte delle plastiche impiegate nella terna sono riciclabili ma la riciclabilità è comunque limitata dalla difficoltà fisica di separare le parti plastiche da parti metalliche o di altra natura. Per questo motivo si è ritenuto più opportuno considerare che il 20% delle plastiche sia riciclato e l'80% vada in discarica.

Fine del vetro

Il vetro è di per sé un materiale riciclabile ma essendo difficilmente separabile non è possibile recuperarlo. Si considera che tutto il vetro finisca in discarica.

Per definire la riciclabilità o non-riciclabilità di un materiale si sono seguite le indicazioni contenute nelle KES “Komatsu Environmental Standards” .

Per il destino del rifiuto ci si è basati sull'esperienza di esperti del settore.

Per il tipo di trattamento (processo di riciclaggio, discarica...) si sono utilizzati processi disponibili nel database.

Stoccaggio

Per il 35% delle terne stoccate è stato creato un processo detto “Stoccaggio della terna”. Questo processo è solamente descrittivo poiché non ci sono dati disponibili. Questa mancanza è comunque trascurabile ai fini dello studio complessivo perché lo stoccaggio è solo una fase transitoria prima della demolizione finale. Infatti a questo processo segue il sottoprocesso della demolizione con le medesime modalità sopra illustrate. Il fatto che i rifiuti vengano via via recuperati in tempi diversi non crea nessuna complicazione per l'assenza della dimensione temporale e spaziale citate in precedenza.

Vendita a privati

Per il 30% delle terne vendute a privati è stato creato un processo detto “Suddivisione dopo vendita a privati”. Questo processo descrive il destino della terna utilizzata per piccoli lavori da parte di privati. Si ritiene che possa essere utilizzata per circa 20 anni al 10% dell'utilizzo standard, che sia poi stoccata e infine demolita. Questa situazione può essere letta nel modo seguente:

- il 10% del 30% delle terne totali a fine vita è riutilizzato per 3 cicli di vita (6,5 anni * 3 cicli=19,5 anni): si considera un riutilizzo del 9% (3% * 3 cicli);

- il 21% rimanente (30%-9%) va allo stoccaggio, per 18,4%, e alla demolizione, per il 2,6%. Per il calcolo di queste percentuali si è mantenuto il rapporto di 1:8 e 7:8 considerato per la demolizione e lo stoccaggio. ($5\%+35\%=40\%$, cioè 1/8 e 7/8).

Vendita a Paesi in via di sviluppo

Per il 30% delle terne vendute nei PVS è stato creato un processo detto “Suddivisione dopo vendita nei PVS”. Questo processo descrive il destino della terna utilizzata nei PVS: si ritiene che possa essere utilizzata per circa 20 anni al 20% dell’utilizzo standard, che sia poi in parte stoccata e demolita e in parte abbandonata come rifiuto.

Mentre nei Paesi Occidentali il fine vita dei veicoli fuori uso è regolato da leggi, nei PVS si ipotizza che non vi sia una regolamentazione a riguardo perciò non è possibile conoscere con certezza il destino della macchina.

Questa situazione può essere letta nel modo seguente:

- il 20% del 30% delle terne è riutilizzato per 3 cicli di vita: si considera un riutilizzo del 18% ($6\%*3$ cicli);
- il 12% rimanente (30%-18%) è suddiviso tra
 - l’abbandono (stimato come l’1% del 12%, cioè 0,12%, la percentuale dell’1% è stata assunta sulla base di pareri di esperti,
 - stoccaggio (stimato come 7/8 di (12%-0,12), 10,4%
 - demolizione (stimato come 1/8 di 12%-0,12 “abbandonato”), 1,48%

Per il calcolo di queste percentuali si è mantenuto il rapporto di 1:8 e 7:8 considerato per la demolizione e lo stoccaggio. ($5\%+35\%=40\%$, cioè 1/8 e 7/8).

Fine vita dei materiali ausiliari nella fase di utilizzo

Fine vita dei pneumatici

Si ritiene che buona parte delle gomme che costituiscono i pneumatici finiscano in discarica, mentre una parte è destinata all’abbandono dopo l’utilizzo per usi “alternativi” (Es. protezione per le imbarcazioni ormeggiate).

Fine vita dei tubi

Si ritiene che sia i tubi in gomma che quelli in ferro non siano recuperabili e finiscano in discarica.

Per la realizzazione del modello si è utilizzato un programma apposito: SimaPro.

Si riporta nella figura seguente il diagramma di flusso che rappresenta la vita della terna, sono visibili solo le fasi con una percentuale d'impatto superiore al 2%.

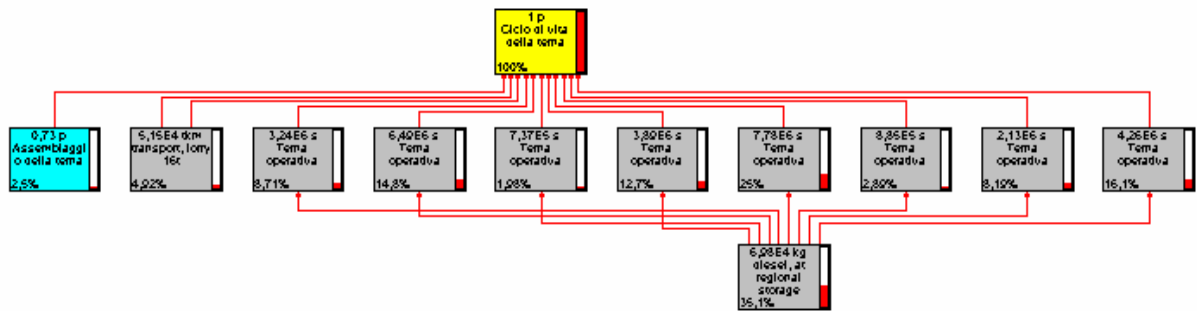


Figura 3.1: Diagramma di flusso per la terna

Già dal diagramma di flusso è possibile avere qualche informazione. Si vede infatti che la fase del ciclo di vita con i maggiori impatti è costituita dall'utilizzo della macchina e in particolare al consumo di carburante. La barra rossa a destra di ciascuna finestra dà un'indicazione visiva riguardo al contributo d'impatto di ciascun processo.

Per facilità di lettura si riportano i contributi percentuali dei processi rispetto all'intero ciclo di vita

Assemblaggio	Trasporti	Terna operativa (totale)	Fine vita	Processi rimanenti
3%	5%	92%	-2%	2%

3.3 Valutazione degli impatti

“La fase di valutazione dell’impatto di un LCA ha lo scopo di valutare la portata di potenziali impatti ambientali utilizzando i risultati dell’analisi d’inventario del ciclo di vita.” UNI EN ISO 14040:1998

La valutazione degli impatti è stata realizzata con due diversi metodi: il metodo “*mid point*” CML 2001 e il metodo “*end point*” Ecoindicator 99.

3.3.1 Valutazione degli impatti con il metodo Ecoindicator 99 H

Classificazione

La classificazione degli impatti potenziale avviene secondo le seguenti categorie d’impatto:

- **Cancerogeni:** contaminazione da cancerogeni dovuta alle emissioni di sostanze cancerogene in aria, acqua e suolo. Il danno è espresso in DALY su kg di emissione.
- **Respirazione di organici:** effetti sulla respirazione dovuti allo smog causati da emissioni in aria di sostanze organiche che causano danni alle vie respiratorie. Il danno è espresso in DALY su kg di emissione.
- **Respirazione di inorganici:** effetti sulla respirazione dovuti a smog da traffico causati da polveri, ossidi di zolfo e azoto che causano danni alle vie respiratorie. Il danno è espresso in DALY su kg di emissione.
- **Cambiamenti climatici:** danno che risulta da un aumento di malattie e morti legate ai cambiamenti climatici. Il danno è espresso in DALY su kg di emissione.
- **Radiazioni:** danno che risulta da emissioni radioattive. Il danno è espresso in DALY su kg di emissione.
- **Strato di ozono:** danno legato all’aumento di raggi UV come risultato di emissioni in aria di sostanze nocive per l’ozono. Il danno è espresso in DALY su kg di emissione.
- **Ecotossicità:** danno alla qualità dell’ecosistema, come risultato di emissioni di sostanze tossiche. Il danno è espresso in PDF *mq*year*kg⁻¹ di emissione, cioè perdita di specie per superficie per anno.
- **Eutrofizzazione:** danno alla qualità dell’ecosistema dovuto all’emissione di sostanze acidificanti in aria. Il danno è espresso in PDF *mq*year*kg⁻¹ di emissione.
- **Uso del suolo:** danno causato sia dal cambiamento della destinazione d’uso di un suolo, sia dall’occupazione. Il danno è espresso in PDF *mq*year *kg⁻¹ di emissione.

L'uomo ha sempre consumato per prima le risorse più facilmente estraibili, lasciando quelle di più difficile estrazione alle generazioni future. Il danno ambientale sul consumo di risorse verrà incontrato dalle future generazioni poiché avranno bisogno di uno sforzo maggiore per le estrazioni. Questo sforzo ulteriore è espresso come un “surplus di energia”.

- Sostanze minerarie: surplus di energia per kg di minerale estratto.
- Combustibili fossili: surplus di energia per kg di petrolio estratto

Le categorie di danno sono “Salute umana”, “Qualità dell'ecosistema” e “Risorse”.

Gli indici di danno utilizzati sono:

- DALY “*Disability Adjusted Life Years*” è un indice usato dalla Banca Mondiale e dall'Organizzazione Mondiale della Sanità, esprime il numero di anni di vita persa o peggiorata;
- PDF: “*Potentially Disappeared Fraction*”, è un indice che esprime il numero potenziale di specie la cui esistenza è compromessa o severamente minacciata.
- Surplus di energia per kg di risorsa estratta.

Caratterizzazione

Nel grafico seguente si riportano i risultati della caratterizzazione. In ascissa si leggono le categorie d'impatto e in ordinata la percentuale d'impatto per ciascun processo incluso nei confini di sistema.

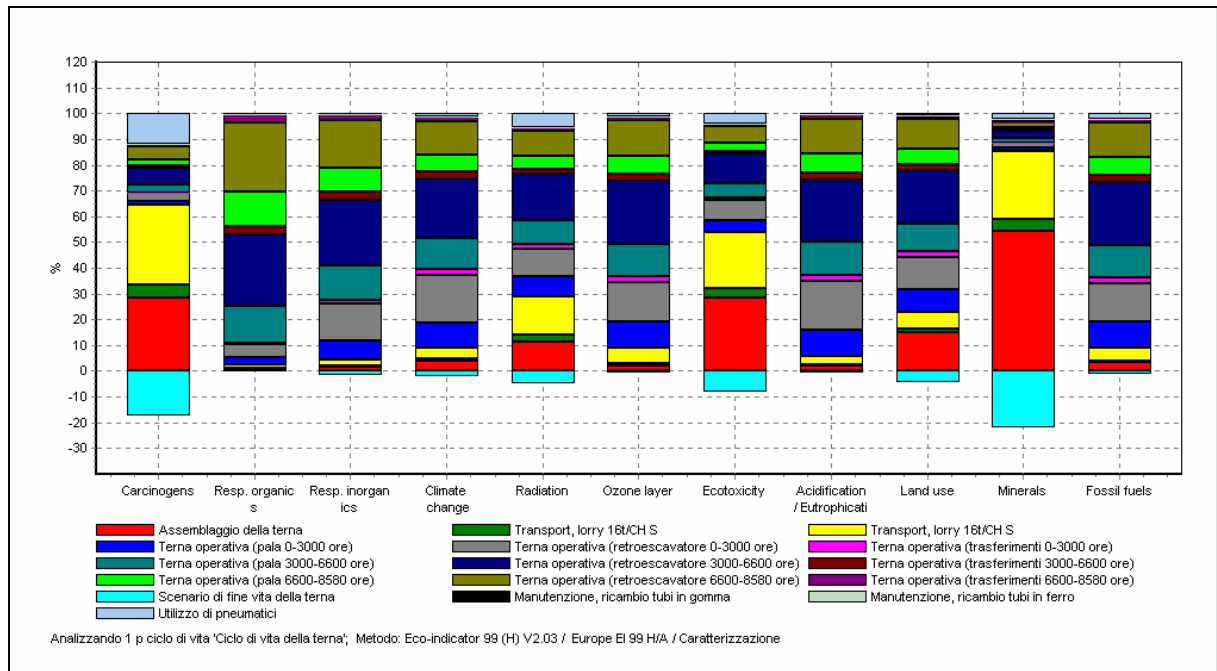


Grafico 3.1: Caratterizzazione con Ecoindicator

Per ciascuna categoria d'impatto si vede quanto pesa ciascun processo evidenziato con uno specifico colore.

Si vede che per il processo "Scenario di fine vita" la valutazione dell'impatto è negativa poiché si considera come un impatto evitato. In particolare ciò è dovuto al riutilizzo della macchina che implica un risparmio di materia/energia per la produzione di una nuova macchina.

Normalizzazione

Nel grafico seguente si riportano i risultati della normalizzazione. In ascissa si leggono le categorie d'impatto e in ordinata la percentuale d'impatto per ciascun processo incluso nei confini di sistema. I dati sono normalizzati a livello europeo.

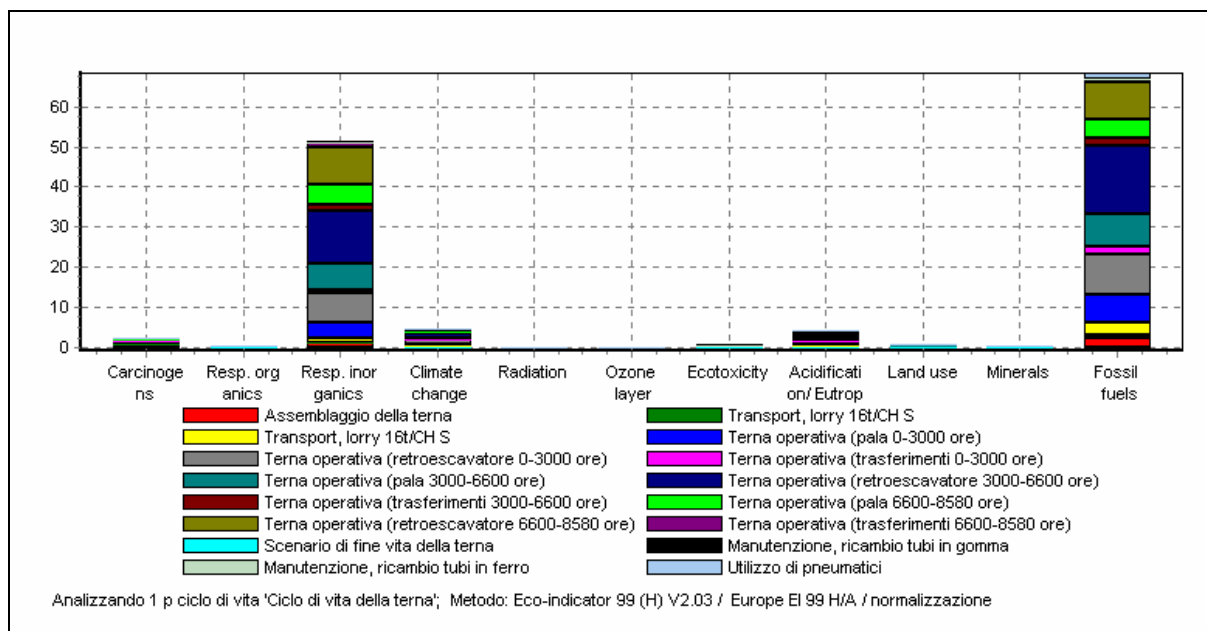


Grafico 3.2: Normalizzazione per categoria d'impatto con Ecoindicator 99

Dal grafico si vede che la fase che presenta i maggiori impatti ambientali potenziali è la fase di utilizzo, definita nel processo “Terna operativa”, e le categorie d'impatto che presentano i maggiori impatti ambientali sono in ordine decrescente “Combustibili fossili” e “Respirazione di inorganici”.

I risultati dell'analisi dei grafici sono presentati nelle seguenti tabelle.

Nella Tabella 3.4 si riportano per ciascuna delle due categorie d'impatto individuate i contributi legati ai singoli processi espressi in percentuale.

Dopo aver individuato la fase del ciclo di vita che presenta gli impatti maggiori si procede ad analizzare quali sostanze siano implicate nell'impatto.

Nella Tabella 3.5 si riportano per ciascuna delle due categorie d'impatto individuate i contributi delle sostanze espressi in percentuale.

ECOINDICATOR CATEGORIE vs PROCESSI	Assemb. (%)	Trasporti (%)	Terna operativa (0-3000) (%)	Terna operativa (3000-6600) (%)	Terna operativa (6600-8580) (%)	Fine vita (%)	Pneum. (%)	Altri Processi (%)
Resp. inorganics	1,73	2,5	23,92	42,54	30,59	-	0,38	0,07
			97,05			1,73		
Fossil fuels	3,33	5,8	27,66	40,23	21,97	-	2,04	0,05
			89,96			1,08		

Tab. 3.4: Categorie d'impatto e processi

La fase di utilizzo della macchina contribuisce alla categoria d'impatto "Respirazione di inorganici" per il 97%, inoltre si vede che il contributo è crescente nei tre periodi di utilizzo a causa del progressivo aumento delle emissioni. Il periodo con un contributo percentuale maggiore è quello centrale (3000-6600 ore), questo risultato dipende dalla diversa lunghezza dei periodi e dai valori di emissione. Il primo periodo ha una durata di 3000 ore e i valori di emissione sono relativamente bassi, il secondo periodo ha una durata di 3600 ore e valori di emissione crescenti, il terzo periodo ha una durata di 1980 ore e emissioni elevate. (0-3000 ore).

Gli altri processi contribuiscono in modo trascurabile.

Per quanto riguarda la categoria "Combustibili fossili" la fase di utilizzo contribuisce per l'89,96%, seguita dai "trasporti" per il 5,8% e "Assemblaggio" 3,33%. Gli altri processi contribuiscono in modo trascurabile.

In questa tabella vengono riportati i contributi, espressi in percentuale, delle sostanze che rientrano nella categoria d'impatto e che determinano l'impatto stesso.

ECOINDICATOR CATEGORIE vs SOSTANZE	
Resp. inorganics	Fossil fuels
53,42% particulates <2,5µm	93,75% oil, crude, in ground
42,22% nitrogen oxides	5,53 gas, natural, in ground
3,19% sulphur dioxide	0,72% altro
1,17% altro	

Tab. 3.5: Categorie d'impatto e sostanze

Per quanto riguarda la categoria “Respirazione di inorganici” l’impatto è dovuto al particolato per il 53,42%, ossidi di azoto (NO_x) 42,22%, anidride solforica (SO₂) 3,19%. Nella categoria “combustibili fossili” l’impatto maggiore è legato al consumo di greggio per il 93,75%.

Nel seguente grafico sono rappresentati i risultati normalizzati rispetto alle macrocategorie d’impatto “Risorse”, “Qualità dell’ecosistema” e “Salute umana”.

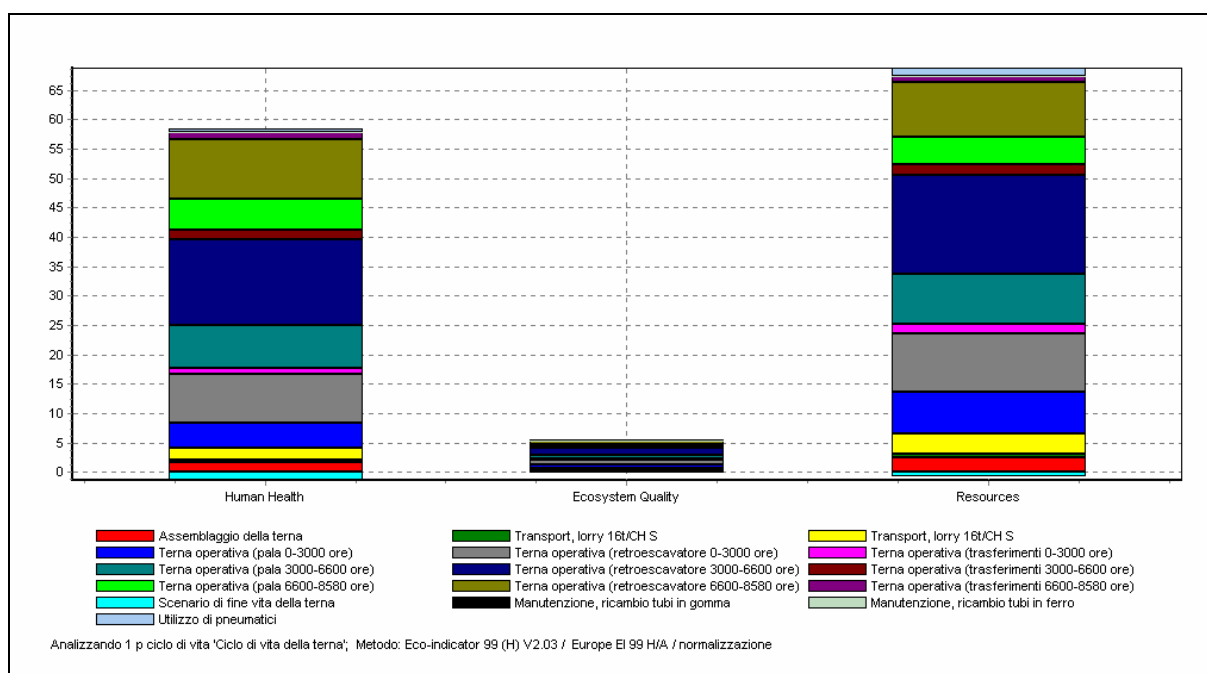


Grafico 3.3: Normalizzazione con Ecoindicator 99

Si vede che le macrocategorie dove si verifica l’impatto maggiore sono “Salute umana” e “Risorse”.

Si riportano in Tabella 3.6 i risultati dei contributi percentuali delle sostanze impattanti per categoria.

ECOINDICATOR CATEGORIE vs SOSTANZE		
Resources	Ecosystem Quality	Human Health
93,28% oil, crude, in ground	77,1% nitrogen oxides	47,83% particulates <2,5µm
		37,28% nitrogen oxides
5,51% gas, natural, in ground	9,92% transformation, to mineral extraction site	6,41% carbon dioxide
		2,82% sulphur dioxide
1,21% altro	12,98% altro	2,09% cadmium
		3,57% altro

Tab. 3.6: Macrocategorie d'impatto e sostanze

Risulta che per la “Salute umana” i danni sono dovuti essenzialmente alle emissioni di particolato 47,83%, ossidi di azoto (NO_x) 37,28%, e in misura decrescente anidride carbonica (CO₂) 6,41%, anidride solforosa (SO₂) 2,82% e cadmio (Cd) 2,09% che si verificano nella fase di utilizzo.

Per quanto riguarda le “Risorse” il danno è dovuto all'esaurimento di greggio per il 93,28% e gas naturale per il 5,51%, impiegati sia nella produzione di energia che nella fase di utilizzo.

3.3.2 Valutazione degli impatti con CML 2001.

Classificazione

La classificazione degli impatti potenziale avviene secondo le seguenti categorie d'impatto:

- **Esaurimento di risorse abiotiche:** l'indicatore usato in questa categoria si riferisce all'estrazione di minerali e combustibile fossile che entrano come input nel sistema. Il "Fattore di esaurimento di risorse abiotiche" (ADF- *Abiotic Depletion Factor*) è determinato per l'estrazione di minerali e combustibile fossile basata sulla quantità di riserve e tasso di accumulo. L'indicatore è calcolato a scala globale.
- **Cambiamenti climatici:** i cambiamenti climatici sono correlati alle emissioni di gas serra in atmosfera. I fattori di caratterizzazione, sviluppati dall'IPPC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), sono espressi come "Potenziale di riscaldamento globale" per un orizzonte temporale di 100 anni (GWP100), in "kg CO₂/kg emissione". L'indicatore è calcolato a scala globale.
- **Distruzione strato di ozono:** Il modello di caratterizzazione è stato sviluppato dal "*World Meteorological Organisation*" (WMO) e definisce il potenziale di distruzione dell'ozono di vari gas: kg CFC-11 equivalenti/kg emissione. L'indicatore è calcolato a scala globale.
- **Tossicità umana:** questa categoria si riferisce agli effetti sulla salute umana di sostanze tossiche. Il fattore di caratterizzazione è il "Potenziale di tossicità umana" (HTP), è calcolato tenendo conto degli effetti a lungo termine sulla salute umana. È espresso come "1,4-dichlorobenzene equivalenti/kg di emissione" L'indicatore può variare da scala globale a regionale.
- **Tossicità in acque dolci:** questa categoria si riferisce agli effetti sugli ecosistemi acquatici di sostanze tossiche. Il "potenziale di ecotossicità" è calcolato come "1,4-dichlorobenzene equivalenti/kg di emissione" L'indicatore può essere applicato a diverse scale.
- **Formazione di foto-ossidanti:** si riferisce alla formazione di sostanze ossidanti per effetto fotochimico. Il fattore di caratterizzazione è costituito dal "Potenziale di formazione di ozono fotochimico" espresso come "kg etilene equivalenti/kg emissione". L'indicatore varia con la scala spaziale di applicazione.

- Acidificazione: il “Potenziale di acidificazione” (AP) per le emissioni è calcolato in base alla deposizione di sostanze acide con la pioggia. E’ espresso come “kg SO₂ equivalenti/ kg emissione”. La scala spaziale è variabile.
- Eutrofizzazione: il “Potenziale di eutrofizzazione” (NP) è espresso come “kg PO₄ equivalenti/ kg emissione”. La scala spaziale è variabile.

Caratterizzazione

Nel grafico seguente si riportano i risultati della caratterizzazione. In ascissa si leggono le categorie d’impatto e in ordinata la percentuale d’impatto per ciascun processo incluso nei confini di sistema.

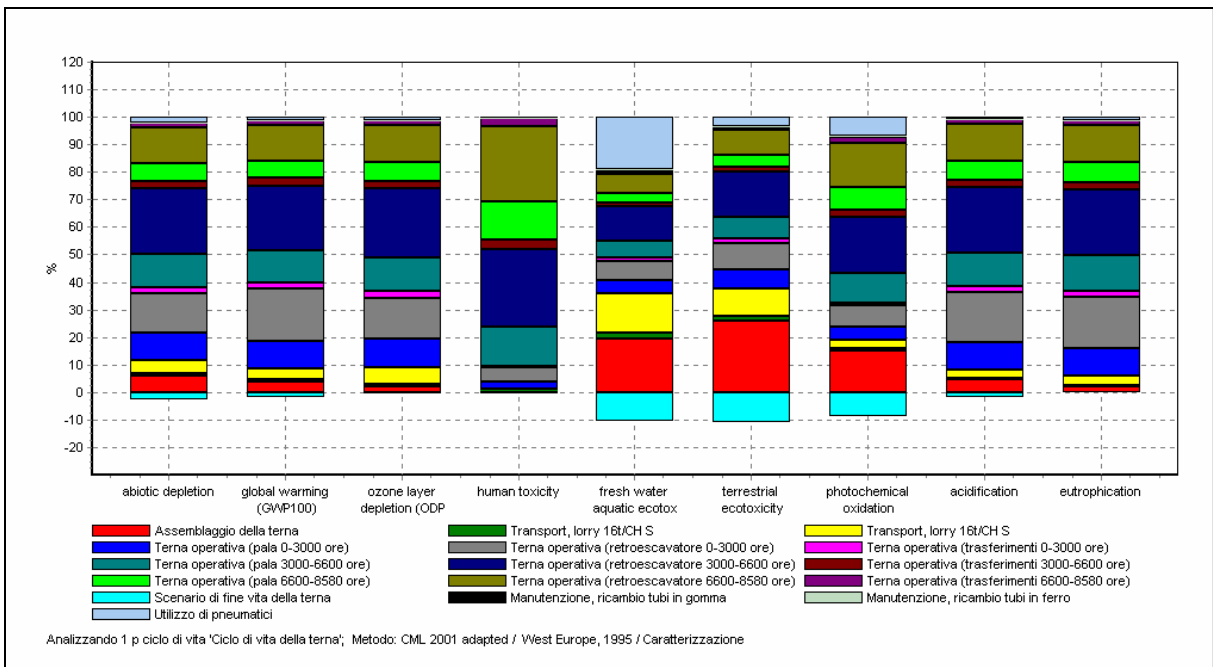


Grafico 3.4: Caratterizzazione con CML 2001

Normalizzazione

Nel grafico seguente si riportano i risultati della normalizzazione. In ascissa si leggono le categorie d'impatto e in ordinata un punteggio d'impatto per ciascun processo incluso nei confini di sistema.

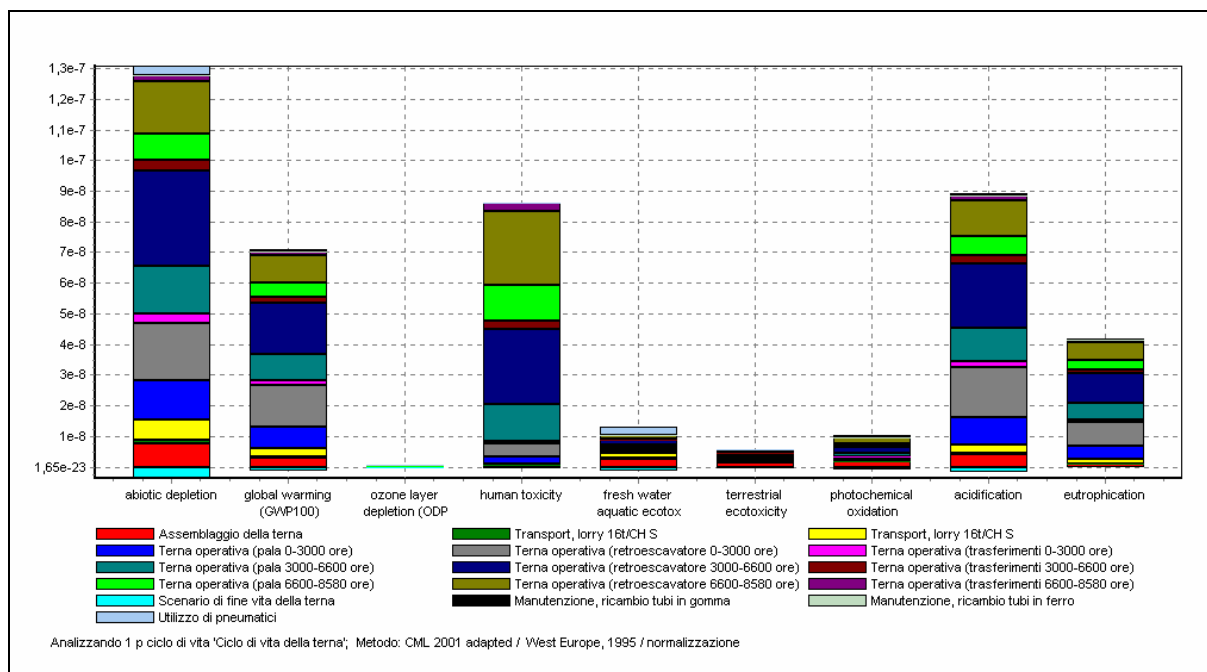


Grafico 3.5: Normalizzazione con CML 2001

Dal grafico si vede che la fase che presenta i maggiori impatti ambientali potenziali è la fase di utilizzo, definita nel processo “Terna operativa”, e le categorie d'impatto che presentano i maggiori impatti ambientali sono in ordine decrescente “Esaurimento di risorse”, “Acidificazione”, “Tossicità umana”, “Riscaldamento globale”, “Eutrofizzazione”.

I risultati dell'analisi dei grafici sono presentati nelle seguenti tabelle.

Nella Tabella 3.7 si riportano per ciascuna delle categorie d'impatto individuate i contributi legati ai singoli processi espressi in percentuale.

Dopo aver individuato la fase del ciclo di vita che presenta gli impatti maggiori si procede ad analizzare quali sostanze siano implicate nell'impatto.

Nella Tabella 3.8 si riportano per ciascuna delle categorie d'impatto individuate i contributi delle sostanze espressi in percentuale.

CML 2001 CATEGORIE vs PROCESSI	Assemb. (%)	Trasporti (%)	Terna operativa (0-3000) (%)	Terna operativa (3000- 6600) (%)	Terna operativa (6600- 8580) (%)	Fine vita (%)	Pneum. (%)	Altri Processi (%)
Abiotic Depletion	6,1	5,9	27,22	39,59	21,65	-	2,3	0,13
			88,46					
Acidification	4,66	3,75	30,72	39,47	22,34	-	0,89	0,15
			92,53					
Human Toxicity	0,84	0,49	8,27	45,83	44,75	-	0,17	0,13
			98,85					
Global Warming	3,94	4,9	31,56	38,84	21,31	-	1,3	0,19
			91,71					
Eutrophication	2,15	3,6	31,11	32,97	22,29	0,1	1,2	6,58
			92,67					

Tab. 3.7: Categorie d'impatto e processi

Dall'analisi dei risultati emerge che la fase di utilizzo è quella che, nell'intero ciclo di vita, contribuisce più pesantemente rispetto alla maggior parte delle categorie d'impatto.

Le considerazioni sono le stesse fatte precedentemente per il metodo Ecoindicator.

In particolare si ha che l'utilizzo presenta l'impatto maggiore nella categoria "Tossicità umana" con un contributo del 98,85%; seguono "Eutrofizzazione" con 92,67%, "Acidificazione" con 92,53%, "Riscaldamento globale" con 91,71%, "Esaurimento delle risorse" 88,46%.

CML 2001 CATEGORIE vs SOSTANZE				
Abiotic Depletion	Acidification	Human Toxicity	Global Warming	Eutrophication
90,2% oil, crude in ground	76,88% nitrogen oxides	95,8% PAH	97,25% carbon dioxide	91,86% nitrogen oxides
5,96% gas, natural, in ground	22,64% sulphur dioxide	4,2% altro	1,42% methane	5,85% COD
3,84% altro	0,48% altro		1,24% dinitrogen monoxide	2,29% altro
			0,09% altro	

Tab. 3.8: Categorie d'impatto e sostanze

Per quanto riguarda l' "Esaurimento di risorse" si ottiene un risultato molto vicino a quello ottenuto col metodo precedente. L'impatto è dovuto al consumo di greggio per il 90,2% e gas naturale per il 5,96%, coinvolti nella produzione di energia e carburanti.

Nell' "Acidificazione" i contributi maggiori sono dovuti agli ossidi di azoto (NO_x), 76,88%, e anidride solforosa (SO_2) 22,64%.

Nella "Tossicità umana" pesano gli idrocarburi policiclici aromatici (PAH) per il 95,8%.

Nel "Riscladamento globale" l'impatto è dovuto all'anidride carbonica (CO_2) per il 97,25% e in misura minore ad altre sostanze.

L' "Eutrofizzazione" è dovuta agli ossidi di azoto (NO_x) per 91,86% e in misura minore ad altre sostanze.

3.4 Interpretazione

“L’interpretazione è la fase dell’LCA nella quale i risultati ottenuti nell’analisi d’inventario e nella valutazione d’impatto vengono combinati fra loro, ... ,al fine di trarre conclusioni e raccomandazioni.” ... “Le risultanze dell’interpretazione possono prendere la forma di conclusioni e raccomandazioni indirizzate a coloro che debbono prendere le decisioni, in coerenza con l’obiettivo e il campo di applicazione dello studio.” UNI EN ISO 14040:1998

In questa fase verranno affrontate l’analisi di contributo per ciascun metodo di valutazione e un’analisi di sensitività tra i due metodi. Non è stata effettuata l’analisi di incertezza sui dati perché per il tipo di studio questa operazione non è richiesta.

Nella seconda parte vengono proposte e discusse alcune ipotesi di miglioramento.

Analisi di contributo e di sensitività

I risultati ottenuti con entrambi i metodi di valutazione hanno evidenziato che gli impatti maggiori si verificano nella fase di utilizzo. Si tratta però di metodi che prevedono una diversa classificazione delle sostanze, che emerge nel momento in cui si confrontano le sostanze implicate nei danni alla salute umana. In Ecoindicator i danni alla salute sono legati alle sostanze inorganiche, mentre in CML la tossicità umana è legata a sostanze organiche. Questa differenza dipende dalla classificazione e dal fatto che si ha un metodo “*mid point*” e uno “*end point*”.

Per un confronto diretto tra i due metodi è stata quindi condotta un’analisi di contributo, al fine di verificare in entrambi i metodi quali siano i processi determinanti.

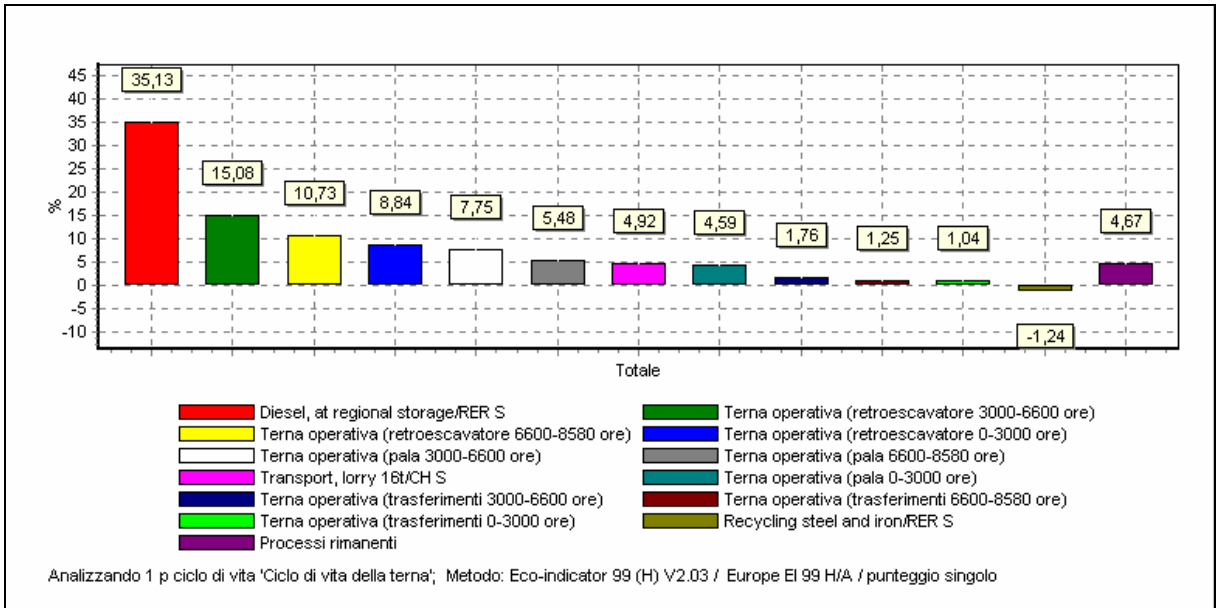


Grafico 3.6: Analisi di contributo con Ecoindicator 99

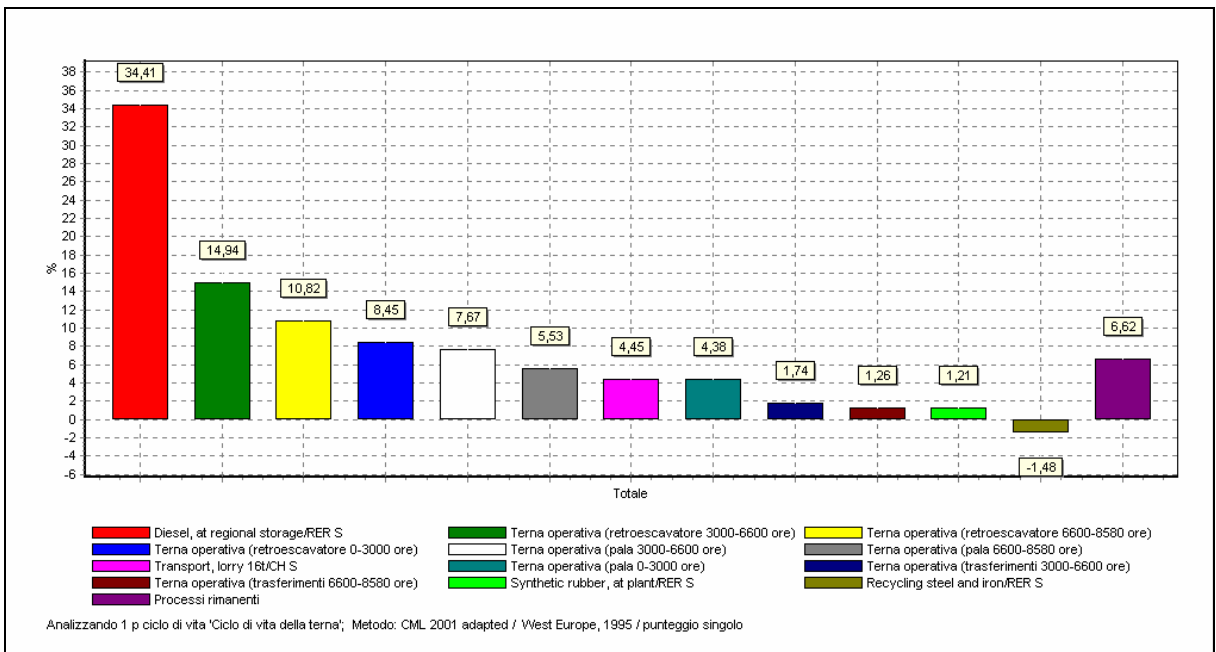


Grafico 3.7: Analisi di contributo con CML 2001

I risultati ottenuti sono riportati in Tabella 3.9, in cui i processi sono ordinati in ordine decrescente per effettuare l'analisi di sensitività.

Ecoindicator 99		CML 2001	
Processo	Contributo (%)	Processo	Contributo (%)
1) Diesel at regional storage /RER S	35,13	1) Diesel at regional storage /RER S	34,41
2) Terna operativa (retroescavatore 3000-6600 ore)	15,08	2) Terna operativa (retroescavatore 3000-6600 ore)	14,94
3) Terna operativa (retroescavatore 6600-8580 ore)	10,73	3) Terna operativa (retroescavatore 6600-8580 ore)	10,82
4) Terna operativa (retroescavatore 0-3000 ore)	8,84	4) Terna operativa (retroescavatore 0-3000 ore)	8,45
5) Terna operativa (pala 3000-6600 ore)	7,75	5) Terna operativa (pala 3000-6600 ore)	7,67
6) Terna operative (pala 6600-8580 ore)	5,48	6) Terna operativa (pala 6600-8580 ore)	5,53
7) Trasporti	4,92	7) Trasporti	4,45
8) Terna operativa (pala 0-3000)	4,59	8) Terna operativa (pala 0-3000)	4,38
9) Terna operativa (trasferimenti 3000-6000)	1,76	9) Terna operativa (trasferimenti 3000-6000)	1,74
10) Altri processi	5,72	10) Altri processi	7,61

Tab.3.9: Analisi di sensitività

I risultati in entrambi i metodi vanno nella stessa direzione, si ha una corrispondenza sia nell'ordine dei processi che nella valutazione quantitativa: si vede infatti che i valori percentuali sono vicini per ciascun processo. Da questa ulteriore analisi si può concludere che

gli impatti più pesanti si riferiscono al consumo di risorse, in particolare di combustibile fossile, e ai danni alla salute umana dovuti alle emissioni in fase di utilizzo.

Opzioni di miglioramento

La prima opzione di miglioramento è stata studiata effettuando una simulazione con il modello realizzato. Si è creato uno scenario alternativo in cui si è scelto come combustibile un diesel a basso contenuto di zolfo (*Diesel Low Sulphur*) per valutare il cambiamento nei risultati.

Il confronto tra i risultati è presentato nel grafico seguente, Grafico 3.8.

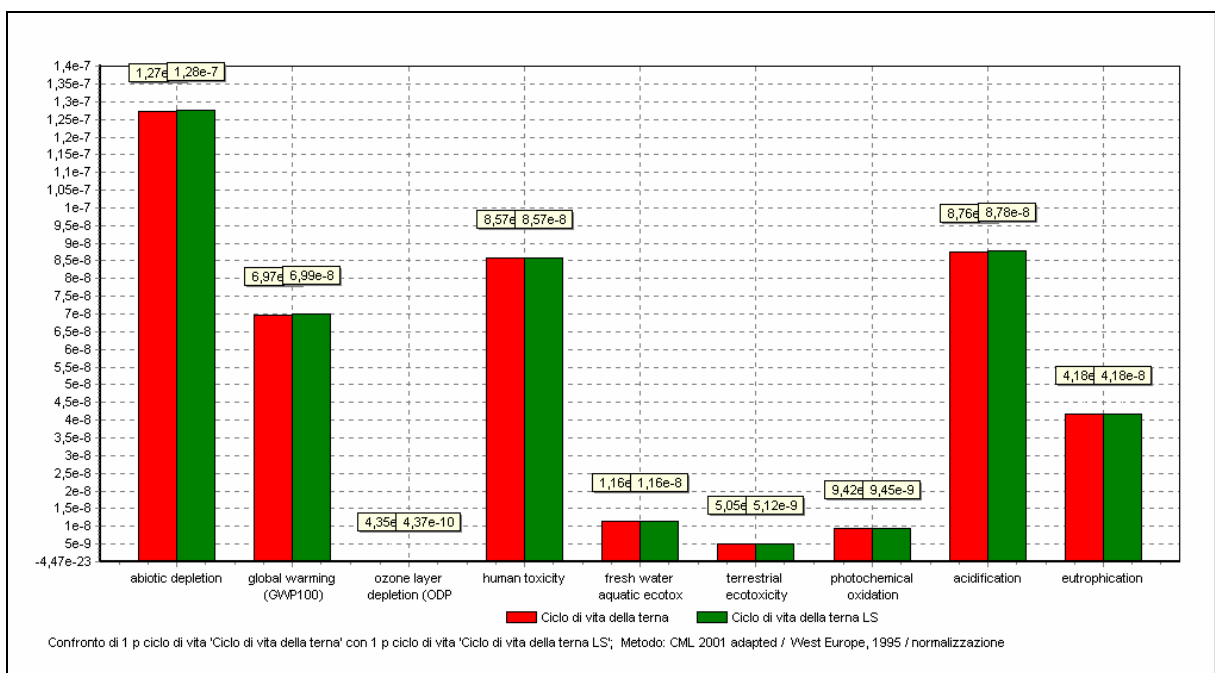


Grafico 3.8: Confronto tra cicli di vita: Diesel vs Diesel LS

Dal grafico si vede che questa scelta non comporta alcun miglioramento significativo, questo risultato è dovuto al fatto che le emissioni di zolfo avvengono comunque nella fase di produzione di questo tipo di carburante. Il problema, nell'ottica del ciclo di vita, è solamente spostato.

Questa opzione risulta inefficace.

La seconda opzione di miglioramento è emersa da un'osservazione dei risultati. Dall'analisi della valutazione dei risultati con il metodo Ecoindicator 99H si è notato un effetto positivo legato al riutilizzo nel fine vita: nel metodo questo aspetto è considerato un risparmio di materie prime. Questo risultato implica un'osservazione: l'utilizzo della macchina per un periodo di gran lunga superiore a quello di progettazione implica un aumento delle emissioni in atmosfera dovute all'usura e mal funzionamento del motore. Non è possibile trascurare questo aspetto, perciò si è cercato di dare risposta alla seguente questione: in termini di impatti ambientali potenziali è meglio usare una macchina a lungo o comperarne una nuova?

Per rispondere a questa domanda si è creato un modello in cui, a parità di unità funzionale, una macchina è utilizzata solo per i 5 anni di vita per cui è progettata e un'altra viene assemblata, e si è confrontato il risultato con il modello di partenza.

Nel grafico seguente, 3.9, si riportano i risultati normalizzati secondo il metodo CML del confronto tra i due cicli di vita.

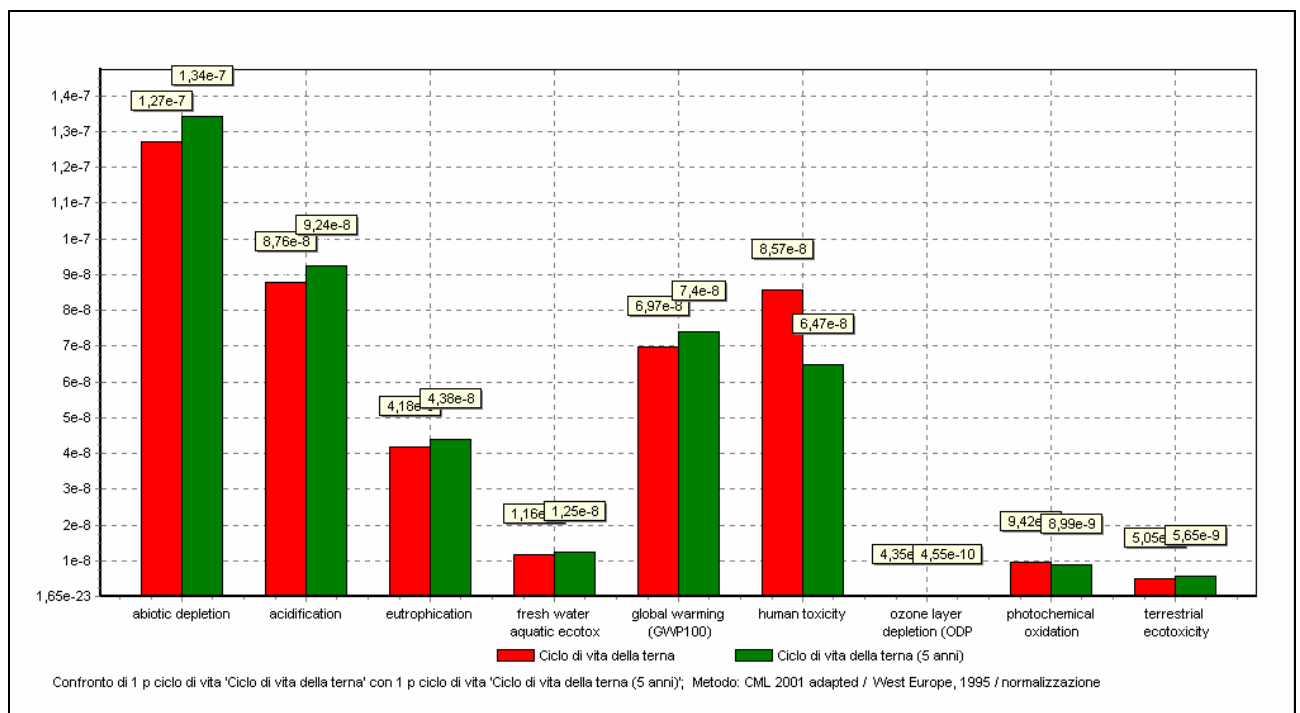


Grafico 3.9: Confronto tra cicli di vita

Si può vedere che l'unica categoria d'impatto in cui il nuovo modello presenta un impatto minore è la "Tossicità umana" mentre per le altre l'impatto è maggiore.

Tra le due opzioni non ce n'è una migliore in assoluto, anche in questo caso la scelta è soggettiva e dipende a quale categoria d'impatto s'intende dare maggior considerazione. In generale si può dire che con l'aumento del lifetime della macchina aumenteranno anche le emissioni nella fase di utilizzo (polveri, NO_x) e quindi l'impatto sulla tossicità umana peggiora, mentre non cambia l'impatto ambientale per produrre una nuova macchina. Considerando solo gli impatti ambientali, si può prevedere che ad un certo punto è meglio sostituire la macchina vecchia con una nuova. La "convenienza" o meno di raggiungere questo punto dipende dall'importanza che viene data alla tossicità umana rispetto agli altri impatti ambientali. Applicando il metodo Ecoindicator 99 , con pesatura predefinita tra salute umana, risorse e qualità dell'ecosistema, o il metodo CML, con pesatura provvisoria, si può dire che un lifetime di 5 anni è leggermente favorevole rispetto ad un lifetime di 6,5 anni. In ultima analisi questa scelta dipende dall'obiettivo dello studio.

Per limitare il consumo di combustibili fossili ed emissioni le strade potenzialmente percorribili dall'azienda possono essere le seguenti:

- scelta di un motore che a parità di efficienza consumi meno e produca meno emissioni,
- dotare i mezzi di appositi filtri anti particolato;

Queste strade offrono una soluzione "tampona" immediata del problema dell'esaurimento di risorse, riducendone gli effetti a breve termine ma senza intervenire sulle cause dello stesso. Probabilmente si tratta delle soluzioni attualmente meno complesse da effettuare ma con benefici solo a breve termine.

- Produrre macchine con motori funzionanti a biocombustibile;

Questa soluzione interviene anche sulle cause del problema, apportando benefici a lungo termine, però gli studi e le tecnologie sviluppate a tal proposito variano molto da stato a stato, anche i pareri sull'argomento sono diversi.

- Valutare l'evoluzione della tecnologia per motori ad energia pulita, (es. motore a idrogeno)

Questa strada non è attualmente praticabile ma rappresenta una possibile scelta per un miglioramento da affrontare in un futuro non così lontano. Sono infatti in corso studi e sperimentazioni per la messa a punto e l'utilizzo di nuove tecnologie.

- Sensibilizzazione degli utilizzatori ad una corretta manutenzione del mezzo.

4. Conclusioni e raccomandazioni

Questo studio di LCA applicato ad una macchina per movimento terra, realizzato presso Komatsu Utility (PD), ha permesso di conoscere gli impatti ambientali potenziali lungo tutta la vita del prodotto. Lo studio è stato sviluppato coerentemente alle indicazioni metodologiche presenti nelle norme ISO e articolato secondo le quattro fasi definite nella metodologia per consentire una maggiore comprensibilità e trasparenza dell'operato.

Nella "Definizione dell'obiettivo e campo di applicazione" sono stati dichiarati lo scopo dello studio e le motivazioni dell'azienda, sono stati definiti l'unità funzionale e i confini di sistema. E' stata poi fornita una descrizione completa dell'inventario, in cui sono stati descritti tutti i processi inclusi nei confini di sistema, il tipo di dati utilizzati, le modalità di calcolo utilizzate per l'elaborazione dati, gli input e output considerati nel sistema. Si è proceduto con la valutazione degli impatti, realizzata mediante l'uso di due metodi di valutazione diversi per meglio interpretare i risultati dell'inventario. Nell'interpretazione sono state discusse delle opzioni di miglioramento e alcune proposte per possibili soluzioni rispetto alle criticità emerse.

Dallo studio è risultato che la fase del ciclo di vita in cui si verificano i maggiori impatti ambientali potenziali è costituita dall'utilizzo (92,23%). L'impatto è dovuto al consumo di combustibile fossile, in termini di esaurimento di una risorsa limitata, e alla quantità di emissioni in atmosfera, che rappresentano in ultima istanza un pericolo per la salute umana.

La realizzazione del progetto ha portato due importanti innovazioni nell'azienda: al prodotto e al sistema di gestione ambientale. Per quanto riguarda il prodotto l'LCA costituisce un primo ma significativo passo per il miglioramento delle performance ambientali nell'ambito dell'Ecodesign. Inoltre la sua integrazione nel Sistema di Gestione Ambientale ha costituito un'evoluzione del sistema stesso. La necessità del cambiamento è stata rafforzata dall'aver acquisito consapevolezza che l'impatto ambientale maggiore legato al prodotto non è all'interno dell'azienda ma fuori, durante l'utilizzo. Questo risultato è una prova della necessità di considerare l'intera filiera produttiva e non solo un segmento. Con questo studio l'azienda ha raggiunto sia l'obiettivo dichiarato nello studio stesso, sia ha rispettato l'impegno preso nella Politica Ambientale e con la casa madre in Giappone.

Lo studio sviluppato, benché costituisca un'applicazione semplificata, si è rivelato molto complesso. La complessità nasce essenzialmente dai seguenti aspetti:

- complessità del prodotto,
- complessità della filiera.

Per la realizzazione del modello è stato quindi necessario effettuare delle semplificazioni e compiere delle scelte consapevoli e motivate ma che dimostrano il carattere soggettivo dello studio.

Il prodotto è composto da migliaia di singoli pezzi, ne sono stati inventariati più di 1500, e da diverse tipologie di materiali. E' stato perciò necessario operare delle semplificazioni trascurando i materiali con un peso inferiore all'1% del totale. Inoltre l'impiego di particolari tipi di materiali, non disponibili nelle librerie del programma, ha implicato la scelta di un materiale "generico" dello stesso tipo.

La complessità della filiera gioca sicuramente un ruolo determinante nella realizzazione del modello e nella sua aderenza alla realtà. In particolare nell'azienda è effettuato solo l'assemblaggio delle varie parti della macchina. Sicuramente un miglioramento dello studio in futuro può essere quello di usare dati specifici anche per la produzione dei singoli componenti coinvolgendo maggiormente i fornitori. Da parte di questi ultimi, nonostante la maggior parte sia certificata ISO 14001, non c'è stata molta disponibilità.

Per quanto riguarda l'utilizzo della macchina è stato necessario operare delle scelte cercando di delineare un uso medio. Altrettanto si è dovuto fare per descrivere il fine vita. Nonostante le semplificazioni effettuate i risultati dello studio sono in linea con gli studi effettuati dalla casa madre per le macchine prodotte in Giappone, inoltre si è deciso di dedicare più risorse alla raccolta dati per la fase di utilizzo che risulta quella più problematica. Le altre fasi contribuiscono in misura decisamente inferiore.

Sicuramente lo studio può essere migliorato: si ritiene opportuno aumentare il grado di dettaglio soprattutto riguardo ai dati sulle emissioni della macchina nella fase di utilizzo. Infatti sono stati utilizzati pochi dati specifici disponibili. Un secondo miglioramento può essere apportato raccogliendo dati specifici rispetto alla fase del fine vita e nella fase antecedente l'assemblaggio poiché alcuni componenti della macchina costituiscono di per sé dei sottoassemblaggi.

Uno studio dettagliato, secondo quanto indicato, è utile al fine di poter definire un modello semplificato da applicare ad altri modelli di macchina senza dover effettuare uno studio completo per ogni tipo di macchina. Dallo studio dettagliato è possibile definire

con meno incertezza i processi che possono essere trascurati senza che questo implichi un cambiamento significativo nei risultati.

Sono state valutate delle opzioni di miglioramento per limitare consumi ed emissioni. Si tratta di un problema attuale, molti sono gli studi e le sperimentazioni in merito. Le linee di ricerca sono essenzialmente due:

- ricerca e sviluppo di nuovi carburanti, come ad esempio i biocombustibili;
- ricerca e sviluppo di nuove tecnologie, come ad esempio il motore a idrogeno.

Sicuramente gli utilizzatori delle macchine movimento terra giocano un ruolo determinante perché l'entità di consumi ed emissioni dipende molto dal buono stato del mezzo quindi dalla manutenzione. E' auspicabile ad esempio che questo aspetto venga definito nei "manuali di manutenzione" distribuiti dall'azienda, che in questo modo può contribuire alla sensibilizzazione degli utenti.

GLOSSARIO

Si riporta, per completezza di informazione, un estratto delle definizioni dalla norma UNI EN ISO 14040.

Allocazione: ripartizione nel sistema di prodotto allo studio dei flussi in entrata e in uscita di una unità di processo.

Analisi d'incertezza: procedura sistematica per ricercare e quantificare l'incertezza, introdotta nei risultati di un'analisi d'inventario del ciclo di vita, dagli effetti cumulativi sull'incertezza e variabilità dei dati ingresso (nota: per determinare l'incertezza dei risultati sono utilizzati sia gli intervalli sia le probabilità di distribuzione).

Analisi dell'inventario del ciclo di vita: fase della valutazione del ciclo di vita che comprende la compilazione e la quantificazione dei flussi in entrata e in uscita, per un dato sistema di prodotti nel corso del suo ciclo di vita.

Analisi di sensibilità: procedura sistematica per valutare gli effetti dei dati e delle metodologie prescelte sui risultati di uno studio.

Aspetto ambientale: elemento di un'attività, prodotto o servizio di un'organizzazione, che può interagire con l'ambiente.

Ciclo di vita: fasi consecutive e interconnesse di un sistema di prodotti, a partire dall'acquisizione di materie prime o dalla generazione delle risorse naturali, fino allo smaltimento finale.

Confine del sistema: interfaccia fra un sistema di prodotto e l'ambiente o un altro sistema di prodotto.

Coprodotto: uno qualsiasi di due o più prodotti che escono dalla medesima unità di processo.

Flusso in entrata (input): materia o energia che entra in una unità di processo (nota: la materia può essere costituita da materie prime o da prodotti).

Flusso in uscita (output): materia od energia che esce da una unità di processo (nota: la materia può essere costituita da materie prime, da prodotti intermedi, da prodotti, da emissioni e da rifiuti).

Interpretazione del ciclo di vita: fase della valutazione del ciclo di vita, nella quale l'analisi dell'inventario o la valutazione dell'impatto, o entrambi, sono combinati coerentemente con l'obiettivo prestabilito e lo scopo da raggiungere, al fine di ricavare conclusioni e raccomandazioni.

Parte interessata individuo o gruppo interessato o influenzato dalla prestazione ambientale di un sistema di prodotto, o dai risultati della valutazione del ciclo di vita.

Qualità dei dati: caratteristica dei dati consistente nella capacità di soddisfare i requisiti stabiliti.

Sistema di prodotti: insieme elementare di unità di processo connesse tra loro per quanto riguarda materia e energia, che perseguono una o più funzioni definite (nota: nella norma UNI EN ISO 14040, il termine “prodotto” usato da solo comprende non solo i sistemi di prodotti ma può anche includere i sistemi di servizio).

Unità di sistema: 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.

Unità funzionale: prestazione quantificata di un sistema di prodotto da utilizzare come unità di riferimento in uno studio di valutazione del ciclo di vita.

Valutazione del ciclo di vita (LCA): compilazione e valutazione attraverso tutto il ciclo di vita dei flussi in entrata e in uscita, nonché i potenziali impatti ambientali, di un sistema di prodotto.

Valutazione dell'impatto del ciclo di vita: fase della valutazione del ciclo di vita orientata a comprendere e a stimare l'ampiezza e l'importanza dei potenziali impatti ambientali di un sistema di prodotto.

Bibliografia e webgrafia

- [1] L. ANDRIOLA, R. LUCIANI. *Report ambientale: Sviluppo di prodotti e processi ecocompatibili*, Roma, ENEA-Centro Ricerche Casaccia, 2001.
- [2] ISO 14001, Sistemi di gestione ambientale, requisiti e guida per l'uso. CEN, EN ISO 14001: 2004.
- [3] L. ANDRIOLA, R. LUCIANI. *I sistemi di gestione ambientale orientati al prodotto*, Roma, ENEA-Centro Ricerche Casaccia, 2000.
- [4] D. PERNIGOTTI. *Studio di fattibilità per l'introduzione del prodotto nel Sistema di Gestione Ambientale ISO 14001*, Marghera (VE), 2004.
- [5] UNI EN ISO 14020, 2000. Etichette e dichiarazioni ambientali - Principi generali.
- [6] UNI EN ISO 14021, 2000, Etichette e dichiarazioni ambientali - Asserzioni ambientali auto-dichiarate (Etichettatura ambientale di Tipo II).
- [7] UNI EN ISO 14024, 2000: Etichette e dichiarazioni ambientali - Etichettatura ambientale di Tipo I - Principi e procedure.
- [8] ISO/TR 14025, Etichette e dichiarazioni ambientali - Dichiarazioni ambientali di Tipo III.
- [9] <http://www.quality.it>
- [10] UNI EN ISO 14040, 1997, Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Principi e quadro di riferimento.
- [11] UNI EN ISO 14041, 1998, Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione e analisi dell'inventario
- [12] UNI EN ISO 14042, 2000, Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Valutazione dell'impatto del ciclo di vita.
- [13] UNI EN ISO 14043, 2000, Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Interpretazione del ciclo di vita
- [14] <http://www.ecocerved.it>
- [15] L. BREEDVELD, Capitolo sulla LCA nel *Manuale di valutazione ambientale*, Ed. Franco Angeli, 2004. (in corso di pubblicazione)
- [16] M. GOEDKOOP, M. OELE, *Introduction to LCA with SimaPro*, [s.l.], PRé Consultants, 2004.
- [17] G.L. BALDO, M.MARINO, *L'analisi del ciclo di vita LCA, materiali, prodotti, processi produttivi*, Milano, Edizioni Ambiente, 2005.

- [18] <http://www.ecobilancioitalia.it/progetti>
- [19] KOMATSU GROUP, *Komatsu Environmental and Social Report 2004*.
- [20] KOMATSU ITALIA, *Dichiarazione di Politica ambientale*, 2004.
- [21] <http://www.komatsu.it/storia/index.php>
- [22] J. SEPPALA, *LCA Documents: Decision Analysis as a tool for Live Cycle Impact Assessment*, Germany, ecomed, 1999, 4 vol.
- [23] SETAC, “*Code of practice*”, Brussels, 1993.
- [24] http://www.apat.gov.it/site/it-IT/Temi/Mercato_verde/LCA
- [25] <http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp>
- [26] E.DAVIRNO, *Rapporto di LCA della terna WB93*, Este, 2006.