

# CONFRONTO FRA TRE METODI DI VALUTAZIONE DELL'IMPATTO AMBIENTALE APPLICATO AL CASO DELL'ANALISI DEL CICLO DI VITA DI UN SERVIZIO.

R. PERGREFFI\*, P. NERI\*\*, G. SPADONI\*\*\*

\* *Progetto SPINNER c/o ENEA, Via Martiri di Montesole 4, 40129, Bologna*

\*\* *ENEA, Sezione Metodi di Progettazione Innovativi, Bologna*

\*\* *Dipartimento Ingegneria Chimica, Mineraria e delle Tecnologie Ambientali, Università Bologna.*

**SINTESI:** Questo lavoro si propone di sintetizzare e di comparare tra loro i tre principali metodi di valutazione del danno ambientale: l'Ecoindicator 99, l'EPS 2000 e l'Edip 96. Adottando la metodologia dell'LCA, nostro compito è stato quello di comparare questi tre metodi di valutazione contenuti nel codice di calcolo Simapro 5; e ad un primo confronto applicato ad un caso teorico, si è fatto seguire un secondo confronto condotto sull'analisi del ciclo di vita del servizio della biblioteca comunale di Bagnolo in Piano(RE) durante un anno solare. Dall'analisi dei risultati emerge una confortante e sostanziale convergenza sui processi e sulle emissioni che in misura maggiore determinano il danno ambientale; d'altra parte le differenze tra i tre metodi sono innegabili e in alcuni casi profonde. Tuttavia se l'Ecoindicator 99 e l'EPS 2000 presentano una struttura del tutto analoga (le categorie di danno sono simili come del resto le unità di misura), l'Edip 96 conserva una diversa architettura poi abbandonata, pur mostrando alcune felici intuizioni assenti nei metodi successivi (è il caso della categoria d'impatto Bulk waste in cui vengono considerate le emissioni solide, cioè i rifiuti). Nel metodo Ecoindicator 99 al fine di evidenziare la quantità di energia utilizzata nei processi studiati, è stata creata la categoria di danno 'Energia', alla quale sono stati attribuiti tutti i raw material relativi ai combustibili fossili (esclusi quelli che si riferiscono al combustibile che serve come materia prima per la produzione della plastica (feedstock)) e alle altre forme di energia.

## 1. INTRODUZIONE

Nelle profondità oceaniche, dove regna la perfetta oscurità, gli studiosi hanno compiuto da pochi decenni alcune fondamentali scoperte. Prima fra tutte la presenza di forme di vita in assenza di luce solare, cosa per molto tempo ritenuta impensabile. La scienza, per comodità interpretativa, aveva sempre incatenato la vita al sole e all'energia che da questo proveniva; ora si sa che la luce solare, fondamentale per tante specie viventi, non rappresenta per la natura un limite insuperabile. Si è scoperto inoltre che il processo geologico provocava l'emissione di metano e di solfuro, sostanze fortemente dannose tanto per l'uomo quanto per qualsiasi altra forma di vita conosciuta. Eppure anche in queste condizioni estreme, la vita è riuscita ad imporsi, mostrando

in questo una capacità di adattamento straordinaria. Potremmo, alla luce di quanto esposto, considerare univocamente il solfuro ed il metano delle sostanze inquinanti? Soprattutto, cosa sono delle sostanze inquinanti? E allora come può essere definito l'inquinamento? Non è forse una variazione quantitativa della concentrazione di una sostanza che, non permettendo alla natura un successivo adattamento, produce una variazione qualitativa indesiderata? Georges Canguilhem, nel saggio "Il normale e il patologico", divenuto presto un classico del pensiero filosofico-scientifico, afferma che lo stato patologico non consiste nella mancanza di qualsiasi norma, al contrario è anch'esso "una norma di vita, ma una norma inferiore, nel senso che esso non tollera alcun allontanamento dalle condizioni in cui vale, incapace com'è di trasformarsi in un'altra norma" (G. Canguilhem, 1998). Se la fisiologia per Canguilhem consta di due attributi, la normalità, cioè l'adattamento ad un certo ambiente e alle sue esigenze, e la normatività, cioè la capacità di seguire nuove norme di vita, la patologia al contrario è da intendersi come una 'fisiologia incompleta', dotata del solo attributo della normalità, che attende di divenire normativa. Allora potremmo dire che nessuna sostanza è inquinante di per se stessa, lo diviene quando la sua concentrazione risulta superiore alla capacità del sistema di adottare un'altra norma, divenendo ad un tempo normale e normativo. Ma, come tutti sanno, la biologia è lenta, il tempo in cui questo adattamento potrà compiersi va al di là della percezione umana. La natura, questo "oggetto enigmatico (...) che ci sostiene" per dirla con Merleau-Ponty, ha le sue proprie leggi, e queste per nessuna ragione possono essere trascurate.

## **2. L'ANALISI DEL CICLO DI VITA**

Esistono diverse metodologie per l'analisi dell'LCA: la standardizzazione di questi metodi è stata compiuta da "SETAC" (Society of Environmental Toxicology and Chemistry, [1993]) e da "ISO" (International Standard Organisation): quest'ultima ha definito ed emanato una norma che offre riferimenti per la corretta applicazione dell'analisi del ciclo di vita. La definizione proposta dalla SETAC per l'LCA è la seguente: "L'LCA è un processo che permette di valutare gli impatti ambientali associati ad un prodotto, processo o attività, attraverso l'identificazione e la quantificazione dei consumi di materia, energia ed emissioni nell'ambiente e l'identificazione e la valutazione delle opportunità per diminuire questi impatti." L'LCA deve fondarsi su un unico principio madre: un prodotto, così come un servizio, va "seguito" e analizzato in ogni fase della sua vita, dalla culla alla tomba (from cradle to grave), poiché ogni azione associata ad una fase può avere riflessi su fasi precedenti o successive.

### **2.1. Metodologia**

L'elaborazione di un LCA prevede quattro fasi (Curran M. A., 1996): 1) Definizione dell'obiettivo e del campo d'applicazione dello studio (Goal and scope Definition). 2) Analisi dell'inventario (Life Cycle Inventory - LCI), nella quale si compila un inventario d'ingressi (cioè materiali, energia, risorse naturali) ed uscite (emissioni in aria, acqua, suolo) rilevanti del sistema. 3) Valutazione degli impatti ambientali (Life Cycle Impact Assessment - LCIA) potenziali, diretti ed indiretti, associati a questi input ed output. 4) Analisi dei risultati e valutazione dei miglioramenti delle due fasi precedenti (Life Cycle Interpretation) ossia la definizione delle possibili linee d'intervento.

La fase preliminare è quella di definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione e rappresenta uno stadio rilevante nello sviluppo dello studio perché chiarisce la ragione principale per la quale si esegue la LCA (comprendendo anche l'utilizzazione che si farà dei risultati), descrive il sistema oggetto dello studio e i suoi confini, elenca le categorie di dati da sottoporre allo studio e decide il livello di dettaglio che si vuole raggiungere. Fornisce, in sintesi, la

pianificazione iniziale per effettuare uno studio di LCA. Dopo avere definito obiettivo e confini del sistema si passa all'analisi d'inventario in cui sono individuati e quantificati i flussi in ingresso e in uscita dal sistema lungo tutto la sua vita. Il procedimento per condurre l'analisi è di tipo iterativo e si basa sulla raccolta e conoscenza dei dati. Una volta redatto l'inventario si può passare alla valutazione degli impatti mediante un processo tecnico - quantitativo e/o qualitativo per caratterizzare e valutare gli impatti ambientali delle sostanze identificate proprio nella fase di inventario. In questo modo sono valutati gli effetti sulla salute e sull'ambiente indotti dal prodotto o servizio nel corso del suo ciclo di vita.

## **2.2. Il Metodo degli Ecoindicatori**

Il metodo degli Eco-Indicator 99 (PRé Consultants B.V.,1999) applicato mediante l'uso del codice di calcolo SimaPro 5.0 (Goedkoop M., 2002) aggrega i risultati di un LCA in grandezze o parametri facilmente comprensibili ed utilizzabili, chiamati appunto Eco-indicatori. Lo schema del metodo valuta tre tipi di danno ambientale: la salute umana (Human Health), la qualità dell'ecosistema (Ecosystem Quality) e lo sfruttamento delle risorse (Resources); a queste tre categorie sono associate le rispettive categorie di impatto: HH Carcinogens, HH Respiratory organics, HH Respiratory inorganics, HH Climate change, HH Radiation e HH Ozone layer, misurate in DALY (Disability Adjusted Life Years); EQ Ecotoxicity, EQ Acidification/Eutrophication e EQ Land-use, misurate in PDF\*m<sup>2</sup>y (Potentially Disappeared Fraction); R minerals e R Fossil fuels, misurate in MJ surplus.

Il software SimaPro 5.0, creato dalla Prè (Product Ecology Consultants-NL), è compatibile con l'ambiente Windows. Esso è un prodotto informatico complesso, che contiene al suo interno diversi database (denominati Prè standard, BUWAL 250 e IVAM), questi comprendono le diverse categorie necessarie alla descrizione di un ciclo di vita; si trovano infatti dettagliatamente classificati e descritti all'interno di ciascuna banca dati: materiali, processi, energia e sistemi di trasporto, metodi di smaltimento e trattamento dei rifiuti.

Il SimaPro 5.0 è un software d'indagine iterativa molto aperto poiché le banche dati di cui dispone possono in qualsiasi momento essere corrette e integrate in maniera flessibile, fornendo la possibilità di creare nuovi processi o materiali o di modificare quelli già esistenti, adattandosi alle necessità del caso studiato.

## **2.3. Il Metodo EPS 2000**

Il sistema EPS (CPM, 1999) si fonda sulla metodologia della valutazione del ciclo di vita (LCA). Nel concetto di LCA si presuppone che l'impatto di un prodotto, di un servizio o di un processo sia riferito all'intera vita del sistema. Il metodo EPS 2000 contiene quattro categorie di danno (damage category): Human Health, Ecosystem Production Capacity, Abiotic Stock Resource, Biodiversity. In ogni categoria di danno sono comprese una o più categorie d'impatto (impact category), ciascuna univocamente determinata da una propria unità di misura.

Le categorie d'impatto considerate nella Human Health sono cinque: 1) Life expectancy, espressa in person year (o YOLL-years of lost life cioè anni di vita persi); 2) Severe morbidity and suffering (come l'inedia), espressa in person years; 3) Morbidity (come un raffreddore o un'influenza), espressa in person year; 4) Severe Nuisance (che normalmente induce una reazione in modo da evitare quanto più possibile il perdurare di un disturbo), espressa in person year; 5) Nuisance (irritante ma senza alcun effetto diretto sulla salute umana), espressa in person year. Le categorie d'impatto considerate nell'Ecosystem Production Capacity sono sei: 1) Crop Growth Capacity, espressa in kg; 2) Wood Growth Capacity, espressa in kg; 3) Fish and Meat Production, espressa in kg; 4) Soil Acidification, espressa in H+ moli equevalenti; 5) Prod. Cap. Irrigation water, espressa in kg; 6) Prod. Cap. Drinking water, espressa in kg.

La categoria d'impatto considerata nell'Abiotic Stock Resource è soltanto Depletion of reserves, mentre quella considerata in Biodiversity è soltanto Species Extinction. Nel metodo EPS 2000 i fattori peso rappresentano la 'buona volontà di pagare' (willingness to pay-WTP) per evitare qualsiasi cambiamento che possa comportare un peggioramento delle condizioni ambientali e della salute umana. Se i fattori peso nascono a partire da una valutazione di carattere economico e da una quantificazione monetaria, così come l'unità di misura stessa, l'EUR, sta ad indicare, la successiva trasformazione comporta tanto il mantenimento del valore numerico precedentemente calcolato, Ecotoxicity quanto la sostituzione dell'unità di misura, con il passaggio da EUR a ELU (Environmental Load Unit).

## **2.4. Il Metodo Edip 96**

Il metodo Edip (Wenzel H et al., 1997) comprende le seguenti generali categorie di danno: impatto ambientale, consumo delle risorse e impatto nell'ambiente di lavoro. Queste tre categorie hanno tra loro la stessa importanza. Gli impatti interni a queste categorie principali sono ulteriormente divisi a seconda della loro estensione geografica in: impatto globale, impatto regionale e impatto locale. Questa suddivisione è significativa per la parte finale della valutazione, dove i contributi alle varie categorie di impatto sono normalizzati e pesati, questo perché il carattere e le modalità d'azione differiscono a seconda delle differenti estensioni geografiche. Il consumo delle risorse non rinnovabili è evidentemente un impatto globale, l'impatto ambientale al contrario può essere globale, regionale o locale, mentre il consumo delle risorse rinnovabili e l'impatto sull'ambiente di lavoro sono locali, o in alcuni casi regionali. L'impatto ambientale include gli impatti sull'ambiente esterno e tra questi la salute umana. Le categorie d'impatto presenti in Edip 96 con le rispettive unità di misura sono le seguenti: Global warming (g CO<sub>2</sub>), Ozone depletion (g CFC11), Acidification (g SO<sub>2</sub>), Eutrophication (g NO<sub>3</sub>), Photochemical smog (g ethene), Ecotoxicity water chronic (g/m<sup>3</sup>), Ecotoxicity water acute (g/m<sup>3</sup>), Ecotoxicity soil chronic (g/m<sup>3</sup>), Human toxicity air (g/m<sup>3</sup>), Human toxicity water (g/m<sup>3</sup>), Human toxicity soil (g/m<sup>3</sup>), Bulk waste (kg), Hazardous waste (kg), Radiactive waste (kg), Slags/ashes (kg), Resources (kg).

## **3. RISULTATI E DISCUSSIONI**

### **3.1. Definizione degli obiettivi e dei confini dello studio**

Obiettivo di questo studio è quello di determinare e di valutare il danno ambientale dovuto alla fabbricazione, all'uso e al fine vita dell'edificio e di tutte le strutture necessarie al servizio bibliotecario. Il sistema che viene considerato è quindi il servizio prestato dalla biblioteca di Bagnolo in Piano. Per servizio intendiamo evidentemente il materiale e le attrezzature di cui la biblioteca dispone e che offre agli utenti (libri, giornali, riviste, postazioni internet) ma anche tutte quelle strutture senza le quali la biblioteca non potrebbe esistere (tavoli, sedie, bagni, porte, muri, ecc...). I confini dello studio comprendono i consumi di energia elettrica, termica e idrica, la produzione l'uso e il fine vita dei materiali, degli impianti e delle attrezzature di cui è fornita la biblioteca e, infine, la costruzione e l'abbattimento dell'edificio che ospita il servizio bibliotecario. Si è volutamente trascurato l'opera di ristrutturazione che ha riguardato l'edificio negli ultimi anni. Come unità funzionale dello studio si assume la popolazione di Bagnolo in Piano in quanto utente del servizio durante un anno di attività. Per alcuni elementi dell'inventario si è fatto ricorso alle banche dati già presenti nel codice e alla banca dati dell'IVAM (i cui dati si riferiscono ad un periodo compreso tra il 1996 e il 1999). Quando necessario, sono stati appositamente creati materiali e processi. La valutazione dell'impatto ambientale viene eseguita

utilizzando rispettivamente il metodo EDIP 96, il metodo Eco-indicator 99 E e il metodo EPS 2000. Nel metodo Eco-indicator 99 la scelta della prospettiva egualitaria è stata fatta perché nell'analisi del ciclo di vita si ritiene necessario usare un criterio precauzionale (delle sostanze emesse non si conosce, se non in modo del tutto approssimativo, l'effetto che hanno sulla salute umana e sull'ambiente; tuttavia il solo fatto che si sospetti una relazione di causa effetto fra certe emissioni e lo stato dell'uomo e dell'ambiente, giustifica l'utilizzo di un approccio preventivo e cautelativo) e una prospettiva di lungo periodo (si preferisce pensare che i problemi non potranno essere risolti nel futuro, perché non si ritiene né politicamente condivisibile né tanto meno scientificamente ammissibile lasciare in eredità alle prossime generazioni la risoluzione di problemi che marcano in modo indelebile il nostro tempo). La versione egualitaria considera il maggior numero di sostanze seppur presentando un livello di incertezza elevato a causa di alcuni dati sui quali il consenso scientifico è scarso.

### 3.2 Confronto tra i tre metodi

Utilizzando le informazioni che dei tre metodi sono state ricavate tanto da un punto di vista teorico quanto da un punto di vista applicativo, si cerca ora di proporre un primo confronto tra l'Ecoindicator 99, l'EPS 2000 e l'Edip 96.

- I metodi Ecoindicator 99 ed EPS 2000 possono essere confrontati con maggiore facilità se ci si riferisce alla categoria di danno Human Health. Ciò è dovuto alla presenza di due unità di misura, rispettivamente il DALY e il Person Year (o YOLL), che nascono dall'esigenza comune di quantificare il danno sulla salute umana provocato da un certo livello di emissioni. Con il metodo EPS 2000 si raggiunge un maggior grado di approfondimento sulla salute umana rispetto a quello che si ottiene con l'Ecoindicator 99 e con l'Edip 96: questo è determinato da un maggior numero di categorie d'impatto (5) riferite alla categoria di danno Human Health e ordinate secondo la gravità della malattia (Life expectancy, Severe Morbidity, Morbidity, Severe Nuisance, Nuisance). In queste cinque categorie spesso vengono considerate le stesse sostanze emesse: la CO<sub>2</sub>, per esempio, è presente nelle prime tre categorie d'impatto; la SO<sub>x</sub>(as SO<sub>2</sub>) è assente unicamente dalla categoria Severe Nuisance, allo stesso modo del dust. Per una stessa sostanza il valore del fattore di caratterizzazione varia a seconda della categoria d'impatto. Avremo cioè che per la sostanza heavy metals, presente in tutte le categorie eccetto Nuisance, i fattori di caratterizzazione valgono rispettivamente 2,152E-6 in Life expectancy, 2,681E-7 in Severe Morbidity, 7,409E-6 in Morbidity, 0,002039 in Severe Nuisance, tutti quanti determinati con metodi empirici.
- Nel metodo EPS 2000 la categoria d'impatto Severe Nuisance presenta alcune significative differenze rispetto alle altre quattro categorie dello Human Health. In Severe Nuisance vengono considerate soltanto quattro sostanze: heavy metals, littering, metals, Pb, in evidente contrasto con quanto compare nelle altre categorie d'impatto ben più numerose. Per comprendere le ragioni della presenza di una sostanza come il littering in una categoria che per definizione dovrebbe riferirsi a malattie 'minori' come possono essere un raffreddore o un'influenza, bisogna tornare al calcolo del fattore di caratterizzazione determinato con un metodo meccanicistico. Il modello ritiene che per distruggere un pacchetto vuoto di 0,02m<sup>2</sup>, occorrono 10 secondi. Assumendo il costo del lavoro pari a 10 EUR/h, l'aumento della 'buona volontà a pagare' (WTP) è così  $10/3600 \cdot 10 = 0,0278$  EUR o  $0,0278/0,02 = 1,39$  EUR/m<sup>2</sup>. Utilizzando il valore del WTP per la Severe Nuisance di 1000 EUR/person-year, la Nuisance del pacchetto corrisponderebbe a  $2,78 \cdot 10^{-5}$  person-year oppure a 14,6 minuti di Severe Nuisance. Il calcolo del fattore di caratterizzazione è  $2,78 \cdot 10^{-5}/0,02 = 1,39 \cdot 10^{-3}$  person-years/m<sup>2</sup>.

Inoltre alcuni altri fattori di caratterizzazione presentano valori inattesi, essendo di alcuni ordini di grandezza superiori rispetto a quanto ci si potrebbe aspettare. Nel caso dell'heavy metals il fattore di caratterizzazione vale 0,002039 che è un numero piuttosto alto se confrontato con quelli analoghi delle altre categorie d'impatto. Da ciò si può dedurre che le emissioni di metalli pesanti determinano un danno maggiore nella categoria Severe Nuisance piuttosto che in Severe Morbidity, dal momento che la probabilità di danno da parte dei metalli pesanti risulta superiore nell'uno anziché nell'altro.

- Nell'Ecoindicator 99 il land use è una categoria di impatto espressa in  $\text{PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr}$ . Il PDF (Potentially Disappeared Fraction) indica l'incremento della percentuale di specie di piante vascolari che in Europa hanno un'alta probabilità di estinguersi e vale la relazione:

$$\text{PDF} = 1 - \text{POO} \text{ (probabilità di comparire)}$$

Tali valori sono ottenuti con metodi empirici. Il danno totale all'EQ si ottiene moltiplicando il PDF per un'area ( $\text{m}^2$ ) e per un tempo (year).

Nell'EPS 2000 il land use viene trattato alla stregua di qualunque altra sostanza e compare in tre categorie di impatto differenti: Wood Growth Capacity (alla voce Hardmaking of forest land), Species extinction e Severe Nuisance (alla voce littering).

La presenza della sostanza littering in una categoria di danno quale lo Human Health rappresenta un unicum per tutti tre i metodi.

Nell'Edip 96 il land use non compare in alcun modo: né come categoria d'impatto, né come sostanza.

- Come si è avuto modo di notare nell'Ecoindicator 99 con il solo Halon, nell'EPS una stessa sostanza, per esempio la  $\text{CO}_2$ , compare in alcune categorie d'impatto con segno positivo (Life Expectancy, Severe Morbidity e Morbidity nella categoria di danno Human Health, Crop Growth Capacity nella categoria di danno Ecosystem Production Capacity, Species Extinction nella categoria di danno Biodiversity) e in altre categorie con segno negativo. Nella categoria d'impatto Wood growth capacity il fattore di caratterizzazione della  $\text{CO}_2$  vale  $-4,05\text{E}-2 \text{ kg wood DS/ kg CO}_2$ , pertanto in virtù della conservazione del segno, il contributo delle emissioni di  $\text{CO}_2$  si manterrà negativo, non determinando in tal modo alcun danno.

- Il metodo Edip 96 presenta alcune differenze strutturali significative rispetto all'Ecoindicator 99 e all'EPS 2000. Innanzitutto in tale metodo è stata compiuta una separazione tra: Edip/UMIP 96 e Edip/UMIP 96 (resources only).

Nell'Edip/UMIP 96 (resources only) compaiono solo le risorse, presenti anche nel metodo base come categoria d'impatto. Unicamente nel metodo Edip 96 con la categoria d'impatto Bulk waste, si tiene conto del danno dovuto alle solid emission, che per semplicità possono essere considerate dei rifiuti. Il danno provocato dalle emissioni solide è misurato in kg. Le emissioni presenti nella categoria d'impatto Bulk waste comprendono tra le altre: construction waste, glass, industrial waste, mineral waste, packaging waste, PE, plastic production waste, solid waste, wood packaging. Anche l'unità di misura delle solid emission è il kg, quindi i fattori di caratterizzazione devono essere adimensionali; inoltre risultano uguali per tutte quante le sostanze e valgono 1, eccetto nel caso del plastics packaging in cui il fattore di caratterizzazione vale 0.

- Due categorie d'impatto confrontabili sono il Global warming del metodo Edip 96 e il Climate change del metodo Ecoindicator 99. Entrambe rispondono alla esigenza comune di determinare la variazione del clima a fronte di un certo livello di emissioni. Il Climate change fa parte della categoria di danno Human Health e si misura in DALY; il Global warming al contrario può essere inteso esso stesso come categoria di danno oltre che d'impatto, e si misura in  $\text{gCO}_2$ . Le sostanze contenute in queste due categorie sono in buona parte le stesse: CFC, CO,  $\text{CO}_2$ (fossil),  $\text{CO}_2$ , HALON 1301, HCFC, HFC, methane,  $\text{N}_2\text{O}$ , non

methane VOC, tetrachloromethane. Nell'Ecoindicator 99 il fattore di caratterizzazione dell'HALON 1301 è negativo, ciò significa che l'emissione di HALON in atmosfera contribuisce ad evitare un danno; viceversa il fattore di caratterizzazione dell'HALON 1301 nell'Edip 96 è positivo. Dall'analisi del ciclo di vita della biblioteca risulta che utilizzando il metodo Edip 96, il Global warming è dovuto per il 73,62% all'elettricità che produce un'emissione di CO<sub>2</sub> pari a 1,15E7 gCO<sub>2</sub>, utilizzando il metodo Ecoindicator 99, il Climate change è determinato per il 69,7% ancora dall'elettricità.

- La categoria di danno Resources del metodo Ecoindicator 99 si compone di due categorie d'impatto: Minerals e Fossil Fuel, entrambe misurate in MJ surplus. Si intende cioè considerare la tendenza di lungo periodo del depauperamento della qualità delle risorse. L'assunzione fatta è che, se la quantità di risorse si riduce, maggiore sarà lo sforzo per l'accaparramento successivo della stessa. L'unità di misura per valutare questa categoria di danno, come già è stato detto, è il surplus di energia, valutato in MJ surplus. Il danno di un MJ surplus energy significa che, in seguito ad una certa estrazione, una successiva estrazione di un kg di risorsa richiederà un'energia aggiuntiva pari a un MJ, dovuto sia alla minore concentrazione sia alle caratteristiche sempre più sfavorevoli dell'estrazione stessa. Il riferimento temporale considerato critico è il momento in cui il consumo della risorsa sarà cinque volte quello del 1990. In altre parole il MJ surplus energy corrisponde all'energia aggiuntiva che sarà necessario utilizzare per estrarre 1 kg di risorsa, quando il consumo di questa sarà cinque volte quello del 1990.

La categoria d'impatto Resources nel metodo Edip 96 si sviluppa sulla base di valutazioni analoghe a quelle riportate sopra, inoltre considera in larga misura le stesse sostanze che fanno parte delle due categorie Minerals e Fossil Fuel nell'Ecoindicator 99. Fra queste ricordiamo: aluminium (in ore), coal (feedstock) FAL, coal ETH, copper (in ore), energy from coal, energy from lignite, energy from natural gas, iron (in ore), mercury (in ore), nickel(in ore), natural gas (feedstock), natural gas (vol), natural gas ETH, tin (in ore), zinc (in ore). D'altra parte l'unità di misura nel metodo Edip 96 della categoria d'impatto Resources non è il MJ surplus bensì il kg. I fattori di caratterizzazione delle sostanze emesse sono differenti, come del resto si è già avuto modo di notare in precedenza, mentre i rapporti tra i fattori di caratterizzazione mantengono lo stesso ordine di grandezza nella maggioranza dei casi.

### 3.3 Analisi dei risultati della caratterizzazione con il metodo Ecoindicator 99

Dall'analisi dei risultati della caratterizzazione (Figura 1) si può notare che:

- nella categoria di danno Human Health (0.0193 DALY) la categoria di impatto che presenta il maggior danno è Respiratory inorganics (0.0142 DALY); tale danno è dovuto per il 52.3% al consumo di elettricità, a sua volta determinato per il 35.91% dall'emissione di 165 lb di SO<sub>x</sub>(as SO<sub>2</sub>). La categoria Carcinogens presenta nel processo Redificio biblioteca un danno evitato pari a -0.000121 DALY, dovuto per il 47.91% alla produzione evitata di 811mg di Cd in acqua nel processo di fabbricazione dello Zinc, che viene assunto come avoided product dal processo Recycling non ferro scelto come waste treatment per il rame.
- nella categoria di danno Ecosystem Quality (1.11E3 PDF\*m<sup>2</sup>y) la categoria di impatto che presenta il maggior danno è il Land use (435 PDF\*m<sup>2</sup>y) dovuto per il 69.06% all'LCA dell'edificio ed in particolare al solaio (110.7%) che usa cemento: quindi il Land use è dovuto principalmente alla fabbricazione del cemento. In Ecotoxicity (352 PDF\*m<sup>2</sup>y) il danno è dovuto per l'80.76% al consumo di elettricità, a sua volta determinato per il 75.24% dall'emissione di 30.1 g di Ni.

- nella categoria di danno Resources (1.98E4 MJ Surplus) la categoria di impatto che presenta il maggior danno è Fossil fuels (1.9E4 DALY) dovuto per il 53.44% al consumo di elettricità che a sua volta è dovuta per il 68.68% all'emissione di 1.97E3 kg di crude oil ETH.

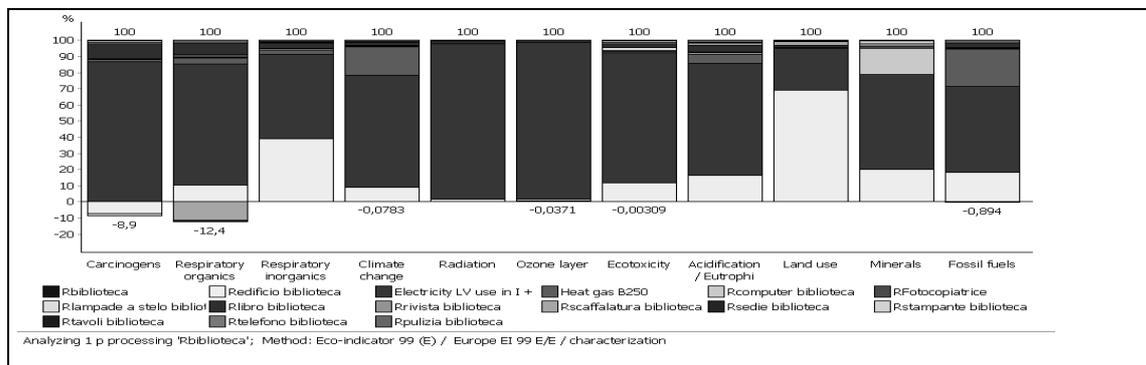


Figura 1. Diagramma della caratterizzazione con il metodo Ecoindicator 99

### 3.4 Analisi dei risultati della caratterizzazione con il metodo EPS 2000

Dall'analisi dei risultati della caratterizzazione e del damage assessment (Figura 2) si può notare che:

- Nella categoria di danno Human Health (3.72 ELU) la categoria di impatto che produce il danno massimo è Nuisance (0.747 PersonYr) dovuto per il 74.4% all'uso dell'elettricità che produce 165 lb di SO<sub>x</sub>(as SO<sub>2</sub>). La categoria di impatto che produce il secondo maggiore danno è Life expectancy (0.0354 PersonYr) dovuto per il 47.01% all'edificio per la costruzione del quale vengono emessi 85.5 lb di polveri (dust (SPM)).
- La categoria di danno Ecosystem Production Capacity produce-22 ELU. La categoria di impatto Soil acidification produce il danno di 197 H<sup>+</sup> eq dovuto per il 74.11% all'uso dell'elettricità che produce 165 lb di SO<sub>x</sub>(as SO<sub>2</sub>). La categoria Crop Growth Capacity produce il danno 46.1 kg dovuto per il 63.74% all'uso dell'elettricità che produce 56.2 lb di NO<sub>x</sub>(as NO<sub>2</sub>) che causano una riduzione di 17.9 kg di raccolti (crop) e 1.15E4 kg di CO<sub>2</sub> che causano una riduzione di 8.71 kg di raccolti (crop). La categoria Wood Growth Capacity (-740 kg) presenta un vantaggio dovuto per il 72.98% all'elettricità, per la quale sono emessi 1.15E4 kg di CO<sub>2</sub>. Riteniamo che la ragione per la quale la CO<sub>2</sub> in questo caso abbia un effetto positivo sia dovuta al fatto che nel caso del legno serve per produrre la sua crescita mediante il processo di fotosintesi. Si ritiene che nelle categorie d'impatto precedentemente analizzate, la CO<sub>2</sub> contribuisca invece alla variazione del clima con conseguenze sia sulla salute dell'uomo sia sull'ambiente. La categoria di impatto che produce il secondo vantaggio è Fish and Meat Production (0.0118 PersonYr) dovuto per il 64.51% all'elettricità che produce 56.2 lb di NO<sub>x</sub>(as NO<sub>2</sub>). Si ritiene che il vantaggio sia dovuto all'effetto nutritivo dell'azoto.
- Nella categoria di danno Abiotic stock resources (9.35E3 ELU) la sola categoria di impatto Depletion of reserves è dovuta per il 47.51% all'uso dell'elettricità che richiede l'uso di 446 oz di copper(in ore).
- Nella categoria di danno Biodiversity (30.7 ELU) la sola categoria di impatto Species Extinction (2.79E-10 NEX) è dovuta per il 47.33% all'uso dell'elettricità che produce 1.15E4 kg di CO<sub>2</sub>.

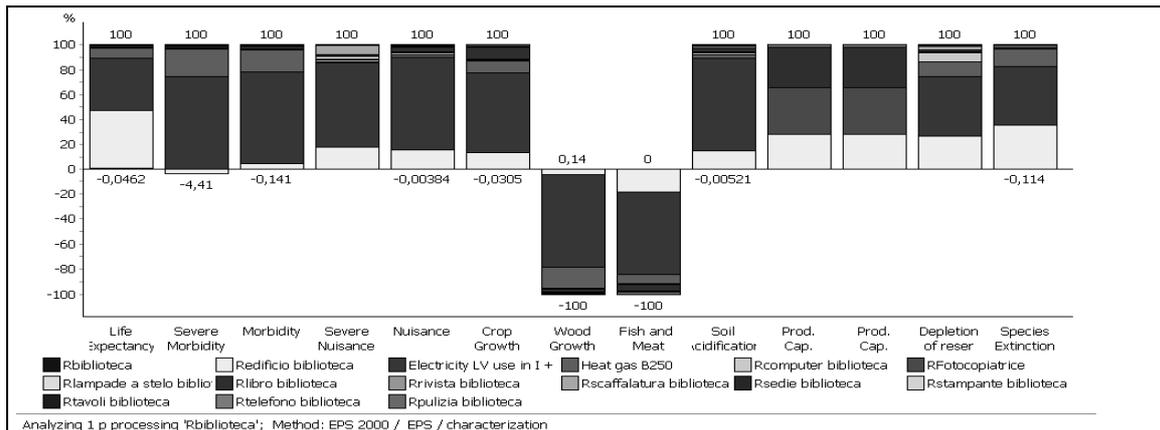


Figura 2. Diagramma della caratterizzazione con il metodo EPS 2000

### 3.5 Analisi dei risultati della caratterizzazione con il metodo Edip 96

Dall'analisi dei risultati della caratterizzazione si può notare che:

- Il Global warming ( $1.65E7g CO_2$ ) è dovuto per il 73.62% all'elettricità e a causa di questa per il 95% all'emissione di  $1.15E7 g$  di  $CO_2$ . L'uso del legno per la fabbricazione dei tavoli conduce ad un guadagno di  $2.55E4g CO_2$  che rappresenta la quasi totalità di  $CO_2$  assorbita dagli alberi prima del loro abbattimento: questo determina inevitabilmente un valore negativo cioè un danno evitato.
- L'Ozone depletion ( $11.3g CFC11$ ) è dovuto per il 97.29% all'elettricità e a causa di questa per l'83.01% all'emissione di 761 mg di HALON-1301.
- L'Acidification ( $1.26E5g SO_2$ ) è dovuto per il 74.05% all'elettricità e a causa di questa per l'80.26% all'emissione di 165 lb di  $SO_x$  (as  $SO_2$ ).
- L'Eutrophication ( $5.51E4g NO_3$ ) è dovuto per il 64.98% all'elettricità e a causa di questa per l'96.24% all'emissione di 56.2 lb di  $NO_x$  (as  $NO_2$ ).
- L'Ecotoxicity water cronic ( $5.46E7 g/m^3$ ) è dovuto per il 87.21% ai libri e a causa di questi per l'98.66% all'emissione di 39.7 oz di metallic ions in acqua. In questa categoria di danno l'edificio produce un vantaggio di  $-1.42E6 g/m^3$  dovuto al riciclo dell'alluminio
- L'Ecotoxicity water acute ( $5.45E6 g/m^3$ ) è dovuto per il 87.49% ai libri e a causa di questi per l'99.54% all'emissione di 39.7 oz di metallic ions in acqua. In questa categoria di danno l'edificio produce un vantaggio di  $-1.02E5 g/m^3$  dovuto al riciclo dell'alluminio
- L'Ecotoxicity soil cronic ( $3.99E6 g/m^3$ ) è dovuto per il 83.18% all'edificio e a causa di questo per il 100.1% all'emissione di 87.4 g di acetone in aria dovuti alla verniciatura.
- Nell'Human toxicity air ( $1.19E9 g/m^3$ ) il processo che presenta il danno massimo è quello dei libri che produce 7.3 g di heavy metals in aria. L'edificio produce un vantaggio di  $-1.63E10 g/m^3$  dovuto principalmente alla mancata emissione di 14 g di metals in aria dovuti al riciclo dell'alluminio.
- Nell'Human toxicity water ( $3.98E6 g/m^3$ ) il processo che presenta il danno massimo è quello dei libri, che produce 39.7 oz di metallic ions in acqua. L'edificio produce un vantaggio di  $-2.45E6 g/m^3$ , dovuto principalmente alla mancata emissione di 14 g di metals in aria prodotti durante il riciclo dell'alluminio.
- Nell'Human toxicity soil ( $4.36E3 g/m^3$ ) il processo che presenta il danno massimo (70.73%) è quello del riscaldamento (Heat gas), che produce 39.7 oz di metals in aria. L'edificio produce un vantaggio di  $-7.13E3 g/m^3$  dovuto principalmente alla mancata emissione di 14 g di metals in aria prodotti nel riciclo dell'alluminio.

- Bulk waste produce un vantaggio di  $-1.67E4$  kg a causa dell'edificio per causa del quale vengono emessi  $1.79E4$  kg della solid emission final waste (inert) contenuta in landfill ceramics che non viene messa in discarica perché viene riciclata. In tale categoria il massimo danno è dovuto al processo dei computer a causa di 248 kg di inorganic general emessi nella produzione del rame.
- Hazardous waste produce un vantaggio di  $-0.127$  kg soprattutto a causa dell'edificio per causa del quale vengono emessi  $0.443$  kg della solid emission chemical waste emessa nel processo di produzione dell'acciaio (ECCS steel sheet) che viene riciclata. In tale categoria il massimo danno è dovuto al processo dei computer a causa di 248 kg di inorganic general emessi nella produzione del rame.

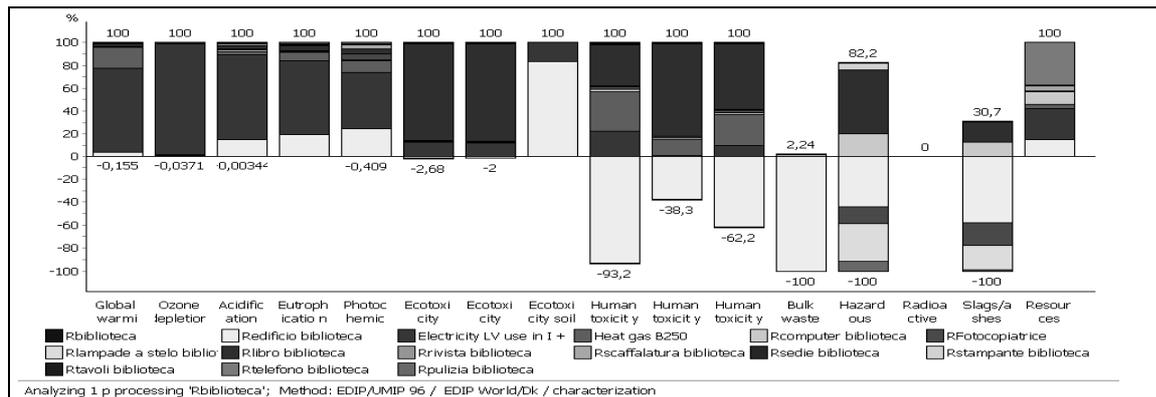


Figura 3. Diagramma della caratterizzazione col metodo EDIP 96

#### 4. CONCLUSIONI

Confrontando i tre metodi, dall'analisi della caratterizzazione risulta che il processo che determina in molte categorie il valore del danno sull'ambiente e sull'uomo è quello dell'elettricità, anche se nel metodo Edip la salute umana è condizionata in modo maggiore dalla produzione di metalli pesanti in aria dovuto al processo dei libri. Inoltre dall'analisi della valutazione emerge che i processi che determinano in misura maggiore il valore del danno ambientale sono simili per tutti tre i metodi: l'elettricità, il consumo di gas e il rame (nell'Ecoindicator il rame è sostituito dal riciclo dei materiali da costruzione). Infine nella valutazione il rapporto tra i valori dei processi più dannosi mantengono lo stesso ordine di grandezza.

#### BIBLIOGRAFIA

- Canguilhem G., (1998) Il normale e il patologico, Einaudi, Torino.
- CPM, 1999, A systematic approach to environmental priority strategies in product development (EPS). Version 2000, CPM report, Chalmers University of Technology.
- Wenzel H., Hauschild M., Alting L. (1997) Environmental assessment of products, Vol.1 (methodology, tools and case studies in product development), Chapman and Hall, London.
- PRé Consultants B.V., 1999, The Eco-indicator 99, Methodology Report.
- Curran M. A. (1996) Environmental Life Cycle Assessment, McGraw-Hill.
- Goedkoop M., Oele M., 2002, User manual, Introduction into LCA methodology and practice with Simapro 5, Report version, Prè Consultants.