

# ANALISI AMBIENTALE ED ECONOMICA DEL RICICLO DELL'ALLUMINIO CON IL METODO LCA (LIFE CYCLE ASSESSMENT)

G. OLIVIERI\*, P. NERI\*\*, A. ROMANI\*\*\*

*\*Progetto SPINNER c/o ENEA (Ente Nuove tecnologie, Energia e Ambiente), Via  
Martiri di Montesole 4, 40129 Bologna*

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

*\*\*\*Laboratorio di merceologia, Facoltà di Economia, Università di Firenze*

SOMMARIO: L'alluminio é il metallo più usato nel mondo dopo l'acciaio e, per una straordinaria combinazione di proprietà merceologiche, ha una vastissima gamma di applicazioni in molteplici settori industriali. Questa ricerca ha per oggetto l'analisi ambientale ed economica dell'alluminio secondario. In particolar modo, si è voluto mettere in evidenza la caratteristica della sua totale riciclabilità che offre numerosi benefici sia per i consumatori sia per l'industria in termini di: risparmio energetico, rispetto alla produzione di alluminio primario; recupero di materia prima riutilizzabile per altre produzioni, evitando il prelievo di risorse naturali non rinnovabili; riduzione del quantitativo di rifiuti immessi nelle discariche e dei conseguenti effetti nocivi per l'ambiente; riduzione dell'estrazione di bauxite, che è un prezioso contributo alla salvaguardia dei territori interessati alle escavazioni del minerale (per la maggior parte paesi in via di sviluppo), e alla diminuzione degli impatti socio-economici sulle relative popolazioni; vantaggi economici complessivi per l'Italia, in quanto primo produttore europeo di alluminio secondario, data la scarsità di miniere di bauxite e gli alti costi energetici. Gli strumenti utilizzati nello studio sono il metodo Life Cycle Assessment (LCA), gli Ecoindicator 99 (a cui si sono apportate delle modifiche ad hoc) e il codice di calcolo SimaPro. Si è considerato come caso studio il processo di produzione di alluminio secondario della ICMET S.p.A. di Rubiera (RE). L'analisi costituisce un esempio di valutazione economica e ambientale di un processo di produzione di una PMI interessata a fornire una corretta informazione ambientale alla collettività, nonché il frutto della collaborazione tra due strutture pubbliche di ricerca (l'ENEA e l'Università di Firenze) che hanno fornito gli strumenti per lo studio.

## 1. INTRODUZIONE

Nei paesi industrializzati l'importanza della questione ambientale è ormai pienamente riconosciuta, infatti, le più recenti analisi di tipo interdisciplinare sui modelli di sviluppo che possono portare alla "sostenibilità" hanno messo in evidenza il vincolo esistente tra crescita socio-economica e prelievo/uso delle risorse. Questo vincolo è tipico del modello economico lineare a ciclo aperto che finora è stato utilizzato come sistema-guida dell'economia mondiale e che non è sostenibile nel medio-lungo termine.

L'obiettivo principale di uno sviluppo sostenibile consiste nel consentire un adeguato livello di qualità della vita a tutte le popolazioni, prelevando un quantitativo di risorse naturali inferiore ed utilizzando le stesse nel modo più efficiente possibile. Ciò si traduce nella realizzazione di misure e strumenti tali da attuare una gestione delle risorse energetiche nella "logica dell'eco-efficienza" dei sistemi industriali (Calabro' et al., 2000). Il LCA è uno degli strumenti di analisi che permettono più facilmente di caratterizzare e di valutare il danno ambientale dovuto alla produzione di prodotti, all'applicazione di processi e alla gestione dei servizi, basandosi su tale logica. Se nell'analisi del ciclo di vita vengono considerati anche i costi (come nel presente studio), il metodo può diventare anche un utile strumento per l'impresa nella valutazione economica di una scelta di produzione volta a ridurre il danno ambientale derivante dalla propria attività, cercando, allo stesso tempo, di soddisfare le esigenze dei consumatori, sempre più sensibili alla protezione della salute ed alla tutela dell'ambiente.

L'industria dell'alluminio ottiene le sue materie prime da due fonti: una primaria e l'altra secondaria. La materia prima da cui trae origine l'alluminio primario (o di prima fusione) è il minerale di bauxite, un miscuglio risultante da processi di alterazione di rocce e gessi contenenti idrossido di alluminio, reperibile (perlopiù tramite coltivazione di giacimenti a cielo aperto) in zone della terra dove si combinano alte temperature e piogge insistenti, vale a dire aree dell'Africa Occidentale (Guinea Conakry, Ghana) e dell'America Centro-Meridionale (Giamaica, Suriname, Brasile, Venezuela, Guyana) (World Metal Statistics, 1997).

Il ciclo produttivo dell'alluminio primario prevede l'ottenimento dell'ossido di alluminio (allumina) dalla bauxite tramite il processo Bayer e la riduzione dell'ossido a metallo con il processo elettrolitico Hall-Héroult (Ciraolo L. et al., 1998). Allo stato attuale della tecnologia sono necessari ca.4000 kWh di energia elettrica per produrre 1t di allumina e ca.15000 kWh di energia elettrica per l'ottenimento di 1t di alluminio primario, il costo della bauxite è in media di 30\$/t. La produzione è concentrata in sei grandi multinazionali che, essendo integrate verticalmente, determinano l'andamento del mercato del minerale fino all'alluminio primario (Barbiroli et al.,1999). I meccanismi di formazione dei prezzi sono quindi condizionati dai produttori, mentre per il metallo raffinato esistono anche delle contrattazioni di borsa (le quotazioni medie trimestrali LME oscillano intorno ai 1650\$/t per il primario e 1350\$/t per il secondario) (Al, Alluminio e Leghe, 2001).

Le aree di produzione di alluminio primario (USA, Europa, Giappone) non corrispondono a quelle di estrazione della bauxite, pertanto, la maggior parte dei paesi produttori (paesi industrializzati) sono anche importatori di materia prima; al contrario, nel paese in cui esiste la più ampia riserva di bauxite conosciuta (stimata intorno ai 24 miliardi di tonnellate metriche), la Guinea Conakry (paese in via di sviluppo), il 90% delle esportazioni sono costituite da questo minerale (Republic of Guinea e Camera di Commercio Italo – Guineana, 2002).

La fonte secondaria è il metallo riciclato, derivante da prodotti giunti al termine del loro ciclo di vita (rottami vecchi) o dalla rifusione dei rottami provenienti dalle lavorazioni della stessa industria dell'alluminio (rottami nuovi), con cui si ottiene l'alluminio detto secondario (o di seconda fusione). Grazie alla sua totale riciclabilità, quasi un terzo dell'alluminio oggi utilizzato

viene prodotto riciclando rottami (costo rottame è in media di 1000\$/t) (ASSOMET, 2001) con un dispendio energetico pari ad un ventesimo di quello necessario per la sua prima fusione, infatti, per la produzione di 1kg di alluminio secondario occorrono solo 0,7kWh di energia elettrica. Dato che l'alluminio primario è il metallo a maggiore intensità energetica estratto su scala industriale, ma è anche l'unico (insieme al rame) che abbia possibilità tecniche di riutilizzo quasi illimitate, in questi ultimi anni l'industria dell'alluminio ha compiuto notevoli progressi sia nello sviluppo e nel miglioramento dei processi al fine di incrementare l'efficienza energetica ed ambientale nelle diverse fasi, sia incrementando le quantità immesse al riciclo e favorendo il ritrattamento di tutti i tipi di scarti di alluminio (compreso il trattamento delle scorie saline derivanti dalla rifusione del rottame e da cui si ottiene materia prima per la produzione di cemento) (Conserva M., 2001).

## **2. METODI E STRUMENTI DI ANALISI**

### **2.1 Il Life Cycle Assessment (LCA)**

Il LCA è un procedimento oggettivo di valutazione dei carichi energetici ed ambientali relativi ad un prodotto, un processo o un'attività, effettuato attraverso l'identificazione e la quantificazione dell'energia e dei materiali usati e dei rifiuti rilasciati nell'ambiente. La valutazione include l'intero ciclo di vita del prodotto, processo o attività, comprendendo l'estrazione e il trattamento delle materie prime, la fabbricazione, il trasporto, il riuso, il riciclo, e lo smaltimento finale (SETAC, Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 1990). La caratteristica fondamentale è costituita dal modo assolutamente nuovo di affrontare l'analisi dei sistemi industriali. Infatti, dall'approccio tradizionale, che privilegia lo studio separato dei singoli elementi dei processi produttivi, si passa ad una visione globale del sistema ("dalla culla alla tomba"), in cui tutte le fasi della trasformazione vengono prese in considerazione in quanto partecipano alla realizzazione della funzione per la quale sono progettati. L'interesse delle imprese si è spostato da strategie di tipo end of pipe (ossia basate su interventi tecnologici a valle) a strategie pro-attive che si concretano in attività miranti ad incorporare le problematiche ambientali già nella fase di progettazione del prodotto o del processo (Calabro' et al., 2000). I recenti provvedimenti di politica ambientale europea e l'introduzione delle Norme ISO ed in particolare quelle della serie 14040 dedicate al LCA, hanno sicuramente costituito un ulteriore incentivo per le imprese a dotarsi di procedure di controllo e di verifica dei rendimenti energetico-ambientali dei propri processi, di implementazione dei sistemi di gestione ambientale (SGA) e di richiesta di etichette ecologiche (Ecolabels), orientando, di conseguenza, la ricerca applicata all'elaborazione di nuove tecniche in grado di soddisfare tali esigenze. L'impresa, migliorando le caratteristiche ambientali di un prodotto, processo o attività, contribuisce a sviluppare un mercato strategico in cui l'eco-efficienza diventa elemento di qualità discriminante.

Il LCA si compone di 4 fasi: 1) Goal Definition and Scoping (ISO 14041); 2) Life Cycle Inventory Analysis (ISO 14041); 3) Life Cycle Impact Assessment (ISO 14042); 4) Life Cycle Interpretation and Improvement (ISO 14043) (Curran M., 1996). L'attuazione della terza fase, l'Analisi degli Impatti, viene effettuata mediante l'ausilio di indicatori aggregati di uso internazionale, che consentono di quantificare gli impatti. Per il presente studio è stato utilizzato il metodo degli Eco-indicator 99 applicato mediante l'uso del codice di calcolo SimaPro 4.0. e della versione 5.0 per il confronto di alcuni risultati.

## **2.2. Eco-indicator 99**

Il metodo Eco-indicator 99 considera tre categorie di danno, cui sono associate le rispettive categorie d'impatto. Le categorie di danno sono Human Health, Ecosystem Quality e Resources; le categorie d'impatto, sono: HH Carcinogenics, 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 (The Eco-indicator, 1999). Una volta che i dati dell'inventario sono stati suddivisi per categorie d'impatto ambientali e per i loro effetti potenziali, il metodo prevede per l'analisi lo svolgimento di tre fasi: 1) la caratterizzazione, in cui si quantificano e aggregano gli impatti per individuare il danno relativo alla sostanza emessa o alla risorsa usata; 2) la normalizzazione che divide i valori ottenuti nella fase precedente per il danno subito in 1 anno dal cittadino medio europeo nella stessa categoria, allo scopo di rendere confrontabili le categorie che hanno diverse unità di misura; 3) la valutazione, che attribuisce un valore in termini d'importanza a ciascun impatto e che può essere effettuata seguendo tre diverse prospettive culturali (gerarchica, individualista e ugualitaria) (Thompson M. et al., 1990).

## **2.3 SimaPro**

Il codice di calcolo SimaPro è stato sviluppato dalla società Pré Consultants B.V. (Olanda) (Pré Consultants B.V., 1999) per analizzare e quantificare (utilizzando il metodo degli Eco-indicator o altri metodi) gli impatti derivanti dall'intero ciclo di vita di un prodotto o di un processo. Esso è in grado di elaborare un'ingente quantità di dati (contenuti nella relativa banca dati) attinenti ai materiali utilizzati nei processi produttivi, alle modalità di trasporto delle merci, alle fonti energetiche, alle modalità di smaltimento, recupero o riciclaggio messe in opera al termine del ciclo di vita del prodotto stesso. Ciascuno di questi dati è strutturato in due settori dedicati rispettivamente agli input (materie prime, materiali, energie, trasporti) ed output (emissioni in aria, in acqua, nei suoli, rifiuti solidi, emissioni non materiali, consumo di materie prime).

## **3. RISULTATI E DISCUSSIONE**

### **3.1 Analisi del danno ambientale e dei costi relativi al riciclo dell'alluminio**

#### **3.1.1 Definizione degli obiettivi, dei confini dello studio e dell'unità funzionale**

L'obiettivo dello studio è la determinazione del danno ambientale dovuto al riciclo dell'alluminio. La funzione del sistema è il riciclo dei rottami di alluminio. L'unità funzionale è 1 kg di rottame di alluminio. Il sistema che deve essere studiato è il riciclo del rottame di alluminio eseguito dalla Ditta ICMET di Rubiera (RE). Si considera il processo di riciclo a cui viene sottoposto il rottame di alluminio: dalla raccolta del rottame alla fusione per ottenere semilavorati.

### 3.1.2 I dati dell'inventario

Per la maggior parte degli elementi dell'inventario sono state usate le banche dati, per il periodo di riferimento compreso tra il 1996 e il 1999, del codice SimaPro 4.0. Il processo di riciclo è stato creato in base ai dati forniti dalla Ditta ICMET. I dati dell'inventario riguardano il prodotto della fusione durante un mese (600 t/mese di alluminio secondario considerato dal codice SimaPro4 come "avoided product", il "material" aluminium raw bj della banca dati che è l'alluminio ottenuto per elettrolisi), il trasporto del rottame (33333,5 t\*km/mese), l'energia elettrica (54761,9 kWh/mese), il gas metano (2927002,2 MJ/mese), le emissioni solide (le polveri contenute nei fumi: 2,4t/mese; le polveri che provengono dal trattamento delle scorie: 63,467t/mese); le polveri emesse in aria: 0,8t/mese (valore basato sulla quantità ammessa dalla legge); i co-prodotti della raffinazione (scorie, granella di Al e polveri ritratte per i cementifici); l'uso del territorio (833,33m<sup>2</sup>a); i costi (dell'energia elettrica, del gas metano, dei trasporti, della manodopera e di smaltimento). I dati così definiti sono stati inseriti nel codice per la costruzione di un waste treatment, cioè il trattamento di un rifiuto (in questo caso il rottame di Al) che considera come input tutte le energie e i materiali necessari per ciascuna fase del processo di riciclo (raccolta, lavorazione, fusione) e come output l'avoided product (insieme di materie ed energie evitate grazie al riciclo).

Per l'analisi di LCA del riciclo dell'alluminio la valutazione dell'impatto ambientale viene eseguita utilizzando il metodo "Eco-indicator 99 E/CWS". Esso è stato ricavato dal metodo degli Eco-indicator 99/E (ugualitario) modificato per tener conto: dei costi; del consumo di acqua; del danno dovuto alla parte di riduzione della vita media di un cittadino dei paesi produttori di materie prime, attribuibile alla loro mono-produzione (nuova categoria d'impatto "HH sottosviluppo"); dei costi dovuti alla riduzione del tempo di vita (nuova categoria d'impatto "costo sottosviluppo"). La categoria d'impatto "HH sottosviluppo" fa parte della categoria di danno "Human Health"; sono stati presi in considerazione i dati riferiti alla Guinea Conakry, paese in via di sviluppo che esporta il 15% della bauxite usata nel mondo, senza che essa incida sulla quota di consumi interni e la cui estrazione rimane, perciò, slegata da ogni contesto di crescita complessiva. Vengono di fatto sottratte delle risorse da un sottosuolo (che subisce anche un'alterazione a livello idrogeologico) che non alimentano una produzione di tipo locale (Biliardo U. et al., 1984).

A titolo di esempio, si riporta la metodologia utilizzata per il calcolo dei fattori di caratterizzazione relativi alla nuova categoria "HH sottosviluppo". Essi sono stati ottenuti nel modo seguente: per il danno è utilizzata l'unità di misura DALY (riferito al singolo cittadino della Guinea); si associa la nuova categoria alla "substance" bauxite della "category" raw material del SimaPro 4.0 con unità di misura pari al kg; il primo fattore di caratterizzazione risulta :  $P_{Guinea/mondo} = 0,15$  (produzione di bauxite della Guinea sul totale mondiale) (World Metal Statistics, 1997), che rappresenta la parte di bauxite della produzione mondiale attribuibile alla Guinea; il secondo fattore di caratterizzazione è :  $A_{vp}/A_v = 0,6$  DALY/a\*ab; dove  $A_{vp}$  = anni di vita persi e  $A_v$  = anni di vita medi del cittadino della Guinea; il terzo fattore di caratterizzazione è pari a 0,02 (poiché si suppone che gli anni di vita persi a causa degli impatti socio-economici attribuibili alla mono-produzione della bauxite siano il 2%); il fattore di caratterizzazione della categoria "HH sottosviluppo" è:  $P_{Guinea/mondo} * (A_{vp}/A_v) * 0,02 / P_{pop.procapite\ Guinea} = DALY/kg$ . Come fattori di normalizzazione (l'inverso del danno subito dal singolo cittadino europeo in un anno a causa del totale delle emissioni) e di valutazione si assumono gli stessi della categoria di danno Human Health.

### 3.1.3 Risultati principali dell'analisi del waste treatment costruito con i dati ICMET

In Tabella 1 e in Figura 1 sono schematizzati i principali risultati delle analisi di

caratterizzazione e di valutazione del waste treatment “Recycling Aluminium ICMET”.

Tabella 1-Risultati dell’analisi di caratterizzazione del waste treatment “Recycling Aluminium ICMET”.

Costo totale del processo di riciclo: 0,271 euro		
Costo evitato relativo al sottosviluppo: -0,00526 euro		
Guadagni più significativi nelle rispettive categorie d’impatto:		
Categorie d’impatto	Valori	Unità di misura
HH sottosviluppo:	-3,39E-6	DALY (che corrispondono a 1,78 minuti di vita guadagnati dal singolo cittadino della Guinea)
HH Climate change:	-2,52E-5	DALY (aluminium raw bj evita l’emissione 8,8 kg di CO <sub>2</sub> )
EQ Acid/Eutroph.:	-0,296	PDF*m <sup>2</sup> y (aluminium raw bj evita l’emissione 29,4 g di NO <sub>x</sub> )
R Fossil fuels:	-4,98	MJ Surplus (uso evitato di 1,5 kg di coal)
Danni più significativi nelle rispettive categorie d’impatto:		
Categorie d’impatto	Valori	Unità di misura
HH Carcinogenics	2,3E-8	DALY
HH Ozone layer	4,64E-11	DALY
EQ Ecotoxicity	0,0206	PDF*m <sup>2</sup> y

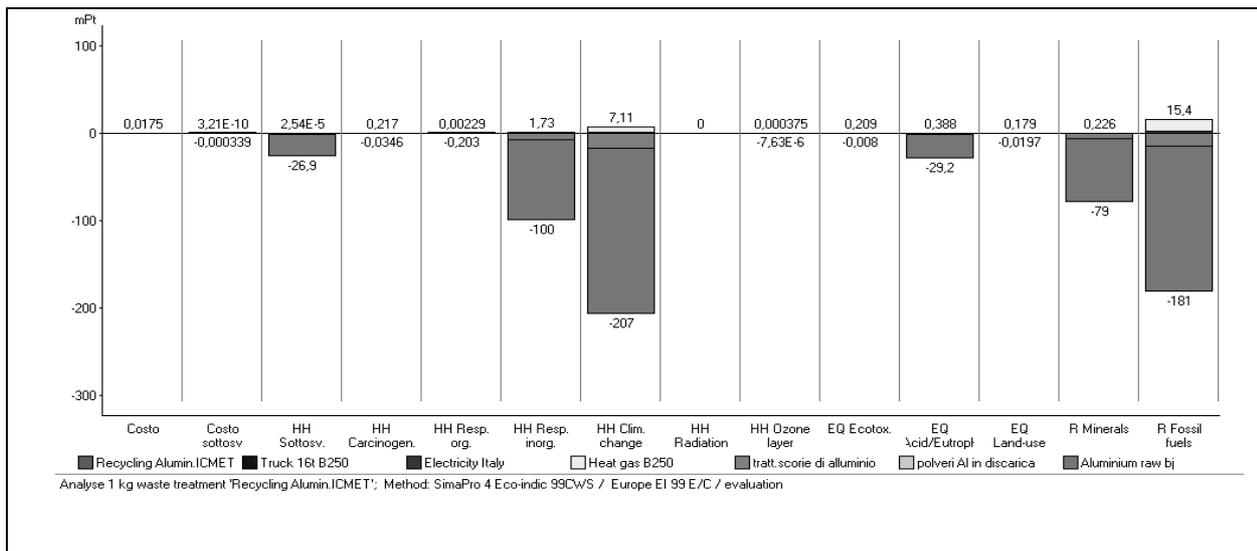


Figura 1. Diagramma della valutazione del waste treatment “Recycling Aluminium ICMET”

Dai risultati dell’analisi di valutazione si può notare che:

- il processo di riciclo della ICMET produce un guadagno pari a -0,598 Pt dovuto per il 95% all’avoided product;
- il processo di trattamento delle scorie produce un guadagno che vale -0,0533 Pt;
- il processo di input che produce il maggior danno è l’ Heat gas B250 con 0,019 Pt;
- il guadagno maggiore si ha nella categoria di impatto HH Climate change e vale -0,2 Pt;
- nella categoria di impatto HH sottosviluppo si ha un guadagno pari a -0,0269 Pt.

### 3.1.4 Analisi di sensibilità

Per valutare l'affidabilità dei processi costruiti si sono svolte delle analisi di sensibilità per la maggior parte costituite da una serie di confronti; di seguito ne vengono riportati alcuni.

1) Confronto tra waste treatment “Recycling Aluminium ICMET” e “Recycling Aluminium” contenuto nella banca dati del codice SimaPro4 (Figura 2). Quest'ultimo processo produce un guadagno di poco superiore (-0,623 Pt) a quello ottenuto con i dati ICMET.

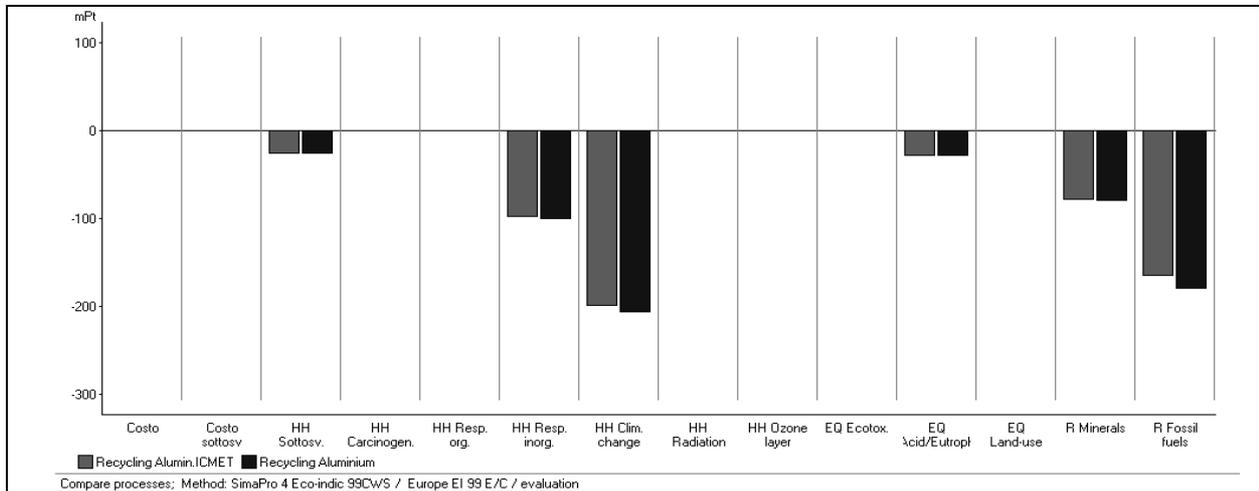


Figura 2. Diagramma della valutazione del confronto “Recycling Aluminium ICMET” e “Recycling Aluminium”

2) Confronto tra waste treatment “Recycling Aluminium ICMET” e “Recycling Aluminium B250” contenuto nella banca dati del codice SimaPro5 (Goedkoop M. et al., 2002). Quest'ultimo processo produce un guadagno di poco inferiore (-0,5129 Pt) a quello ottenuto con i dati ICMET. Entrambi i confronti avvalorano l'attendibilità del processo creato.

3) L'Unione Europea ha riportato per diversi materiali i dati sperimentali relativi al vantaggio del riciclo (Direttiva Parlamento Europeo, 13/06/2000) che permettono di considerare il riciclo come un vantaggio in termini di minore utilizzo di materie prime e di risparmio energetico. Si costruisce un waste treatment (“riciclo alluminio UE”) considerando la riduzione di materia prima e di energia rispetto alla produzione primaria. Poiché l'energia usata è in parte termica e in parte elettrica si assume, per ipotesi, che il rapporto tra i due tipi di energia risparmiata sia uguale a quello tra le energie usate nel processo di riciclo ICMET e che le emissioni nel processo di riciclo siano uguali a quelle della produzione primaria.

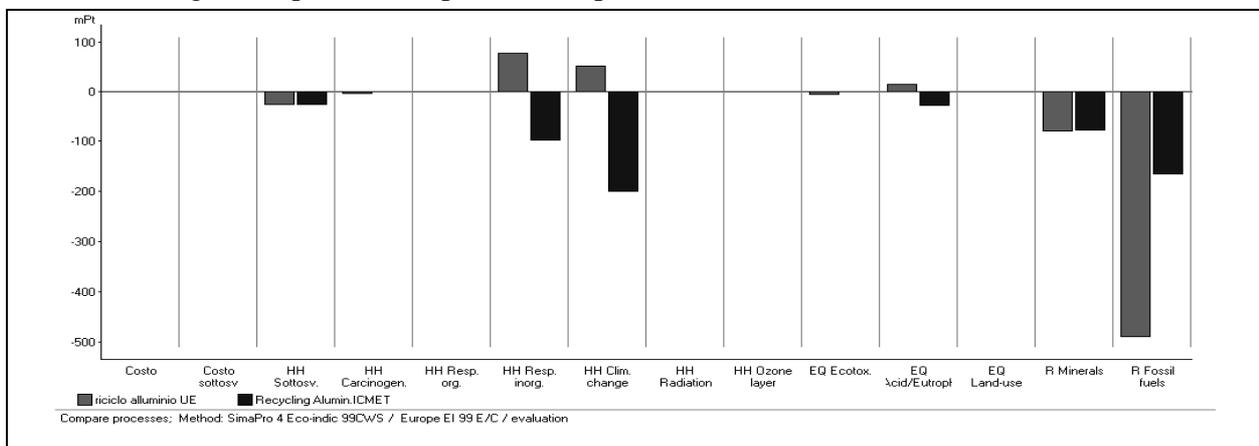


Figura 3. Diagramma della valutazione del confronto tra riciclo ICMET e riciclo con dati UE

Il processo di riciclo dell'alluminio costruito con i dati dell'Unione Europea (Figura 3) produce un guadagno pari a  $-0,465$  Pt che è il 77,76% del riciclo ICMET; la differenza è causata dalle diverse filosofie seguite nei due processi: nel riciclo ICMET il guadagno è dovuto all'avoided product ( $-0,57$  Pt), nel riciclo UE il guadagno è dovuto al risparmio di materie prime e di energia ( $-0,855$  Pt); il danno dovuto alle emissioni è minore nel riciclo ICMET ( $0,00117$  Pt) rispetto a quello del riciclo UE ( $0,391$  Pt); affinché i due processi diano lo stesso risultato, il guadagno ottenuto con un avoided product che riguarda energie, materie prime ed emissioni, da cui deve essere sottratto il danno causato dalle energie e dalle emissioni dovute al riciclo, deve essere uguale al guadagno ottenuto con energie e materie prime risparmiate.

4) Per comprendere che il guadagno ambientale dovuto al riciclo è in realtà un minor danno prodotto, vengono confrontati i "material" della banca dati del codice SimaPro4 Aluminium I (alluminio primario), Aluminium rec. I (alluminio secondario), e il "material" Alluminio ICMET ottenuto dal waste treatment Recycling Aluminium ICMET (Figura 4), senza considerare l'avoided product e supponendo che le scorie vengano tutte conferite in discarica per rifiuti tossici (per non tener conto di co-prodotti che sono assenti nei materiali della banca dati).

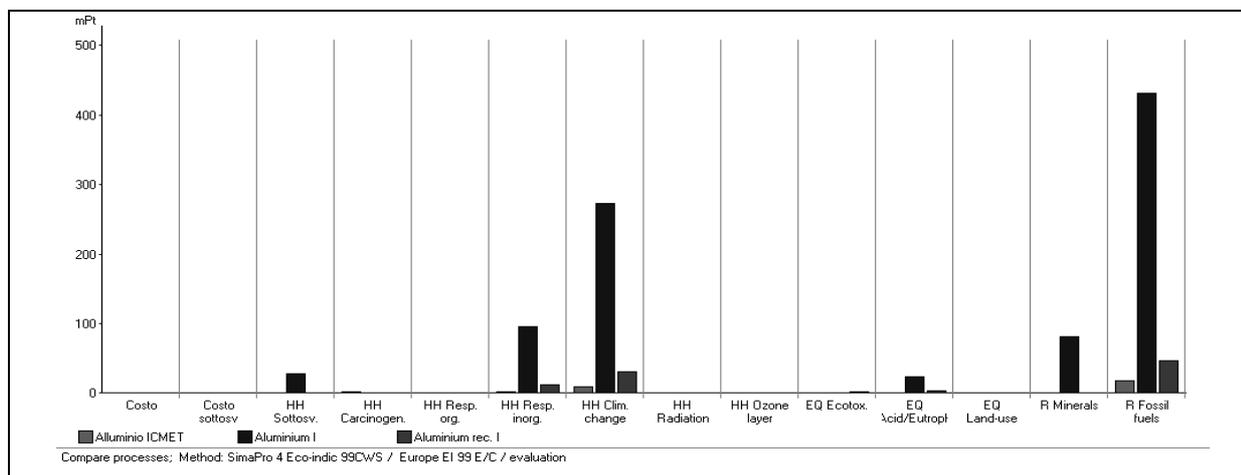


Figura 4. Diagramma della valutazione del confronto dei tre processi Alluminio ICMET, AluminiumI, Aluminium rec. I

Il danno maggiore è quello dovuto alla produzione di alluminio primario ( $0,929$  Pt); l'alluminio secondario della banca dati del codice produce un danno di  $0,0927$  Pt (quindi un vantaggio di  $0,8363$  Pt rispetto al primario). Tale vantaggio differisce del 25,5% rispetto a quello del waste treatment Recycling Aluminium del codice ( $-0,623$  Pt). Il riciclo, perciò, produce una riduzione di danno pari al 74,5% di quella rappresentata dalla differenza dei danni dovuti alla produzione di alluminio primario e di alluminio secondario; il danno dovuto all'alluminio secondario ottenuto dal processo ICMET è inferiore a quello dell'alluminio secondario ( $0,0307$  Pt) ma è dello stesso ordine di grandezza.

5) Il Metodo Eco-indicator 99 usa come unità di misura del danno il Punto (Pt). Allo scopo di comprendere meglio il significato del Punto si sono calcolate le quantità di materiali e processi che producono un danno uguale al valore assoluto del vantaggio prodotto dal processo ICMET ( $-0,598$  Pt) per riciclare 1 kg di rottami di alluminio. Il valore assoluto del danno prodotto dalla ICMET equivale: al danno dovuto alla produzione di  $0,6438$  kg di alluminio primario; al danno prodotto da una automobile a benzina che percorre  $36,4$  km; al danno prodotto da un frigorifero

da 250 l (che consuma 1 kWh/g) in funzione 11,5 giorni; al danno prodotto da una lavatrice da 1,5 kW (che consuma 2,5 kWh/ciclo) che effettua 4,5 cicli; al danno prodotto da un boiler di 80 l (che consuma 4,4 kWh per ciclo di riscaldamento a 60 °C) che produce 2,5 cicli di riscaldamento.

#### 4. CONCLUSIONI

Ogni processo industriale comporta comunque delle conseguenze per l'ecosistema e la salute umana. Per analizzare i rapporti tra il sistema produttivo e l'ambiente è necessario fare riferimento ad un sistema allargato, in cui si considerano sia i prelievi delle risorse (rinnovabili e non rinnovabili), sia il riversamento sotto forma di rifiuti ed emissioni inquinanti.

Lo studio condotto sul LCA, valuta il danno ambientale ed economico prodotto dal processo di fusione del rottame di alluminio, ma allo stesso tempo considera anche i vantaggi ottenibili grazie al riciclo. Si attribuisce, così, un valore ad un prodotto (l'alluminio secondario) ottenuto da un "rifiuto" che diventa, pertanto, una risorsa economica ed evita un impatto ambientale, infatti si ha un risparmio energetico del 95% rispetto alla produzione elettrolitica e si evita l'utilizzo di una materia prima naturale e non rinnovabile.

Tra i vantaggi calcolati relativi al riciclo, si sottolinea che i risultati che riguardano le due nuove categorie d'impatto costruite (HH sottosviluppo e costo sottosviluppo) costituiscono rispettivamente il 4,5% e il 1,9% del guadagno totale e del costo totale del processo di riciclo ICMET; le analisi di sensibilità effettuate hanno dato una buona corrispondenza dei risultati tra il processo elaborato con i dati della ICMET e i processi contenuti nel SimaPro 4.0 e 5.0 e con quello costruito con i dati dell'Unione Europea. Infine, lo studio condotto dimostra l'apertura alla "comunicazione ambientale" di un'azienda italiana del settore del riciclo.

#### BIBLIOGRAFIA

Al, Alluminio e leghe, Settembre 2001, Edimet;

Allegato I, Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio sui rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche, Bruxelles, 13/6/2000, COM (2000) 347 definitivo, 2000/0158 (COD), 2000/0159 (COD).

ASSOMET, 2001, Associazione nazionale industrie metalli non ferrosi, I metalli non ferrosi in Italia, *statistiche 2000*, Edimet.

Barbiroli G., Focacci A. (1999) L'industria mondiale dell'alluminio, Trasformazioni tecnologiche e tendenze verso l'eco-compatibilità e l'efficienza, F. Angeli, Milano.

Bilardo U., Mureddu G., Piga P., (1984) Geopolitica delle materie prime minerarie, Ministero degli affari esteri, Dipartimento per la cooperazione allo sviluppo, IPALMO, Istituto per le Relazioni tra l'Italia e i paesi dell'Africa, dell'America Latina e del Medio Oriente, F. Angeli.

Calabro' G., Clasadonte M.T., 2000, Nuove tendenze nella concezione merceologica di prodotti eco compatibili, *XIX Congresso nazionale di merceologia*, Sassari-Alghero, Settembre, Vol.II.

Ciraolo L., Giaccio M., Morgante A., Riganti V., (1998) *Merceologia*, Monduzzi Editore.

Conserva M., 2001, Il metallo per le generazioni future: elevate prestazioni, convenienza e tutela dell'ambiente nei grandi settori d'impiego, *Aluminium Days*, Bologna.

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.

Pré Consultants B.V. , 1999, SimaPro 4.0. Plotterweg 12, 3821 BB, Amersfoot.

The Eco-indicator 99, 1999, Methodology Report- Annex, PRé Consultants B.V.

Thompson M., Ellis R., Widavsky, Westview (1990) Cultural Theory, Print Baulder.

World Metal Statistics, September, 1997, World Bureau of Metal Statistics.

[www.ware.it/Africa/Guinea/htm](http://www.ware.it/Africa/Guinea/htm), 2002, Republic of Guinea e Camera di Commercio Italo –  
Guineana.