

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BOLOGNA

**FACOLTA' DI CHIMICA INDUSTRIALE**  
**POLO DI RIMINI**

**MASTER**  
**IN TECNOLOGIE E**  
**CERTIFICAZIONI AMBIENTALI**

**ANALISI DEL CICLO DI VITA DELLE CUCINE componibili:**  
**REVISIONE CRITICA DI UNO STUDIO CON IL SOFTWARE GaBi**

Dott.ssa MOUKOUBA MABELA  
Francide Nardely

Direttore del Master  
Prof. Luciano MORSELLI

Tutor aziendale:  
Dott.ssa Caterina RINALDI  
ENEA-Bologna

**Anno accademico 2004-2005**



## **RINGRAZIAMENTI**

Ringrazio l'ENEA ed in particolare l'unità PROT INN e l'Ing. Paolo Masoni per avermi ospitato per lo svolgimento di questo stage e per aver messo a mia disposizione tutta la documentazione e gli strumenti necessari.

Ringrazio il direttore del Master, Prof. Luciano MORSELLI, i suoi collaboratori e gli insegnanti per la loro disponibilità e la formazione.

I miei cari ringraziamenti vanno a tutte le persone che hanno collaborato alla realizzazione di questa tesi e mi hanno sostenuto: la Dott.ssa Caterina RINALDI e l'Ing. Alessandra ZAMAGNI.

Ringrazio anche tutti i componenti dell'unità PROT INN per la simpatica e piacevole compagnia nel periodo di stage.



## SOMMARIO

<b>2. INTRODUZIONE</b> .....	<b>11</b>
<b>3. LA METODOLOGIA LCA</b> .....	<b>13</b>
3.1 Quadro di riferimento Europeo.....	13
3.2 Le origini dell’LCA .....	13
3.3 Standard ambientali serie ISO 14000 .....	14
3.4 Applicazioni.....	15
3.5 Tipologie di LCA.....	15
3.6 Metodologia LCA.....	16
3.6.1 Definizione dell’obiettivo e del campo di applicazione (Goal and scope definition) .....	17
3.6.2 Analisi d’Inventario (Life Cycle Inventory – LCI) .....	17
3.6.3 La valutazione degli impatti (Life Cycle Impact Assessment – LCIA) .....	17
3.6.4 L’interpretazione dei risultati ( Life Cycle Interpretation) .....	19
<b>4. STRUMENTI UTILIZZATI</b> .....	<b>21</b>
4.1 Il portale per l’innovazione ambientale di prodotto “www.ecosmes.net”.....	21
4.2 eVerdEE .....	22
4.3 TESPI (Tool for Environmentally Sound Product Innovation).....	23
4.4 SimaPro 6.0.....	23
<b>5. Il software GaBi 4</b> .....	<b>27</b>
5.1 Flussi.....	27
5.2 Processi.....	28
5.3 Plan.....	28
5.4 Parametri .....	29
5.5 Bilanci.....	29
5.6 GaBi Analyst.....	30
5.7 Il metodo CML 2001 .....	30
<b>6. REVISIONE CRITICA DELLO STUDIO LCA SULLE CUCINE COMPONIBILI</b> .....	<b>33</b>
6.1 Il progetto “eLCA” e il progetto “LAIPP” .....	33
6.2 Scavolini S.p.A.....	35
6.2.1 I prodotti di Scavolini.....	35
6.2.2 I materiali.....	35
6.3 La banca dati del settore legno-arredo.....	36
6.3.1 Struttura della banca dati .....	38
6.4 Revisione della banca dati delle cucine del progetto eLCA.....	41
6.4.1. Analisi dei dati .....	41
6.5 Revisione del modello di cucina implementato in GaBi.....	46
6.5.1 Il prodotto cucina .....	46
6.5.2 Analisi del modello LCA .....	47

<b>7. CONFRONTO TRA DUE COMPONENTI DELLA CUCINA componibile CON IL SOFTWARE GaBi</b> .....	<b>52</b>
<b>7.1 Metodologia utilizzata</b> .....	<b>52</b>
<b>7.2 Caratterizzazione</b> .....	<b>54</b>
<b>7.3 Normalizzazione</b> .....	<b>55</b>
 <b>CONCLUSIONI</b> .....	 <b>59</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>62</b>

## Indice delle figure e delle tabelle

<i>Figura 1 : Schema del concetto di ciclo di vita di un prodotto [7]</i> .....	12
<i>Figura 2 -Fasi del ciclo di vita</i> .....	16
<i>Figura 3 – Schema di LCIA</i> .....	17
<i>Figura 4 - Elementi del LCIA</i> .....	18
<i>Figura 5 - Schema a blocchi del calcolo di SimaPro</i> .....	25
<i>Figura 6 - Parametri del processo "trasporto"</i> .....	29
<i>Figura 7 - Utilizzo del software GaBi ed eVerdEE nel progetto LAIPP</i> .....	37
<i>Figura 8 - Flussi elementari</i> .....	40
<i>Figura 9 - Struttura della banca dati [21]</i> .....	40
<i>Figura 10 - Template utilizzato per raccolta dati: esempio della tipologia di dati richiesti</i> .....	44
<i>Figura 11 – Esempio di template di lavoro utilizzato per la rielaborazione dei dati raccolti</i> .....	45
<i>Figura 12 - Componenti modellizzati nel software GaBi [19]</i> .....	48
<i>Figura 13 - Processo parametrizzato per l'assemblaggio della struttura e delle porte [19].</i> .....	49
<i>Figura 14: Modello flessibile e parametrizzato che simula un processo di assemblaggio dove è possibile scegliere un piano di lavoro, una maniglia e una struttura con la porta considerata [19].</i> .....	50
<i>Figura 15 -Plan dell'anta in laminato</i> .....	53
<i>Figura 16 - Plan dell'anta nobilitata</i> .....	53
<i>Figura 17 - Grafico di normalizzazione</i> .....	55
<i>Tabella 1 -Famiglia delle norme ISO 14000 e serie ISO 14040 sul LCA</i> .....	14
<i>Tabella 2 - Moltiplicando le quantità per i relativi "fattori di peso" (o fattori di equivalenza),</i> .....	18
<i>Tabella 3 -Definizione dei termini utilizzati in SimaPro 6.0.</i> .....	25
<i>Tabella 4 - Categorie ed indicatori di qualità dei dati</i> .....	28
<i>Tabella 5 - General Database</i> .....	39
<i>Tabella 6 -Risultati della caratterizzazione</i> .....	54
<i>Tabella 7 - contributo percentuale delle due ante a ciascun problema ambientale</i> .....	54
<i>Tabella 8 - Risultati della normalizzazione</i> .....	55
<i>Tabella 9 - Risultati della caratterizzazione in percentuale per l'anta in laminato</i> .....	57
<i>Tabella 10 - Risultati della caratterizzazione in percentuale per l'anta in nobilitato</i> .....	58



## 1. OBIETTIVI

Questo stage si è svolto presso l'ENEA (Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente) di Bologna, unità PROT INN [1] nell'ambito del progetto EU LIFE "LAIPP: Diffusione **degli strumenti di Politica Integrata di Prodotto (IPP) nell'industria del mobile**" [2].

LAIPP è un progetto che mira alla diffusione e all'applicazione dei principi e degli strumenti delle IPP nel settore mobile-arredo della regione Marche e a costruire un riferimento per le imprese del settore [2].

L'attività di stage si è svolta in tre fasi principali:

1. **Attività tecnico-formativa:** sulla metodologia LCA e sui principali softwares attualmente utilizzati (Cap. 2, 3, 4 e 5). Ho analizzato in particolare quattro softwares: TESPI (di ecodesign), eVerDEE, SimaPro e GaBi; i primi basati su metodologie semplificate per piccole e medie imprese, i secondi utilizzati per effettuare studi di LCA di dettaglio. Con SimaPro ho svolto una simulazione su una "bottiglia in PET" essenzialmente a scopo didattico. Il software Gabi è stato invece utilizzato nel corso dello stage sia per la revisione critica di uno studio LCA e sia per l'applicazione diretta ad un confronto tra due prodotti (Cap. 6 e 7).
2. **Revisione critica di uno studio LCA sulle cucine componibili:** è stata effettuata la revisione critica di uno studio svolto in precedenza sulle cucine Scavolini [3], utilizzando il software GaBi [4]. In particolare è stata analizzata la banca dati dei materiali, componenti e dei processi relativi alla filiera delle cucine componibili e il modello di LCA implementato in GaBi, finalizzati alla valutazione degli impatti ambientali di una cucina completa, dei suoi componenti e delle relative varianti progettuali (ad es. materiali impiegati, dimensioni, etc..). Tale attività ha previsto la partecipazione ai tavoli tecnici del progetto LAIPP, dove erano presenti esperti del settore, aziende e centri di ricerca (Cap. 6).
3. **Studio LCA comparativo di due componenti della cucina:** tale studio, effettuato con GaBi, era finalizzato ad individuare il modello che presentava il minore impatto ambientale nell'arco dell'intero ciclo di vita (Cap. 7).

Lo stage è stato svolto con la collaborazione della Dott.ssa Caterina Rinaldi (ENEA-PROT INN) per gli aspetti formativi e metodologici e dell'Ing. Alessandra Zamagni (Ecosmes Europe), per il supporto nell'utilizzo di GaBi e la revisione dello studio LCA delle cucine componibili.



## 2. INTRODUZIONE

Le Politiche Integrate di Prodotto (IPP) sono state introdotte, come parte innovativa e fondamentale del VI Programma di Azione Ambientale dell'UE, al fine di minimizzare l'impatto ambientale di prodotti e servizi considerandone l'intero ciclo di vita, dall'estrazione delle materie prime alla produzione, distribuzione, uso fino alla gestione dei rifiuti.

Si tratta di un approccio incentrato sulla progettazione ecologica, sull'informazione e sull'introduzione di incentivi che favoriscano l'adozione e l'uso di prodotti "verdi", a ridotto impatto ambientale.

L'innovazione è contenuta nel termine "integrata" che ha diversi significati e ambiti di applicazione, in particolare [5]:

- integrazione dell'attività legislativa con altre forme d'intervento quali quelle di tipo economico e orientate al mercato;
- considerare in modo integrato gli impatti ambientali prodotti nelle diverse fasi del ciclo di vita di un prodotto;
- coinvolgimento degli attori socio-economici che gestiscono gli aspetti ambientali legati al prodotto, quali istituzioni, progettisti, aziende di trasporto, consumatori, associazioni ambientaliste;
- approccio di ampia portata diretto a raccordare tra loro gli strumenti a disposizione per un dato obiettivo ambientale. La IPP non si propone infatti di introdurre nuovi strumenti sul mercato ma ha l'obiettivo di ridefinire e organizzare l'assetto degli strumenti a disposizione, utilizzandoli in modo coordinato e potenziandone le sinergie.

Con l'IPP si sposta l'attenzione dal processo produttivo al prodotto stesso, in modo che gli impatti ambientali da considerare non siano solo quelli relativi alla fase di produzione ma anche quelli associati alle attività a monte e a valle, contrariamente a quanto hanno fatto le politiche ambientali adottate in precedenza, che hanno privilegiato interventi di tipo contenitivo a valle piuttosto che approcci di tipo preventivo a monte, limitandosi qualche volta solo a spostare l'impatto da una fase all'altra, senza diminuirlo.

La Valutazione del Ciclo di Vita, (Life Cycle Assessment) rappresenta lo strumento principale per la diffusione della IPP in quanto consente di valutare l'impatto ambientale dei prodotti durante tutto il ciclo di vita e ne promuove la progettazione ecologica. La SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) la definisce come:

*"è un procedimento oggettivo di valutazione di carichi energetici ed ambientali relativi ad un processo o un'attività, effettuato attraverso l'identificazione dell'energia e dei materiali usati e dei rifiuti rilasciati nell'ambiente. La valutazione include l'intero ciclo di vita del processo o attività, comprendendo l'estrazione e il trattamento delle materie prime, la fabbricazione, il trasporto, la distribuzione, l'uso, il riciclo e lo smaltimento finale" [6].*

Il prodotto o il servizio viene quindi considerato nel suo intero ciclo di vita, "dalla culla alla tomba" (Cradle-to-grave), ossia dall'estrazione delle materie prime necessarie alla sua creazione fino ad arrivare al momento in cui tutti i materiali che compongono il prodotto ritornano alla terra. La metodologia LCA considera tutte le fasi di vita di un prodotto intercorrelate, cioè ritiene che da una operazione discenda la successiva.

La metodologia consente di stimare il risultato degli impatti derivanti da tutte le fasi del ciclo di vita del prodotto, spesso includendo anche impatti che nella maggior parte delle analisi tradizionali non

vengono considerati, come ad esempio quelli derivanti dall'estrazione delle materie prime, dal trasporto dei materiali, dallo smaltimento ecc.

Le principali categorie di impatto ambientale tenute in considerazione riguardano l'utilizzo di risorse, la salute dell'uomo e le conseguenze ecologiche. Considerando tutti questi impatti, essa fornisce una panoramica esaustiva delle caratteristiche ambientali del prodotto o processo ed una più veritiera definizione dei dati ambientali utilizzabili durante la scelta tra più prodotti.

Il concetto di ciclo di vita di un prodotto viene rappresentato schematicamente come in Figura 1

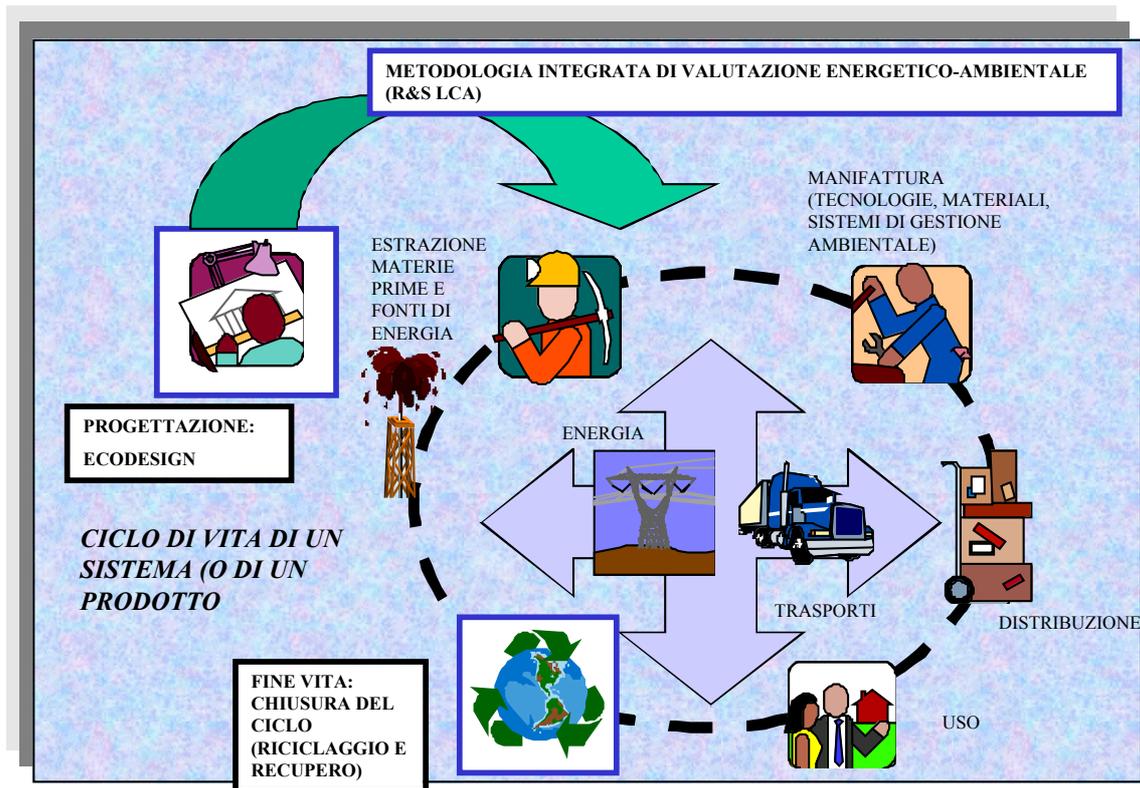


Figura 1 : Schema del concetto di ciclo di vita di un prodotto [7]

La LCA valuta gli aspetti ambientali e i potenziali impatti ambientali associati a un prodotto o qualsiasi attività umana, mediante:

- la compilazione di un inventario di ingressi (materiali, energia, risorse naturali) e di uscite (ad esempio: emissioni in aria, acqua e suolo) rilevanti del sistema;
- la valutazione dei potenziali impatti ambientali, diretti ed indiretti, associati a queste entrate ed uscite;
- l'interpretazione dei risultati delle due fasi precedenti in relazione agli obiettivi dello studio e la definizione delle possibili linee di intervento [8].

### 3. LA METODOLOGIA LCA

#### 3.1 Quadro di riferimento Europeo

Le politiche ambientali dell'Unione Europea sono attualmente orientate al miglioramento delle performances ambientali dei prodotti nell'arco del loro intero ciclo di vita. Perciò è stato avviato uno studio su un nuovo approccio alle politiche ambientali: la Politica Integrata di Prodotto (Integrated Product Policy - IPP), adottato il 7 febbraio 2001 dalla Commissione Europea con il Libro Verde sulla Politica Integrata di Prodotto [9].

La IPP è un approccio che intende migliorare nel modo più efficiente possibile dal punto di vista dei costi, le prestazioni ambientali dei prodotti. Essa tenta di ridurre l'impatto dei prodotti nell'intero ciclo di vita, puntando ad influenzare positivamente i momenti in cui vengono prese le decisioni che influenzano l'impatto ambientale dei prodotti, come la progettazione ecologica dei prodotti (eco-design), la scelta informata dei consumatori, l'integrazione del principio "chi inquina paga" nel prezzo dei prodotti. Le sue caratteristiche sono:

- Applicabilità a tutti i "sistemi prodotto" ed ai loro effetti ambientali in una prospettiva di *ciclo di vita*;
- Coinvolgimento e cooperazione di tutte le parti interessate, ciascuna nel proprio ambito di responsabilità, in un'ottica di *continuo miglioramento* delle prestazioni ambientali dei prodotti.

#### 3.2 Le origini dell'LCA

Si è cominciato a parlare di LCA a partire dagli anni '60, con la pubblicazione di studi relativi ad aspetti energetici, meglio noti sotto il nome di REPA (Resource and Environmental Profile Analysis). Erano studi commissionati da imponenti strutture industriali, come la Coca Cola Company e la Mobil Chemical Company, e rappresentavano la risposta alla nascente necessità di affrontare i problemi relativi alla efficienza energetica, al consumo di materie prime e al bisogno diffuso di disporre di strumenti analitici e operativi per tener conto degli aspetti ambientali nella produzione industriale. Bisogna però aspettare la fine degli anni settanta, con la pubblicazione del manuale di analisi energetica industriale di Boustead e Hancock (BOUSTEAD, 1979), per avere la prima descrizione di carattere operativo del procedimento analitico di una LCA.

Peraltro, il termine LCA venne coniato solo durante il congresso SETAC del 1990 e venne definita come "un procedimento oggettivo di valutazione dei carichi energetici ed ambientali relativi ad un processo o un'attività, effettuato attraverso l'identificazione dell'energia e dei materiali usati e dei rifiuti rilasciati nell'ambiente. La valutazione include l'intero ciclo di vita del processo o attività, comprendendo l'estrazione e il trattamento delle materie prime, la fabbricazione, il trasporto, la distribuzione, l'uso, il riuso, il riciclo e lo smaltimento finale".

E' un nuovo modo di pensare la produzione e di progettare i beni di consumo perché per la prima volta non si pone l'attenzione sul prodotto in sé ma su tutto il sistema che lo genera, sull'intera catena produttiva.

### 3.3 Standard ambientali serie ISO 14000

Per giungere ad una gestione sostenibile, le imprese devono dotarsi di strumenti di gestione e strategie appropriate, determinando obiettivi, azioni da intraprendere e budget, contestualmente alla strategia generale di business. Questo processo si sta attuando attraverso la realizzazione di *azioni volontarie* da parte delle aziende, un pacchetto di strumenti codificati e standardizzati, che si basano sulle capacità di autoregolazione del mercato e sul comportamento responsabile di produttori e dei consumatori. L'efficacia delle azioni volontarie ovviamente richiede l'esistenza di meccanismi di mercato che premiano i comportamenti virtuosi, per cui essi non si pongono in alternativa ai tradizionali sistemi di *comando e controllo* che ne restano il presupposto.

Il Comitato Tecnico 207 (TC 207) della International Standard Organization ha, sin dal 1993, provveduto a sviluppare una nuova serie di standard che coprono numerosi aspetti della gestione ambientale di impresa, andando incontro alle esigenze espresse dalle aziende, dai giovani, dalle organizzazioni non governative (ONG) e dai consumatori. Tale serie è denominata ISO 14000 ed è costituita da documenti generalmente applicabili sia a livello organizzativo che a livello dei prodotti e dei servizi.

La famiglia delle norme della serie ISO 14000 è stata suddivisa in due sottofamiglie: gli standard di organizzazione o di processo e quelli orientati al prodotto (Tabella 1) [10]. Nella figura sono evidenziate quelle relative alla Valutazione del Ciclo di vita (serie ISO 14040).

<b><i>Gli standard di organizzazione o di processo</i></b>	<b><i>Gli standard orientati al prodotto</i></b>		
<i>Sistemi di gestione ambientale (SGA)</i>	<i>Etichettatura ecologica (Ecolabel)</i>	<i>Valutazione del Ciclo di Vita</i>	<i>Standard di Prodotto</i>
Lo standard internazionale ISO 14001	Serie ISO 14020	Serie ISO 14040	ISO 14060
<b>UNI EN ISO 14001:1996</b> Sistemi di Gestione Ambientale – Specifiche con Guida all'Uso. <b>UNI EN ISO 14004: 1997</b> Sistemi di Gestione Ambientale – Linee guida Generali sui Principi, Sistemi e Tecniche di Supporto <b>UNI EN ISO 14010: 1996</b> Linee guida per l'Audit Ambientale – Principi Generali di Audit Ambientale <b>UNI EN ISO 14011: 1996</b> Linee guida per l'Audit Ambientale - Procedure per l'Audit - Audit dei Sistemi di Gestione Ambientale. <b>UNI EN ISO 14012: 1996</b> Linee guida per l'Audit Ambientale – Criteri di Qualificazione per gli Auditor Ambientali. <b>ISO 14015</b> Environmental management - Environmental assessment of sites and organizations (To be determined) <b>UNI EN ISO 14031: 2000</b> – Gestione ambientale – Valutazione della prestazione ambientale - Linee guida. <b>ISO 14032: 1999</b> Environmental management – Examples of environmental performance evaluation (EPE) <b>UNI ISO 14050:</b> –Gestione Ambientale - Vocabolario	<b>ISO 14020: 2000</b> Environmental labels and declarations - General principles <b>ISO 14021: 1999</b> Environmental labels and declarations - Self-declared environmental claims (Type II environmental labelling) <b>ISO 14024: 1999</b> Environmental labels and declarations - Type I environmental labelling - Principles and procedures <b>ISO 14025: 2000</b> Environmental labels and declarations – Type III environmental declarations	<b>UNI EN ISO 14040: 1998</b> Gestione Ambientale – Valutazione del Ciclo di Vita - Principi e Linee guida <b>UNI EN ISO 14041: 1999</b> Gestione Ambientale – Valutazione del Ciclo di Vita – Obiettivo, Definizione/Scopo e Analisi dell'Inventario. <b>ISO 14042: 2000</b> Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle impact assessment <b>ISO 14043: 2000</b> Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle interpretation <b>ISO 14047</b> Environmental management - Life cycle assessment - Examples of application of ISO 14042 ( <i>future Technical Report</i> ) <b>ISO 14048:</b> Environmental management – Life cycle assessment – Life cycle assessment data documentation format (To be determined) <b>ISO 14049: 2000</b> Environmental management - Life cycle assessment - Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis	<b>ISO 14061: 1998</b> Information to assist forestry organizations in the use of Environmental Management System standards ISO 14001 and ISO 14004 <b>ISO 14062:</b> Guidelines for integrating environmental aspects into product development ( <i>future Technical Report</i> ) <b>ISO/IEC Guide 66: 1999</b> Guide for the inclusion of environmental aspects in product standards.

Tabella 1 -Famiglia delle norme ISO 14000 e serie ISO 14040 sul LCA.

### 3.4 Applicazioni

La LCA si rivela uno strumento strategico per le imprese, in grado di supportarle nel processo di miglioramento della qualità ambientale di prodotti, servizi e processi produttivi. In particolare può essere utilizzata per :

- aiutare ad identificare, quantificare, interpretare e valutare gli impatti ambientali di un prodotto, una funzione o un servizio;
- selezionare indicatori rilevanti di performance ambientali per confrontare tra loro prodotti con la medesima funzione;
- comparare gli impatti ambientali di un prodotto con uno standard di riferimento (es. strumento analitico dell'Ecolabel);
- identificare le opportunità di miglioramento degli aspetti ambientali di un prodotto, individuare gli stadi del ciclo di vita che presentano impatti ambientali dominanti;
- assistere il processo decisionale delle industrie e della Pubblica Amministrazione (ad esempio pianificazione strategica, definizione di priorità, progettazione o riprogettazione di prodotti, processi e servizi);
- comunicazione di informazioni ambientali (es. Dichiarazione ambientale EMAS) e marketing (ad esempio etichette ecologiche) [7].

### 3.5 Tipologie di LCA

Una LCA può essere fatta in modo più o meno dettagliato a seconda dello scopo e degli obiettivi dello studio. Dato che condurre una LCA risulta a volte molto costoso sia in termini di tempo che di denaro, essa va spesso adattata specificatamente alle esigenze dell'utente. Di fatto sono nate diverse attività a livello internazionale [11] con lo scopo di individuare dei metodi per semplificare la metodologia LCA, per renderla più veloce e meno dispendiosa, senza rinunciare alle caratteristiche fondamentali di una LCA completa e senza perdere l'accuratezza e l'attendibilità dei risultati.

Le strategie semplificative possono essere raggruppate in due categorie principali:

- a) semplificazioni mantenendo la struttura classica di LCA, intervenendo:
  - a livello di metodologia, ad esempio limitando gli obiettivi, eliminando fasi del ciclo di vita cioè considerando solamente “dal cancello al cancello” (gate-to –gate) o “dalla culla al cancello” (cradle-to-gate) invece che cradle-to-grave, riducendo così la quantità di dati richiesti;
  - a livello di processo, realizzando strumenti softwares che aiutino a gestire la realizzazione di una LCA;
- b) approcci alternativi basati sui concetti di Life Cycle Thinking: Nella pratica chi conduce una LCA col fine di progettare un prodotto eco-sostenibile (eco-design) non è interessato tanto alla quantità dettagliata, quanto piuttosto alle differenze tra le possibili alternative di progettazione in esame [12].

Le principali tipologie di LCA sono le seguenti:

- ***Simplified o Streamlined LCA – LCA semplificata***  
Può essere usata nel caso in cui si debbano decidere le direzioni per lo sviluppo di nuovi prodotti e di servizi, soprattutto quando questi sistemi non sono troppo complessi. Questo tipo di LCA è relativamente breve, in quanto richiede da alcune settimane fino ad un paio di mesi.

- **Screening LCA – LCA di selezione**

Questo genere di LCA è usata più comunemente quando devono essere identificate le azioni chiave per il miglioramento ambientale nel ciclo di vita dei prodotti. La caratteristica principale delle screening LCA è quella di far uso di dati già disponibili da banche dati o stimati. Dai risultati ottenuti, e a seguito di una analisi di sensitività, si individuano i dati critici sui quali è necessario un miglioramento della qualità. E' un sistema rapido per consentire di valutare gli aspetti del ciclo di vita su cui focalizzare l'attenzione.

- **Detailed LCA – LCA dettagliata**

Uno studio dettagliato di LCA è necessario in tutti quei casi che richiedono una valutazione approfondita. Ad esempio una volta effettuato uno Screening LCA e identificati i punti chiave dove effettuare le azioni di miglioramento, è necessario approfondire questi risultati con uno studio nel dettaglio. Un altro esempio in cui è indispensabile una Detailed LCA è quando i risultati dello studio saranno utilizzati per comunicazioni pubbliche e per questo richiedono un grado di credibilità molto alto.

Uno studio dettagliato di LCA prevede un miglioramento della qualità di dati ad esempio invece che riferirsi a dati standard per le industrie, dati secondari, lo studio prevederà la raccolta e l'utilizzo di dati specifici del caso in esame, cioè dati primari (in genere è la fase che richiede maggiore tempo).

### 3.6 Metodologia LCA

La procedura LCA si basa sulla compilazione, quantificazione e valutazione, con procedure definite, di tutti gli ingressi e le uscite di materiali ed energia e degli impatti ambientali associati, attribuibili ad un prodotto nell'arco del suo ciclo di vita (in alcuni casi possono essere presenti dati relativi a emissioni non materiali quali rumore, radiazione, ecc.).

Durante uno studio di LCA un prodotto o qualsiasi attività umana, viene esaminato in tutti i suoi stadi, attraverso un'articolazione in quattro fasi principali **Figura 2**

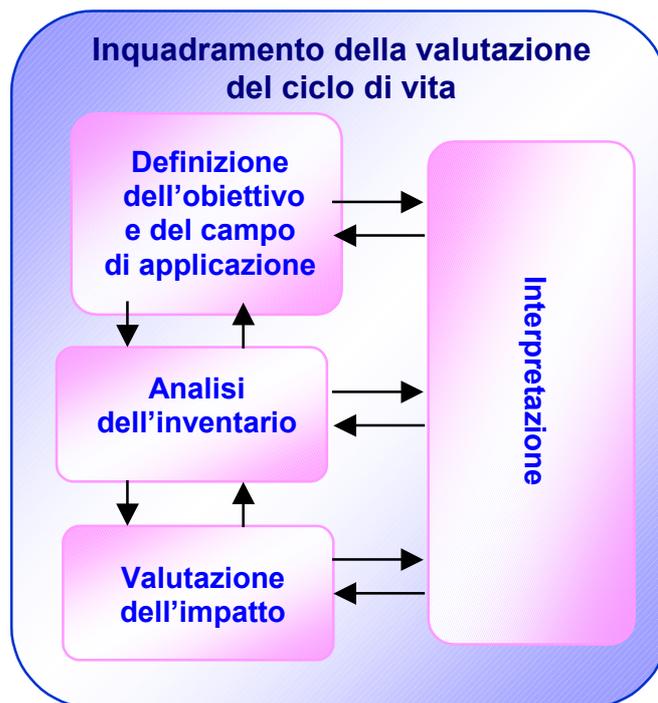


Figura 2 -Fasi del ciclo di vita

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

E' la fase preliminare in cui vengono stabiliti senza ambiguità quali siano le applicazioni previste, le motivazioni che inducono a realizzare lo studio e il tipo di pubblico a cui è destinato, cioè a quali persone si intendono comunicare i risultati.

### 3.6.2 Analisi d'Inventario (Life Cycle Inventory – LCI)

E' la compilazione di un bilancio di ingressi ed uscite rilevanti del sistema. Rappresenta il cuore di una LCA in quanto 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. Partendo da questi dati, si possono effettuare delle valutazioni, in relazione agli obiettivi e la campo di applicazione della LCA. Questi dati costituiscono inoltre la base per la successiva valutazione.

### 3.6.3 La valutazione degli impatti (Life Cycle Impact Assessment – LCIA)

Questa fase ha lo scopo di valutare la portata di potenziali impatti ambientali utilizzando i risultati dell'analisi d'inventario del ciclo di vita. In generale questo procedimento comporta l'associare i consumi e le emissioni ottenute nella fase d'inventario a specifiche categorie d'impatto riferibili ad effetti ambientali conosciuti, tentando di quantificare l'entità del contributo complessivo che il prodotto/processo arreca agli effetti considerati. Questa valutazione può includere un procedimento iterativo di revisione dell'obiettivo e del campo di applicazione dello studio di LCA. Vengono valutati gli impatti diretti ed indiretti associati agli ingressi ed uscite.

Secondo le norme ISO e in accordo con le metodologie attualmente più diffuse vengono effettuate tre fasi:

- **Classificazione/Caratterizzazione**
- **Normalizzazione**
- **Valutazione (o ponderazione).**

Si procede correlando i consumi e le emissioni ottenuti in fase d'inventario ai diversi temi ambientali (riscaldamento globale, acidificazione, ecc) tramite l'utilizzo di **indicatori di categoria**<sup>1</sup>.

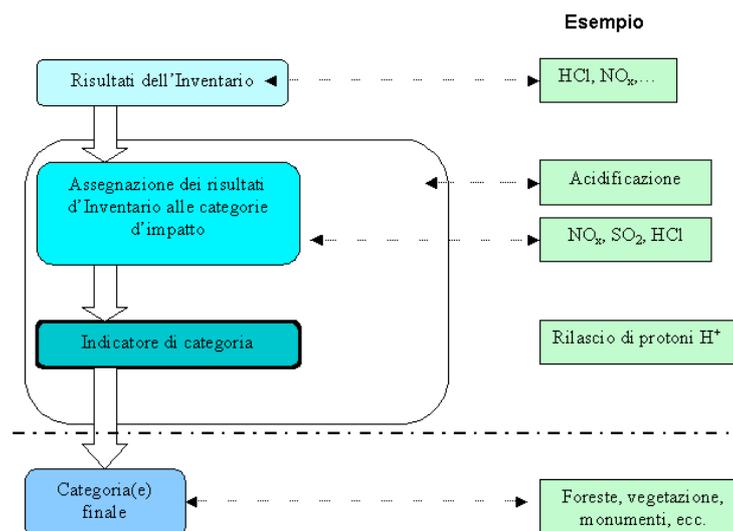


Figura 3 – Schema di LCIA

<sup>1</sup> “Rappresentazione quantitativa di una categoria d'impatto” (ISO 14042). Può essere la forza radiante dell'infrarosso dovuta all'emissione di gas serra, come indicatore relativo alla categoria d'impatto “riscaldamento globale”.

Scelte le categorie d'impatto da considerare e i relativi indicatori di categoria, i risultati dell'inventario si convertiranno nell'unità di misura comune dell'indicatore di categoria tramite dei "fattori di caratterizzazione", che rappresentano il contributo di una singola sostanza ad un dato tema ambientale. La conversione avviene moltiplicando le quantità dell'inventario per i fattori di caratterizzazione individuati e i risultati ottenuti andranno aggregati nelle categorie d'impatto, ottenendo così il risultato dell'indicatore di categoria.

La somma di tutti i contributi relativi ad ogni categoria d'impatto darà il profilo dell'LCIA (Tabella 2).

Emissione	Quantità (kg)	Effetto serra	Acidificazione
CO <sub>2</sub>	1.792	1	
CO	0.000670		
NO <sub>x</sub>	0.001091		0.7
SO <sub>2</sub>	0.000987		1
<i>Effect scores</i>		<b>1.792</b>	<b>0.0017</b>

Tabella 2 - Moltiplicando le quantità per i relativi "fattori di peso" (o fattori di equivalenza), si ottiene un set di valori dell'effetto

La fase di LCIA si compone di elementi obbligatori come la caratterizzazione, che consentono la conversione dei risultati di inventario in risultati d'indicatore, e di elementi facoltativi che consentono di normalizzare, raggruppare o ponderare i risultati d'indicatore. In Figura 4 sono rappresentate schematicamente fasi che compongono un LCIA.

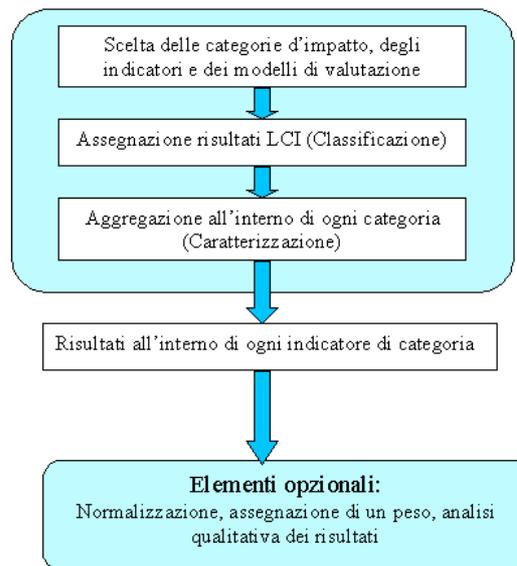


Figura 4 - Elementi del LCIA

I valori degli effect scores di ciascun problema ambientale vengono successivamente "normalizzati", cioè divisi per "un riferimento" (ad esempio l'effetto causato da una "persona media europea" durante un determinato periodo di tempo), in modo da poter stabilire la magnitudo di ciascun effetto ambientale rispetto ad un valore di riferimento.

L'obiettivo della fase di **ponderazione** invece è quello di potere esprimere, attraverso un valore numerico finale, l'impatto ambientale associato ad un prodotto nell'arco del suo ciclo di vita. I valori degli effetti normalizzati vengono quindi moltiplicati per dei "fattori di peso", che esprimono l'importanza, intesa come criticità, che viene attribuita a ciascun problema ambientale.

Per effettuare questa valutazione vengono applicati diversi criteri ed assunzioni. Nel metodo CML 95 ad esempio [13], alla base del calcolo dei "fattori di peso" vi è il principio della "distanza dallo scopo" (*distance to target*), che afferma che la differenza fra lo stato attuale e quello che si vuole raggiungere è una misura della gravità di un effetto. Il "livello bersaglio" (target level) è stato stimato a partire da dati ambientali relativi a diversi Paesi europei.

Sommando i valori degli effetti così ottenuti si ottiene un unico valore adimensionale: l'*ecoindicatore*, che quantifica l'impatto ambientale associato al prodotto.

Diversi sono i metodi di analisi di impatto ambientale e ciascuno fa uso di specifici fattori di caratterizzazione, normalizzazione e ponderazione e considera determinati temi ambientali, in quanto allo stato attuale non esiste un riferimento standard. Ma mentre per quanto riguarda alcuni problemi ambientali si è raggiunto un certo consenso a livello internazionale sui fattori di caratterizzazione, l'applicazione delle fasi di normalizzazione e valutazione va effettuata con cautela, tenendo cioè ben presenti i criteri su cui si fonda ciascun metodo e le assunzioni che sono state effettuate.

#### **3.6.4 L'interpretazione dei risultati ( Life Cycle Interpretation)**

Vengono analizzati i risultati delle due fasi precedenti, al fine di trarre conclusioni e raccomandazioni e definire le possibili linee di intervento. Questa fase può generare un procedimento iterativo di riesame e di revisione del campo di applicazione della LCA, ma anche della natura e della qualità dei dati raccolti per conseguire l'obiettivo definito [8].



## 4. STRUMENTI UTILIZZATI

Nel corso dello stage ho analizzato ed applicato diversi softwares per effettuare studi di LCA e di ecodesign. Ho potuto approfondire le mie conoscenze sia per quanto riguarda software semplificati (eVerdEE, TESPI) per utenti non esperti (in particolare le PMI) e sia software per effettuare studi di LCA di dettaglio (GaBi e SimaPro), utilizzati principalmente da centri di ricerca, consulenti e grandi aziende.

I software hanno come principale funzione quella di supportare l'utente nella fase di Inventario, ma permettono anche di effettuare la fase di Impact Assessment (con i diversi motori di calcolo che vi sono presenti, effettuando la valutazione degli impatti e permettendo all'utente di scegliere il metodo di valutazione dell'impatto che è più adatto allo studio, con la possibilità di confrontare anche diversi metodi). Forniscono inoltre un importante supporto anche nella fase di Interpretazione, grazie a strumenti di visualizzazione grafica, alla possibilità di effettuare analisi di sensibilità, simulazioni di scenari alternativi ed elaborazioni statistiche dei risultati.

Nei prossimi paragrafi vengono descritti brevemente il portale europeo [www.ecosmes.net](http://www.ecosmes.net) e i due software semplificati per le PMI presenti al suo interno (eVerdEE e TESPI), che ho utilizzato nel corso dello stage soprattutto a scopo formativo e preliminare all'utilizzo di strumenti più complessi. Viene inoltre descritto brevemente il software di LCA di dettaglio SimaPro, attualmente tra i più utilizzati a livello internazionale.

Con il supporto del tutor ho visionato la struttura del software, soprattutto delle banche dati e dei metodi di valutazione di impatto ambientale, anche con l'aiuto di esempi applicativi. In particolare ho appreso come si inseriscono nuovi processi e come viene creato il sistema prodotto (assembly), evidenziando le principali differenze con il software eVerdEE.

Ho direttamente inserito un caso studio di una "bottiglia in PET", creando il materiale e l'assembly, ed effettuato diverse simulazioni essenzialmente a scopo didattico e per approfondire le funzioni dello strumento.

### 4.1 Il portale per l'innovazione ambientale di prodotto "www.ecosmes.net"

EcoSMEs.net è un sito web rivolto alle PMI che si configura come un "portale d'ingresso" al mondo della IPP. I suoi contenuti sono stati sviluppati in base ad una accurata analisi, condotta durante la fase preparatoria del progetto eLCA, che ha individuato la necessità delle PMI nel contesto della IPP. Ecosmes.net ha quindi l'intento di fornire alle PMI, on-line e raccolte in un unico sito, informazioni aggiornate e necessarie per intraprendere percorsi relativi alle IPP e per introdurre sul mercato di prodotti verdi. Il sito contiene diverse tipologie di strumenti ed è strutturato in tre sezioni principali:

- **Informazioni** generali sintetiche e facilmente comprensibili sulle nozioni basilari della IPP e dei diversi strumenti utilizzabili dalle imprese per lo sviluppo e l'introduzione nei mercati europei di prodotti verdi;
- **Strumenti software** di uso amichevole, per l'analisi del ciclo di vita dei prodotti (LCA di screening con banche dati di supporto) e per lo sviluppo di soluzioni di eco-design;
- **Guide tecniche** contenenti indicazioni di carattere tecnologico e procedurale per individuare le criticità ambientali e relative soluzioni, BAT (Best Available Technologies), esempi di interventi di miglioramento possibili su prodotti e processi, ecc. Tutti i contenuti del sito sono stati sviluppati in cinque lingue (italiano, inglese, tedesco, spagnolo e greco)

A tutto ciò si accompagnano pacchetti di formazione on line sulla metodologia di LCA e sullo strumento software eVerdEE, per consentire anche agli utenti meno esperti di acquisire le conoscenze indispensabili per il suo utilizzo.

Al momento i contenuti del sito sono stati sviluppati per sei settori produttivi: hotels, arredo urbano, tessile, legno, metalli, apparecchiature elettriche e elettroniche, ma è prevista l'estensione graduale ad altri tipi di prodotto[14].

#### 4.2 eVerdEE

E' uno strumento on-line di LCA di screening per le Piccole Medie Imprese Europee, disponibile sul sito web [www.ecosmes.net](http://www.ecosmes.net) [14], che consente di realizzare una Valutazione del Ciclo di Vita semplificata [15].

Le semplificazioni adottate nella progettazione dello strumento sono sia metodologiche che procedurali.

La semplificazione metodologica è relativa a quegli aspetti di modellizzazione, che renderebbero difficile l'esecuzione in autonomia di uno studio di LCA da parte delle PMI, quali:

- definizione dei confini del sistema;
- documentazione della qualità dei dati. Quello che si chiede di fare all'utente è semplicemente di documentare l'affidabilità dei dati immessi in termine di adeguatezza (ossia valutare se i processi e le sostanze selezionate dal database sono rispondenti al dato da immettere o costituiscono un'approssimazione), accuratezza (che tipo di stima è stata fatta sul numero immesso) e completezza;
- scelta di determinati indicatori/categorie d'impatto, dettata dalla considerazione che andassero utilizzati metodi scientifici largamente diffusi che tenessero conto di un numero elevato di sostanze.

Per quanto riguarda la procedura, la semplificazione è legata a due aspetti : da un lato è relativa alla presenza di un percorso guidato per l'immissione dei dati che l'utente deve seguire passo a passo, senza possibilità di commettere errori. L'altro aspetto riguarda invece la modalità di visualizzazione e interpretazione dei risultati: una matrice con livelli successivi di dettaglio e un grafico a bersaglio di facile lettura per effettuare analisi comparative tra due prodotti.

La presenza di un help-on-line e di un corso di formazione sullo strumento rappresentano un ulteriore supporto per l'utente.

L'intera procedura è supportata da una banca dati con dati specializzati di diversi settori (legno, forniture per ufficio, tessile, arredo urbano, lavorazioni metalliche, apparecchiature elettriche ed elettroniche) con una struttura a matrice, nelle cui celle sono contenuti i valori degli indicatori d'impatto ambientale precalcolati per materiali, processi, semilavorati e componenti tipici della filiera prodotto: in questo modo i valori della valutazione d'impatto vengono calcolati automaticamente, moltiplicando i valori di caratterizzazione contenuti nel database per le quantità inserite nell'inventario. I dati sono stati tutti sottoposti ad una verifica e validazione indipendente.

Lo strumento sfrutta le potenzialità messe a disposizione dall'ambiente internet, elemento che consente un facile accesso e utilizzo, un aggiornamento continuo del database e una versione sempre aggiornata del software.

eVerdEE consente quindi di effettuare una valutazione del profilo ambientale del prodotto studiato e di identificarne le opportunità di miglioramento dal punto di vista ambientale nelle diverse fasi del ciclo di vita, mettendo a disposizione dell'utilizzatore una solida base scientifica con una procedura ben strutturata e un'interfaccia user-friendly, senza che questo pregiudichi l'accuratezza e l'attendibilità dei risultati. [15]

### 4.3 TESPI (Tool for Environmentally Sound Product Innovation)

TESPI [16] è un software innovativo di supporto alle PMI nella fase di progettazione del prodotto, anch'esso on-line disponibile sul sito ecoSMES [14]. Permette di analizzare informazioni riguardanti da un lato le esigenze della clientela ed i requisiti di qualità del prodotto, e dall'altra gli aspetti ambientali relativi allo stesso, sia in fase di produzione che di uso e smaltimento. In un unico strumento sono stati integrati requisiti di qualità e di "Design for Environment".

TESPI è stato sviluppato in un'ottica di supporto alla progettazione, ed è attualmente applicabile ad aziende di tipo manifatturiero e a prodotti modulari.. E' uno strumento che si pone l'obiettivo di supportare la progettazione del prodotto secondo un approccio "life cycle thinking", al fine di arrivare a un'innovazione di prodotto compatibile con i requisiti ambientali.

TESPI risponde a due requisiti fondamentali: è di facile uso per l'utente e prevede un approccio formativo verso le telematiche ambientali e le strategie di eco-design. Prevede inoltre di raccogliere informazioni di tipo qualitativo che riguardano non solo i processi produttivi interni all'azienda ma anche le esigenze della clientela e il mercato, valutando quindi i prodotti concorrenti.

L'approccio metodologico prevede che l'utente analizzi il prodotto partendo dalla scelta del concorrente con cui vuole confrontarsi in un'ottica di miglioramento e in un'ottica di migliore posizionamento sul mercato.

Il passo successivo riguarda l'individuazione del "cliente tipo" con l'elencazione dei bisogni e delle aspettative. Queste informazioni sono in genere ben note alle aziende grazie ad analisi di mercato o a studi di marketing interni alla struttura aziendale.

Il prodotto viene poi analizzato sulla base della sua capacità di soddisfare le aspettative del cliente in relazione al prodotto concorrente. Lo strumento prevede un'analisi del prodotto nel suo insieme e un'analisi del prodotto scomposto nelle sue parti principali.

A questa prima fase della metodologia segue una fase che raccoglie le informazioni di carattere ambientale relative al prodotto e alle sue parti. Si tratta di una check list a risposta multipla che indaga, sulla base di risposte predefinite di tipo qualitativo, quali sono gli aspetti ambientali più rilevanti per il prodotto e le sue parti. Il prodotto viene analizzato considerando le fasi del ciclo di vita, suggerendo quindi al progettista un approccio life cycle thinking.

Le informazioni raccolte sono poi elaborate e forniscono un report utile come supporto alle decisioni nella fase di ri-progettazione del prodotto.

L'utente attraverso la lettura dei risultati dell'analisi, sintetizzati in una serie di grafici, riesce a individuare come il prodotto si posiziona rispetto al concorrente e quali sono le criticità al punto di vista di soddisfacimento dei bisogni e ambientale.

Lo strumento inoltre presenta un "help on-line" che aiuta l'utente nella fase di analisi delle caratteristiche di qualità e funzionali del prodotto e di quelle ambientali. Quest'ultima parte prevede che ci siano anche informazioni generali sulle tematiche ambientali in questione, in linea con l'intento formativo dello strumento [16].

### 4.4 SimaPro 6.0

Il software di LCA SimaPro [17] è molto utilizzato a livello internazionale e permette di effettuare studi di Valutazione del ciclo di vita con un livello molto alto di dettaglio, cioè fino all'identificazione della sostanza (flusso elementare) responsabile di un determinato impatto ambientale.

Il software, sviluppato da PRé (Consultants, [17]) contiene al suo interno diversi database come PRé, BUWAL 250 e IVAM, relativi ai dati di produzione di materiali, trasporti e processi (es. fornitura di energia elettrica, riciclo plastica, etc.).

SimaPro è molto flessibile in quanto permette di inserire nuovi processi, materiali e metodi di analisi degli impatti ambientali, modificare o completare quelli già esistenti e adattarli al caso studio. Di conseguenza, i confini dello studio possono essere ampliati a piacere quando lo si ritenga necessario, o quando si abbiano a disposizione le informazioni adeguate. Lo strumento non consente però, di utilizzare contemporaneamente le sue banche dati (standard PRé, l'IVAM e la BUWAL); ciò significa che, prima di effettuare lo studio, occorre scegliere il database con cui si intende lavorare.

Innanzitutto bisogna definire l' "Assembly", cioè i materiali ed i processi che costituiscono il prodotto oggetto dello studio ed i suoi componenti, compresa l'energia, i materiali i trasporti utilizzati e le emissioni (in aria, acqua e rifiuti) implicate.

Il secondo passo è la definizione del "Disposal Scenario" (che, come mostrato in Figura 3, deve far riferimento ad una determinata "Assembly") e del tipo di trattamento che subirà il prodotto una volta terminato il suo uso (riuso, disassemblaggio, riciclaggio, o smaltimento).

Tutti gli elementi definiti verranno poi presi in considerazione per la valutazione degli impatti ambientali del ciclo di vita del prodotto, attraverso diverse metodologie.

Il principale metodo di calcolo è denominato "EcoIndicator '99", in cui l'ambiente viene definito - come "*un insieme di parametri fisici, chimici e biologici influenzati dall'uomo, condizioni per la sopravvivenza dell'uomo stesso e della natura. Queste condizioni includono la salute umana, la qualità dell'ecosistema ed il reperimento di risorse*".

Da questa definizione sono state ricavate e considerate tre categorie di danno: la salute umana (HH) non deve essere intaccata da fattori ambientali, la qualità dell'ecosistema (EQ) non deve subire cambiamenti radicali, le risorse (R) devono essere garantite anche alle generazioni future.

SimaPro viene utilizzato su tre "sfere", o campi, in cui la Tecnosfera descrive il ciclo di vita e tutte le emissioni, l'Ecosfera crea modelli che descrivono i cambiamenti avvenuti nell'ambiente a causa del prodotto e del suo ciclo di vita e la Sfera dei Valori stima la gravità dei cambiamenti avvenuti.

Il danno ambientale viene poi valutato secondo il modello "Cultural Theory" di Thompson e Ellis (1990) che prevede tre differenti prospettive:

- Visione *individualista*: le risorse vengono considerate come sempre disponibili e non viene data importanza all'ambiente, alle sue problematiche ed alla sua protezione.
- Visione *gerarchica*: le risorse vengono considerate esauribili e regolabili mentre i bisogni non lo sono. Si dà importanza alle problematiche ambientali e si prevedono cambiamenti nell'utilizzo delle risorse energetiche.
- Visione *ugualitaria*: vengono fatte previsioni sulla situazione futura sia per le risorse sia per l'ambiente. I bisogni si possono regolare ma le risorse no; si parla di sostituzione delle risorse.

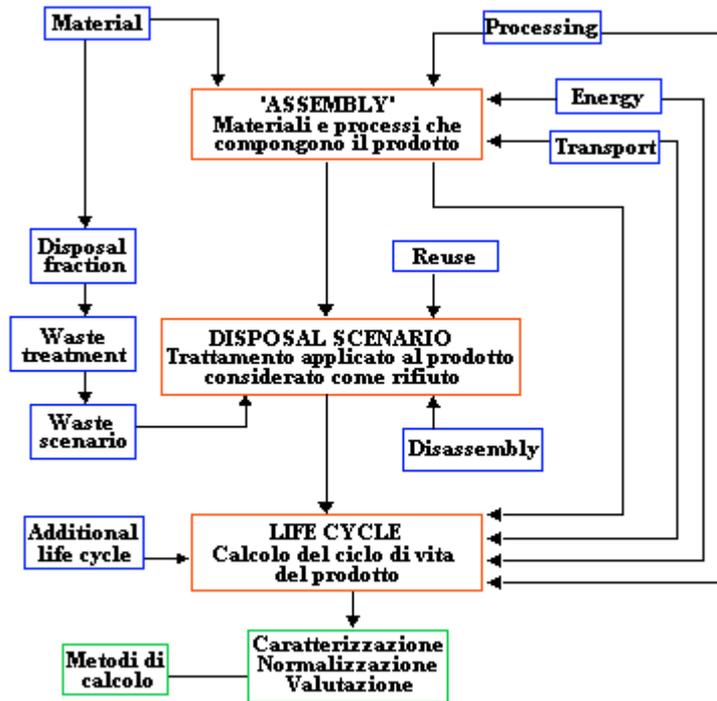


Figura 5 - Schema a blocchi del calcolo di SimaPro

In Tabella 3 sono riportate alcune definizioni fondamentali per capire le caratteristiche e la struttura del programma.

Life Cycle Assessment	Valutazione del ciclo di vita di un prodotto
Assembly	Il prodotto generato.
Disposal Scenario	Sono le possibilità di trattamento a cui può essere sottoposto un prodotto dopo il suo uso.
Additional life cycle	Sono le LCA dei prodotti o dei processi che si aggiungono al prodotto o al processo fondamentale.
Materials	Materiali di cui è costituito il prodotto. La banca dati del codice fornisce l'impatto ambientale della loro produzione.
Processes	L'energia (energy), il trasporto (transport), i processi di lavorazione (processing), necessari per la generazione di un prodotto.
Disposal fraction	Famiglie di materiali a cui il codice attribuisce alcuni tipi di trattamento dei rifiuti (plastics, ferro metals, non ferro, textile...).
Disposal fraction not defined / others	Il materiale considerato non ha una disposal fraction e quindi il codice non lo considera come rifiuto.
Waste treatment	Tipo di trattamento dei rifiuti che può essere attribuito alle famiglie landfill, recycling, incineration, composting.
Waste scenario	Sono le possibilità di trattamento a cui può essere sottoposto un prodotto dopo il suo utilizzo, considerandolo come rifiuto (Municipal waste, household waste, landfill NL, Incineration NL, recycling only).
Reuse	Possibilità di riutilizzo del prodotto.
Disassemblies	Le parti in cui il prodotto può essere scomposto prima di essere smaltito come rifiuto. Alcune di esse possono essere riutilizzate.
Raw materials	Materie prime.
Avoided products	Prodotti evitati (ad es., grazie ai processi di recupero).

Tabella 3 -Definizione dei termini utilizzati in SimaPro 6.0.

I database di SimaPro sono organizzati come segue:

- I “*Material*” sono suddivisi in categorie (Building materials, Chemical, Ferro metals, Fuels, Non ferro metals, ecc.), e per ciascuno di essi è indicata la “*Disposal Fraction*” che servirà ad attribuire a ciascun componente il trattamento adeguato (“*Waste Treatment*”), e lo scenario appropriato (“*Waste Scenario*”). È interessante notare che il codice, nel caso in cui la “*Disposal Fraction*” non sia indicata, non prevede di considerare tale materiale come rifiuto all’atto della dismissione.
- I “*Processing*” sono anch’essi suddivisi in categorie che raccolgono lavorazioni relative ad un certo tipo di materiale (ad es. le lavorazioni dell’alluminio, del vetro).
- I “*Transport*” sono suddivisi in base al tipo (strada, ferrovia, acqua, aria) e per ciascuno di essi si riportano i possibili mezzi di trasporto (es. tir, nave, treno).
- L’“*Energy*” permette di valutare il tipo di energia utilizzata nelle fasi di produzione ed eventualmente in quelle di utilizzo del prodotto.

I dati di inventario vengono, quindi, inseriti nel programma utilizzando le suddette banche dati.

## 5. Il software GaBi 4

GaBi 4, sviluppato dal dipartimento ingegneristico di IKP - Università di Stoccarda in collaborazione con la compagnia di consulenza PE – Europe [4], è considerato a livello internazionale uno strumento con funzioni innovative e flessibili.

Durante lo stage ho partecipato ad una giornata formativa sul software GaBi che si è svolta presso l'ENEA. Ho inoltre approfondito le conoscenze del software attraverso attività di formazione ma soprattutto applicandolo direttamente a casi reali, descritti nel dettaglio nei cap. 6 e 7.

Nei paragrafi seguenti vengono riportate le caratteristiche principali dello strumento e il metodo di analisi di impatto ambientale (CML 2001) che ho utilizzato nello studio.

GaBi è un programma modulare che consente di creare bilanci di ciclo di vita di prodotti e servizi e di analizzare ed interpretare i risultati secondo i metodi di valutazione tecnici, economici e di impatto ambientale desiderati, standardizzato secondo le norme della serie ISO 14040.

Contiene più di 70 categorie di impatti e metodi di valutazione (CML, Eco-Indicator, ecc), e nelle banche dati, oltre 2000 processi documentati (relativi a metalli, plastica, energia, trasporti, ecc.)

La sua interfaccia è di facile utilizzo in quanto opera come Windows, permette il passaggio dei dati in Excel ed è strutturato in modo tale da consentire l'elaborazione dei dati considerando sia i flussi e i processi che i diagrammi di flusso denominati "plan". Di seguito viene fornita una breve descrizione.

### 5.1 Flussi

- Sono input e output che descrivono la massa, il costo o l'energia;
- si possono determinare dai parametri;
- vengono documentati direttamente con le funzioni di "Data Quality" nei processi. La qualità dei dati in essa contenuti e le modalità di documentazione delle informazioni è un aspetto fondamentale di una banca dati di LCA, da cui dipende l'attendibilità dei risultati di uno studio. I dati disponibili e utilizzabili per uno studio di LCA spesso presentano un alto grado di variabilità, legato, ad es. alle diverse fonti cui appartengono, al livello di aggregazione con cui sono stati elaborati, al metodo di raccolta impiegato, all'età stessa dei dati, ecc.

In GaBi vengono utilizzati degli *indicatori di qualità* (Data Quality Indicator – DQI) per documentare la qualità dei dati e questo garantisce la riproducibilità dei risultati di bilancio ed aumenta la trasparenza. Tutti i database presenti in GaBi includono quattro differenti *categorie* di qualità dei dati ed i relativi indicatori per ogni categoria, come mostrato nella Tabella 4.

Categoria	Indicatori
Origine dei dati	Calcolati
	Stimati
	Misurati
	Letteratura
Integrità del processo	Sono stati considerati tutti i flussi
	Sono stati considerati tutti i flussi rilevanti
	Sono stati considerati solo alcuni particolari flussi
	Non sono stati considerati alcuni flussi rilevanti
Rappresentatività dei singolo processo	Totalmente rappresentativo
	Parzialmente rappresentativo
	Non rappresentativo
Integrità di un sistema di processi	Tutti i flussi sono collegati
	Tutti i flussi rilevanti sono collegati
	Alcuni flussi rilevanti sono collegati
	Alcuni flussi rilevanti non sono collegati

Tabella 4 - Categorie ed indicatori di qualità dei dati

Per la Rappresentatività del processo è possibile valutare tre differenti aspetti: tecnologia, area geografica di riferimento e **arco temporale** a cui si riferiscono i dati;

- contengono le informazioni sui fattori di caratterizzazione standard già attribuiti;
- ne sono presenti più di 3000 in GaBi 4 ed è possibile crearne di nuovi.

## 5.2 Processi

- Primari:  
Quelli creati con i dati raccolti dalle aziende, fornitori, ecc.
  - Contengono i flussi in uscita ed ingresso;
  - Contengono i dati di LCA (Life Cycle Assessment), LCC (Life Cycle Costing), LCWT (Life Cycle Working Time);
  - Possono essere documentati direttamente con commenti e con le funzioni di “Data Quality” secondo lo standard ISO.
- Secondari:  
Quelli contenuti nelle banche dati del software, relativi ai processi mancanti sia a monte che a valle della catena produttiva ( trasporto, estrazione materie prime, produzione d’energia, ecc.).  
E’ possibile accedere direttamente alla documentazione dei processi contenuti nella banca dati.

## 5.3 Plan

- I processi vengono collegati con frecce che indicano il percorso dei flussi formando un diagramma Sankey (massa, energia, quantità, ecc.);
- si possono inserire commenti;
- sono possibili diverse opzioni di visualizzazione;
- consentono l’utilizzo di parametri. In GaBi i processi non sono definiti come liste fisse di entrate ed uscite, ma possono essere variati tramite parametri e calcoli matematici.
- Tutti i parametri possono essere visualizzati o modificati con parametri explorer (che significa?);
- possono contenere altri plan;

- possono essere documentati direttamente con commenti e con le funzioni di “Data Quality” secondo lo standard ISO.

## 5.4 Parametri

I parametri in GaBi consentono di variare le quantità dei flussi senza dover replicare lo studio e sono alla base delle relazioni input-output di un processo. Questo significa, ad esempio, che si può modellizzare un processo di trasporto che dipende dalla distanza e dal carico utilizzando una formula che calcola automaticamente la quantità di carburante necessaria (input) e le emissioni che ne derivano (output) (Figura 6)

Parameter	Formula	Value	Stand	Comment
Auslast		0,85	0 %	[-] average utilisation ratio (95%)
Distanz		100	0 %	[km] distance start - destination
Spez_Verbr	$\text{Verbrauch}/(\text{Tonnage} * 1000)$	0,00306		[kg] Diesel per kg cargo
Tonnage	$\text{Auslast} * 10,3$	8,76		[t] compl. load forward
Verbrauch	$(0,0269 * \text{Auslast}^2 - 0,7897 * \text{Distanz} * 10,3 * \text{Auslast})$	26,8		[kg] Diesel total consumption
Parameter				

Figura 6 - Parametri del processo "trasporto"

I parametri, che possono poi essere variati all’interno della funzione GaBi Analyst per valutare il loro effetto sui risultati finali e per ottimizzare il processo analizzato, possono essere definiti su tre livelli:

- Processo  
Hanno valenza solamente all’interno del processo considerato.
- Piano  
Possono essere utilizzati da tutti i processi che si trovano sul piano all’interno del quale sono stati definiti. In questo modo è possibile definire i parametri d’interesse una sola volta, ma occorre fare molta attenzione in quanto in questo modo aumenta anche la complessità del modello.
- Globali  
Hanno valenza all’interno di tutto lo studio che si sta analizzando e possono essere richiamati in qualunque momento, sia all’interno dei processi che dei plan.

## 5.5 Bilanci

- Si visualizzano i risultati di:
  - Categorie di impatto
  - Normalizzazione
  - Ponderazione
  - Punti critici
- E’ possibile realizzare grafici dei risultati direttamente dal software.

## 5.6 GaBi Analyst

La funzione GaBi Analyst analizza le modifiche del bilancio di uno studio di LCA al variare dei parametri introdotti per modellizzare il sistema, ossia consente di valutare le opzioni di miglioramento da introdurre nello studio.

Con questa funzione è dunque possibile variare tutti i parametri dello studio (a livello di processo, di piano e quelli globali) e i valori ottimali che ne derivano possono poi essere re-immessi nel bilancio per effettuare un'ulteriore analisi.

E' possibile effettuare 4 tipologie di analisi:

- **“Scenario analysis”**: per effettuare un confronto tra due scenari di ciclo di vita analizzando l'impatto di diverse condizioni al contorno.
- **“Parameter variation”**: consente di valutare l'effetto della variazione di un parametro al fine di individuare il valore ottimale da raggiungere.
- **“Sensitivity analysis”**: consente di valutare quanto i risultati finali dello studio siano influenzati dalle scelte fatte, ossia fornisce indicazioni su quanto sia sensibile il bilancio in relazione ai vari parametri.

È possibile infatti che le variazioni dei parametri possano avere un effetto minore sui risultati di bilancio a fronte di un range di variazione pronunciato; altri parametri invece possono causare maggiori cambiamenti nei risultati anche con un range di variazione minore.

- **“Monte Carlo Analysis”**: L'analisi di Monte Carlo fornisce informazioni sulla stabilità globale dello studio effettuato.

Il metodo si basa sul fatto che una soluzione analitica diretta del problema può essere troppo onerosa, pertanto il problema si risolve numericamente, producendo un numero N sufficientemente elevato di possibili combinazioni dei valori che le variabili d'ingresso possono assumere e calcolandone il relativo output sulla base delle equazioni del modello.

Per costruire ciascuna delle N combinazioni viene generato casualmente un valore per ciascuna variabile di input, in accordo con la distribuzione di probabilità specificata.

Ripetendo N volte questo procedimento, si ottengono N valori indipendenti delle variabili di output, che rappresentano quindi un campione dei possibili valori assumibili dall'output.

## 5.7 Il metodo CML 2001

“CML 2001” è il metodo di analisi degli impatti ambientali che ho utilizzato per il confronto tra due modelli diversi di ante, descritto nel cap. 7. Tale metodo è stato sviluppato dal Centre of Environmental Science (CML) dell'università di Leiden. Nel seguito vengono riportate alcune informazioni sintetiche.

### Caratterizzazione

Le categorie ambientali considerate nel metodo CML 2001 sono:

#### 1. **Esaurimento delle risorse naturali**

Il fattore di esaurimento delle risorse naturali è determinato per l'estrazione del minerale e del combustibile fossile (espresso in kg Antimonio equiv/kg estrazione). E' un problema a scala globale.

2. ***Cambiamento climatico***

Il modello di caratterizzazione sviluppato dal Quadro Intergovernativo sui Cambiamenti Climatici (Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC) è quello selezionato per lo sviluppo dei fattori di caratterizzazione. Questi fattori sono espressi come riscaldamento globale in 100 anni (GWP 100), in kg CO<sub>2</sub>/kg di emissione. E' un problema a scala globale.

3. ***Esaurimento dell'ozono stratosferico***

A causa dell'esaurimento dello strato di ozono, una grande frazione di radiazioni UV-B raggiunge la superficie della terra e può avere effetti dannosi sulla salute umana, la salute della fauna e sull'ecosistema terrestre ed acquatico. Il modello di caratterizzazione è sviluppato dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO) e definisce il potenziale di esaurimento dello strato di ozono di differenti gas (kg CFC-11 Equiv/kg di emissione). E' un problema a scala globale.

4. ***Tossicità umana***

E' una categoria che riguarda gli effetti delle sostanze tossiche sull'uomo. I rischi della salute dovuti all'esposizione in ambiente di lavoro non sono considerati. I fattori di caratterizzazione, i potenziali di tossicità umana (HTP), sono espressi in 1,4-diclorobenzene Equiv/kg di emissione. La scala varia tra il locale e il globale.

5. ***Ecotossicità in acqua dolce***

Si riferisce all'impatto sull'ecosistema, come conseguenza dell'emissione di sostanze tossiche in atmosfera, in acqua e nel suolo. Il potenziale di ecotossicità (FAETP) è calcolato sulle base dell'esposizione e gli effetti delle sostanze tossiche. I fattori di caratterizzazione sono espressi in 1,4-diclorobenzene Equiv/kg. La scala di tale problema è globale/continentale/regionale.

6. ***Ecotossicità marina***

L'ecotossicità marina si riferisce all'impatto delle sostanze tossiche sull'ecosistema marino (vedere la descrizione della tossicità dell'acqua dolce).

7. ***Ecotossicità terrestre***

Questa categoria si riferisce all'impatto delle sostanze tossiche sull'ecosistema terrestre (vedere la descrizione sulla tossicità dell'acqua dolce).

8. ***Ossidazione fotochimica***

E' la formazione di sostanze reattive (principalmente ozono) che incidono sulla salute umana e l'ecosistema e che possono danneggiare i raccolti. Questo problema è anche chiamato "smog estivo". La smog invernale non entra in questa categoria. Il potenziale di creazione fotochimica di ozono (POCP) per le emissioni di sostanze in atmosfera è calcolato con il modello "UNECE Trajectory", ed è espresso in kg di etilene Equiv/kg di emissione. La scala del problema varia da quella locale a quella continentale.

9. ***Acidificazione***

Le sostanze acidificanti causano una vasta serie di impatti sul suolo, l'acqua sotterranea, l'acqua superficiale, gli organismi, gli ecosistemi e i materiali (edifici). Il potenziale di acidificazione (AP) per la emissioni in atmosfera è calcolato con il modello adattato RAINS 10, che descrive il destino e la deposizione delle sostanze acidificanti. L'AP è espresso in kg SO<sub>2</sub> Equiv/kg di emissione. La scala del problema varia da quella locale a quella continentale.

### **10. Eutrofizzazione**

L'eutrofizzazione include tutti gli impatti dovuti all'alto livello di concentrazione di macronutrienti nell'ambiente, causato dalle emissioni in atmosfera, in acqua e nel suolo. Il potenziale di nitrificazione (NP) è espresso in Kg di PO<sub>4</sub> Equiv/kg di emissione. La scala del problema varia da quella locale a quella continentale.

#### **Normalizzazione**

I fattori di normalizzazione sono stati calcolati per le seguenti situazioni di riferimento: Olanda (1997/1998), Europa Occidentale (1995) e Mondiale (1990 and 1995). Nel confronto tra le due ante, ho utilizzato i fattori di riferimento relativi all'Europa Occidentale.

## 6. REVISIONE CRITICA DELLO STUDIO LCA SULLE CUCINE COMPONIBILI

Nell'ambito del progetto europeo "eLCA" [18] è stata sviluppata una banca dati di settore all'interno di "eVerdEE", ed è stato messo a punto, con il software GaBi, un modello di analisi di ciclo di vita relativo ad una cucina componibile [19].

A tale progetto ha partecipato Scavolini S.p.A, che con il supporto del Cosmob, Consorzio per il Mobile della Regione Marche [20], ha fornito un contributo fondamentale per quanto riguarda la raccolta dei dati di inventario, coinvolgendo l'intera filiera di produzione.

Attualmente è in corso il progetto europeo LAIPP "Diffusione degli strumenti di IPP nell'industria del mobile arredo", [2], coordinato dalla Regione Marche, che prevede la creazione di banche dati di settore e l'applicazione ad alcune aziende partners del progetto (tra cui Scavolini) di strumenti di IPP quali LCA, POEMS, EPD, ISO 14001, Green Public Procurement.

In tale contesto, è stato deciso di effettuare una **revisione critica** del lavoro svolto durante il progetto eLCA, al fine di un suo utilizzo negli studi di LCA del progetto LAIPP.

In particolare la revisione critica che ho effettuato ha riguardato:

1. la **banca dati di settore** (contenuta in DIM e GaBi);
2. il **modello di LCA** implementato nel software GaBi.

Ho inoltre effettuato alcune simulazioni utilizzando le funzioni di GaBi, in particolare: **bilanci di massa, variazione dei parametri e un'analisi di sensibilità** sul fattore "energia". I risultati di tali simulazioni non sono stati riportati in quanto sono state effettuate soprattutto a scopo formativo sull'utilizzo dello strumento.

Tale attività, descritta nel dettaglio nei prossimi paragrafi, è stata effettuata con il supporto della Dott.ssa C. Rinaldi e dell'Ing. A. Zamagni, di Scavolini e degli esperti di settore, nell'ambito dei tavoli tecnici del progetto.

### 6.1 Il progetto "eLCA" e il progetto "LAIPP"

Il progetto **eLCA** :*"Database and Web site for the adoption of IPP in SMEs"*, finanziato dall'Unione Europea, era volto a favorire lo sviluppo delle IPP all'interno delle imprese tramite la realizzazione e sperimentazione del sito web multilingue [www.ecosmes.net](http://www.ecosmes.net) (presentato nel paragrafo 4.1) dotato di banche dati, informazioni e strumenti per facilitare l'adozione della politica integrata di prodotto da parte delle PMI. Il progetto, coordinato dall'ENEA, ha visto la partecipazione di partner italiani ed europei ed è stato articolato in due fasi:

- un'azione preparatoria (*"Feasibility study of databases and web sites for the adoption of LCA in SMEs"*), finalizzata a comprendere le interrelazioni fra PMI e IPP, allo sviluppo delle specifiche tecniche per la progettazione del sito web e alla definizione di un modello per la sua gestione.
- Realizzazione del progetto dimostrativo del sito stesso.

Il progetto, terminato nel 2004, era finalizzato al raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- Sensibilizzare le piccole e medie imprese in merito alle opportunità offerte dallo sviluppo e commercializzazione dei prodotti "verdi";

- Promuovere lo sviluppo di un mercato di servizi “verdi”;
- Dar vita a progetti cooperative tra tutti gli attori interessati dei diversi settori industriali (enti pubblici, associazioni industriali, aziende, consulenti, ecc.).

Il risultato principale del progetto è il portale per l’innovazione ambientale dei prodotti [www.ecosmes.net](http://www.ecosmes.net) e i suoi strumenti, eVerdEE, DIM e TESPI, descritti nel cap. 4.

Il progetto EU **LAIPP** è un progetto che mira alla diffusione e all’applicazione dei principi e degli strumenti delle IPP nel settore mobile-arredo [2] e a costruire un riferimento per le imprese del settore. Il progetto nasce dalla constatazione che la diffusione degli strumenti di IPP incontra delle difficoltà in un contesto produttivo caratterizzato dalla presenza di piccole e medie imprese. In questo senso il caso delle imprese marchigiane del settore legno-arredo riveste grande interesse sia per il numero di imprese che per l’omogeneità della tipologia di produzione e la loro concentrazione in aree delimitate.

Il progetto consentirà di realizzare strumenti di supporto all’implementazione delle IPP utilizzabili non solo dalle aziende che hanno preso parte al progetto ma anche da tutte le imprese del settore.

All’interno del progetto LAIPP vengono analizzate, attraverso la metodologia LCA tre filiere principali:

1. mobili da cucina
2. mobili da ufficio
3. cappe.

Per ognuna di queste è in corso di realizzazione uno studio di Analisi del Ciclo di Vita che richiederà un’intensa attività di raccolta dati di inventario. La raccolta di dati sia primari che secondari (rispettivamente raccolti direttamente nelle aziende e ricavati da studi di settore, letteratura, esperti, banche dati LCA, ecc.), consentiranno la creazione di una **banca dati di settore**, che dovrà avere le seguenti caratteristiche [21]:

- essere completa e rappresentativa dello stato dell’arte per quanto riguarda materiali, componenti e processi delle filiere considerate;
- contenere dati validati attraverso un processo standard;
- rispondere alle esigenze delle aziende (utente finale);
- rispondere ai requisiti tecnici dei software in cui verrà inserita, ossia GaBi e DIM.

La scelta di realizzare un banca dati relativa al settore è stata dettata dai seguenti fattori [22]:

- Rappresentatività sul mercato italiano e straniero. Il settore, con più di 500.000 addetti e i 100.000 imprese in Italia, anche a livello europeo occupa un ruolo di primo piano in termini di occupazione, produzione ed esportazione (oltre il 32% delle esportazioni europee di mobili provengono dall’Italia);
- E’ un sistema basato su piccole e medie imprese. Nel 2996 il 98% delle imprese, su un totale di 87.855, avevano meno di 20 addetti. Si tratta di imprese molto specializzate, flessibili e innovative, e quindi altamente competitive, soprattutto nei segmenti di prezzo medi e alti;
- E’ un sistema che mostra una forte propensione all’innovazione. L’ultima indagine sull’innovazione tecnologica mostra che il 50% delle imprese del settore con oltre 20 addetti ha introdotto innovazioni tecnologiche nel periodo 1994-1996, una percentuale superiore a quella dell’industria nel suo complesso.

Il sistema produttivo nazionale legno-arredamento occupa quindi una posizione di eccellenza in campo mondiale che caratterizza il made in Italy e si dimostra attento ed interessato al miglioramento della propria immagine anche sul piano della salvaguardia ambientale.

I principali utilizzi della banca dati sviluppata nel corso del progetto LAIPP sono:

- l'utilizzo di eVerDEE da parte delle aziende;
- l'ampliamento della banca dati (estensione degli studi LCA ad altre filiere del settore mobile-arredo attraverso lo sfruttamento di sinergie con altri progetti).

Alla raccolta dei dati primari per la creazione della banca dati sulle cucine, parteciperanno Scavolini e i suoi fornitori.

## **6.2 Scavolini S.p.A.**

Scavolini [3] è un'industria di grandi dimensioni, presente sul mercato delle cucine da più di 40 anni (dal 1984 è la prima marca di cucine in Italia). E' un modello produttivo tra i più evoluti e significativi dell'industria italiana, capace di organizzare un complesso processo produttivo che le consente di realizzare, a costi competitivi, cucine di alto valore qualitativo.

E' tra le prime aziende ad avere conseguito la certificazione del Sistema Qualità, ottenuto nel 1996 dall'ente internazionale SGS, secondo la norma UNI EN ISO 9001. Il sistema, implementato attraverso un'accurata progettazione, la selezione e il controllo dei fornitori e dei processi produttivi, l'esecuzione di prove e controlli (sul prodotto finito, sui materiali, le componenti, le lavorazioni) e che garantisce il rispetto di uno standard qualitativo elevato e costante nel tempo.

Scavolini ha anche attivato un sistema di Gestione Ambientale (in base alla norma UNI EN ISO 14001), certificato alla fine del 2004, a garanzia dell'impegno sociale ed ecologico che l'azienda manifesta nel pianificare, mettere in atto e controllare i migliori sistemi possibili per gestire tutte le attività che hanno un impatto sull'ambiente. L'azienda ha scelto di integrare i due Sistemi di Gestione (Qualità e Ambiente), mettendo così in moto quel processo di "miglioramento continuo" che la normativa internazionale e la stessa politica aziendale ritengono indispensabile per garantire nel tempo il totale rispetto dell'ambiente, la piena affidabilità dei prodotti forniti e la soddisfazione dei propri clienti.

### **6.2.1 I prodotti di Scavolini**

Scavolini progetta e produce una vasta collezione di cucine: con 38 modelli e oltre 1.500.000 componenti, offre numerose soluzioni dal punto di vista dei materiali e dei colori, con grandi variabili di gusto e di funzionalità per tutte le esigenze.

### **6.2.2 I materiali**

Tutti i materiali utilizzati da Scavolini sono studiati per garantire durata, funzionalità ed estetica. Di seguito viene fornita una breve descrizione delle tipologie di materiali impiegati per le ante e inseriti all'interno del modello di cucina, fatta eccezione per le tipologie in vetro temperato e in acciaio in quanto meno diffuse [19].

#### **- Ante in laminato HPL (*High Pressure Laminates*)**

Sono composte da un pannello di particelle rivestito con laminato HPL, un materiale composto da una serie di fogli impregnati con resine fenoliche o melaminiche e da un foglio decorativo. Questi vengono incollati tra loro attraverso l'azione di pressione e calore, arrivando così a creare uno spessore di circa 1 mm.

Ha ottime caratteristiche tecniche, è resistente ed igienico. Può essere curvato nei lati, rendendo così possibile un rivestimento continuo nei due bordi del pannello mentre per i bordi restanti può essere utilizzato anche un altro materiale.

- *Ante in laminato polimerico*

Sono composte da un pannello in fibre di legno di media densità (MDF) la cui superficie viene rivestita con un materiale sintetico o PVC di spessore variabile. Questo materiale conferisce al pannello un'estetica gradevole e lo rende altamente resistente alle infiltrazioni dei liquidi e agli urti.

Questo materiale permette di rivestire in maniera continua sia la faccia frontale dell'anta che i quattro bordi laterali.

- *Ante laccate lucide od opache*

L'anta laccata è formata da un pannello di fibre di legno di media densità (MDF), a sua volta verniciato con vernici poliesteri o poliuretatiche. La laccatura può essere opaca o lucida e normalmente ricopre ogni superficie del pannello in modo continuo, ottenendo in questo modo un'anta molto gradevole nell'aspetto perché priva di spigoli o giunzioni di rivestimento.

- *Anta impiallacciata*

È costituita da un pannello la cui superficie è rivestita da fogli di "piallaccio", detto anche "tranciato", ossia un sottile foglio di legno ottenuto attraverso una tranciatura del tronco. Il pannello su cui viene incollato può essere in particelle di legno o in fibra di legno a media densità, mentre i lati dei quattro bordi possono essere rifiniti con lo stesso materiale o con altri, o con listelli di legno massello. Tali scelte costruttive dipendono principalmente dall'aspetto estetico che deve avere l'anta definitiva.

- *Anta in legno massello*

Per la sua costruzione si utilizza il legno prelevato direttamente dal tronco dell'albero che viene trasformato in tavole grezze con dimensioni standardizzate. Da queste tavole, tramite lavorazioni specifiche, si ottengono pezzi dalla forma appropriata per essere poi assemblati tra loro così da formare l'anta definitiva.

- *Anta in vetro temperato*

L'anta è costituita da un telaio in alluminio con finitura acciaio satinato e un pannello interno realizzato in vetro temperato dello spessore di 5 mm. Il vetro temperato assicura il massimo della resistenza e della sicurezza.

- *Ante in acciaio*

Le ante in acciaio sono una soluzione moderna e tecnologica, dall'elevata resa estetica, luminosa e brillante e professionale. L'acciaio utilizzato è acciaio inossidabile 18/10 (AISI 304).

### **6.3 La banca dati del settore legno-arredo**

La banca dati del progetto LAIPP verrà strutturata all'interno di DIM (Data Input Management) ed andrà ad arricchire quella già presente relativa a sei settori produttivi: apparecchiature elettriche ed elettroniche, lavorazioni metalliche, prodotti in legno, arredo per l'ufficio, tessile, arredo urbano. DIM è un software di LCA che si interfaccia automaticamente con eVerDEE e consente

l'inserimento e l'elaborazione dei dati di inventario (insieme degli input ed output di un dato processo o sistema prodotto) e contiene per ogni dataset i metadati<sup>2</sup>, fondamentali per la scelta di un processo o un materiale rispetto ad un altro nelle banche dati di LCA e nell'interpretazione dei risultati.

L'inserimento dei dati verrà comunque fatto sia all'interno di DIM che di GaBi, e i dati verranno modellizzati in modo differente, in funzione delle peculiarità che li contraddistinguono e per i diversi scopi per i quali vengono utilizzati (Figura 7).

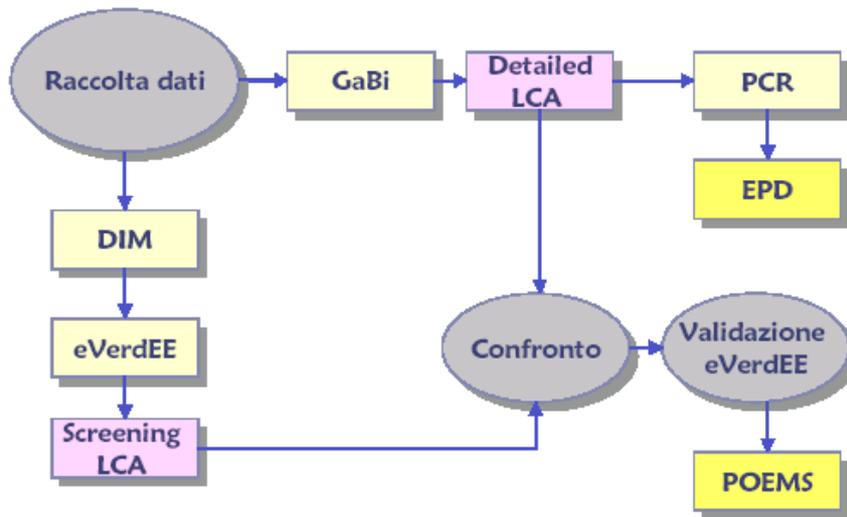


Figura 7 - Utilizzo del software GaBi ed eVerdEE nel progetto LAIPP

In particolare GaBi viene utilizzato per i seguenti scopi [21]:

- certificativi, ossia finalizzati allo sviluppo di PCR/EPD;
- conoscitivi: al fine di identificare i punti critici ambientali delle filiere prodotte considerate;
- di validazione dello strumento eVerdEE, attraverso il confronto tra i risultati ottenibili con i due softwares.

L'inserimento dei dati in DIM e la loro elaborazione, permette invece di arricchire la banca dati di eVerdEE. Il ragionamento alla base è quello che il progetto possa mettere a disposizione delle aziende delle filiere prodotte analizzate, uno strumento semplificato di LCA integrato con le relative banche dati che consenta, in modo verificato, l'identificazione delle criticità ambientali del ciclo dei vita dei prodotti, per poterle gestire in particolare attraverso i POEMS (Sistemi di gestione ambientale orientati al prodotto).

<sup>2</sup> Informazioni tecniche ed amministrative necessarie ad identificare compiutamente il processo a cui si riferiscono i dati di input ed output, come chi ha raccolto i dati, chi li ha verificati, i limiti del sistema, la qualità e rappresentatività, la tecnologia di riferimento, ecc.

### 6.3.1 Struttura della banca dati

Le banche dati di eVerDEE (DIM) e GaBi sono strutturate in modo differente, in entrambe è comunque sempre possibile inserire un nuovo processo di lavorazione, di produzione di materiale, di trattamento di un rifiuto, ecc., con un certo livello di flessibilità.

In DIM sono presenti tre tipologie di dati [21]:

- *Indicatori d'impatto*: effetto serra, acidificazione, eutrofizzazione, consumo di risorse naturali, consumo di energia non rinnovabile, diminuzione dello strato di ozono, consumo di energia rinnovabile, etc;
- *Processi*, suddivisi in due tipologie di dati:
  - Dati generali di LCI (processi relativi alla produzione di energia, ai trasporti, alla produzione dei materiali più comuni) (Tabella 5);
  - Dati specifici di LCI relativi a sei settori produttivi sopra elencati;
- *Flussi elementari*: inputs ed outputs dalla natura

La banca dati presenta una struttura ad albero all'interno della quale tutti i dati vengono classificati secondo lo schema della

CATEGORIA	SOTTO-CATEGORIA
<b>Imballaggi</b>	Vetro
	Metallo
	Carta&cartone
	Plastica/polimeri
	Legno
<b>Energia</b>	Biomasse
	Elettricità
	Combustibili fossili
	Vapore
	altro
<b>Trasporti</b>	Automobili
	Navigazione interna
	Aerei
	Navigazione marittima
	Su rotaia
	Autocarri
<b>Materiali</b>	Ghisa
	Ottone
	Resina epossidica
	PVC
	Polistirene espandibile
	ABS copolimero
	ecc.

**Tabella 5 - General Database**

CATEGORIA	LISTA DI FLUSSI
<i>Input dalla natura</i>	Riserve di ferro
	Gas naturale
	Bauxite
	Acqua
	.....
<i>Output in aria</i>	NOX
	CO2 (fossile)
	CO2 (biomassa)
	CH4
	.....
<i>Output in acqua</i>	NH4+
	NO3-
	AOX
	BOD
	.....
<i>Rifiuti</i>	waste to final disposal, hazardous
	waste to final disposal, non-hazardous
	waste to recovery, hazardous
	waste to recovery, non-hazardous

Figura 8 - Flussi

elementari

Complessivamente le  
sono le seguenti:

categorie presenti

- Materiali e semilavorati
- Componenti
- Processi di lavorazione
- Imballaggio
- Energia
- Trasporti

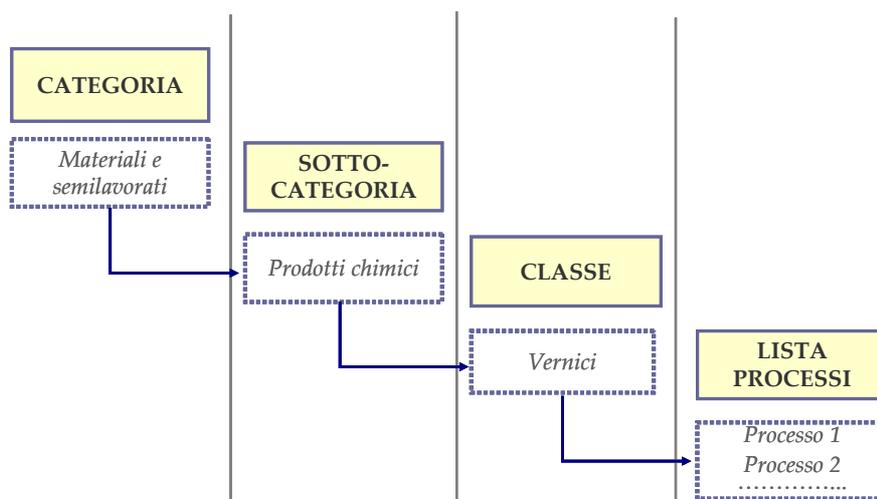


Figura 9 - Struttura della banca dati [21]

La struttura della banca dati di GaBi viene descritta nel capitolo 5.

## 6.4 Revisione della banca dati delle cucine del progetto eLCA

La revisione da me effettuata ha interessato sia i dati implementati all'interno della banca dati di GaBi, che quelli presenti in DIM.

Gli obiettivi principali della revisione erano quelli di valutare:

- la tipologia dei dati (primari o secondari) corrispondenti ai materiali e componenti presenti nella banca dati di settore;
- la qualità dei dati inseriti;
- la completezza;
- le divergenze rispetto ai templates di raccolta dati originali

### 6.4.1. Analisi dei dati

La raccolta dei dati nel progetto eLCA, svolta da Cosmob, era stata effettuata avvalendosi di templates strutturati in 15 fogli di calcolo in excel [21], all'interno dei quali l'operatore addetto alla raccolta doveva inserire informazioni qualitative e quantitative relative a: generalità dell'azienda, materiali per la produzione, imballaggio con cui il componente/semilavorato/materiale arriva in azienda, distanze coperte dai fornitori e tipologia del mezzo di trasporto impiegato, consumo d'acqua, di elettricità e di combustibile, modalità con cui si effettua la distribuzione e l'imballaggio del prodotto finito, emissioni ad aria e in acqua, rifiuti classificati secondo il Catalogo Europeo dei Rifiuti [22], e un sommario all'interno del quale venivano implementati automaticamente i valori numerici inseriti in precedenza, raggruppati per voci di consumo (figura 10).

In questo modo il sommario era predisposto per effettuare direttamente l'inserimento dei dati all'interno della banca dati, previa revisione.

La fase di elaborazione dei dati, necessaria per "adattare" i dati raccolti alla struttura delle banche dati e alle finalità del progetto, era stata complicata da una serie di fattori [19]:

- La procedura di calcolo automatica implementata nel foglio "summary" non ha funzionato correttamente, per cui non è stato possibile far riferimento direttamente ai dati contenuti in quella sezione;
- L'inserimento dei dati all'interno dei templates non sempre ha rispettato le modalità indicate, causando così anche errori alle procedure automatiche di calcolo;
- I dati riportati non sempre si riferivano all'unità funzionale;
- Alcuni dati erano mancanti o incompleti;
- I procedimenti di calcolo non sono stati documentati.

Oltre agli aspetti logistici, le problematiche maggiori erano dovute al fatto che non erano state documentate le procedure di inserimento e di prima elaborazione dei dati.

Per consentire un'elaborazione numerica più agevole, sono stati messi a punto dei nuovi files excel, denominati "template di lavoro" [23], che hanno svolto la funzione di intermediari tra i templates utilizzati per la raccolta e l'inserimento diretto in DIM e GaBi 4 (Figura 11)

Per le problematiche sopra descritte una revisione dei dati era quanto mai necessaria soprattutto ai fini di un loro utilizzo nel progetto LAIPP.

I dati contenuti all'interno di GaBi non erano stati documentati a sufficienza, quindi il primo aspetto è stato quello di capire se i dati relativi a materiali e componenti presenti nella banca dati erano **primari o secondari**, cioè raccolti direttamente dai fornitori di Scavolini o derivanti dalle banche dati di GaBi (o da altre fonti).

Ho quindi confrontato ciascun template di lavoro con le schede input/output di GaBi identificando i dati primari e quelli secondari.

Sempre confrontando i singoli templates con i dati di GaBi, ho successivamente evidenziato:

- i dati presenti nel template di lavoro ma che **non sono stati inseriti in GaBi** (spesso non ne è stato documentato il motivo, quindi andrà verificato con gli esperti di settore se il dato escluso è significativo o meno);
- utilizzo della **terminologia commerciale** in GaBi, non sempre idonea ai fini di una banca dati di settore;
- **divergenze numeriche** tra i dati nei templates e quelli presenti in GaBi (soprattutto relativamente ai consumi di energia. Sarà da verificare se si tratta di errori o di elaborazioni successive in quanto non è stato documentato).
- mancanza di **documentazione** rispetto alle semplificazioni o assunzioni effettuate nell'inserimento dei dati in GaBi. (alcuni dati sono stati aggregati, altri omessi, andrà verificata la ragione e la correttezza di tali operazioni).

Ho documentato tutte queste informazioni su ciascun template di lavoro, in modo che sia possibile in una fase successiva integrare e correggere i dati della banca dati

Parallelamente A. Zamagni ha effettuato il controllo con i dati inseriti in DIM e Scavolini un'analisi ed aggiornamento dei templates originali da loro raccolti ed elaborati.



## Distribution

Please supply information which represents the typical distribution in relation to all the selected product units manufactured.

Where the distribution includes more than one form of transport please detail each on a separate line.

*For further information on how to enter distribution data please see data collection guidance*

Transport truck	Transport other	Fuel	Consumption	Units	Distance	units	Load (tonnes)	Comments
7.5t E4		gasoline	5	km/l	20	km	0,02	
7.5t E4		gasoline	5	km/l	740	km	0,00018	
7.5t E4		gasoline	5	km/l	160	km	0,00049	

Figura 10 - Template utilizzato per raccolta dati: esempio della tipologia di dati richiesti

Functional unit

	Output product	Amount	Unit	kg/product	Add.info
A	struttura base	1	unit	14,0025454	La struttura comprende: <b>cieli, fondi, fianchi e ripiani.</b>
B					Ho tolto i rifiuti della scivolini perché il pezzo deve essere al netto di tutti i trucioli che invece sono conteggiati negli input
C					
D					

	Packaging of output product	Amount	Unit	Unit/product	Add.info
A					
A					
A					
A					
B					
B					
C					
C					
C					
C					
D					

0

### SUB-PROCESS

INPUT

	Materials/Components	Amount	Unit	D.Quality	Add.info
1	lomarpref	13,5459	kg		rifiuti scivolini
2	schiene in masonite	1,41912			rifiuti scivolini
3	basette	0,02		2	inserisco metallo 0.12
4	cemiere	0,1		2	
5	colla vinilica	0,026			
		<b>15,1111</b>			

	Transport of materials/comp	Amount	Unit	D.Quality	Add.info
1	7.5t E3	4063,78	kgkm		faccio 2 camion 1 per i fianchi e 1 per cieli/fondi
2	7.5t E3	1438,99			
3	7.5t E3	14,88			
4	7.5t E3	74,4			
5	7.5t E3	3,692			
		<b>5595,74</b>			

	Packaging of materials/comp	Amount	Unit	D.Quality	Add.info
1	pallet	0,0168	kg		credo che la bottiglia pesi troppo poco
1	Pe foil	0,016	kg		
1	reggette PP	0,00448	kg		
1		0			
2	reggette PP	0,00045	kg		
2		0			
2		0			
2		0			
3	bancalino	0,00002	kg		
3	corrugate carbon	0,00107	kg		
3		#DIV/0!	#DIV/0!		
3		0			
4	bancalino	0,00006	kg		
4	corrugate carbon	0,0032			
4		#DIV/0!	#DIV/0!		
4		0			
5	Pe bottle	0,0016	kg		proporzionale al peso
11					

Figura 11 – Esempio di template di lavoro utilizzato per la rielaborazione dei dati raccolti

---

## 6.5 Revisione del modello di cucina implementato in GaBi

In particolare ho analizzato nel dettaglio il modello sviluppato all'interno di GaBi nel corso del progetto eLCA [19], utilizzando le banche dati descritte precedentemente.

In particolare ho analizzato:

- il **modello complessivo** della “cucina tipo” creato all'interno del software;
- i **parametri** utilizzati;

Ho innanzitutto cercato di capire la logica con cui tale modello è stato creato (in particolare i plans) e valutato i parametri inseriti, ai fini di un utilizzo nel progetto LAIPP.

### 6.5.1 Il prodotto cucina

Nel progetto eLCA, per la scelta del prodotto sono state fatte considerazioni di mercato legate al fatto che quasi il 50% dei consumatori sceglie una cucina di tipo tradizionale, generalmente realizzata in legno, anche se è sempre più frequente l'abbinamento di materiali naturali ad altri a maggior contenuto tecnologico come alluminio, acciaio per i piani di lavoro, cappe e maniglie di antine e cassetti [23].

Relativamente alla struttura della cucina, è stata individuata una “cucina tipo”, terminologia introdotta per definire un prodotto estremamente complesso quale è la cucina, in quanto costituita da un numero variabile di componenti caratterizzati da materiali, rivestimenti ed accessori diversi.

Nello studio realizzato sono state considerate solo le strutture elementari della cucina, costituite da basi e pensili con ante o cassetti, piani di lavoro e maniglie e quindi il concetto di “cucina tipo” indica una struttura che non corrisponde ad alcun modello realmente esistente sul mercato ma è rappresentativa della tipologia “media” di cucina acquistabile dal cliente. Su questa sono state poi applicate le diverse soluzioni di forma e materiale ottenendo così le diverse varianti.

La struttura delle cucine componibili è comprensiva di cielo, fondo e fianchi ed è realizzata con pannelli di particelle di legno, nobilitati sui due lati con finitura melaminica opaca. La schiena è costituita da un pannello di fibra di legno stampato e verniciato.). Questa struttura può essere considerata sempre costante in quanto le varianti differiscono le une dalle altre solo per quanto riguarda il colore della carta melaminica.

Elementi quali rubinetterie, portasalviette, elettrodomestici, ecc. non sono stati analizzati perché al di fuori dei confini del sistema.

Per le varianti della cucina sono stati scelti una serie di materiali relativamente a ante, piani di lavoro (o top) e maniglie. La scelta è avvenuta secondo il criterio del maggior utilizzo.

#### a) Antine

Il materiale più utilizzato è rappresentato dal laminato (36% delle vendite), seguito dal legno massello (25%). Seguono per importanza le ante impiallacciate (20%) e laccate (16%).

#### b) Top

Sono stati scelti i seguenti materiali: laminato (al primo posto con il 73% delle vendite), quarzi, graniti e marmi (considerati insieme sotto la voce pietre naturali, 8%) e ceramiche (3%). Anche in questo caso la scelta è stata condizionata da dati quantitativi basati sulle richieste del mercato a livello nazionale ed europeo.

---

c) Maniglie

Si tratta di un prodotto estremamente diversificato per cui, data l'enorme quantità di modelli presenti sul mercato, sono stati identificati quelli più venduti della produzione specifica di Scavolini, composti dai materiali più comuni sul mercato: zama, alluminio e ceramica.

### **6.5.2 Analisi del modello LCA**

È stata definita una struttura comune su cui, di volta in volta, fosse possibile sostituire i diversi modelli di ante, maniglie abbinata e top.

Sono poi stati creati i plans che contengono [19]:

- Produzione dei materiali principali ed ausiliari;
- l'imballaggio e il trasporto dei materiali principali ed ausiliari fino all'impianto in cui vengono prodotti i componenti della cucina (ad es. la maniglia in zama, l'anta in laminato, i piani di lavoro in marmo, ecc.);
- l'imballaggio e il trasporto dei componenti finiti della cucina a Scavolini per il montaggio degli stessi (struttura + piano + maniglia + top).

I dati forniti sull'assemblaggio che avviene all'interno di Scavolini corrispondono ai consumi per il montaggio della struttura e porte ma non a quello di maniglie e top; pertanto non sono stati considerati nello studio in GaBi4, assumendo che vengano montati nella fase d'uso dai clienti, a consegna avvenuta.

Componenti cucina	Tipo di componente	Misura	Peso	Unità
Struttura	Pensile			
	Wall unit 90x73	90x73 cm	14,361	kg
	Pensile			
	Wall unit 45x73	45x73 cm	9,836	kg
	Base lavello			
	Sink base unit 90x73	90x73 cm	19,236	kg
	Base per forno + 1 cassetto			
	Oven base unit 60x73+1 drawer	60x73 cm	20,032	kg
	Armadietto			
	Larder unit 60x127	60x127 cm	27,531	kg
	Colonna Frigorifero			
	Fridge housing unit 60x210	60x210 cm	37,258	kg
	Scolapiatti			
	Draining board 60x73	60x73 cm	11,972	kg
	Pensile ad angolo			
	Corner wall unit 90x103	90x103 cm	26,895	kg
	Base ad angolo			
	Corner base unit 90x73	90x73 cm	21,694	kg
	Base + 4 cassetti			
	Base unit 60x73+4 drawers	60x73 cm	32,707	kg
Base + 2 cassetti				
Base unit 60x73+2 drawer	60x73 cm	26,25	kg	
Base				
Base unit 45x73	45x73 cm	14,381	kg	
Ante/cassetti	MDF laccato			
	Lacquered MDF Door	1 m <sup>2</sup>	17,768	kg
	Pannello particelle laminato			
	Laminated Particleboard Door	1 m <sup>2</sup>	14,498	kg
	Pannello particelle nobilitato			
	Melamine Particleboard Door	1 m <sup>2</sup>	11,675	kg
	Verniciata			
	Painted Veneered Door	1 m <sup>2</sup>	14,466	kg
	Legno massello			
Solid wood Door	1 m <sup>2</sup>	13,23	kg	
Piani di lavoro	Ceramica			
	Ceramic worktop	4x0,6 m	93,433	kg
	Granito			
	Granite worktop	4x0,6 m	160	kg
	Pannello laminato			
	Laminated particleboard worktop	4x0,6 m	49,11	kg
	Marmo Carrara			
	Marble Carrara worktop	4x0,6 m	154	kg
	Quarzo			
Quartz worktop	4x0,6 m	167,15	kg	
Maniglie	Alluminio			
	Aluminium Handle	per pezzo	0,702	kg
	Ceramica			
	Ceramic Handle	per pezzo	0,049	kg
	Lega Zama			
Zama Handle	per pezzo	0,205	kg	

Figura 12 - Componenti modellizzati nel software GaBi [19]

Schematicamente la "cucina tipo" presenta questa struttura:

- struttura assemblata;
- maniglia (zama, ceramica, alluminio);
- piano di lavoro (laminato, marmo, quarzo, granito, ceramica).

In Figura 13 è rappresentato il diagramma di flusso realizzato in GaBi.

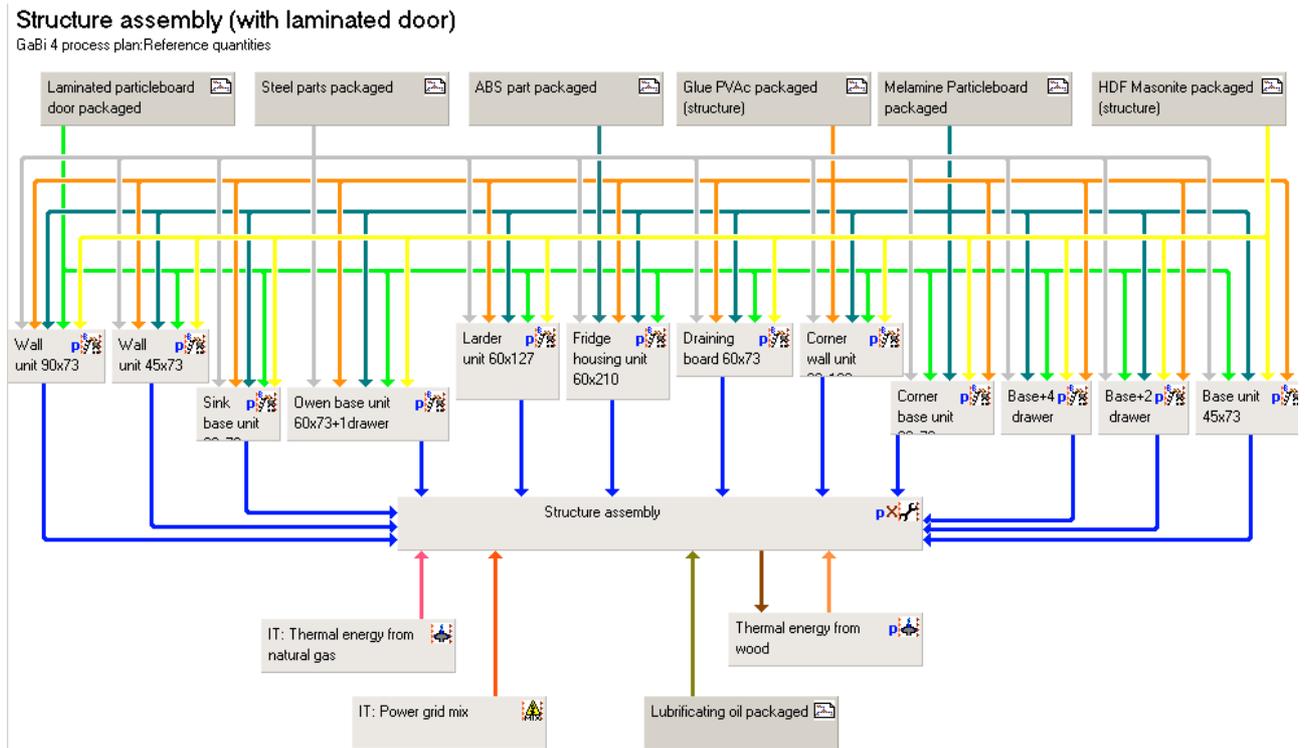


Figura 13 - Processo parametrizzato per l'assemblaggio della struttura e delle porte [19].

La struttura assemblata a sua volta risulta composta da due elementi:

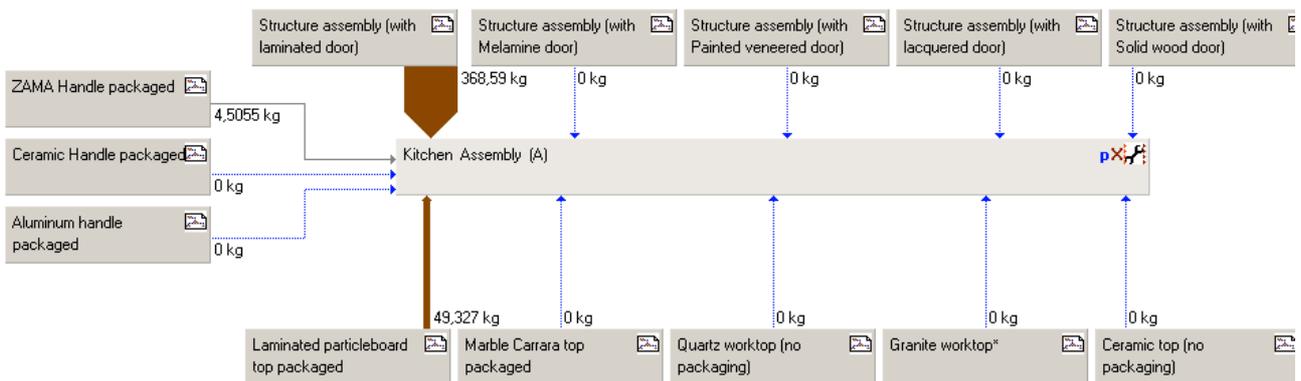
- ante (laminato, melaminico, impiallacciate verniciate, laccate, legno massello);
- struttura ad anello dei componenti, comprensiva di cieli, fondo, fianchi e schiena.

Questa struttura è invariata per tutti i dodici componenti della cucina, come è illustrato in Figura 14.

### Kitchen Assembly-no process (A)

GaBi 4 process plan: Mass  
The names of the basic processes are shown.

Le maniglie, struttura con porte e il top sono considerati da "cradle to gate".  
Nel assemblaggio cucina A è considerata da "cradle to grave" pero senza la fase di distribuzione.  
Le 12 strutture utilizzano un totale di 21 maniglie per i cassetti e porte.  
Un top di 4mx60cm copre tutte le strutture di base.



**Figura 14: Modello flessibile e parametrizzato che simula un processo di assemblaggio dove è possibile scegliere un piano di lavoro, una maniglia e una struttura con la porta considerata [19].**

Dal punto di vista grafico il modello appare assai complesso, in realtà l'uso dei parametri – a livello di processo, di piano e di modello complessivo – ha consentito di creare una struttura estremamente flessibile in quanto agendo solamente su questi è possibile realizzare ogni volta un diverso modello di cucina, combinando la tipologia di anta, la maniglia e il piano di lavoro.

In questo caso il parametro di scelta è rappresentato dalla funzione 0-1, ossia 1 corrisponde alla scelta di una data tipologia di componente, 0 corrisponde alla situazione invariata.

È possibile agire anche su parametri relativi alle dimensioni, per variare il peso dei componenti e il loro ingombro.

Alcuni aspetti del modello sono stati discussi anche con gli esperti di settore e con Scavolini, e nel suo complesso è stato ritenuto consono agli obiettivi del progetto LAIPP e pertanto validato.

---

Sulla base di quanto già costruito si andrà ad implementare la banca dati di settore e si procederà con l'inserimento di nuovi componenti, mantenendo questa impostazione di base.

## 7. CONFRONTO TRA DUE COMPONENTI DELLA CUCINA COMPONIBILE CON IL SOFTWARE GaBi

Per applicare direttamente il software GaBi ad un caso reale, ho effettuato un confronto tra due componenti della cucina, con i seguenti obiettivi:

- **Formativo**: per apprendere come viene effettuata l'analisi degli impatti ambientali nell'ambito della metodologia LCA, ed in particolare con il software GaBi;
- **Testare il modello di cucina**;
- **Confrontare due componenti significativi** della cucina al fine di identificare quello a maggiore impatto ambientale.

Nella lettura di questo capitolo si deve quindi tener presente che il livello di dettaglio e approfondimento dell'analisi è stato calibrato sugli obiettivi sopra elencati.

### 7.1 Metodologia utilizzata

Per il confronto sono stati scelti due modelli di ante costituite da materiali diversi: un'anta in laminato (Laminated particleboard door), con struttura in MDF, e un'anta nobilitata (Melamine particleboard door), con struttura in truciolare.

Per l'analisi degli impatti è stato utilizzato il metodo CML 2001 (descritto nel paragrafo 5.7), limitatamente alle fasi di **caratterizzazione e normalizzazione** per le ragioni espresse nel par. 3.6.3. In Figura 15 e Figura 16 sono riportati i plans dei due componenti oggetto del confronto.

L'**unità funzionale** è rappresentata da 1 anta comprensiva dell'imballo, del peso indicato (al centro della figura).

In ciascun plan si vedono chiaramente tutti i flussi connessi alla produzione dell'anta (materiali, processi, imballaggi, trasporti) con i rispettivi flussi di riferimento.

Il software GaBi inoltre, in fase di realizzazione dei diagrammi di flussi, consente di personalizzare la visualizzazione del diagrammi di Sankey in modo da riconoscere a prima vista i flussi di materia e di energia. In questo specifico plan:

- freccia rossa: carburante per il trasporto;
- freccia blu: materiali;
- freccia arancio: energia.

A ciascun box grigio (es. Detergent packaged) corrisponde a sua volta un processo della banca dati comprensivo – se opportuno - dei rispettivi imballaggi e trasporti.

Nei singoli plan vengono quindi visualizzati tutti i fattori su cui verrà effettuata l'analisi degli impatti ambientali.

Nei prossimi paragrafi vengono riportati i risultati principali delle fasi di caratterizzazione e normalizzazione.

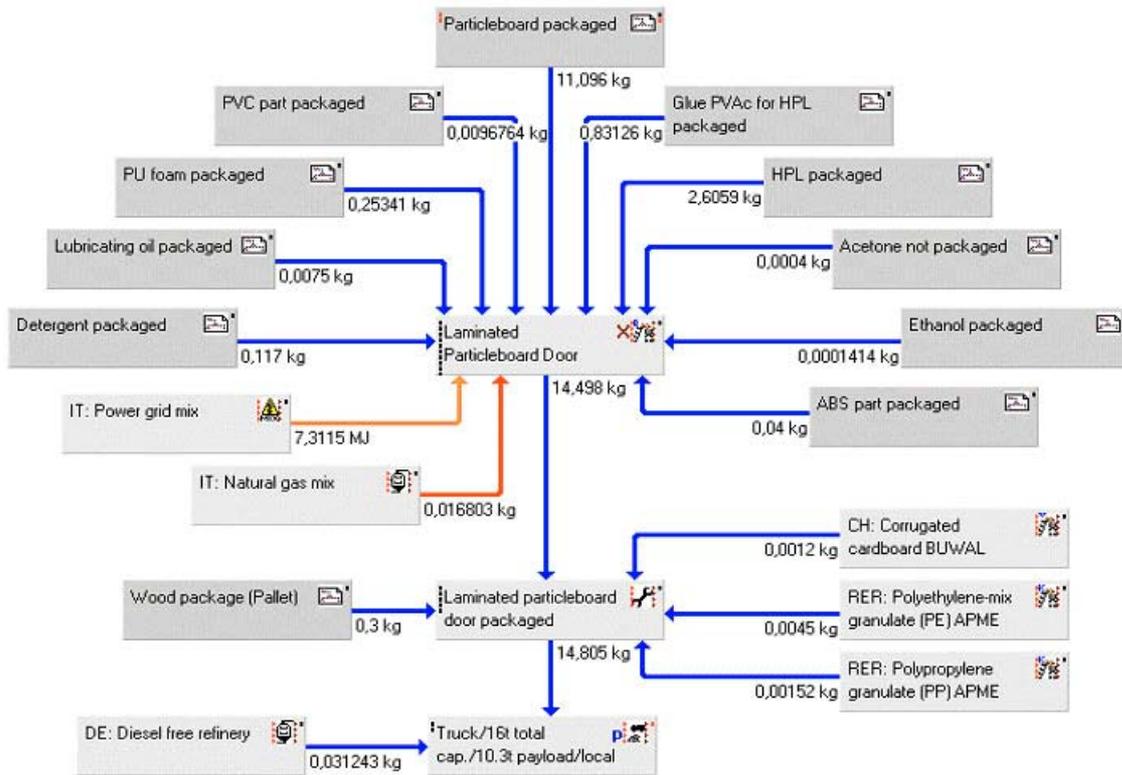


Figura 15 - Plan dell'anta in laminato

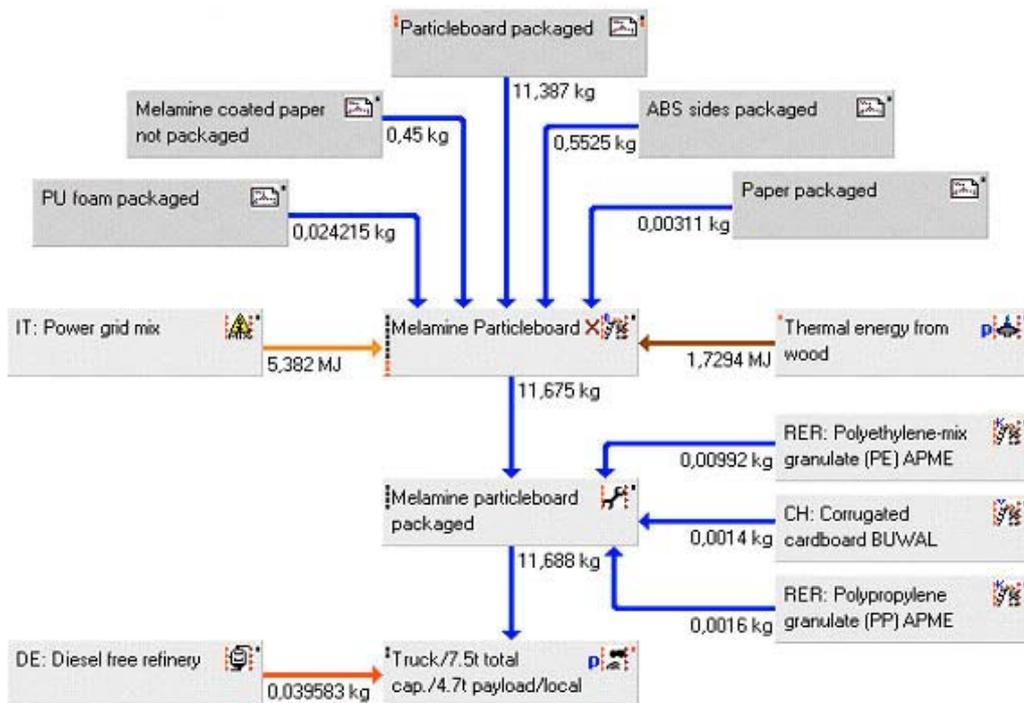


Figura 16 - Plan dell'anta nobilitata

## 7.2 Caratterizzazione

In Tabella 6 e Tabella 7 sono riportati i risultati della caratterizzazione.

Le due ante sono state analizzate sulla base delle categorie ambientali del metodo CML 2001: l'esaurimento di risorse abiotiche, l'acidificazione, l'eutrofizzazione, l'ecotossicità in acqua dolce, il riscaldamento globale, la tossicità umana, l'ecotossicità marina, la riduzione dell'ozono stratosferico, l'ossidazione fotochimica, la radiazione radioattiva e l'ecotossicità terrestre.

Ad ogni categoria della Tabella 5 viene quindi associato il valore della caratterizzazione, che esprime il contributo complessivo di ciascuna ante al problema ambientale.

Si può notare che l'anta in laminato risulta contribuire in modo maggiore a quasi tutte le categorie ambientali. Nella tabella 6 sono riportati gli stessi valori in percentuale.

Environmental quantities	Tot.	Laminated door	Melamine door
Abiotic Depletion (ADP) [kg Sb-Equiv.]	1,28E-03	1,18E-04	1,16E-03
Acidification Potential (AP) [kg SO2-Equiv.]	1,36E-01	7,88E-02	5,75E-02
Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate-Equiv.]	1,59E-2	9,66E-03	6,29E-03
Freshwater Aquatic Ecotoxicity Pot. (FAETP inf.) [kg DCB-Equiv.]	6,53E-02	4,12E-02	2,40E-02
Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO2-Equiv.]	2,25E+01	1,48E+01	1,03E+01
Human Toxicity Potential (HTP inf.) [kg DCB-Equiv.]	1,56	8,69E-01	6,95E-01
Marine Aquatic Ecotoxicity Pot. (MAETP inf.) [kg DCB-Equiv.]	2,04E+03	1,11E+03	9,23E+02
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]	3,70E-06	2,63E-06	1,07E-06
Photochem. Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	2,00E-02	1,26E-02	7,43E-03
Radioactive Radiation (RAD) [DALY]	1,90E-08	1,07E-08	8,28E-09
Terrestrial Ecotoxicity Potential (TETP inf.) [kg DCB-Equiv.]	2,60E-02	1,09E-02	1,51E-02

Tabella 6 -Risultati della caratterizzazione

Environmental quantities	Tot.	Laminated door	Melamined door
Abiotic Depletion (ADP) [kg Sb-Equiv.]	100%	9,20%	90,80%
Acidification Potential (AP) [kg SO2-Equiv.]	100%	57,74%	42,26%
Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate-Equiv.]	100%	60,56%	39,44%
Freshwater Aquatic Ecotoxicity Pot. (FAETP inf.) [kg DCB-Equiv.]	100%	63,20%	36,80%
Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO2-Equiv.]	100%	58,92%	41,08%
Human Toxicity Potential (HTP inf.) [kg DCB-Equiv.]	100%	55,57%	44,43%
Marine Aquatic Ecotoxicity Pot. (MAETP inf.) [kg DCB-Equiv.]	100%	54,73%	45,27%
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]	100%	71,20%	28,80%
Photochem. Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	100%	62,97%	37,03%
Radioactive Radiation (RAD) [DALY]	100%	56,44%	43,56%
Terrestrial Ecotoxicity Potential (TETP inf.) [kg DCB-Equiv.]	100%	42,06%	57,94%

Tabella 7 - contributo percentuale delle due ante a ciascun problema ambientale

### 7.3 Normalizzazione

Per questa fase è stata utilizzato il metodo CML 2001 con i dati relativi all'Europa Occidentale. La Tabella 8 e Figura 17 mostrano il contributo normalizzato per ogni categoria in modo da evidenziare quelle più rilevanti.

L'ecotossicità marina sembra essere il problema maggiore; seguono il riscaldamento globale e l'acidificazione che hanno quasi lo stesso peso sull'ambiente (circa 1/3 della categoria a maggiore impatto). L'ossidazione fotochimica corrisponde al 1/5 ed infine l'acidificazione. I colori nella tabella corrispondono ai colori delle categorie a maggiore impatto riportate nel grafico.

Environmental quantities	Tot.	Laminated door	Melamine door
Abiotic Depletion (ADP) [kg Sb-Equiv.]	8,65E-14	7,96E-15	7,86E-14
Acidification Potential (AP) [kg SO <sub>2</sub> -Equiv.]	4,99E-12	2,88E-12	2,11E-12
Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate-Equiv.]	1,28E-12	7,75E-13	5,05E-13
Freshwater Aquatic Ecotoxicity Pot. (FAETP inf.) [kg DCB-Equiv.]	1,29E-13	8,18E-14	4,76E-14
Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO <sub>2</sub> -Equiv.]	5,31E-12	3,13E-12	2,18E-12
Human Toxicity Potential (HTP inf.) [kg DCB-Equiv.]	2,07E-13	1,15E-13	9,19E-14
Marine Aquatic Ecotoxicity Pot. (MAETP inf.) [kg DCB-Equiv.]	1,80E-11	9,84E-12	8,14E-12
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]	4,46E-14	3,17E-14	1,28E-14
Photochem. Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	2,44E-12	1,53E-12	9,02E-13
Radioactive Radiation (RAD) [DALY]	3,91E-13	2,21E-13	1,70E-13
Terrestrial Ecotoxicity Potential (TETP inf.) [kg DCB-Equiv.]	5,51E-13	2,32E-13	3,19E-13

Tabella 8 - Risultati della normalizzazione

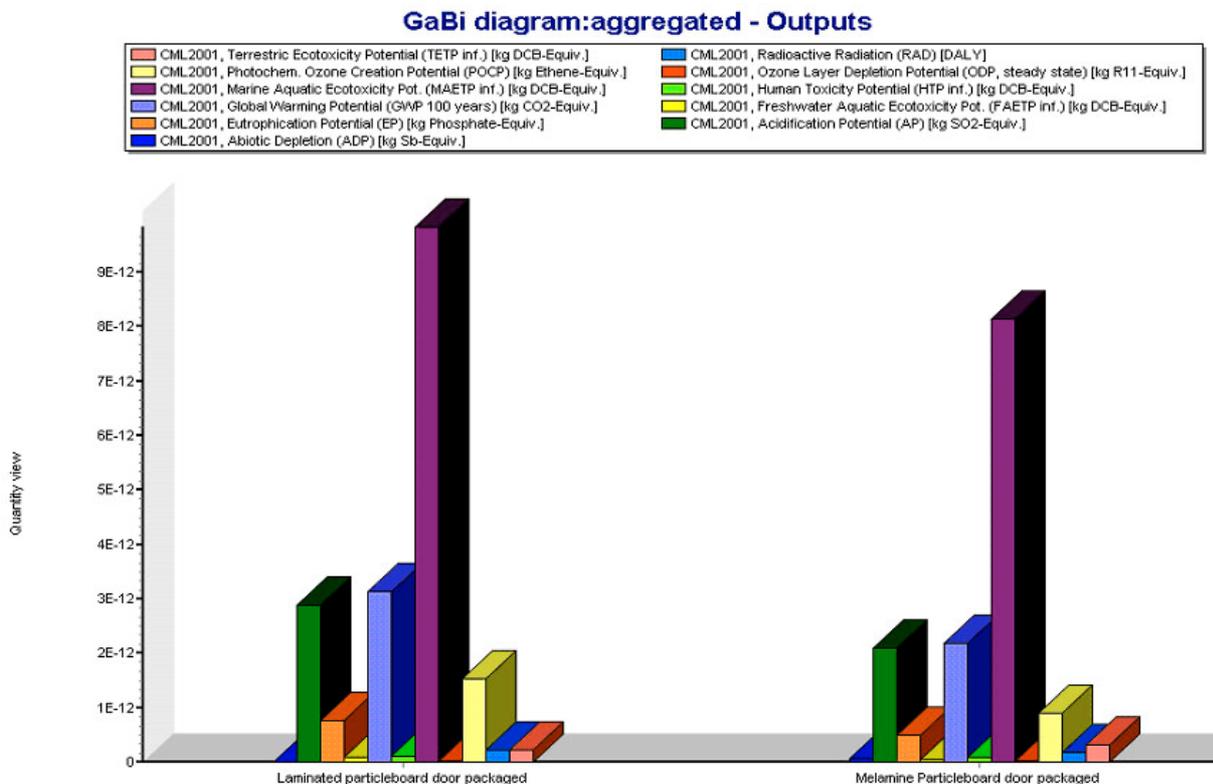


Figura 17 - Grafico di normalizzazione

---

Per capire la causa del maggiore impatto ambientale dell'anta in laminato sono andata ad esaminare singolarmente il plan. Ho potuto vedere in che modo i materiali di produzione e gli altri fattori considerati influiscono sulle differenti categorie ambientali ed individuare quelli che causano il maggior effetto negativo (Tabella 9).

La tabella mostra come i fattori che presentano gli effetti maggiori sui problemi ambientali evidenziati con la normalizzazione sono: la produzione del pannello truciolare di cui è costituita l'anta, il laminato ad alta pressione che la riveste, l'energia elettrica utilizzata, la colla Pvac ed infine la schiuma poliuretana utilizzata nel processo di rivestimento.

Nella Tabella 9 e **Tabella 10** si riportano infine i valori della caratterizzazione in percentuale relativi ai singoli materiali, componenti e processi dell'anta in nobilitato.

Environmental quantities	Laminated particleboard	ABS part packaged	Detergent packaged	Glue PVAc for HPL packaged	HPL packaged	Lubricating oil packaged	Particleboard packaged	PU foam packaged	PVC part packaged	Wood package (Pallet)	DE: Diesel free refinery	IT: Natural gas mix	IT: Power grid mix	RER: Polyethylene-mix granulate (PE) APME	RER: Polypropylene granulate (PP) APME	Truck/16t total cap./10.3t payload/local	Altro
Abiotic Depletion (ADP) [kg Sb-Equiv.]	100%	76%	-	-	-	-	-	24%	-	-	-	-	-	-	-	-	0,50%
Acidification Potential (AP) [kg SO2-Equiv.]	100%	0,87%	0,65%	6%	21%	0,03%	49%	10,27%	0,23%	0,22%	0,09%	0,06%	10%	0,08%	0,03%	1,11%	0,15%
Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate-Equiv.]	100%	0,67%	0,49%	6%	27%	0,02%	45%	12,18%	0,22%	0,17%	0,10%	0,01%	6%	0,07%	0,02%	1,50%	0,18%
Freshwater Aquatic Ecotoxicity Pot. (FAETP inf.) [kg DCB-Equiv.]	100%	0,42%	0,07%	21%	29%	0,05%	40%	0,88%	0,01%	0,15%	0,29%	0,01%	8%	-	-	0,02%	0,35%
Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO2-Equiv.]	100%	0,89%	0,29%	9%	28%	0,06%	44%	7,65%	0,15%	0,19%	0,08%	0,03%	9%	0,04%	0,01%	0,66%	0,23%
Human Toxicity Potential (HTP inf.) [kg DCB-Equiv.]	100%	0,13%	0,14%	6%	14%	0,37%	61%	0,75%	0,02%	0,30%	0,12%	-	17%	0,01%	-	0,15%	0,39%
Marine Aquatic Ecotoxicity Pot. (MAETP inf.) [kg DCB-Equiv.]	100%	0,43%	0,20%	5%	16%	0,06%	56%	0,01%	-	0,35%	0,08%	-	20%	0,01%	-	1,63%	0,12%
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]	100%	0,01%	0,14%	19%	41%	0,15%	32%	0,11%	-	0,12%	1,50%	-	6%	-	-	-	0,12%
Photochem. Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	100%	0,47%	0,57%	13%	28%	0,09%	43%	4,34%	0,26%	0,20%	0,70%	0,09%	8%	0,11%	0,03%	0,89%	0,27%
Radioactive Radiation (RAD) [DALY]	100%	-	0,10%	6%	17%	0,07%	59%	-	-	0,30%	0,03%	-	17%	-	-	-	0,10%
Terrestrial Ecotoxicity Potential (TETP inf.) [kg DCB-Equiv.]	100%	5,09%	0,11%	7%	16%	0,05%	54%	0,04%	-	0,30%	0,17%	0,04%	17%	-	-	0,01%	0,14%

Tabella 9 - Risultati della caratterizzazione in percentuale per l'anta in laminato

Environmental quantities	Melamine particleboard	ABS sides packaged	Melamine coated paper not packaged	Paper packaged	Particleboard packaged	PU foam packaged	CH: Corrugated cardboard BUWAL	DE: Diesel free refinery	IT: Power grid mix	RER: Polyethylene-mix granulate (PE) APME	RER: Polypropylene granulate (PP) APME	Thermal energy from wood	Truck/7.5t total cap./4.7t payload/local	Altro
Abiotic Depletion (ADP) [kg Sb-Equiv.]	100%	99,80%	-	-	-	0,20%	-	-	-	-	-	-	-	-
Acidification Potential (AP) [kg SO2-Equiv.]	100%	15,72%	4,93%	0,03%	65,83%	1,10%	-	0,15%	10%	0,25%	0,05%	0,12%	1,71%	0,11%
Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate-Equiv.]	100%	13,62%	7,88%	0,04%	66,65%	1,43%	0,01%	0,19%	7%	0,23%	0,03%	0,37%	2,55%	-
Freshwater Aquatic Ecotoxicity Pot. (FAETP inf.) [kg DCB-Equiv.]	100%	9,69%	7,65%	0,10%	71,16%	0,13%	0,01%	0,62%	10%	0,02%	-	-	0,06%	0,56%
Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO2-Equiv.]	100%	16,79%	8,79%	0,01%	62,30%	0,84%	-	0,15%	10%	0,12%	0,02%	-	1,20%	0,54%
Human Toxicity Potential (HTP inf.) [kg DCB-Equiv.]	100%	2,25%	3,15%	0,02%	78,40%	0,08%	-	0,20%	15%	0,02%	-	0,16%	0,21%	0,51%
Marine Aquatic Ecotoxicity Pot. (MAETP inf.) [kg DCB-Equiv.]	100%	6,90%	4,44%	0,07%	70,30%	0,02%	-	0,12%	17%	0,04%	0,01%	-	3,30%	-
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]	100%	0,93%	9,30%	0,06%	73,96%	0,04%	0,01%	4,70%	11%	-	-	-	-	-
Photochem. Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	100%	10,75%	5,01%	0,02%	68,78%	0,66%	-	1,51%	10%	0,40%	0,05%	0,52%	2,30%	-
Radioactive Radiation (RAD) [DALY]	100%	0,02%	5,67%	-	78,00%	-	-	0,06%	16%	-	-	-	-	0,25%
Terrestrial Ecotoxicity Potential (TETP inf.) [kg DCB-Equiv.]	100%	48,29%	2,38%	-	39,86%	0,01%	-	0,15%	9%	-	-	-	0,01%	0,30%

Tabella 10 - Risultati della caratterizzazione in percentuale per l'anta in nobilitato



---

## CONCLUSIONI

L'analisi del ciclo di vita dei prodotti (LCA) si sta affermando come un importante strumento a supporto delle decisioni di politica ambientale e di quelle più prettamente di tipo tecnico, grazie al crescente interesse verso le problematiche di risparmio di energia e di materiali, fattore che costituisce un nuovo modo di pensare la produzione e in cui si investe anche ai fini di un vantaggio competitivo. La complessità e la difficile applicazione della LCA soprattutto per le Piccole e Medie Imprese (gestione di dati, disponibilità di strumenti quali banche dati, softwares) possono essere superati dalla realizzazione degli strumenti come eVerDEE e di banche dati LCI di settore come quella in corso di realizzazione con il progetto LAIPP, nell'ambito del quale ho svolto il mio stage.

Lo stage svolto presso l'ENEA mi ha permesso di capire l'importanza e il livello di complessità di uno studio LCA di dettaglio e soprattutto della necessità di effettuare una revisione critica per valutare lo studio. La revisione da me effettuata, che ha riguardato sia la banca dati di settore che un modello di LCA per le cucine componibili (implementati nel software GaBi 4) mi ha permesso di comprendere tutti gli aspetti su cui si concentrano le maggiori difficoltà nell'applicazione di questa metodologia: uso di dati secondari, gestione dei dati mancanti, importanza di documentare con precisione i dati e le assunzioni e semplificazioni effettuate (metadati), utilizzo di una corretta terminologia tecnica dei processi e dei materiali all'interno della banca dati, impostazione del modello tale da permettere di considerare tutte le varianti progettuali, indispensabile per un prodotto modulare come le cucine, ed altri aspetti che sono emersi nel corso dell'analisi.

Purtroppo il tempo a mia disposizione non mi ha consentito di approfondire adeguatamente il confronto tra le due ante della cucina e di indagare nel dettaglio i fattori che influenzano maggiormente gli impatti ambientali evidenziati.

L'applicazione diretta del software GaBi mi ha permesso però di acquisire dimestichezza con le sue funzioni e di confrontarlo con un altro software di LCA largamente diffuso (SimaPro) e con eVerdee, software per effettuare LCA di screening, ideato per le piccole e medie imprese



---

## BIBLIOGRAFIA

- [1] [www.bologna.enea.it](http://www.bologna.enea.it), in attività “*Sviluppo di metodologie , modelli e strumenti per l’eco-progettazione*”;
- [2] [www.laipp.it](http://www.laipp.it)
- [3] [www.scavolini.com](http://www.scavolini.com)
- [4] [www.gabi.de](http://www.gabi.de); [www.gabi-software.com](http://www.gabi-software.com)
- [5] Carnimeo G., Frey M., Araldo F., “*Gestione del prodotto e sostenibilità*”, IEFE Bocconi 2001;
- [6] SETAC, “*Guidelines for Life Cycle Assessment: a code of practice*”, Bruxelles, 1993;
- [7] F. Cappellaro, “*Introduzione alla LCA*”, Rapporto Tecnico, 2001;
- [8] UNI EN ISO 14040 :1998 ([www.iso.org](http://www.iso.org))
- [9] Commissione Europea, “*Libro verde sulle Politiche Integrate di Prodotto*”, febbraio 2001;
- [10] ISO International Standard Organisation, “*ISO 14000 – Meet the whole family!*”, ISO Document 1998-10/10000, 1998;
- [11] Graedel T.E., Allenby B.R., Compie P.R., “*A matrix approach to abridged Life Cycle Assessment*”, Environmental Science&Technology, 1995;
- [12] Streamlined LCA Working Group – SETAC, 1999;
- [13] [www.leidenuniv.nl](http://www.leidenuniv.nl)
- [14] [www.ecosmes.net](http://www.ecosmes.net)
- [15] Naldesi L., Buttol P., Masoni P., Misceo M., Sára B., “*eVerdEE: a web-based screening life cycle assessment tool for European small and medium-sized enterprises*”, Proceedings of SPIE, Environmentally Conscious Manufacturing IV, Vol. 5583, Philadelphia (USA), 26, 27 October 2004;
- [16] Misceo M., Buonamici R., Buttol P., Naldesi L., Grimaldi F., Rinaldi C., “*TESPI (Tool for Environmental Sound Product Innovation): a simplified software tool to support environmentally conscious design in SMEs*”, Proceedings of SPIE, Environmentally Conscious Manufacturing IV, Vol. 5583, Philadelphia (USA), 26, 27 October 2004;
- [17] SimaPro:[www.pre-nl](http://www.pre-nl)
- [18] eLCA Final Report, “*Feasibility Study of Databases and Web Site for the Adoption of LCA in SMEs*”, ENEA 2002: (<http://www.arcoveggio.enea.it/eLCA/>);

- 
- [19] V. Carrillo, A. Zamagni, “*Applicazione della metodologia di LCA nel settore legno arredo: le cucine Scavolini*”, Rapporto Tecnico, 2006;
- [20] [www.cosmob.it](http://www.cosmob.it)
- [21] C. Rinaldi, E. Scimia, A. Zamagni “*Specifiche della banca dati del progetto LAIPP*”, Documento di progetto, 2006;
- [22] [www.federlegno.it](http://www.federlegno.it)
- [23] F. Baiocchi, “*Criteri adottati nella scelta dei componenti e delle varianti del prodotto cucina componibili*”, Rapporto Tecnico eLCA.