



**Università degli Studi di Padova**  
**Dipartimento di Processi Chimici dell'Ingegneria**  
**Centro Studi Qualità Ambiente**

**Analisi comparativa del ciclo di vita**  
**tra due contenitori per latte fresco:**  
**Tetra Rex - PET**

A cura di:

Antonio Scipioni

Francesca Arena

Andrea Rigato

Giovanni Drago

Dicembre 2002

## **Ringraziamenti**

Molteplici sono stati i contributi che hanno permesso la realizzazione del presente studio. In particolare vorremmo ringraziare, per la costante disponibilità nel fornire dati e spunti di discussione utili alla ricerca:

- Michele Mastrobuono, Enzo Scalia, Nicola Pellegrino, Luca Farioli, Enzo Guastella, Enrico Fiorani, Graziano Camellini, Annamaria Veresani della Tetra Pak Italiana.
- David Cockburn della Tetra Pak di Lund.
- Mirella Di Stefano e Raffaele Bombardieri della Granarolo.
- Ulisse Pedretti della COOP Italia.
- Alvisè Bolzonella della Cartiera di Santarcangelo.
- Elisa Semeghini e Giorgio Rustichelli dell'impianto di compostaggio AIMAG di Carpi.

## INDICE

### INTRODUZIONE

Introduzione	1
--------------	---

### CAPITOLO 1 – LA METODOLOGIA UTILIZZATA: LIFE CYCLE ASSESSMENT

1	La metodologia utilizzata: Life Cycle Assessment	3
1.1	Cos'è la LCA?	3
1.2	Limitazioni della LCA	5
1.3	Fasi dello studio di LCA	6
1.4	Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione	6
1.5	Analisi dell'inventario	9
1.5.1	Raccolta dei dati	10
1.5.2	Validità dei dati	11
1.5.3	Dati relativi all'unità di processo	11
1.5.4	Dati relativi all'unità funzionale e aggregazione dei dati	11
1.5.5	Revisione dei confini del sistema.	11
1.5.6	Procedure di calcolo	12
1.5.7	Principi di allocazione	12
1.6	Valutazione degli impatti	13
1.6.1	Concetto di indicatore di categoria	14
1.6.2	Selezione delle categorie di impatto, degli indicatori di categoria e dei modelli	15
1.6.3	Classificazione	16
1.6.4	Caratterizzazione	17
1.6.5	Elementi opzionali nello studio di LCA	17
1.7	Interpretazione del ciclo di vita	19
1.7.1	Identificazione degli aspetti significativi	19
1.7.2	Valutazione	20

### CAPITOLO 2 – SCOPI E OBIETTIVI

Scopi e obiettivi dello studio	23
--------------------------------	----

### CAPITOLO 3 – CAMPO DI APPLIAZIONE

3	Campo di applicazione	25
3.1	Introduzione	25
3.2	Unità funzionale e caratteristiche dei prodotti	25
3.3	Confini del sistema	26
3.3.1	Modellizzazione dei processi	28
3.4	Qualità dei dati	33



**CAPITOLO 4 – ANALISI DELL’INVENTARIO**

4	Analisi di inventario	39
4.1	Introduzione	39
4.1.1	Categorie di dati e formato dei risultati	41
4.2	Energia e combustibili	43
4.3	Trasporti	46
4.3.1	Trasporti via mare, aria, rotaia	48
4.3.2	Trasporti su strada	48
4.4	Fase “produzione” nel sistema Tetra Rex	49
4.4.1	Produzione dei materiali di base e ausiliari	50
4.4.2	Trasporti dei materiali di base ed ausiliari	51
4.4.3	Produzione del contenitore Tetra Rex	69
4.4.4	Riciclo degli scarti di poliaccoppiato alla cartiera di santarcangelo	72
4.4.5	Trasporto al confezionamento	85
4.5	Fase “produzione” nel sistema PET (preforma)	88
4.5.1	Materiali di base e ausiliari	88
4.5.2	Trasporti materiali di base e ausiliari in ingresso	89
4.5.3	Produzione della preforma	96
4.5.4	Trasporto al confezionamento	96
4.6	Fase “confezionamento” nel sistema Tetra Rex	103
4.6.1	Processo	104
4.6.2	Dati primari	104
4.6.3	Imballaggio prodotto confezionato	105
4.6.4	Modellizzazione dei processi	106
4.7	Fase “confezionamento” nel sistema PET	106
4.7.1	Processo	108
4.7.2	Dati primari	108
4.7.3	Imballaggio prodotto confezionato	109
4.7.4	Modellizzazione dei processi	112
4.7.5	Produzione di componenti ausiliari	112
4.8	Fase “distribuzione” nel sistema Tetra Rex	113
4.8.1	Dati primari	117
4.8.2	Modellizzazione dei processi	117
4.9	Fase “distribuzione” nel sistema PET	118
4.9.1	Dati primari	120
4.9.2	Modellizzazione dei processi	120
4.10	Fase “fine vita” del sistema Tetra Rex	121
4.10.1	Inventario dei processi di trattamento	122
4.10.2	Definizione dello scenario di fine vita del Tetra Rex	122
4.10.3	Modellizzazione dei processi	136
4.11	Fase “fine vita” nel sistema PET	141
4.11.1	Inventario dei processi di trattamento	167
4.11.2	Definizione dello scenario di fine vita della bottiglia in PET	167
4.11.3	Modellizzazione dei processi	173
4.12	Composizione chimica e caratteristiche chimico-fisiche	174
		182



**CAPITOLO 5 – VALUTAZIONE E INTERPRETAZIONE**

5	Valutazione e interpretazione	191
5.1	Introduzione	191
5.2	Selezione di categorie di impatti, indicatori di categoria e modelli	192
5.3	Descrizione delle categorie di impatto ambientale e dei modelli utilizzati.	193
5.3.1	Effetto serra	193
5.3.2	Metodo di caratterizzazione	194
5.3.3	Acidificazione	196
5.3.4	Eutrofizzazione	198
5.3.5	Formazione di ossidanti per via fotochimica	200
5.3.6	Impoverimento delle risorse non rinnovabili	202
5.4	Classificazione e caratterizzazione delle emissioni.	203
5.5	Analisi energetica	203
5.5.1	Combustibili derivati: carico energetico complessivo nel ciclo di vita	207
5.5.2	Combustibili derivati: classificazione delle energie	209
5.5.3	Fonti energetiche primarie nel ciclo di vita	210
5.6	Consumi idrici	212
5.7	Rifiuti solidi	213
5.8	Potenziati impatti ambientali	215
5.8.1	Effetto serra	215
5.8.2	Acidificazione	220
5.8.3	Eutrofizzazione	226
5.9	Formazione di ossidanti per via fotochimica	230
5.10	Impoverimento delle risorse non rinnovabili.	233

**CAPITOLO 6 – CONCLUSIONI**

6	Conclusioni	239
6.1	Introduzione	239
6.2	Comparazione Tetra Rex – Bottiglia in PET nel ciclo di vita	239
6.2.1	Produzione	239
6.2.2	Confezionamento	242
6.2.3	Distribuzione	243
6.2.4	Fine vita	243
6.3	Struttura del ciclo di vita	246
6.4	Risultati principali dello studio	247

**BIBLIOGRAFIA**

Bibliografia	249
--------------	-----

**APPENDICE A – RISULTATI ANALISI DELL'INVENTARIO – TETRA REX****APPENDICE B – RISULTATI ANALISI DELL'INVENTARIO – PET**

## Introduzione

La Life Cycle Assessment è una tecnica relativamente nuova, il cui obiettivo è quello di stimare i carichi ambientali di prodotti e servizi attraverso il loro ciclo di vita o impiegando un'espressione ormai diffusa, "dalla culla alla tomba". Questo metodo deriva le sue origini dagli studi energetici condotti alla fine degli anni sessanta e nei primi anni settanta. Attualmente è uno strumento sviluppato e standardizzato a livello internazionale. La tecnica LCA infatti è ormai universalmente riconosciuta come uno dei metodi "ufficiali" per le valutazioni di tipo ambientale; essa è stata concepita e progettata per fornire informazioni scientifiche e quantitative a sostegno delle procedure decisionali, incrementando la consapevolezza delle responsabilità dell'impresa rispetto all'intero ciclo di vita ed incoraggiando e assistendo il processo di revisione strategica. La LCA si propone di valutare, da un punto di vista ambientale, tutte le risorse e gli input necessari per "alimentare" il sistema in analisi e tutti i flussi in uscita dal sistema, vale a dire le emissioni in aria, acqua e suolo e la produzione di rifiuti solidi. La Life Cycle Assessment copre l'intero sistema di prodotto, dall'estrazione delle materie prime fino allo smaltimento/riciclo/ recupero finale. Lo studio consiste in una procedura iterativa che si sviluppa attraverso una serie di stadi sistematicamente interpretati e ripercorsi; questi stadi si articolano nella definizione dell'obiettivo e dei requisiti dello studio e delle caratteristiche del sistema in esame, nella compilazione dell'inventario dei flussi che interessano il sistema di prodotto (*life cycle inventory*, LCI), nella valutazione degli impatti ambientali sulla base dei dati d'inventario (*life cycle impact assessment*, LCIA) e nell'interpretazione conclusiva dei risultati. Le conclusioni di una LCA si rifanno alle questioni poste all'inizio nella identificazione degli obiettivi. L'analisi del bilancio o quella degli impatti o entrambe sono organizzate in modo tale che i risultati siano comprensibili per chi prende le decisioni. Le azioni che verranno intraprese sulla base delle conclusioni sono parte di un processo decisionale che comprende aspetti tecnici, economici e sociali che vanno al di là della LCA.



La Life Cycle Assessment può essere impiegata per diversi scopi:

- identificare opportunità di miglioramento degli aspetti ambientali di un prodotto ed individuare i punti deboli lungo la catena produttiva, in corrispondenza dei quali si rendono necessarie delle modifiche;
- fornire dati da impiegare nel quadro dei Sistemi di Gestione Ambientale;
- selezionare indicatori pertinenti e rilevanti di performance ambientale;
- valutare le conseguenze ambientali delle materie prime e delle modifiche di processo;
- progettare e sviluppare prodotti ambientalmente meno impattanti;
- supportare i processi decisionali nelle organizzazioni governative;
- agevolare il confronto e la selezione di prodotti alternativi;
- assistere lo sviluppo di specifiche tecniche, regolamenti e procedure d'acquisto;
- promuovere operazioni di marketing.

Il settore degli imballaggi, dietro la spinta degli obiettivi di riciclo e di recupero stabiliti dalla direttiva europea 94/62/CE, ha già da qualche anno preso in considerazione l'applicazione della metodologia di LCA per supportare politiche e scelte in merito alla riprogettazione dei prodotti, come pure alle modalità di avvio al recupero e al riciclo.

In particolare, il settore del “*packaging*” per latte sta subendo da circa due anni grosse modifiche, per l'introduzione sul mercato della bottiglia in PET utilizzata per il latte fresco. Simili scelte del mercato non sempre corrispondono, però, a valutazioni di convenienza economica e ambientale. Alcuni studi sugli impatti ambientali del riciclo e del recupero degli imballaggi sono stati avviati nel 2001 e nel 2002 da CONAI e da Comieco e affidati all'Università di Napoli. D'altro canto, anche gli stessi produttori di imballaggi si stanno attivando per giungere a dati obiettivi tramite studi di LCA, in modo da supportare la comunicazione esterna e da attivare le scelte ottimali nel processo produttivo e nelle possibilità di fine vita.

Il lavoro cui è dedicata la presente relazione riguarda per l'appunto uno studio di LCA “*from cradle to grave*” per due tipologie di imballaggio e distribuzione del latte fresco: il poliaccoppiato Tetra Rex (prodotto da Tetra Pak) e la bottiglia in PET, entrambe della capacità di 1 litro.

Lo studio è stato oggetto di un contratto di ricerca stipulato tra il Dipartimento di Processi Chimici dell'Ingegneria - Centro Studi Qualità Ambiente e la Tetra Pak Italiana S.p.A, ed è stato realizzato durante l'anno 2002.

La struttura del lavoro segue le indicazioni fornite dagli Standard della serie ISO 14040.



# 1 La metodologia utilizzata: Life Cycle Assessment

## 1.1 Cos'è la LCA?

Uno dei metodi più riconosciuti e accettati a livello internazionale per la valutazione degli impatti ambientali è la valutazione del ciclo di vita o Life Cycle Assessment (LCA).

La SETAC (Society of Environmental Toxicology And Chemistry) è stata una delle prime organizzazioni a studiare e a definire una metodologia di valutazione del ciclo di vita ed ha definito la LCA 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”..

Si può notare, quindi, come la LCA rappresenti una tecnica di valutazione degli aspetti ambientali e dei possibili impatti sull'ambiente associati ad un prodotto, processo o attività.

Una successiva definizione di questa metodologia deriva dalla norma UNI EN ISO 14040, che esprime la LCA come una:

“compilazione e valutazione attraverso tutto il ciclo di vita dei flussi in entrata e in uscita, nonché i potenziali impatti ambientali, di un sistema di prodotto” .

Per meglio comprendere la definizione offerta dalla UNI EN ISO 14040, norma che viene peraltro assunta come riferimento dagli analisti di LCA, possiamo affermare che la LCA è una “tecnica per valutare gli aspetti ambientali e i potenziali impatti ambientali associati a un prodotto, mediante:

- la compilazione di un inventario di ciò che di rilevante entra ed esce da un sistema di prodotto
- la valutazione dei potenziali impatti ambientali associati a ciò che entra e a ciò che esce;
- l'interpretazione dei risultati riguardanti le fasi di analisi di inventario e di stima degli impatti in relazione agli obiettivi dello studio”.

In sostanza la LCA studia (individuandoli, valutandoli e interpretandone la rilevanza) gli aspetti e gli impatti ambientali potenziali lungo tutta la vita del prodotto (cioè dalla culla alla tomba),



iniziando dall'estrazione e lavorazione delle materie prime, proseguendo con la lavorazione, il trasporto, la distribuzione, l'uso, il riutilizzo, il riciclaggio e lo smaltimento finale (figura 1).



Fig. 1: procedura di uno studio di LCA.

La metodologia proposta dalle norme della serie ISO 14040 si basa su quattro fasi presentate in figura 2: definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione, analisi dell'inventario, valutazione dell'impatto e interpretazione

Le norme della serie ISO 14040 descrivono nel dettaglio i criteri per condurre uno studio di LCA, attraverso l'applicazione delle fasi appena citate:

**UNI EN ISO 14040**

Valutazione del ciclo di vita – *Principi e quadro di riferimento*

**UNI EN ISO 14041**

Valutazione del ciclo di vita – *Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione e analisi dell'inventario*

**UNI EN ISO 14042**

Valutazione del ciclo di vita – *Valutazione dell'impatto del ciclo di vita*

**UNI EN ISO 14043**

Valutazione del ciclo di vita – *Interpretazione del ciclo di vita*



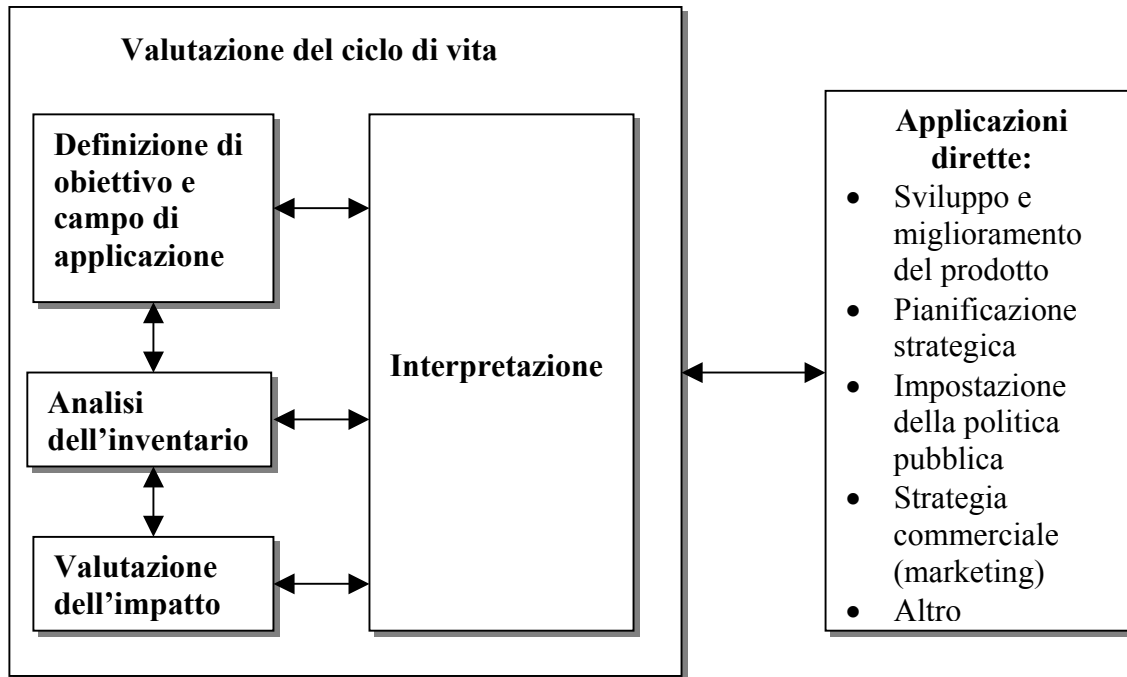


Fig. 2: fasi e principali applicazioni di uno studio di LCA.

## 1.2 Limitazioni della LCA

Prima di iniziare uno studio di LCA è bene osservare che la sua applicazione non si adatta a tutti i casi, ad esempio non è utilizzabile in indagini concentrate su aspetti economici, tecnici o sociali del prodotto o dell'attività.

Le limitazioni della LCA possono essere così riassunte:

- la natura delle scelte e delle assunzioni compiute (come fissare i confini del sistema, scegliere la provenienza dei dati, fissare le categorie di impatto) è soggettiva;
- i modelli impiegati nell'analisi dell'inventario e nella valutazione degli impatti ambientali sono limitati dalle loro assunzioni, oltre a non essere adatti a qualsiasi impatto ambientale o alle più svariate applicazioni;
- i risultati di uno studio di LCA eseguito a livello regionale o globale può risaltare non idoneo alle applicazioni locali (per esempio le condizioni locali potrebbero non essere adeguatamente rappresentate dalle condizioni regionali o globali o viceversa);
- la precisione dello studio di LCA è notevolmente influenzata dalla disponibilità e accessibilità dei dati nonché dalla loro qualità (ad esempio mancanza di dati, loro tipologia, livello di aggregazione, valori mediati o specifici di un sito);

- incertezze nei risultati dell'impatto sono inoltre introdotte dall'assenza di dimensioni spaziali e temporali nell'inventario dei dati utilizzati per la valutazione dell'impatto, incertezza che può variare in modo diverso per ciascuna categoria di impatto;
- i risultati di uno studio di LCA sono complessi e possono non condurre a una singola conclusione generale.

### 1.3 Fasi dello studio di LCA

Uno studio di LCA si compone di quattro fasi fondamentali (figura 2) tra loro interconnesse:

- la definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione (par. 1.4);
- l'analisi dell'inventario (par. 1.5);
- la valutazione degli impatti (par. 1.6);
- l'interpretazione dei risultati delle fasi precedenti (par. 1.7).

### 1.4 Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione

È la prima fase di uno studio di LCA e prevede la definizione delle finalità dello studio, dell'unità funzionale, dei confini del sistema, dei requisiti di qualità dei dati, delle assunzioni, dei limiti e delle procedure di verifica.

L'*obiettivo* deve includere:

- una non ambigua dichiarazione delle ragioni alla base della scelta della LCA, ad esempio per migliorare le performance ambientali di un prodotto o finalizzato all'ottenimento di un'etichettatura ecologica;
- la descrizione dell'applicazione prevista;
- il pubblico a cui devono essere comunicati i risultati dello studio, ad esempio i risultati possono essere utilizzati all'interno dell'azienda per migliorare le prestazioni ambientali oppure possono essere divulgati all'esterno a fini di marketing o altro.

*Campo di applicazione dello studio*

Al fine di ottenere uno studio di LCA compatibile con gli obiettivi voluti e che le assunzioni fatte siano comprensibili e trasparenti, si devono considerare e descrivere i seguenti elementi:



### **a) Funzioni, unità funzionale e flusso di riferimento**

È una delle fasi più delicate di una LCA perché la scelta della funzione e della corrispondente unità funzionale agisce in modo significativo su tutto lo studio e sui risultati ottenuti. Le funzioni sono le prestazioni caratteristiche del prodotto, mentre l'unità funzionale deve quantificare queste prestazioni legando tutti i flussi in entrata e in uscita di materia e energia. Ad esempio nello studio di una cartiera la funzione è la produzione di carta (o di un particolare tipo di carta), e l'unità funzionale è rappresentata da una certa quantità di carta prodotta (ad esempio una tonnellata).

La quantità di prodotto (e di energia) necessaria a realizzare la funzione e quantificata dall'unità funzionale è definita flusso di riferimento.

### **b) Il sistema prodotto**

Il sistema prodotto è definito come un insieme elementare di unità di processo connesse tra loro da flussi di materia, energia e rifiuti, come illustrato in figura 3. Il sistema a sua volta è diviso in unità di processo anch'esse collegate da flussi intermedi di materia e energia e da flussi di scarti da trattare. Il sistema prodotto inoltre può essere collegato ad un altro sistema prodotto da flussi di prodotti e con l'ambiente da flussi elementari. Si parla di flussi elementari quando materia e energia entrano e escono dal sistema allo studio senza alcuna preventiva trasformazione operata dall'uomo. L'ambiente è tutto ciò che sta al di fuori dei confini del sistema ed è la fonte di tutti i flussi in ingresso e il punto di raccolta di tutti i flussi in uscita.

Le unità di processo, incluse nel sistema prodotto allo studio, seguono le leggi di conservazione di massa e energia.

Le unità di processo e i flussi che dovrebbero essere presi in considerazione sono:

- gli input e output nelle sequenze principali del processo;
- la distribuzione e il trasporto;
- la produzione e l'uso di carburante, elettricità e calore;
- l'uso del prodotto;
- lo smaltimento dei rifiuti del processo e del prodotto;
- il recupero del prodotto usato (riuso, riciclo, recupero di energia);
- la produzione di materiali ausiliari;
- le operazioni ausiliarie come illuminazione e riscaldamento.

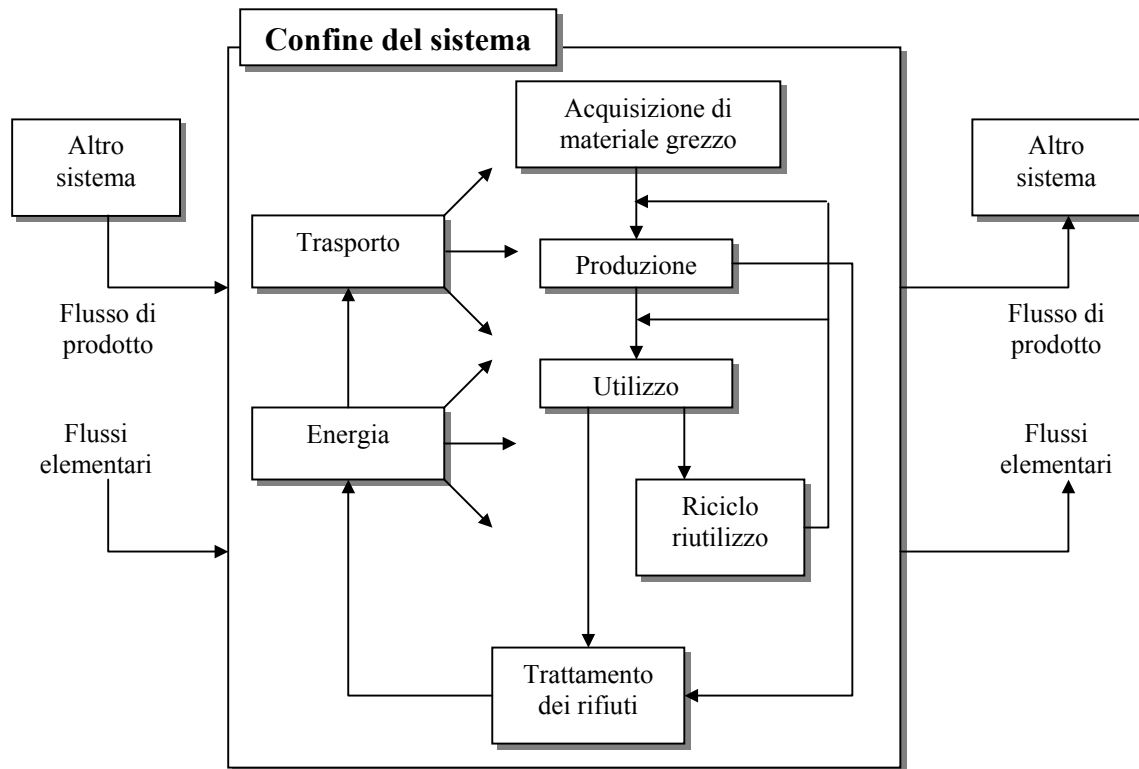


Fig. 3: rappresentazione di un sistema prodotto.

### c) Confini del sistema

I confini del sistema determinano le unità di processo da includere nel sistema e sono determinati in conseguenza dello scopo dello studio, delle ipotesi assunte, delle costrizioni dovute alle fonti dei dati e ai costi, dal pubblico destinatario.

In condizioni ideali il sistema prodotto dovrebbe essere configurato in modo che i flussi in entrata e in uscita siano flussi elementari.

### d) Criteri di inclusione

Inizialmente nella fase di definizione del campo di applicazione si stabiliscono i dati che devono essere raccolti nella successiva fase dell'inventario. In seguito, nel corso dello studio, si identificano più accuratamente input e output provenienti dalla raccolta di dati aggiuntivi. In ogni caso sono da prendere in considerazione il flusso di massa, di energia e la rilevanza ambientale.



### **e) Categorie dei dati**

La raccolta dei dati, la loro misurazione ed elaborazione serve a quantificare input e output di ogni unità di processo. Le categorie più importanti in cui i dati dovrebbero essere classificati sono:

- input di energia, di materiale grezzo, secondari, fisici;
- prodotti;
- emissioni in aria, acqua, suolo e altri aspetti ambientali.

All'interno di queste macro categorie, i dati devono essere ulteriormente suddivisi in sottocategorie, ad esempio nell'ambito delle emissioni in acqua devono essere considerati separatamente le emissioni di COD (domanda chimica di ossigeno), AOX (composti organici alogenati assorbibili), SST (solidi sospesi totali), ecc

### **f) Requisiti di qualità dei dati**

I requisiti della qualità dei dati devono essere definiti per dare credibilità allo studio di LCA e in pratica caratterizzano quantitativamente e qualitativamente i metodi usati per raccogliere i dati. Tra i requisiti dovrebbero essere fissati:

- la copertura temporale, cioè l'età dei dati, ad esempio gli ultimi cinque anni, e la durata della loro raccolta, ad esempio un anno;
- la copertura geografica, cioè l'area in cui dati verranno raccolti, ad esempio area locale, regionale, nazionale, continentale o globale;
- la copertura tecnologica, cioè quale tecnologia applicare nella raccolta dei dati.

Inoltre dovrà essere specificata la fonte dei dati: nel caso siano stati misurati vanno specificati gli strumenti impiegati; se calcolati con che algoritmi; se stimati con quali metodi statistici.

### **e) Revisione critica**

La revisione critica è finalizzata alla verifica della conduzione della LCA secondo le prescrizioni delle norme internazionali per quanto concerne la metodologia, i dati e la presentazione della relazione. La revisione critica non è obbligatoria e durante la fase della definizione del campo di applicazione si dichiara se la revisione critica deve essere fatta, in che modo e da chi.



### 1.5 Analisi dell'inventario

L'analisi dell'inventario (figura 4) comprende la raccolta e la classificazione dei dati e la quantificazione dei flussi in entrata e in uscita del sistema prodotto. I flussi comprendono l'uso di risorse e le emissioni in aria, acqua e suolo associate al sistema. I dati raccolti sono la base per le interpretazioni, in funzione di obiettivo e campo di applicazione, e per la successiva fase di valutazione del ciclo di vita.

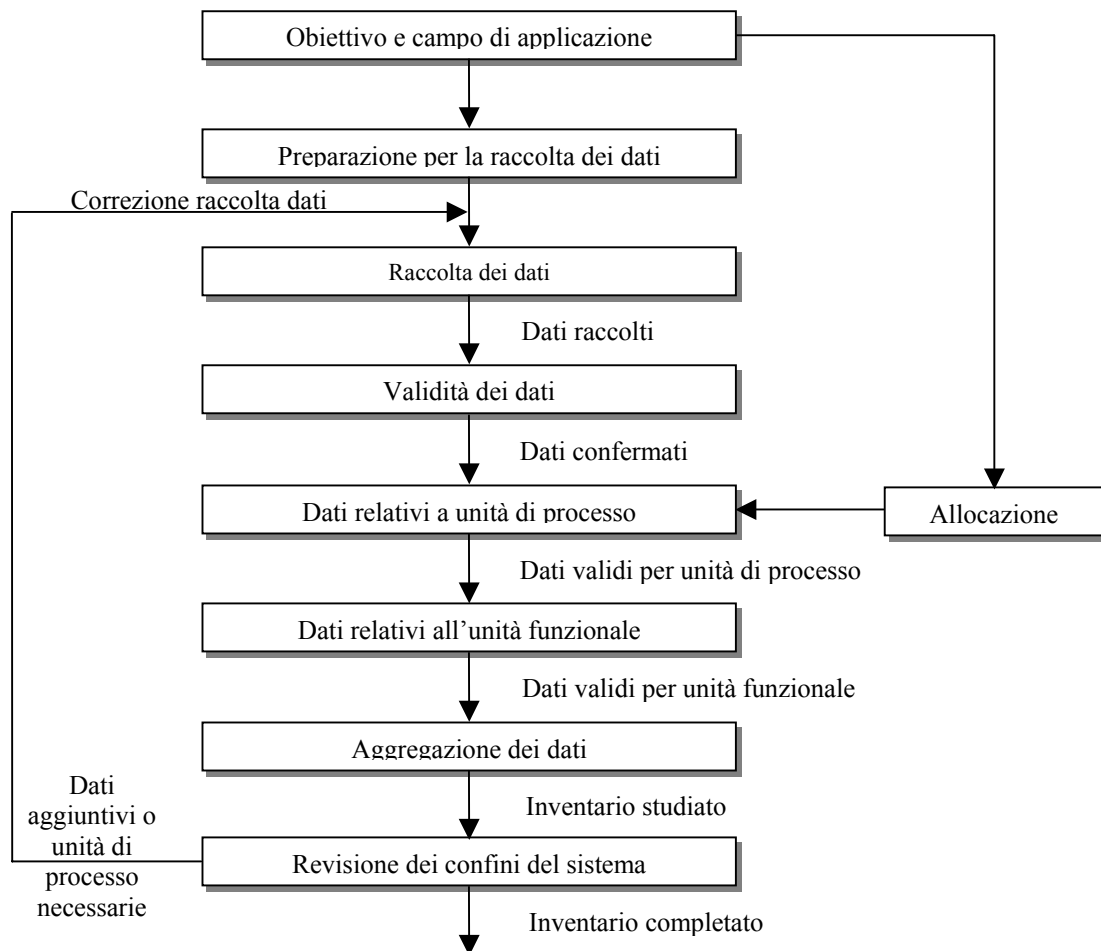


Fig. 4: procedura per l'analisi dell'inventario.

Essendo la fase dell'inventario un procedimento iterativo, ad ogni passo devono essere controllate le procedure in modo da garantire che i requisiti fissati nella prima fase siano rispettati.

Durante la raccolta dei dati aumenta la conoscenza del sistema e possono emergere delle limitazioni nella raccolta o la necessità di estendere la raccolta e questo può portare alla revisione dell'obiettivo e del campo di applicazione allo studio.



### **1.5.1 Raccolta dei dati**

I dati vanno raccolti per ogni unità di processo interna ai confini del sistema, mentre le procedure di raccolta variano in funzione dell'obiettivo ma anche dell'unità di processo. Per evitare doppi conteggi od omissioni, si deve descrivere ogni unità di processo con i suoi input e output, nonché dove il processo inizia e termina. L'origine dei dati può essere di tre tipi:

- fonti primarie: quando i dati sono ricavati direttamente nei siti di produzione e associati alle relative unità di processo;
- fonti secondarie: quando i dati provengono dalla letteratura e in questo caso deve essere riportata la fonte (pubblicazione, manuali, studi precedenti, ecc.);
- fonti terziarie: quando i dati sono ricavati da stime o coefficienti tecnici (trasporti, energia).

I dati così raccolti, misurati, calcolati e stimati, sono utilizzati per quantificare input e output di ogni unità di processo.

### **1.5.2 Validità dei dati**

- Il controllo sulla validità dei dati deve essere condotto già durante il processo di raccolta, mediante bilanci di massa, di energia e analisi comparative sui fattori di emissione. Nel caso si verificano anomalie nei dati devono essere cercati valori alternativi che confermino i requisiti di qualità decisi nella fase di definizione degli obiettivi e del campo di applicazione allo studio.

### **1.5.3 Dati relativi all'unità di processo**

Per ogni unità di processo deve essere fissato un flusso di riferimento, (ad esempio 1 kg di combustibile o 1 MJ di energia). I dati delle unità di processo vanno poi calcolati in relazione al flusso di riferimento.

### **1.5.4 Dati relativi all'unità funzionale e aggregazione dei dati**

Le singole unità elementari di processo sono tra loro interconnesse e ciò consente di confrontare le singole unità e valutare l'intero processo. Per poterlo fare è necessario riferire i dati in input e output delle singole unità elementari espressi con i propri flussi di riferimento (1 kg di combustibile, 1 MJ di energia) all'unità funzionale.

L'aggregazione è il raggruppamento dei dati provenienti da diverse unità elementari e può essere fatto solo se i dati sono relativi a sostanze equivalenti o ad impatti ambientali simili. Inoltre per ogni aggregazione eseguita devono essere esplicitate dettagliatamente le regole seguite.



### 1.5.5 Revisione dei confini del sistema.

I confini del sistema per lo studio di LCA sono decisi nella fase di definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione. Durante la raccolta dei dati, questi ultimi sono soggetti a un'analisi di sensibilità che ne determina la rilevanza, verificando l'analisi iniziale, e che può portare alla necessità di modificare i confini del sistema. La valutazione di sensibilità dei dati può comportare:

- escludere dati o intere unità elementari di processo dallo studio di LCA quando mancano di rilevanza;
- escludere input e output che non influiscono sui risultati dello studio;
- includere nuove unità di processo i cui input e output si sono dimostrati significativi.

### 1.5.6 Procedure di calcolo

La raccolta dei dati è seguita dalle procedure di calcolo che servono a ottenere i risultati dell'inventario per ogni unità di processo e a riferirli all'unità funzionale del sistema di prodotto.

### 1.5.7 Principi di allocazione

Molti processi associati all'unità funzionale sono caratterizzati da più input e output e sono definiti processi multipli. In questi casi si deve suddividere il processo multiplo in più processi singoli e i flussi di prodotto, come gli impatti ambientali, vanno distribuiti tra i singoli processi. Questa procedura è nota come allocazione, e va applicata anche ai coprodotti, all'energia utilizzata, ai trasporti, al trattamento dei rifiuti e al riciclaggio.

Durante la fase di allocazione devono essere seguiti i seguenti principi:

- lo studio deve individuare i processi condivisi tra più unità elementari;
- la somma di input e output distribuiti deve essere uguale alla somma di quelli non distribuiti;
- quando sono applicabili procedure diverse di allocazione dovrebbe essere condotta una analisi di sensibilità per evidenziare le implicazioni dei diversi approcci.

Le basi da seguire per procedere all'allocazione possono essere:

- le proprietà fisiche: consumi e impatti di più prodotti di uno stesso processo possono essere ripartiti in base al quantitativo in peso dei prodotti stessi;
- il valore economico: consumi e impatti possono essere ripartiti in base al valore economico dei prodotti di un medesimo processo.

Particolare attenzione, ed eventuali elaborazioni aggiuntive, deve essere prestata alla fase di riuso e riciclo per i seguenti motivi:



- il riuso e il riciclaggio possono comportare che input e output relativi a estrazione e lavorazione delle materie prime e lo smaltimento finale del prodotto siano da suddividere tra più di un sistema prodotto;
- riuso e riciclaggio possono cambiare le proprietà del materiale;
- si deve porre particolare attenzione ai confini del sistema relativamente ai processi di recupero.

Si deve infine porre attenzione al fatto che per quanto concerne il riuso e il riciclaggio, le procedure di allocazione si dividono in due gruppi:

- procedure di allocazione ad anello chiuso: il materiale da riciclare è rimesso a monte dello stesso sistema prodotto e di conseguenza le sue proprietà intrinseche non variano. Ne consegue la riduzione nei consumi di materie prime, di energia e di emissioni a monte della fase produttiva;
- procedure di allocazione ad anello aperto: il materiale da riciclare è immesso in un altro sistema prodotto e ciò determina un cambiamento delle sue proprietà intrinseche. I benefici dell'impatto ambientale evitato, pur appartenendo al nuovo processo, vanno in qualche modo ricondotti anche al processo principale.

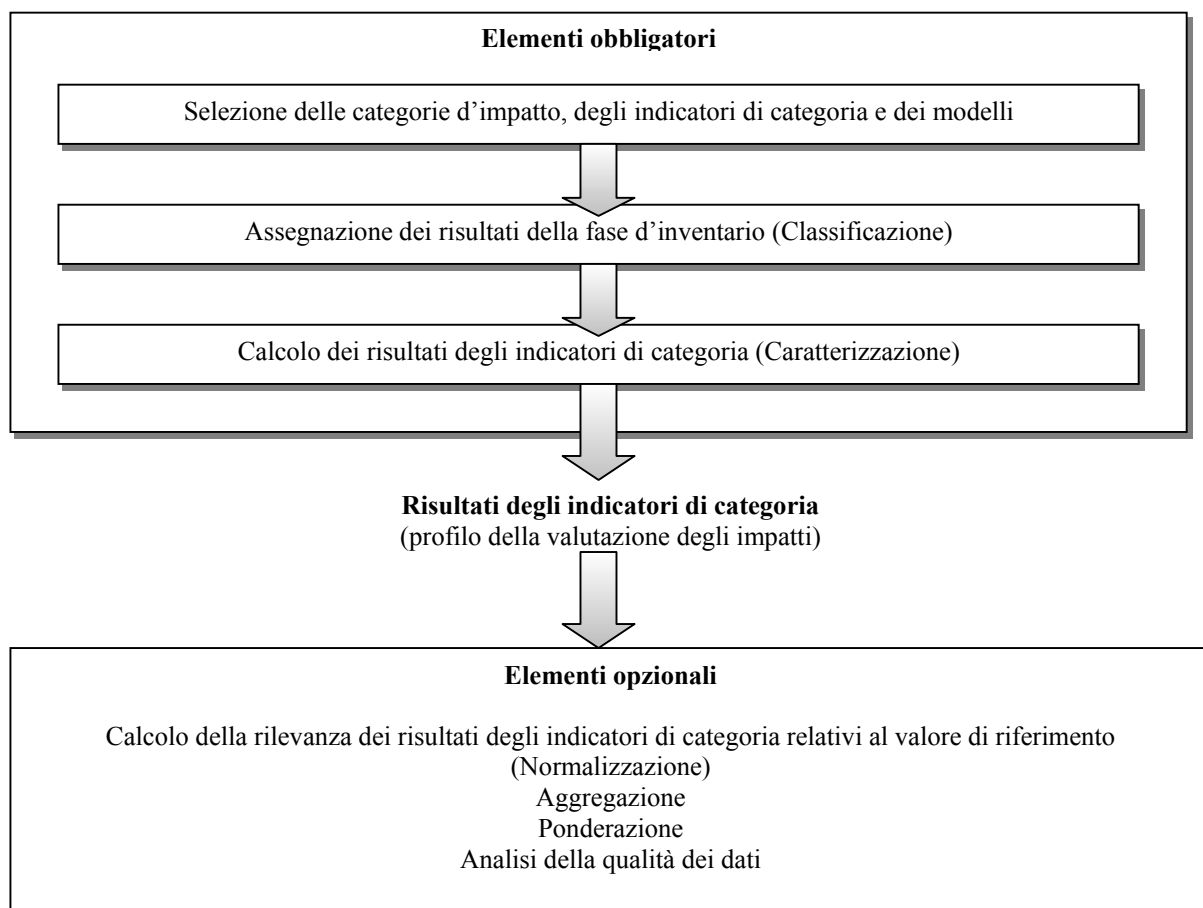
## 1.6 Valutazione degli impatti

La valutazione degli impatti in uno studio di LCA è la fase in cui si valuta la rilevanza degli impatti ambientali, associando i dati di inventario a specifici impatti e approfondendone lo studio. Il livello di dettaglio, gli impatti scelti e le metodologie impiegate, dipendono dall'obiettivo e dal campo di applicazione, anche se la natura iterativa della LCA può portare in questa fase a modificare obiettivi e campo di applicazione.

La valutazione è generalmente composta di tre fasi:

- *classificazione*, in cui i dati di inventario sono attribuiti alle singole categorie di impatto;
- *caratterizzazione*, in cui si procede a una pesatura dei dati all'interno di ogni categoria;
- *normalizzazione*, in cui sono pesate le categorie di impatto.

È importante considerare che la valutazione è influenzata da una certa dose di soggettività sia nella scelta delle categorie di impatto, sia soprattutto nella fase di caratterizzazione e ponderazione. La situazione normativa della LCA è ancora in corso di sviluppo, ci sono perciò degli elementi obbligatori (che convertono i dati della fase di inventario in risultati di indicatori) e degli elementi opzionali (normalizzazione, aggregazione e ponderazione degli indicatori e le tecniche di analisi della qualità dei dati) come è illustrato in figura 5.



**Fig. 5:** elementi nella valutazione dell'impatto del ciclo di vita.

### 1.6.1 Concetto di indicatore di categoria

In figura 6 sono evidenziate le relazioni tra i risultati dell'inventario, gli indicatori e le categorie finali per una determinata categoria di impatto (in questo caso l'acidificazione). Per ogni categoria devono essere inclusi i seguenti componenti:

- identificazione delle categorie finali;
- definizione degli indicatori per ogni categoria finale;
- attribuzione dei risultati della fase di inventario a una categoria di impatto, considerando la scelta dell'indicatore e la categoria finale identificata;
- l'identificazione di un modello e dei fattori di caratterizzazione.



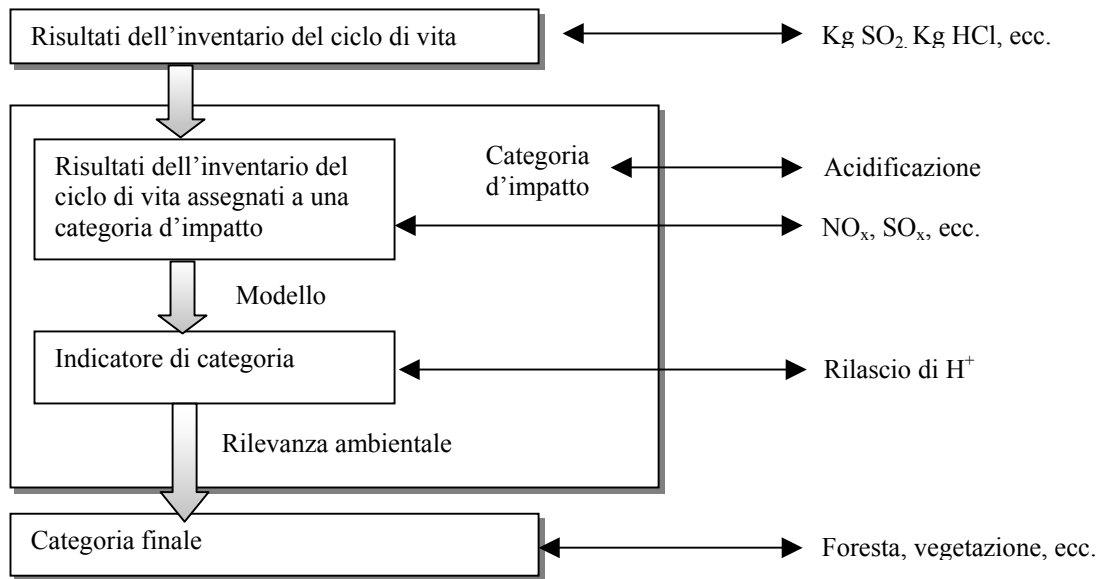


Fig. 6: concetto di indicatore di categoria.

### 1.6.2 Selezione delle categorie di impatto, degli indicatori di categoria e dei modelli

Nella scelta delle categorie di impatto, degli indicatori di categoria e dei modelli è necessario considerare le seguenti raccomandazioni:

- le categorie di impatto, gli indicatori di categoria e i modelli devono essere in accordo con l'obiettivo e il campo di applicazione dello studio;
- il modello per ciascun indicatore deve essere scientificamente e tecnologicamente valido, utilizzando un meccanismo ambientabile identificabile o un'osservazione empirica riproducibile;
- le categorie di impatto devono rappresentare, attraverso gli indicatori, una emissione o un utilizzo di risorse del sistema prodotto associati a una categoria finale;
- gli indicatori devono essere ambientalmente rilevanti;
- la valutazione di scelte e assunzioni prese nel corso della selezione delle categorie di impatto deve essere minimizzata;
- le categorie di impatto, gli indicatori di categoria e i modelli devono essere accettati a livello internazionale;
- le categorie di impatto, gli indicatori e i modelli devono evitare doppi conteggi.

### 1.6.3 Classificazione

La classificazione è la fase nella quale i dati dell'inventario del ciclo di vita sono distribuiti nelle varie categorie di impatto. Ogni input e output può essere incluso in più di una categoria di impatto e la scelta dipende dall'obiettivo dello studio.

Nella classificazione si inizia dividendo gli impatti nelle aree generali di protezione: della salute umana, della salute ambientale e delle risorse. I risultati sono poi riportati in una tabella che evidenzia la relazione tra le specifiche categorie di impatto e le aree generali di protezione.

La distribuzione dei risultati dell'inventario nelle categorie di impatto deve considerare i seguenti aspetti:

- l'identificazione dei risultati dell'inventario che sono esclusivi di una categoria di impatto;
- l'identificazione dei risultati dell'inventario che sono correlati a più categorie di impatto includendo la distinzione tra meccanismi in serie e in parallelo.

L'emissione di sostanze nell'ambiente può provocare problemi con tre diversi meccanismi:

- in parallelo in cui l'emissione della sostanza può contribuire a diversi problemi. Un esempio è dato dal biossido di zolfo ( $\text{SO}_2$ ) che contribuisce sia all'acidificazione dell'ambiente che alla tossicità umana, senza però che la singola molecola possa contribuire ad entrambi i problemi nel corso della sua esistenza. In pratica il meccanismo è applicato alle sostanze non persistenti, costituite da molecole che possono contribuire a più problemi ma non contemporaneamente.
- In serie diretta in cui l'emissione della sostanza può avere diversi effetti, uno dopo l'altro. Un esempio è dato dagli ossidi di azoto ( $\text{NO}_x$ ) responsabili sia dell'acidificazione, sia dell'eutrofizzazione delle acque. Si tratta quindi di un meccanismo applicato alle sostanze persistenti, che possono avere un effetto tossico sull'ambiente e, attraverso la catena alimentare, sull'uomo.
- In serie indiretta in cui l'emissione della sostanza contribuisce ad un altro effetto attraverso l'effetto primario come ad esempio nel caso del metano. Se si verifica un aumento della temperatura della troposfera a causa dell'effetto serra, diminuisce di conseguenza la temperatura della stratosfera con la conseguenza che l'efficienza dei processi chimici responsabili dell'assottigliamento dello strato di ozono può aumentare o diminuire. In pratica una molecola di metano può portare alla formazione di ossidanti per via fotochimica e alla formazione di ozono che contribuisce all'effetto serra. Contemporaneamente però la medesima molecola di metano può contribuire all'esaurimento dello strato di ozono.



#### 1.6.4 Caratterizzazione

Nella fase di caratterizzazione è analizzato e quantificato l'impatto ambientale dei dati ottenuti nella fase dell'inventario, e aggregati nelle categorie di impatto, mediante modelli di calcolo. Il risultato dei calcoli è un indicatore numerico detto indicatore di categoria. L'utilità dei risultati degli indicatori è funzione dell'accuratezza, della validità e delle caratteristiche dei modelli e dei fattori di caratterizzazione. Il calcolo dei risultati degli indicatori avviene in due passaggi:

- la selezione e l'uso di fattori di caratterizzazione per convertire i risultati dell'inventario, assegnati alle categorie di impatto, in unità comuni;
- l'aggregazione dei risultati dell'inventario appena convertiti, in risultati degli indicatori.

Un esempio di indicatore è l'energia irradiata nell'infrarosso. Il fattore di caratterizzazione, l'aumento globale della temperatura, (fattore per ogni gas che contribuisce all'effetto serra), è utilizzato per calcolare l'energia irradiata nell'infrarosso per ciascun gas in unità equivalente di CO<sub>2</sub>. i loro contributi sono poi aggregati in risultati di indicatori in termini di totali unità equivalenti di CO<sub>2</sub>.

#### 1.6.5 Elementi opzionali nello studio di LCA

Gli elementi non obbligatori nello studio della LCA sono: la normalizzazione, l'aggregazione, la ponderazione e l'analisi della qualità dei dati.

##### 1.6.5.1 Normalizzazione

Normalizzare i risultati degli indicatori consiste nell'attribuire un peso ai vari dati all'interno della stessa categoria di impatto, al fine di evidenziare la rilevanza di ciascun risultato dell'indicatore, relativo ad un determinato flusso di riferimento.

In pratica la procedura trasforma il risultato dell'indicatore dividendolo per un valore di riferimento selezionato, come ad esempio:

- le emissioni totali o l'uso di risorse in una determinata area sia essa locale, regionale, nazionale o globale;
- le emissioni totali o l'uso di risorse per una data area su base pro capite.

L'utilità di questa procedura consiste:

- nella verifica di incongruenze;
- nel fornire e comunicare informazioni sul significato relativo dei risultati degli indicatori;
- nella preparazione di procedure aggiuntive come l'aggregazione, la ponderazione e l'interpretazione.



### **1.6.5.2 Aggregazione**

L'aggregazione è la fase in cui si assegnano le categorie di impatto a uno o più gruppi secondo due possibili procedure:

- smistare gli indicatori su base nominale, ad esempio in base a caratteristiche quali emissioni, risorse utilizzate su scale locali, regionali o globali;
- smistare gli indicatori con una scala ordinale, ad esempio in base ad una gerarchia di priorità alta, media o bassa.

### **1.6.5.3 Ponderazione**

La ponderazione è il processo che converte i risultati degli indicatori utilizzando fattori numerici basati su una scelta di valori, pesando i vari dati tra diverse categorie di impatto. Vi sono due possibili procedure:

- convertire i risultati degli indicatori o i risultati normalizzati con dei fattori di ponderazione selezionati;
- aggregare dove possibile i risultati degli indicatori convertiti o normalizzati attraverso categorie di impatto.

Tutti i metodi di ponderazione e le operazioni eseguite devono essere documentate in modo trasparente.

### **1.6.5.4 Analisi della qualità dei dati**

Tecniche e informazioni addizionali possono essere necessarie per migliorare la conoscenza del significato, dell'incertezza e della sensibilità dei risultati della valutazione dell'impatto del ciclo di vita, in modo da:

- aiutare a distinguere se sono presenti o meno delle differenze significative;
- eliminare risultati trascurabili;
- guidare a un processo iterativo della valutazione dell'impatto.

Queste tecniche con i relativi obiettivi, sono le seguenti:

- **Analisi d'importanza:** procedura statica che identifica quei dati che hanno il maggior peso sui risultati degli indicatori. Queste voci possono essere esaminate con una priorità maggiore così da assicurare che siano prese delle decisioni fondate.
- **Analisi d'incertezza:** descrive la variabilità statistica nei dati così da determinare se i risultati degli indicatori della stessa categoria d'impatto sono significativamente diversi da ciascun altro.



- **Analisi di sensibilità:** misura l'estensione con cui varia l'influenza degli indicatori. Allo stesso modo può essere esaminata l'estensione con cui le modificazioni nelle procedure di calcolo influenzano il profilo della valutazione dell'impatto.

## **1.7 Interpretazione del ciclo di vita**

L'interpretazione del ciclo di vita è la fase finale della LCA, in cui si sintetizzano e si discutono i risultati della fase di inventario e di valutazione degli impatti. Lo scopo è di trarre conclusioni e raccomandazioni al fine di poter prendere decisioni in accordo con l'obiettivo e il campo di applicazione dello studio.

Le principali caratteristiche di questa fase sono:

- l'utilizzo di una procedura sistematica che identifichi, qualifichi, verifichi, valuti e presenti le conclusioni basate sui risultati dello studio d'inventario e di valutazione, in modo da far emergere le richieste dell'applicazione come descritto nella fase dell'obiettivo e del campo di applicazione;
- l'utilizzo di una procedura iterativa sia all'interno della fase dell'interpretazione sia con le altre fasi della LCA;
- la messa in luce delle relazioni tra la LCA e altre tecniche per la gestione ambientale, evidenziando la validità e i limiti di uno studio di LCA in relazione alla definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione.

La fase di interpretazione comprende tre elementi:

- l'identificazione degli aspetti significativi basati sui risultati della fase dell'inventario e della valutazione dell'impatto della LCA;
- la valutazione che consideri verifiche di completezza, sensibilità e consistenza;
- conclusioni, raccomandazioni e la relazione degli aspetti significativi.

### **1.7.1 Identificazione degli aspetti significativi**

Una volta accertato che i risultati delle fasi di inventario e di valutazione dell'impatto soddisfano le richieste dell'obiettivo e del campo di applicazione allo studio, si deve determinare il significato dei risultati. Allo scopo si utilizzano sia i risultati della fase di inventario sia quelli della valutazione dell'impatto in un processo iterativo con un elemento di valutazione.

Aspetti significativi possono essere:

- i parametri d'inventario come l'utilizzo di energia, le emissioni, i rifiuti, ecc.;
- gli indicatori delle categorie di impatto come utilizzo di risorse, aumento potenziale della temperatura (GPW), ecc.;
- i contributi essenziali affinché gli stadi del ciclo di vita forniscano i risultati dell'inventario o della valutazione dell'impatto, sia come singole unità di processo o gruppi di processo, sia come trasporto e produzione di energia.

La determinazione di un aspetto significativo può essere semplice o complessa. La norma in questione, UNI EN ISO 14043, non fornisce una guida su quanto un aspetto può o non può essere rilevante nello studio, o quanto un aspetto può o non può essere significativo per un sistema di prodotto.

Per identificare gli aspetti ambientali e per determinare il loro significato, sono disponibili una varietà di approcci specifici, di metodi e di strumenti.

## **1.7.2 Valutazione**

Gli obiettivi della valutazione sono stabilire e incrementare la sicurezza e la credibilità dei risultati dello studio, includendo gli aspetti significativi, identificati nel primo elemento dell'interpretazione. La valutazione deve essere intrapresa in accordo con la fase dell'obiettivo e del campo di applicazione dello studio e deve prendere in considerazione il prefissato utilizzo finale dei risultati dello studio.

Nel corso della valutazione deve essere considerato l'utilizzo delle tre tecniche seguenti:

- verifica di completezza;
- verifica di sensibilità;
- verifica di consistenza.

### **1.7.2.1 Verifica di completezza**

Lo scopo di questa verifica è di assicurare che tutte le informazioni rilevanti e i dati necessari per l'interpretazione siano disponibili e completi.

Se un'informazione rilevante è assente o incompleta, si deve considerare la necessità di questa informazione al fine di soddisfare l'obiettivo e il campo di applicazione allo studio.

Se si considera superflua questa informazione, se ne espongono e documentano le ragioni, dopo di che sarà possibile precedere nella valutazione.



Se qualche informazione mancante è considerata necessaria per determinare le questioni significative, le fasi precedenti, l'inventario e la valutazione dell'impatto, devono essere riviste, o, alternativamente, obiettivo e campo di applicazione devono essere adattati.

### **1.7.2.2 Verifica di sensibilità**

Lo scopo di questa verifica è di valutare l'affidabilità dei risultati, stimando se l'incertezza degli aspetti significativi si riflette sulle conclusioni. Questa valutazione può includere i risultati delle analisi di sensibilità e incertezza, se effettuate nelle fasi precedenti e può indicare la necessità di ulteriori analisi di sensibilità.

In questa verifica è necessario prendere in considerazione:

- gli aspetti predeterminati dall'obiettivo e dal campo di applicazione della LCA;
- i risultati delle altre fasi della LCA;
- giudizi esperti ed esperienze precedenti.

L'incapacità di una verifica di sensibilità a scoprire le differenze tra differenti studi alternativi non deve automaticamente condurre alla conclusione che queste differenze non esistono. Le differenze possono esistere ma possono non essere identificate o quantificate a causa di incertezze relative ai dati e ai metodi usati.

### **1.7.2.3 Verifica di consistenza**

Lo scopo di questa verifica è di determinare quando le assunzioni, i metodi e i dati sono coerenti con l'obiettivo e il campo di applicazione dello studio.

Se rilevante per lo studio di LCA, o se richiesto dall'obiettivo e dal campo di applicazione, devono essere poste le seguenti domande:

- ci sono differenze sulla qualità dei dati nel ciclo di vita del sistema prodotto e tra differenti sistemi di prodotto coerenti con l'obiettivo e il campo di applicazione?
- ci sono delle differenze spaziali o temporali, e sono state coerentemente applicate?
- le regole di allocazione e i confini del sistema sono stati coerentemente applicati a tutto il sistema prodotto?
- gli elementi di valutazione dell'impatto sono stati coerentemente applicati?

### **1.7.3 Conclusioni e raccomandazioni**

Lo scopo di questa terza fase dell'interpretazione del ciclo di vita è di arrivare a delle conclusioni e quindi fornire le raccomandazioni al pubblico destinatario dello studio. Si tratta di un processo da condurre in modo iterativo con gli altri elementi della fase di interpretazione. Una logica sequenza è la seguente:

- identificare gli aspetti significativi;
- valutare la metodologia e i risultati per la completezza, la sensibilità e la consistenza;
- trarre le prime conclusioni e verificare che queste siano coerenti con l'obiettivo e il campo di applicazione dello studio;
- se le conclusioni sono coerenti vanno riportate come definitive, altrimenti bisogna ritornare ai punti, come più opportuno.



## 2 Scopi e obiettivi dello studio

Il presente studio ha per obiettivo l'analisi del ciclo di vita (LCA), di due tipologie di imballaggio normalmente utilizzate per il confezionamento e la distribuzione del latte fresco: in particolare, l'analisi è rivolta al confronto diretto tra la bottiglia in PET ed il contenitore di cartone poliaccoppiato TETRA REX® prodotto da Tetra Pak.

Lo studio, oggetto di un contratto di ricerca stipulato tra Tetra Pak Italiana e il Dipartimento di Processi Chimici dell'Ingegneria, si pone i seguenti obiettivi:

- 1) creare degli ecoprofili (dalla culla alla tomba) relativamente alla bottiglia in PET e al poliaccoppiato Tetra Rex;
- 2) confrontare gli impatti ambientali e i carichi energetici ed ambientali associati ai cicli di vita delle due tipologie di imballaggio primario;
- 3) identificare i carichi energetico-ambientali e valutare i potenziali impatti associati alle diverse fasi dei cicli di vita considerati;
- 4) individuare possibili priorità ambientali su basi oggettive al fine di concretizzare azioni di miglioramento;
- 5) procurare informazioni oggettive dalle quali Tetra Pak possa avviare procedimenti di comunicazione ambientale nei confronti dei propri clienti, come pure degli utilizzatori finali.

I risultati dello studio sono di proprietà di Tetra Pak Italiana S.p.A, cui spetta la decisione di condurre un'eventuale revisione critica dello stesso.



### 3 Campo di applicazione

#### 3.1 Introduzione

In questo capitolo vengono definiti l'unità funzionale ed i confini del sistema, coerentemente con gli scopi e gli obiettivi che lo studio si è prefisso. E' presente anche un paragrafo sulla qualità dei dati che hanno permesso l'elaborazione finale dei risultati dell'Analisi di Inventario.

#### 3.2 Unità funzionale e caratteristiche dei prodotti

L'unità funzionale, nell'ambito di uno studio LCA, è l'unità di misura di riferimento, utile a quantificare tutti i flussi in entrata ed in uscita dai confini del sistema assunti nella fase di Analisi di Inventario. Nel presente lavoro la funzione dei prodotti è riferita alla loro capacità di contenere un certo volume di latte. Il volume utilizzato come riferimento per la funzione di contenimento è 1 Litro di latte fresco, e tale è quindi l'unità funzionale scelta per il confronto tra i due contenitori, coerentemente con gli obiettivi che lo studio si è prefissato.

In tabella 1 viene evidenziata la composizione merceologica del contenitore Tetra Rex relativamente all'unità funzionale considerata.

<b>Tetra Rex (1 Lt)</b>	<b>Peso (%)</b>
<b>Carta</b>	<b>23,76 g (87,04 %)</b>
<b>PE</b>	<b>3,45 g (12,65%)</b>
<b>Inchiostro</b>	<b>0,08 g (0,31 %)</b>
<b>TOTALE (1 litro)</b>	<b>27,3 g</b>

**Tab.1:** composizione merceologica del Tetre Rex relativamente all'unità funzionale prescelta.

In tabella 2 viene invece riportata la composizione merceologica della bottiglia in PET, relativamente all'unità funzionale considerata. Sono riportati anche i pesi dei componenti ausiliari alla funzione di confezionamento del latte fresco per questa tipologia di contenitori.

<b>Bottiglia in PET (1 Lt)</b>	<b>Materiale</b>	<b>Peso (%)</b>
<b>Bottiglia</b>	<b>PET</b>	<b>26 g (86 %)</b>
<b>Tappo</b>	<b>HDPE</b>	<b>3,5 g (11,5%)</b>
<b>Etichetta</b>	<b>PP</b>	<b>0,77 g (2,5 %)</b>
<b>TOTALE (1 litro)</b>		<b>30,27 g</b>

**Tab.2:** composizione merceologica della bottiglia in PET relativamente all'unità funzionale prescelta.



### 3.3 Confini del sistema

I confini del sistema allo studio comprendono:

- 1) Produzione delle materie prime (questa fase è relativa all'estrazione delle materie prime e alla loro prima lavorazione/raffinazione)
- 2) Produzione dei semilavorati e materiali di base (fase relativa alla produzione dei materiali utilizzati dagli stabilimenti di realizzazione del poliaccoppiato in Tetra Rex, come pure della bottiglia in PET): esempi sono costituiti dagli inchiostri, dalla produzione dei fotopolimeri per la stampa del Tetra Rex, dal tappo in HDPE per la bottiglia in PET.
- 3) Produzione degli imballaggi e in particolare: realizzazione del poliaccoppiato in Tetra Rex presso lo stabilimento della Cartotecnica Pontina di Latina, come pure la produzione delle preforme in PET presso lo stabilimento Tetra Pak PET Italia di Bergamo.
- 4) Confezionamento, comprendente per il PET anche la fase di formatura della bottiglia (effettuata *on site*, cioè all'interno della stessa Centrale del Latte). I dati riferiti a questa fase sono stati raccolti presso lo stabilimento di Granarolo (BO).
- 5) Fine vita, comprendente le ipotesi di smaltimento in discarica, di recupero (termovalorizzazione, recupero energetico, compostaggio), come pure di riciclo.
- 6) I trasporti, relativamente alla consegna delle materie prime, dei materiali di base, degli imballaggi (Tetra Rex e preforma in PET), del latte confezionato sino alle filiali di riferimento per la distribuzione primaria.

Sulla base di queste indicazioni, si giunge ad osservare come il sistema comprenda la produzione delle materie prime e dei semilavorati utilizzati, delle energie e del prodotto finale, nonché i trasporti coinvolti, come indicato in figura 1.



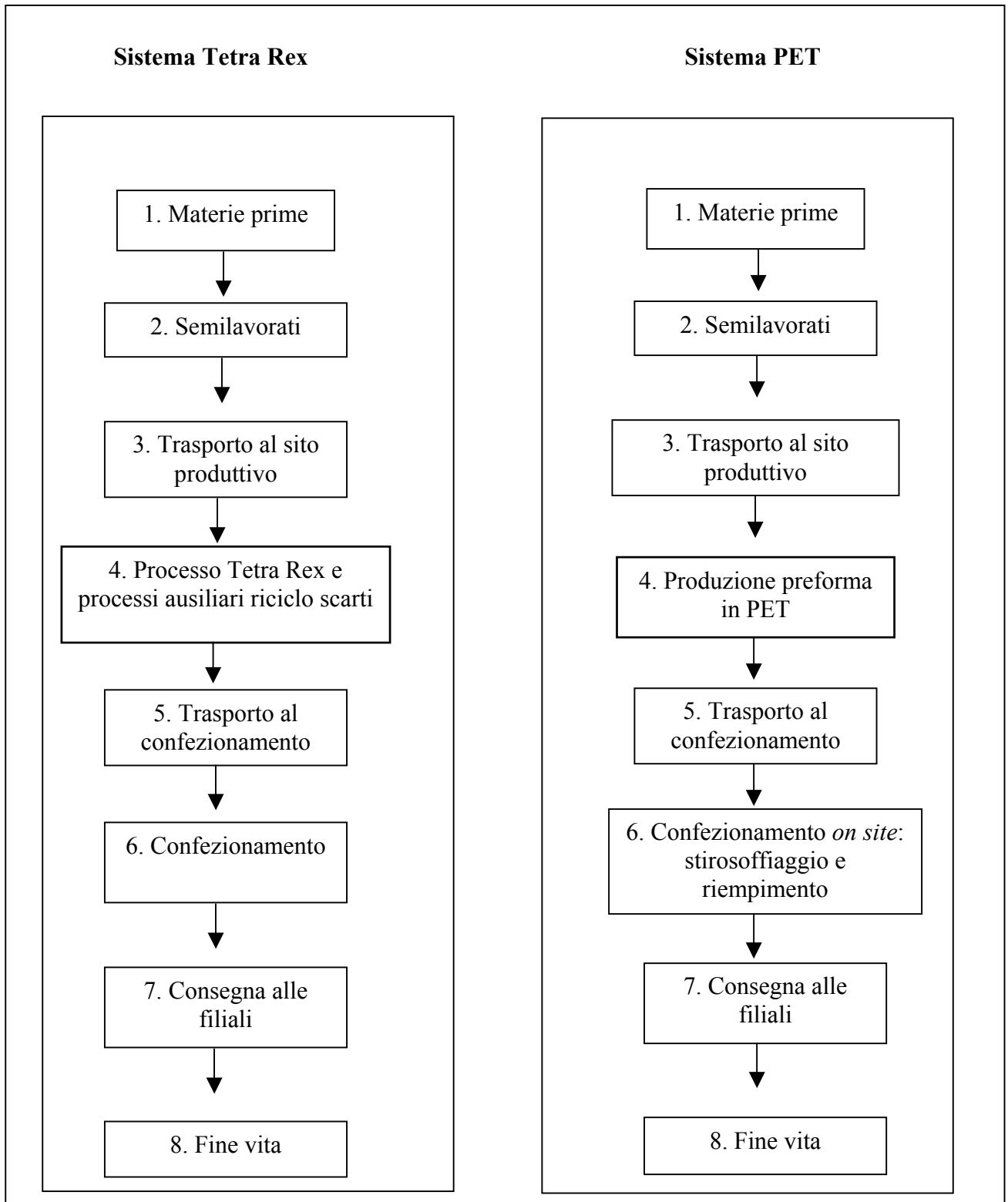


Fig. 1: confini del sistema Tetra Rex e del sistema PET.

I confini del sistema, per i cicli di vita dei due contenitori, non comprendono le seguenti fasi:

- 1) produzione del latte e relativa pastorizzazione
- 2) produzione degli imballaggi secondari nella fase di distribuzione primaria
- 3) distribuzione secondaria delle confezioni di latte
- 4) utilizzo (giacenza in frigorifero, consumo)

Le fasi citate ai punti 1, 3, 4, sono state trascurate in quanto, essendo lo studio a carattere comparativo, i relativi carichi ambientali ed energetici si sono assunti paragonabili per le due tipologie di imballaggio in PET e Tetra Rex.

Le produzioni degli imballaggi che fanno riferimento al punto 2) sono state trascurate per carenza di dati primari sulle effettive quantità di imballaggi (pallets, scatole, casse, film termoretraibile) utilizzati.

### **3.3.1 Modellizzazione dei processi**

Si è assunto che ciascuno dei due sistemi di prodotti appena descritti (il “sistema Tetra Rex” ed il “sistema PET”) possa essere modellizzato come una sequenza di operazioni unitarie che comunicano tra loro e con l’ambiente attraverso input e output. Si assume che ognuna di queste operazioni riceva i propri input dalle operazioni unitarie a monte e che a sua volta alimenti le successive, in condizioni stazionarie, secondo gli effettivi schemi di produzione.

Con queste premesse i modelli dei sistemi reali Tetra Rex e PET sono stati suddivisi nelle seguenti fasi:

- Produzione
- Confezionamento
- Distribuzione
- Fine vita

Per ciascuna di queste fasi si è cercato di ricostruire il flusso di materiali ed energia in ingresso e le emissioni in aria, acqua e suolo in uscita, attraverso la raccolta dati da fonti primarie o secondarie (vedi paragrafo 3.4).

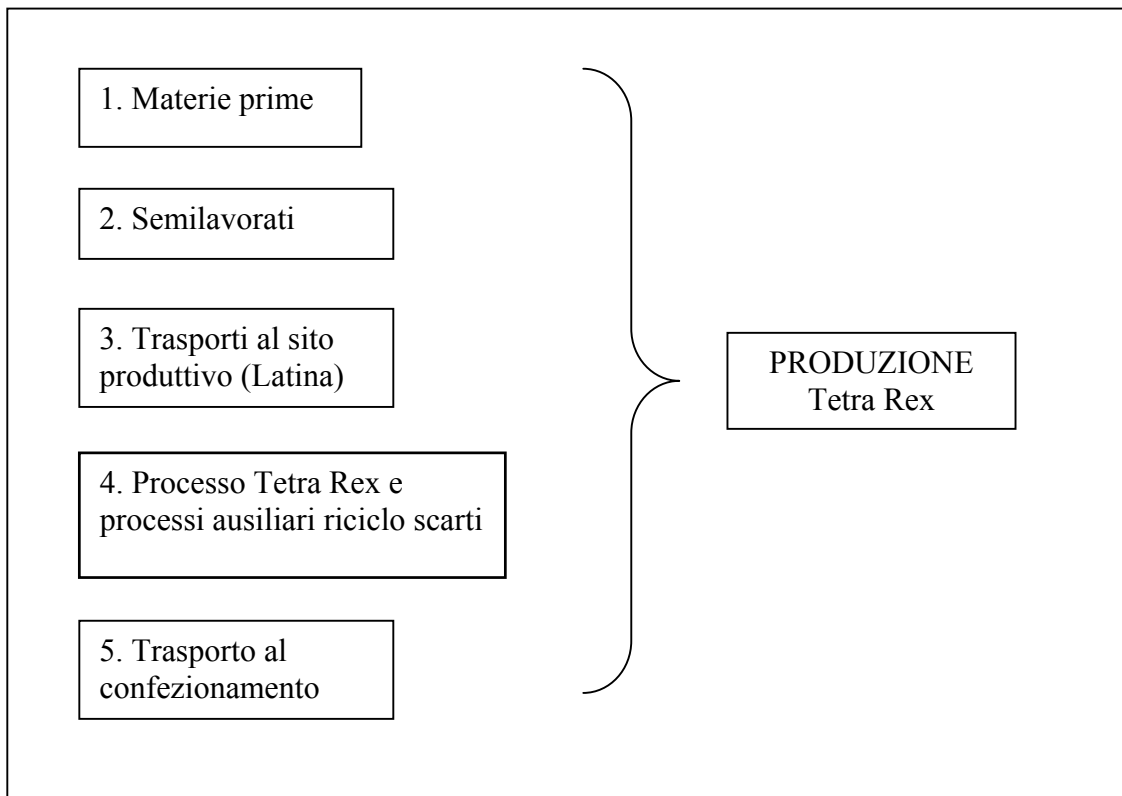


### 3.3.1.1 Produzione

La fase Produzione raggruppa in realtà più fasi del ciclo di vita, essendo costituita da tutta la filiera a monte del processo di confezionamento.

#### Tetra Rex

La figura 2 riporta i confini del sistema per la fase produzione Tetra Rex.



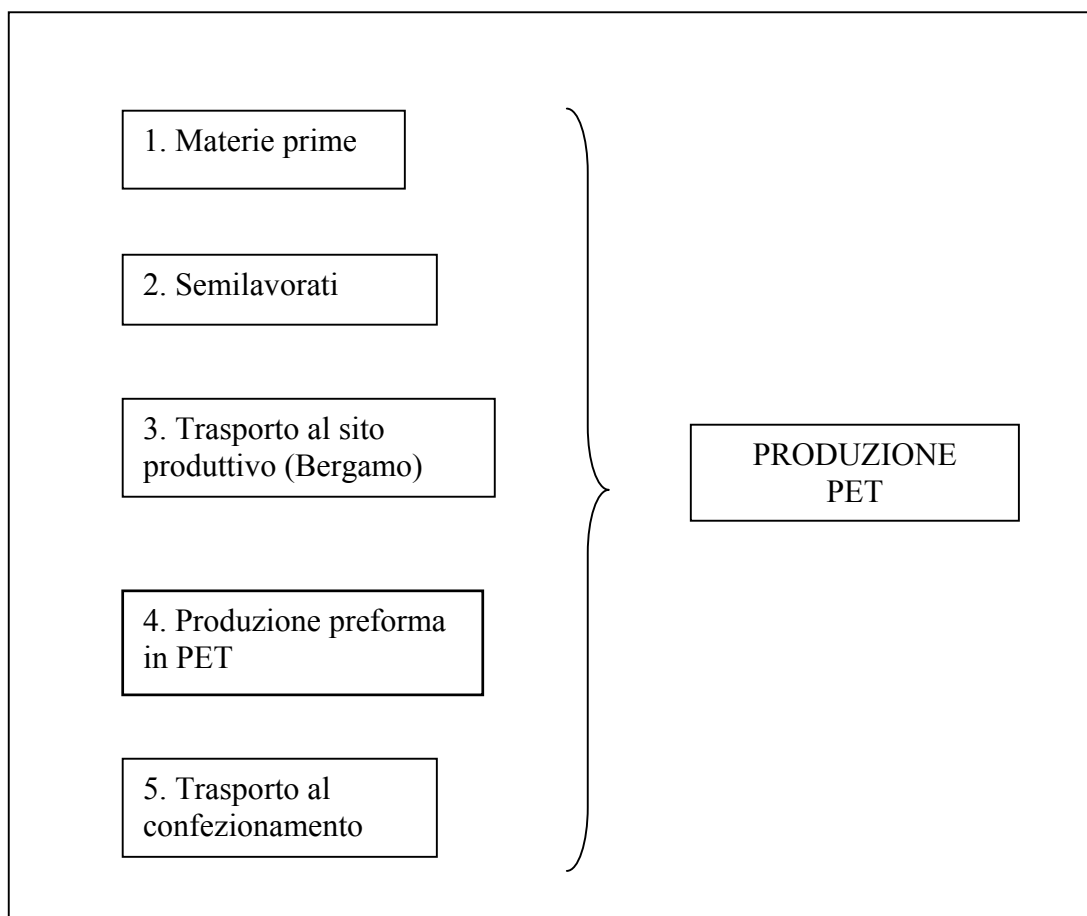
**Fig. 2:** confini del sistema per la fase Produzione del ciclo di vita del Tetra Rex.

Più dettagliatamente, i processi considerati comprendono:

- Estrazione delle risorse naturali
- Produzione, trasporto ed utilizzo di vettori energetici (energia elettrica, metano,..)
- Produzione e trasporto delle materie prime
- Produzione e trasporto dei materiali di base: carta e LDPE
- Produzione (laminazione) del poliaccoppiato in Svezia e trasporto in Italia
- Produzione e trasporto di materiali ausiliari: inchiostri, solventi, fotopolimeri, materiali per imballo (pallets, carta, film LDPE)
- Produzione del contenitore Tetra Rex
- Trattamento degli scarti di produzione presso la Cartiera dedicata di Santarcangelo
- Trasporto del prodotto finito al confezionamento

## Bottiglia in PET

Analogamente la figura 3 riporta i confini del sistema assunti per la fase Produzione nel ciclo di vita della bottiglia in PET.



**Fig. 3:** confini del sistema per la fase Produzione del ciclo di vita della bottiglia in PET.

Più dettagliatamente quindi i processi considerati comprendono

- Estrazione delle risorse naturali
- Produzione, trasporto ed utilizzo di vettori energetici (energia elettrica, metano,...)
- Produzione e trasporto delle materie prime
- Produzione e trasporto dei materiali di base: granuli di polietilene tereftalato
- Produzione e trasporto di materiali ausiliari: coloranti, oli, solventi, grassi, gas tecnici, materiali per imballo (pallets, sacchi di PE, scatole cartone)
- Produzione della preforma in PET
- Trasporto della preforma al confezionamento

### 3.3.1.2 Confezionamento del latte fresco

In figura 4 viene rappresentato schematicamente il processo di confezionamento del latte fresco, per il quale si è fatto riferimento alla situazione reale dello stabilimento Granarolo di Bologna. A tale proposito si noti come la figura non riporti le fasi preliminari di trattamento del latte (centrifugazione, pastorizzazione, degasazione, omogeneizzazione), in quanto non inserite nei confini del sistema allo studio. Il confezionamento avviene tramite linee diverse a seconda che l'imballaggio sia in PET o in poliaccoppiato Tetra Rex.

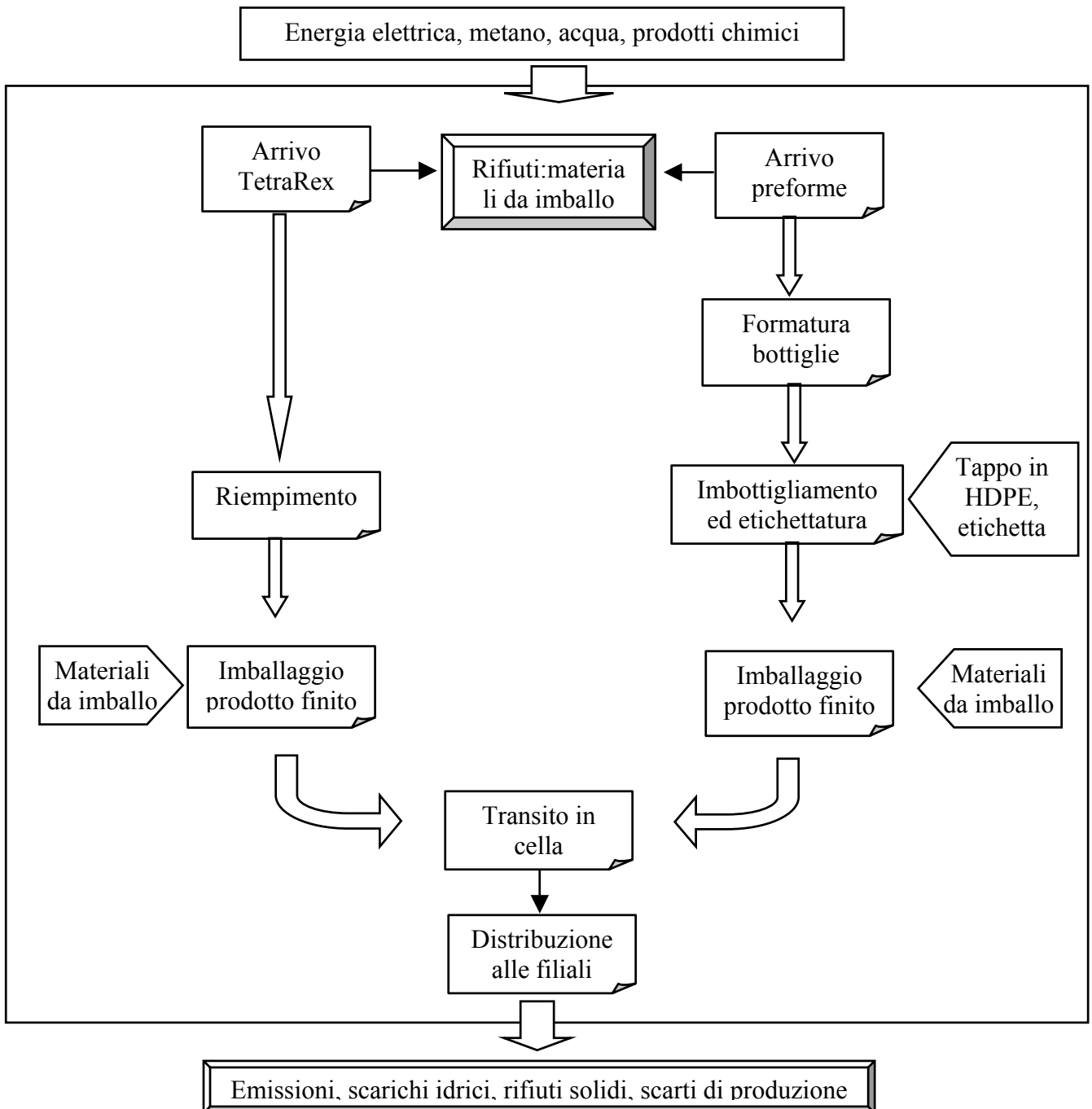


Fig. 4: schema del processo di confezionamento del latte fresco (Granarolo).

- **Modellizzazione del processo**

### **Tetra Rex**

I confini del sistema confezionamento fanno riferimento esclusivamente ai carichi energetici ed ambientali dovuti alla produzione energia elettrica per consumi linea REX:

- Macchina riempitrice e confezionatrice
- Pallettizzazione
- Lavaggio casse

### **Bottiglia in PET**

I confini del sistema confezionamento fanno riferimento ai carichi energetici ed ambientali dovuti alla produzione di energia elettrica per consumi della linea PET:

- Formatura bottiglia (stirosoffiaggio)
- Compressori
- Trasporto bottiglia
- Macchina riempitrice e confezionatrice
- Etichettatrice
- Pallettizzatore
- Forno elettrico per termoretraibile

Inoltre tali confini includono anche i carichi energetico-ambientali associati alla produzione dell'etichetta ed alla produzione del tappo in HDPE.

### **3.3.1.3 Distribuzione**

Per entrambi i cicli di vita, i confini della fase Distribuzione racchiudono le operazioni di trasporto per la consegna del latte fresco confezionato, dallo stabilimento di confezionamento (Granarolo di Bologna) alle filiali (solo di distribuzione primaria).



### 3.3.1.4 Fine vita

Lo scenario considerato per la bottiglia PET e per i contenitori Tetra Rex tiene conto di:

- Raccolta e selezione
- Recupero energetico
- Discarica
- Compostaggio (per il Tetra Rex)
- Riciclo:
  - ✓ Riciclaggio in cartiera dedicata e non dedicata per il Tetra Rex
  - ✓ Riciclo di tipo meccanico per le bottiglie in PET

## 3.4 Qualità dei dati

I dati che generalmente si utilizzano in uno studio di tipo LCA possono essere suddivisi in dati primari e dati secondari.

Con la dicitura “*dati primari*” si intendono tutti i dati raccolti sul campo e che garantiscono il migliore grado di rappresentatività del sistema analizzato.

In particolare in questo studio i dati primari sono relativi alla produzione delle confezioni (preforme in PET, formatura bottiglie, produzione Tetra Rex), al confezionamento del latte, alle modalità di carico nell’ambito della distribuzione primaria, come pure al riciclo degli scarti di produzione dello stabilimento di Latina (Cartotecnica Pontina).

Per quanto riguarda i dati primari utilizzati nello studio, il loro reperimento è stato effettuato direttamente in situ, effettuando una o più visite tecniche presso i siti produttivi (con la sola eccezione dello stabilimento TetraPak PET Italia). Il filo diretto con tutti i produttori coinvolti nello studio ha permesso, in questa fase, di superare incomprensioni e di completare il quadro dei dati con informazioni aggiuntive.



I dati primari hanno riferimenti temporali compresi tra il 2000 (in minima parte) e il 2001.

Per “*dati secondari*” si intendono i dati che sono utilizzati per completare il modello analogico del sistema e che vengono reperiti da banche dati o da studi precedentemente svolti e pubblicati. Normalmente tali dati riguardano la produzione dell’energia, con particolare riferimento ai mix energetici dei paesi coinvolti, la produzione dei materiali utilizzati nei processi indagati, nonché i trasporti.

Relativamente ai dati secondari presenti nel modello di calcolo, questi si ritengono essere di elevata affidabilità in quanto la banca dati utilizzata (quella, cioè, del Boustead Model™ 4.4) risulta essere tra le più complete fra quelle attualmente in commercio. In particolare, i dati del mix energetico italiano sono quelli che l’ENEL trasmette annualmente all’Agenzia Internazionale dell’Energia.

Nel caso si sia resa necessaria la consultazione di diverse fonti di dati, oppure il ricorso a differenti database sono state predilette quelle fonti che riportavano gli ecoprofilo più aggiornati o più completi.

Ci si è inoltre basati sulle schede tecniche fornite dai produttori e sulla letteratura nel caso ci fossero difficoltà di identificazione delle proprietà specifiche delle singole sostanze.

Per quanto riguarda i trasporti i dati utilizzati sono riferiti:

- Alla reale situazione distributiva dell’anno 2001 relativamente alla consegna delle materie prime presso gli stabilimenti di produzione preforme in PET, produzione poliaccoppiato Tetra Rex, come pure relativamente alla fornitura di preforme in PET e di Tetra Rex presso lo stabilimento della Granarolo (BO).
- Al carico effettivo dei mezzi di trasporto per la consegna del prodotto confezionato dallo stabilimento della Granarolo (BO) fino alle sedi di distribuzione primaria. A questo proposito sono state utilizzate le informazioni sul massimo carico di un camion relativamente alle bottiglie di PET e alle confezioni di Tetra Rex, ed è stata assunta una distanza media percorsa pari alla media delle distanze che separano lo stabilimento di Bologna dalle reali filiali di riferimento per la distribuzione primaria del latte fresco (100 Km).

Nelle tabelle 3 e 4 sono riportati, per i principali processi inclusi all’interno dei confini del sistema, i riferimenti geografici e temporali delle fonti dei dati.



• **Qualità dei dati: contenitore Tetra Rex**

Life cycle step	Riferimento geografico	Riferimento
Produzione carta	Svezia	Froevi (Frovi,SE), Korsnaes (Gavle,SE), Stora Billerud (Skoghall, SE), 2001 Database Boustead, 2000
Produzione PE	Belgio / Italia	EXXON (Antwerp,Belgio), Ec Erdolchemie (Belgio), Polimeri Europa (Gela,CT), 2001 Database Boustead, 2000
Produzione poliaccoppiato	Svezia	Froevi (Frovi,SE), Korsnaes (Gavle,SE), Stora Billerud (Skoghall, SE), 2001 Database Boustead, 2000
Produzione Inchiostro	Italia	Coates Lorilleux S.p.A (Milano), 2001 Database Boustead, 2000
Produzione fotopolimeri	Italia	La Mago s.a.s (Modena), 2001/ Rotoflex s.r.l. (Sesto S.Giovanni, MI), 2001 Database Boustead, 2000
Produzione solvente “miscela”	Italia	Giuseppe Cambiagli S.p.A (Rho, MI), 2001 Database Boustead, 2000
Produzione interfalda carta	Italia	Database Boustead, 2000
Produzione carta per imballo	Italia	Database Boustead, 2000
Produzione LDPE per imballaggi	Olanda	DSM Polyethylenes (Sittard, Olanda), 2001 Database Boustead, 2000
	Italia	Database Boustead, 2000
Produzione pallet	Italia	Parmeggiani (San Cesario,MO); CEL (Mantova), 2001 Database Boustead, 2000
Trasporto al confezionamento	Italia	Tetra Pak Italiana (Rubiera, MO), 2001



Life cycle step	Riferimento geografico	Riferimento
Confezionamento	Italia	Granarolo (Bologna), 2000
Modalità di carico per trasporto alla distribuzione primaria	Italia	Granarolo (Bologna), 2000
Trasporti	Generico	Database Boustead, 2000
Percentuali fine vita	Italia	Comieco, 2001
Discarica	Italia	Media nazionale da banca dati I-LCA (Anpa, 2000)
Recupero energetico	Italia	Media nazionale da banca dati I-LCA (Anpa, 2000)
Riciclaggio Tetra Rex	Italia	Cartiera di Santarcangelo (RN), 2001
		Database Boustead, 2000
		Studio Università di Bologna su riciclo congiunto, 2001

**Tab.3:** qualità dei dati nel ciclo di vita del contenitore Tetra Rex.



• **Qualità dei dati: bottiglia in PET**

Life cycle step	Riferimento geografico	Riferimento
Produzione PET granulo	Italia	Tetra Pak PET Italia (Bergamo) 2000
		Database Boustead, 2000
Produzione preforma	Italia	Tetra Pak PET Italia (Bergamo) 2000
		Database Boustead, 2000
Produzione coloranti (acidi grassi o oli in esteri)	Italia	Database Boustead, 2000
Produzione Tappo in HDPE	Italia	Bormioli (Milano), 2001
Produzione di grassi (siliconico e per alte temp.)	Italia	Database Boustead, 2000
Produzione oli e grassi	Italia	Database Boustead, 2000
Produzione solventi (alcool etilico)	Italia	Database Boustead, 2000
Produzione materiali per imballaggio (cartone, LDPE film)	Italia	Database Boustead, 2000
Produzione pallet	Italia	Database Boustead, 2000
Trasporto al confezionamento	Italia	Granarolo (Bologna), 2000
Confezionamento	Italia	Granarolo (Bologna), 2000
Modalità di carico per trasporto alla distribuzione primaria	Italia	Granarolo (Bologna), 2000
Trasporti	Generico	Database Boustead, 2000
Percentuali fine vita	Italia	Corepla, 2001
Discarica	Italia	Media nazionale da banca dati I-LCA (Anpa, 2000)
Recupero energetico	Italia	Media nazionale da banca dati I-LCA (Anpa, 2000)
Riciclaggio PET	Italia	Studio LCA Università di Napoli-CONAI (2001)

**Tab.4:** qualità dei dati nel ciclo di vita della bottiglia in PET.