

# La metodologia LCA per la sostenibilità ambientale del processo conciario

*Domenico Castiello<sup>1</sup>, Monica Puccini<sup>2</sup>, Maurizio Salvadori<sup>1</sup>, Maurizia Seggiani<sup>2</sup>, Sandra Vitolo<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Po.Te.Co. Srl – Polo Tecnologico Conciario, Via Walter Tobagi 30, 56022 Castelfranco di Sotto (Pi)

<sup>2</sup> Dipartimento di Ingegneria chimica, Chimica industriale e Scienza dei materiali, Università di Pisa, Via Diotisalvi 2, 56126 Pisa

**Abstract:** Secondo la definizione proposta dalla SETAC, la valutazione del ciclo di vita (dall'inglese *Life Cycle Assessment*, LCA) è un processo che permette di valutare i carichi ambientali associati ad un prodotto, processo o attività, identificando e quantificando i consumi di materia ed energia e le emissioni nell'ambiente. La metodologia si basa su un approccio sistematico secondo cui il prodotto, processo o servizio, è analizzato in ogni fase della sua vita, dall'estrazione e trasformazione delle materie prime, attraverso la produzione, il trasporto e l'utilizzo, fino al riciclo o allo smaltimento. Attraverso uno studio LCA è possibile individuare le fasi in cui si concentrano maggiormente le criticità ambientali di un processo produttivo e le informazioni necessarie per realizzare gli interventi di miglioramento. Si tratta pertanto di uno strumento adatto a perseguire iniziative di sviluppo sostenibile, permettendo di valutare, in un'ottica di bilancio complessivo del processo, gli impatti ambientali potenziali connessi all'introduzione di innovazioni tecnologiche o di processo in un ciclo produttivo. La metodologia LCA è stata quindi applicata al settore conciario per confrontare l'impatto ambientale della fase di depilazione tradizionale con un processo di depilazione innovativo, al fine di valutare se effettivamente le innovazioni introdotte implicano i benefici ambientali attesi.

**Keywords:** processo conciario, impatto ambientale, depilazione ossidativa

## 1 Introduzione

La valutazione del ciclo di vita, dall'inglese *Life Cycle Assessment* (LCA), secondo la definizione proposta dalla SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry), è una metodologia che permette di valutare i carichi ambientali associati ad un prodotto, processo o attività, identificando e quantificando i consumi di materia ed energia e le emissioni nell'ambiente [1].

La metodologia si basa su un approccio sistematico definito *from cradle to grave*, cioè “dalla culla alla tomba”: il prodotto, processo o servizio, è analizzato in ogni fase della sua vita, dall'estrazione e trasformazione delle materie prime, attraverso la produzione, il trasporto e l'utilizzo, fino al riciclo o allo smaltimento.

Attraverso uno studio LCA è quindi possibile individuare le fasi in cui si concentrano maggiormente le criticità ambientali, i soggetti che dovranno farsene carico (produttore, utilizzatore ecc.) e le informazioni necessarie per realizzare gli interventi di miglioramento.

Da un punto di vista generale, in campo industriale questo strumento consente all'azienda di analizzare le caratteristiche delle proprie attività operative nell'ottica del loro adeguamento alle norme di legge e agli standard di riferimento, sia vigenti sia proposti per il futuro. Si tratta pertanto di uno strumento adatto a perseguire iniziative di sviluppo sostenibile, permettendo di valutare, in un'ottica di bilancio complessivo del processo, gli impatti ambientali potenziali connessi all'introduzione di innovazioni tecnologiche o di processo in un ciclo produttivo, quale ad esempio la sostituzione di un prodotto chimico.

La LCA può essere applicata da associazioni di categoria come valido strumento di ricerca e sviluppo e, successivamente, di comunicazione dei risultati ambientali di settore. In tal modo i risultati dell'analisi consentono la promozione di un comparto produttivo anche in termini di azioni intraprese a favore della tutela ambientale.

La metodologia LCA è stata quindi applicata al settore conciario per confrontare l'impatto ambientale del processo tradizionale di depilazione delle pelli con una procedura di depilazione innovativa, la cui fattibilità tecnica è stata verificata a livello sperimentale, al fine di valutare se effettivamente le innovazioni introdotte implicano i benefici ambientali attesi.

## 2 Applicazioni della metodologia LCA

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

Si possono definire tre ambiti d'applicazione preferenziali:

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

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

- *ecodesign*: è uno strumento per innovare prodotti esistenti o progettare di nuovi attraverso un processo che tenga conto non solo delle variabili tecniche, economiche, funzionali, ma anche di quelle ambientali. L'applicazione dell'Ecodesign richiede che nella fase di progettazione di un prodotto venga eseguita un'analisi di LCA che identifichi il peso delle diverse risorse consumate e delle emissioni prodotte in relazione ad ogni singola fase del ciclo di vita. In questo modo è possibile confrontare prodotti aventi la stessa funzione e scegliere quelli maggiormente ecocompatibili;
- *budgeting ambientale*: crea un sistema informativo che supporti un sistema di gestione ambientale, tenendo sotto controllo le emissioni, i consumi di risorse e i connessi effetti;
- *decisioni di investimento*: l'LCA è anche uno strumento indispensabile nelle decisioni di investimento in quanto fornisce le informazioni utili all'analista ambientale su quelle che dovranno essere le aree d'intervento e i processi produttivi da modificare;
- *riduzione dei costi*: un'analisi a tutto campo della "vita" del prodotto può permettere di individuare nuove aree dove realizzare economie più significative. Livelli maggiori di ottimizzazione si possono ad esempio raggiungere nell'acquisizione di materie prime e in particolare nell'utilizzo razionale degli imballaggi.

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

- *Ecolabel*: è un'etichetta ecologica europea che attesta che il prodotto su cui è apposta ha un ridotto impatto ambientale nel suo intero ciclo di vita. Attualmente esistono tre tipi di etichette ecologiche, secondo le norme ISO 14020-14025: tipo 1° (ISO 14024) che devono essere sottoposte a certificazione esterna obbligatoria; tipo 2° (ISO 14021) basate su autodichiarazioni; tipo 3° (ISO 14025) che riportano dichiarazioni basate su parametri stabiliti e certificati (ad esempio l'EPD, "Environmental Product Declaration"). La differenza principale tra l'Ecolabel e l'EPD consiste nel fatto che per ottenere l'Ecolabel l'applicante deve rispettare dei criteri ecologici, definiti usando un approccio "dalla culla alla tomba", riguardo il proprio gruppo di prodotti, mentre per ottenere l'EPD non ci sono criteri di prestazione ambientale ma è obbligatoria l'applicazione dell'LCA.
- *Marketing*: l'LCA può essere anche usato per realizzare vantaggi competitivi sul mercato confrontando l'impatto ambientale tra più prodotti o famiglie di prodotti.
- *Relazioni con le istituzioni*: l'impresa può utilizzare questo strumento per orientare decisioni pubbliche, per dimostrare il perseguimento dei suoi obiettivi ambientali.

Un'altra applicazione molto diffusa nel settore pubblico è il "Green procurement", cioè una "politica di acquisto verde" in cui la LCA può contribuire all'identificazione dei prodotti ecocompatibili. Quest'applicazione si sta diffondendo anche presso le aziende, in particolare quelle certificate ISO 14001. Oltre alle applicazioni sul singolo prodotto l'LCA può essere utilizzata in una prospettiva più ampia per il confronto di servizi, processi o scenari:

- scelta degli imballaggi da parte di un'industria;
- confronto tra modalità diverse di gestione dei rifiuti;
- confronto strategico tra diverse tipologie di trasporto;
- ecodesign nel settore edilizio;
- valutazione delle migliori tecnologie disponibili.

## 3 Struttura di un'analisi LCA

Un'analisi del ciclo di vita prende in considerazione tutti gli elementi in ingresso e in uscita nel sistema di prodotto considerato. È da sottolineare come alla base dell'analisi si possa configurare una visione non

lineare ma più propriamente reticolare: le relazioni tra i diversi punti da cui la rete stessa è costituita vengono viste non solo in senso verticale e cronologico bensì vengono gestite diverse tipologie di relazioni che possono finire col ripercuotersi in modo diffuso su più parti, in più direzioni e in tempi diversi. Si pensi ad una materia prima scelta per la produzione o un materiale di imballaggio che poi avrà i suoi effetti in fase di dismissione o riciclo. Il tutto contribuisce a definire una nuova logica con cui considerare il bene che si produce. Inoltre, l'analisi permette di valutare in modo complessivo un servizio o un prodotto, così da poter essere di ausilio per evitare l'applicazione di un intervento ritenuto migliorativo per un aspetto energetico o ambientale che in realtà sposta solo il problema da un punto ad un altro del sistema considerato.

Le linee guida per redigere una LCA sono state redatte dalla SETAC e sono disponibili nelle norme ISO della serie 14040. In accordo con tale norma un'analisi LCA è basata su quattro steps sequenziali (Fig. 1).

- **Definizione degli obiettivi e degli scopi (Goal and Scope Definition).** È la fase preliminare in cui vengono definite le finalità dello studio e i *confini del sistema*, ovvero il livello di dettaglio che si vuole raggiungere, determinando le unità di processo da prendere in considerazione nello studio per costruire il modello del processo. Inoltre in questa fase viene definita l'unità di misura con cui trattare ed esporre i dati dello studio, denominata *unità funzionale*. Lo scopo principale dell'unità funzionale è di fornire un riferimento a cui legare i flussi in entrata e in uscita, necessario per consentire la comparabilità dei risultati di una LCA. Un sistema può avere un gran numero di funzioni possibili, la scelta dell'unità funzionale dipende dall'obiettivo e dal campo di applicazione.



Fig. 1: Struttura di un'analisi LCA

- **Analisi di inventario (Life Cycle Inventory Analysis, LCI).** È la parte del lavoro dedicata allo studio del ciclo di vita del processo. Il primo step dell'analisi d'inventario è costruire il diagramma di flusso in cui si schematizza la vita del prodotto mediante i processi che si intendono includere nei confini di sistema. Per ciascun processo si identificano quindi gli input, in termini di materia ed energia, e gli output, in termini di emissioni in aria, acqua, suolo e rifiuti. Questa fase comprende anche la raccolta dei dati e i procedimenti di calcolo che consentono di quantificare i flussi in entrata e in uscita individuati.
- **Analisi degli impatti (Life Cycle Impact Assessment, LCIA).** È lo studio dell'impatto ambientale provocato dal processo o attività, che ha lo scopo di evidenziare l'entità delle modificazioni generate a seguito delle emissioni e dei consumi di risorse calcolati nell'inventario. Gli elementi principali della valutazione dell'impatto sono: classificazione, caratterizzazione e normalizzazione. La *classificazione* consiste nell'imputare i consumi di materia /energia e le emissioni a specifiche categorie d'impatto, in funzione degli effetti che possono provocare sull'ambiente su scala locale, regionale o globale. Le categorie d'impatto dipendono dal metodo di valutazione scelto, tra quelli disponibili nel software impiegato per effettuare l'analisi. Le categorie d'impatto ambientale sono riconducibili a tre grandi aree: esaurimento di risorse di energia e di materiali (resource depletion), effetti sulla salute e sulla sicurezza dell'uomo (human health and safety effects), effetti sull'ecosistema (ecological effects). Ad esse possono essere ricondotti i seguenti temi ambientali: effetto serra (global warming); consumo di risorse non rinnovabili (resources depletion); assottigliamento della fascia di ozono (stratospheric ozone depletion); acidificazione (acidification); eutrofizzazione (eutrophication); formazione di smog fotochimico (photosmog formation); tossicità per l'uomo e per l'ambiente (human and ecotoxicity). Questi gruppi di temi ambientali, inoltre, sono strutturati in modo tale che ciascun elemento presente nell'inventario possa essere incluso in una o

più impact categories. La *caratterizzazione* consiste nella quantificazione degli impatti ambientali mediante modelli scientifici e fattori di equivalenza riconosciuti a livello internazionale. Dopo aver completato la classificazione dei diversi impatti causati dal processo, i metodi di caratterizzazione permettono di determinare in modo omogeneo e quantitativo il contributo delle singole emissioni. In tal modo risulta possibile esprimere quantitativamente, in un'opportuna unità di misura, il contributo che a ogni categoria fornisce l'operazione in esame. Questa fase dello studio permette quindi di determinare i valori degli indicatori di categoria, definiti per ogni singolo effetto considerato. Per ciascuna categoria d'impatto è stato realizzato un modello di quantificazione. Ad esempio per la quantificazione dell'effetto serra l'IPPC (International Panel on Climate Changes) ha elaborato un modello per valutare il potenziale di riscaldamento globale (GWP, Global Warming Potential) dei gas serra espresso in chilogrammi di CO<sub>2</sub> equivalenti. Questi potenziali sono calcolati per ciascun gas serra tenendo conto della capacità di assorbimento delle radiazioni e del tempo di permanenza in atmosfera. Il GWP di una sostanza che abbia le caratteristiche di gas serra è in pratica misurato dal rapporto tra il contributo che all'assorbimento della radiazione calda fornisce il rilascio di 1 kg di tale sostanza e quello fornito dall'emissione di 1 kg di CO<sub>2</sub>, essendo entrambi i contributi valutati per lo stesso periodo di tempo di permanenza in atmosfera (in genere si fa riferimento a 100 anni). Quindi, il GWP è la misura, basata sulla concentrazione e sul periodo di esposizione, del potenziale contributo che una sostanza arreca all'effetto serra, rispetto a quello provocato dalla stessa quantità di anidride carbonica. Pertanto il fattore di caratterizzazione della CO<sub>2</sub> nella categoria global warming è pari a 1. Ad esempio nella stessa categoria il fattore di caratterizzazione del metano è 21: ciò significa che il rilascio di 1 kg di metano causa lo stesso impatto sui cambiamenti climatici di 21 kg di CO<sub>2</sub>. Infine, la *normalizzazione* consente di quantificare il contributo di ciascuna categoria d'impatto al problema ambientale a livello regionale o globale. Questa operazione si realizza normalizzando l'indicatore della categoria d'impatto rispetto ad un valore nominale di riferimento; in genere si adotta il carico medio annuo, in una nazione o regione, diviso per il numero di abitanti, in modo da stimare il carico di inquinamento "pro-capite". La normalizzazione ha lo scopo di evidenziare quali categorie d'impatto hanno un peso maggiore; i risultati normalizzati mostrano un ordine di grandezza dei problemi ambientali generati nell'intero ciclo di vita, rispetto ai carichi ambientali a livello regionale.

- **Interpretazione e miglioramento (Life Cycle Interpretation).** È la parte conclusiva dello studio, che ha lo scopo di proporre i cambiamenti necessari a ridurre l'impatto ambientale dei processi o attività in esame, valutandoli in maniera iterativa con la stessa metodologia LCA, in modo da non attuare azioni tali da peggiorare lo stato di fatto.

Lo studio si avvale di software appositi per la creazione del modello per il ciclo di vita del prodotto e la valutazione degli impatti ambientali potenziali.

#### 4 Applicazione della metodologia LCA al processo conciario

Tra le numerose operazioni che costituiscono il processo conciario, la fase di depilazione con solfuri è caratterizzata da un elevato carico inquinante. Recentemente è stato sviluppato un processo di depilazione alternativo che permette di eliminare l'impiego di solfuro di sodio dal ciclo di produzione delle pelli [2].

Il processo innovativo di depilazione ossidativa prevede l'uso di acqua ossigenata (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) e idrossido di sodio (NaOH) in sostituzione dei reagenti impiegati nella comune pratica conciaria, ovvero solfuro di sodio (Na<sub>2</sub>S) e calce (Ca(OH)<sub>2</sub>). Per valutare la qualità delle pelli prodotte, sono state condotte attività sperimentali sia su scala di laboratorio che su scala industriale. I risultati hanno dimostrato che le pelli ossidative presentano proprietà meccaniche e caratteristiche merceologiche paragonabili a quelle di un cuoio depilato tradizionalmente. Inoltre, il calcinaio ossidativo è perfettamente compatibile con il ciclo di produzione industriale.

Verificata la fattibilità tecnica ed economica della depilazione ossidativa, è stata impiegata la metodologia di analisi del ciclo di vita per confrontare l'impatto ambientale di tale processo innovativo con il processo tradizionale di depilazione delle pelli, al fine di valutare se effettivamente le innovazioni introdotte implicano i benefici ambientali attesi.

##### 4.1 Definizione dell'obiettivo e dello scopo

L'obiettivo dello studio è il confronto sulla base dell'impatto ambientale di due processi alternativi di depilazione delle pelli. L'unità funzionale adottata per l'analisi è 1 kg di pelle da trattare.

L'analisi è stata condotta considerando gli inputs e gli outputs ritenuti significativi per il processo di depilazione che differiscono tra le due alternative oggetto di studio, come riportato negli schemi di Fig. 2, dal momento che i flussi di energia e i macchinari impiegati non variano tra i due sistemi produttivi. Nel caso della depilazione tradizionale, l'uso di solfuro di sodio rende necessario l'impiego di un sistema di abbattimento dell' $H_2S$  generato nel corso del processo (costituito da una torre di lavaggio ad umido per mezzo di acqua a pH basico), che è stato considerato all'interno dei confini del sistema; nel caso della depilazione ossidativa, sostituendo il solfuro di sodio con acqua ossigenata, tale sistema può essere eliminato. Inoltre, i confini del sistema includono anche la produzione dei chemicals impiegati nei due processi per tenere conto di tutti gli impatti ambientali connessi ad un processo produttivo in accordo con i principi della metodologia LCA. Del resto la diminuzione dell'impatto ambientale legata all'eliminazione dei solfuri dalle acque reflue era già evidente sulla base delle analisi dei bagni di depilazione.

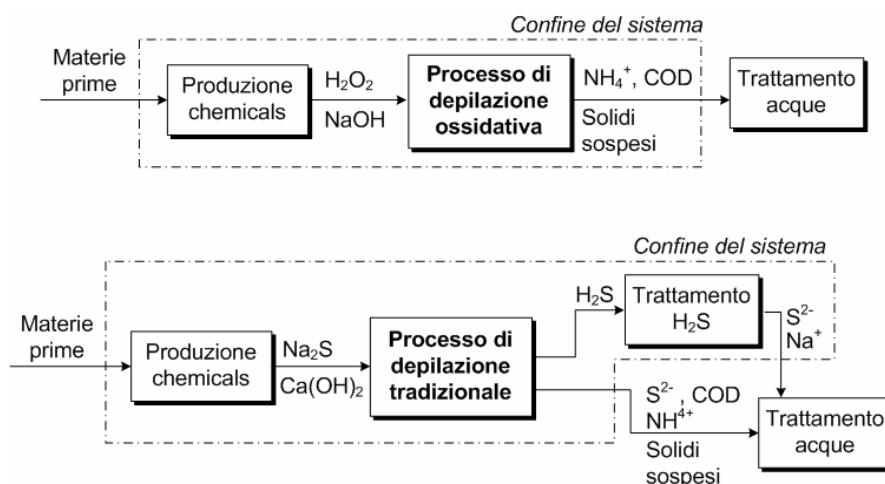


Fig. 2: Schema a blocchi del processo di depilazione delle pelli

#### 4.2 Inventario

In Tabella 1 sono riportati i materiali in ingresso e le emissioni considerate nell'analisi relativi ai due processi in esame, riferiti all'unità funzionale scelta (1 kg di pelle da processare). Nel caso della depilazione ossidativa i flussi sono stati ricavati dai risultati sperimentali ottenuti dalla sperimentazione condotta su scala industriale. Per i dati relativi alla produzione di acqua ossigenata, idrossido di calcio e idrossido di sodio sono state impiegate le banche dati presenti nel codice di calcolo (SimaPro 6). Dal momento che nel software impiegato per l'analisi non sono presenti i processi relativi alla produzione di solfuro di sodio e di idrogeno solforato, è stato necessario implementare anche tali processi sulla base di dati forniti da aziende produttrici di  $Na_2S$  e  $H_2S$ .

Tabella 1: Input e output del processo di depilazione delle pelli

		Depilazione ossidativa	Depilazione tradizionale
<i>Input</i>	$Na_2S$	0 [kg]	0.043 [kg]
	$Ca(OH)_2$	0 [kg]	0.04 [kg]
	$NaOH$ (50%)	0.096 [kg]	0 [kg]
	$H_2O_2$	0.09 [kg]	0 [kg]
<i>Output</i>	<i>COD</i>	85.9 [kg]	106 [kg]
	<i>Solidi sspesi</i>	58.73 [kg]	59.9 [kg]
	<i>Azoto (<math>NH_4^+</math>)</i>	0.8 [kg]	0.6 [kg]
	<i>Solfuri (as <math>S^{2-}</math>)</i>	0 [kg]	4.6 [kg]

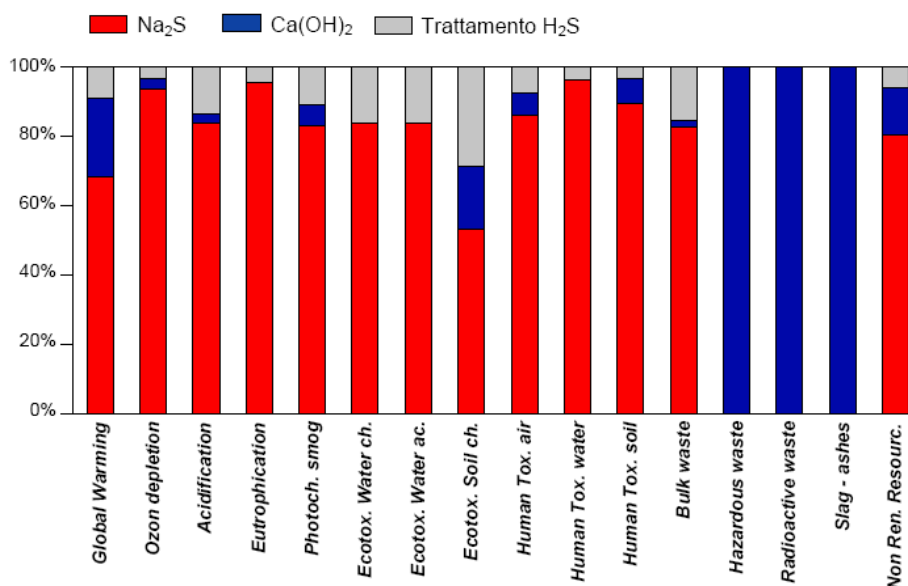
#### 4.3 Analisi degli impatti

Tra i metodi disponibili nel codice di calcolo impiegato per effettuare l'analisi degli impatti, è stato selezionato EDIP 97 in quanto ritenuto il più idoneo per la valutazione d'impatto ambientale di un processo chimico. In particolare, è stata ritenuta adeguata la rispondenza tra i parametri considerati nel

metodo per la quantificazione dei contributi a ciascuna categoria d'impatto e i flussi individuati nella fase d'inventario associati ai processi di depilazione oggetto di studio. Il metodo selezionato, però, non considera il COD tra i parametri per valutare l'indicatore ambientale della categoria eutrofizzazione, ritenuto invece uno dei principali parametri per la caratterizzazione delle acque reflue. È stato pertanto introdotto nel metodo uno specifico fattore di equivalenza (0,23) in modo tale da esprimere il contributo del COD rispetto ad un parametro di riferimento (nitrati), interpolando i valori dei parametri che caratterizzano l'indicatore della categoria eutrofizzazione dei metodi EDIP '97 e CML'96.

Il metodo EDIP 97 è stato sviluppato in Danimarca dalla Technical University of Denmark e pubblicato nel 1997; comprende le seguenti categorie d'impatto: global warming, ozone depletion, acidification, eutrophication, photochemical smog, ecotoxicity water acute, ecotoxicity water chronic, ecotoxicity soil chronic, human toxicity air, human toxicity water, human toxicity soil, bulk waste, hazardous waste, radioactive waste, slag and ashes, non renewable resources.

In Fig. 3 è riportato il contributo di ciascun input considerato per il processo di depilazione tradizionale ad ogni categoria d'impatto considerata nel metodo selezionato per eseguire l'analisi. È possibile notare che il maggior contributo all'impatto ambientale del processo è dovuto al solfuro di sodio. Tale contributo tiene conto sia delle emissioni correlate al suo impiego nella fase di lavorazione delle pelli che degli impatti correlati al suo processo di produzione. I risultati evidenziano la necessità di eliminare il solfuro di sodio dalla fase di depilazione delle pelli al fine di ridurre l'impatto ambientale.



**Fig. 3: Contributo relativo degli input del processo di depilazione tradizionale a ciascuna categoria d'impatto**

In Fig. 5 sono riportati graficamente, in termini relativi, i risultati ottenuti dal confronto tra i due processi. Nel grafico, per ogni categoria, al processo che genera l'impatto maggiore viene attribuito il valore 100%, all'altro una percentuale relativa al primo. Ad esempio, prendendo in considerazione la categoria *photochemical smog*, la depilazione ossidativa risulta avere un impatto pari al 90% rispetto all'impatto dovuto alla depilazione tradizionale per questa categoria. In Fig. 5 è possibile notare che il processo innovativo in esame presenta un impatto maggiore rispetto alla depilazione tradizionale in varie categorie. Tale risultato è dovuto alla produzione di acqua ossigenata che contribuisce per oltre il 50% all'impatto ambientale associato alla depilazione ossidativa.

I valori ottenuti dall'analisi dei processi per ciascuna categoria d'impatto sono stati normalizzati in modo da esprimere i dati rispetto ad un valore di riferimento, ovvero l'impatto equivalente per persona. I risultati normalizzati per categoria d'impatto sono riportati in Tabella 2.

È possibile notare che le categorie interessate da un impatto maggiore risultano *eco-toxicity water chronic* ed *eco-toxicity water acute*, ma tale impatto risulta significamente ridotto con l'impiego del processo di depilazione ossidativa. Per altre categorie per cui l'impatto della depilazione ossidativa risulta maggiore rispetto alla lavorazione tradizionale, i risultati normalizzati indicano che la loro importanza non è significativa al fine degli effetti sull'ecosistema e sulla salute umana.

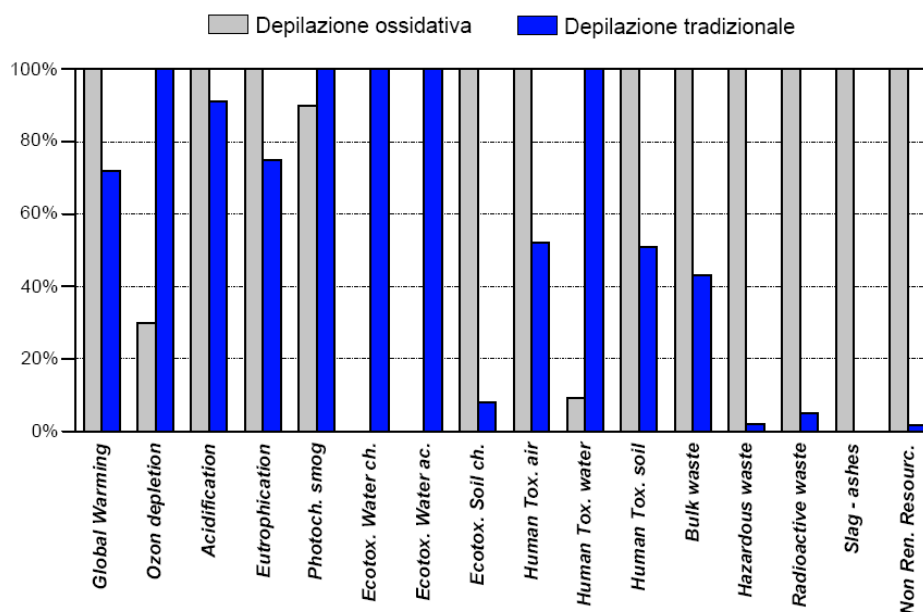


Fig. 5: Risultati dell'analisi degli impatti

Tabella 2: Risultati normalizzati dell'analisi degli impatti

Categoria d'impatto	Depilazione ossidativa	Depilazione tradizionale
<i>Global warming</i>	1,96E-05	1,43E-05
<i>Ozone depletion</i>	1,08E-07	3,65E-07
<i>Acidification</i>	9,73E-06	8,80E-06
<i>Eutrophication</i>	9,32E-03	6,90E-03
<i>Photochemical smog</i>	7,12E-06	7,69E-06
<i>Eco-toxicity water chronic</i>	3,73E-04	7,00E+01
<i>Eco-toxicity water acute</i>	3,68E-04	3,36E+02
<i>Eco-toxicity soil chronic</i>	6,11E-05	4,34E-06
<i>Human toxicity air</i>	2,46E-06	1,29E-06
<i>Human toxicity water</i>	3,11E-05	3,49E-04
<i>Human toxicity soil</i>	4,77E-05	2,44E-05
<i>Bulk waste</i>	7,91E-06	3,44E-06
<i>Hazardous waste</i>	1,68E-07	1,43E-09
<i>Radioactive waste</i>	1,27E-04	4,78E-06
<i>Slag/ashes</i>	4,38E-06	7,01E-10
<i>Non Renewable Resources</i>	1,00E-08	1,00E-08

## 5 Conclusioni

La metodologia LCA è stata applicata al settore conciario per confrontare l'impatto ambientale del processo tradizionale di depilazione delle pelli con un processo innovativo basato sull'impiego di acqua ossigenata in sostituzione del solfuro di sodio, generalmente utilizzato nella pratica conciaria. Dai risultati dell'analisi è stato riscontrato che le categorie *eco-toxicity water chronic* e *eco-toxicity water acute* sono quelle maggiormente interessate dai processi considerati e che l'impatto ambientale risulta significativamente ridotto con l'impiego del processo di depilazione ossidativa.

Nello studio condotto, il trattamento delle acque reflue non è stato considerato all'interno dei confini del sistema. Considerando i risultati ottenuti, che rivelano che il maggiore impatto ambientale interessa l'inquinamento delle acque, studi futuri prevedono di includere nell'analisi il trattamento delle acque reflue dei due processi di depilazione delle pelli considerati.

### Reference

- [1] SETAC, Code of practice, Bruxelles, 1993
- [2] Bronco S., Castiello D., D'Elia G., Salvadori M., Seggiani M., Vitolo S., Oxidative unhairing with hydrogen peroxide: development of an industrial scale process for high-quality upper leather, Journal of the American Leather Chemists Association, Vol. 100, 2005, pp. 45-53