

Compatibilità e sostenibilità ambientale di tubi in materia plastica per il trasporto di acqua potabile: valutazione del "ciclo di vita - LCA"

Compatibilità e sostenibilità ambientale di tubi in materia plastica per il trasporto di acqua potabile: valutazioni del "ciclo di vita - LCA"

Compatibilità e sostenibilità ambientale dei manufatti

Le azioni umane ed i manufatti prodotti dall'uomo sono compatibili con l'ambiente quando soddisfano bisogni e richieste attuali senza compromettere e lasciare, con riferimento ai vantaggi del presente, prezzi troppo alti da pagare nel futuro; il rispetto di questo criterio realizza la sostenibilità nell'operare dell'uomo sulla terra.

In realtà ogni azione umana ed oggetto fabbricato hanno come effetto un impatto sull'ambiente; questo impatto deriva dal processo di produzione del materiale, dalla sua trasformazione in oggetto-manufatto, dalla sua vita in opera e dalla sua sorte quando diventa rifiuto. Per essere significativa e confrontabile tra diversi manufatti che svolgono la stessa funzione e hanno la stessa prestazione in opera, la valutazione dell'impatto ambientale complessivo di un dato manufatto deve essere condotta secondo uno schema definito, standardizzato ed uniforme. La norma ISO 14040, emessa nel 1998, for-

nisce tale lo schema di riferimento da seguire che deve venir seguito nella valutazione dell'impatto ambientale di un manufatto; questa valutazione del ciclo di vita, viene usualmente riferita come "life cycle assessment-LCA", e viene effettuata su una quantità di prodotto corrispondente all'unità di funzione e prestazione, definita detta "unità funzionale". In accordo con lo stesso schema della ISO 14040, l'analisi del ciclo di vita dell'unità di funzione e prestazione consiste nella compilazione e valutazione, per il sistema formato da tutti gli stadi-fasi di vita di un manufatto-unità funzionale, dei flussi (come energia e materie prime) in entrata nel sistema e di quelli in uscita (come rifiuti ed emissioni) e dei corrispondenti impatti ambientali. Specificamente, l'effettuazione del LCA di un manufatto passa attraverso:

- la preliminare definizione dell'unità funzionale da valutare e dei suoi confini per quanto riguarda le fasi di inizio, che comprende la definizione dei suoi confini di inizio vita (materie prime, produzione di intermedi e del manufatto), di vita in opera e di fine vita (discarica, combustione, riciclo) del manufatto usato;
- l'elaborazione, per tutte le fasi di vita dell'unità funzionale (produzione, vita in opera e smalti-

**G. VIDOTTO,
A. PONTIGGIA**
*Istituto Italiano
dei Plastici*

mento), del diagramma di flusso di dettaglio con definizione ed attribuzione a ciascuna fase dei relativi flussi in entrata ed in uscita;

- la valutazione delle entità di modificazione ambientale che si generano nella produzione, vita in opera e smaltimento dell'unità funzionale-manufatto, compresi il consumo di energia e di materia prima ed il rilascio nell'ambiente di emissioni e rifiuti. Sulla base di queste modificazioni ambientali si definiscono le categorie di impatto ambientale rilevanti per l'unità funzionale considerata; queste, in termini generali, comprendono il consumo di risorse, il cambiamento climatico (usualmente chiamato riscaldamento globale), l'effetto sullo strato di ozono, la tossicità per l'uomo e per le acque, l'ossidazione fotochimica, l'acidificazione delle piogge e l'eutrofizzazione delle acque. Gli impatti ambientali, per ciascuna categoria vengono espressi calcolati utilizzando fattori di conversione-equivalenza che permettono di riferire l'impatto di una categoria ad una sola sostanza di riferimento che produce lo stesso risultato; così l'impatto sul cambiamento climatico-riscaldamento globale di ciascuna emissione è espresso in kg equivalenti di CO₂ e l'impatto sul consumo di ozono è espresso in kg equivalenti di CFC 11. L'insieme degli impatti ambientali di tutte le categorie considerate, ciascuna espressa da un solo valore, detto "indicatore di categoria", attraverso l'uso dei fattori di conversione-equivalenza, costituisce la caratterizzazione e rappresenta l'impatto ambientale complessivo, in tutta la sua vita, dell'unità funzionale-manufatto analizzato;
- la normalizzazione dei risultati di impatto ambientale delle singole diverse categorie di impatto attraverso parametri di pesatura basati su conoscenze e riferimenti all'impatto globale per esempio in un dato periodo in una

definita area geografica; non sempre universalmente accettati); questa normalizzazione permette di rendere sintetici e confrontabili gli impatti ambientali di unità funzionali-manufatti di uguale prestazione;

- la interpretazione dei risultati di LCA con evidenziazione dell'importanza delle singole categorie di impatto ambientale per una data unità funzionale e l'eventuale definizione e decisione di specifiche azioni di modifica e miglioramento.

Valutazioni di LCA, riferite ad una data unità funzionale, effettuate in accordo alla ISO 14040, sono capaci di fornire risposte adeguate per metodologia e quantitative nella sostanza, qualora esistano tutte le informazioni necessarie, alle domande sull'impatto ambientale e sulla sostenibilità relativa di un dato manufatto-materiale, riferito ad una definita situazione di vita rispetto ad altri manufatti/materiali alternativi.

I manufatti in materia plastica e l'industria che produce le materie plastiche ed i corrispondenti manufatti sono stati e sono estesamente esaminati e studiati per il loro impatto sull'ambiente e sull'uomo, essenzialmente perché sono relativamente giovani (50 anni circa di vita industriale), hanno avuto una crescita rapida fino a diventare prodotti di massa utilizzati in tutti i settori della vita civile ed industriale e perché alcuni intermedi e prodotti della filiera produttiva hanno o possono avere problemi di impatto sull'uomo e sull'ambiente.

Anche la sorte dei manufatti in materia plastica a fine vita in esercizio è stata ed è estesamente esaminata; le motivazioni e gli scopi sono essenzialmente quelli di sviluppare ed adottare estesamente l'uso di tecnologie capaci di recuperare dai manufatti usati le materie prime e l'energia in essi contenute anche come alternativa al loro smaltimento in discarica.

Questa nota riporta in forma riassuntiva i risul-

tati delle analisi del ciclo di vita effettuate da M. Levi [1] del Politecnico di Milano (Dipartimento di Chimica, Materiali ed Ingegneria Chimica "Giulio Natta") con il supporto dell'Istituto Italiano dei Plastici, su tubi in materia plastica per il trasporto di acqua potabile.

Le valutazioni di impatto ambientale hanno seguito lo schema operativo della norma ISO 14040, con analisi completa del ciclo di vita (life cycle assessment - LCA) dei tubi esaminati. Questi hanno specificamente compreso tubi per il trasporto di acqua potabile costituiti da polietilene alta densità HDPE (PE 100), da polivinilidloruro PVC (valore K di Fikentscher 68) e per riferimento e confronto da ghisa sferoidale.

*Valutazione del ciclo di vita
"life cycle assessment" di tubi in HDPE,
PVC e ghisa sferoidale*

Le condotte in materia plastica, specificatamente quelle in HDPE e PVC, sono estesamente utilizzate nel trasporto di acqua potabile avendo, circa 40 anni fa, cominciato in Italia ed in Europa ad affiancarsi e crescere accanto alle esistenti e consolidate condotte in ghisa. Per l'analisi e valutazione del ciclo di vita di queste tubazioni destinate al trasporto di acqua potabile è stata scelta

da M. Levi [1] una unità funzionale costituita da un tubo di lunghezza pari a 1 m e diametro interno pari a 250 mm. Le caratteristiche che individuano l'unità funzionale, costituita rispettivamente da HDPE, PVC e ghisa sferoidale, sono riportate in **tabella 1**, che specifica anche gli scenari di fine vita considerati nell'analisi del ciclo di vita.

Per la fase di vita in opera dei tubi esaminati è stata tenuta in conto la esistente diversa aspettativa di vita; in particolare per i tubi in HDPE e PVC viene considerata una vita in opera di 50 anni (le norme attuali UNI ed UNI-EN, cui essi conformano, prevedono il mantenimento delle prestazioni meccaniche richieste e necessarie per almeno 50 anni), mentre per i tubi in ghisa sferoidale, consolidati nell'applicazione da centinaia di anni, non è previsto nella norma alcun limite temporale di vita ed è stata assunta, su base di esperienza, una vita in opera di 100 anni. Conseguentemente, per un confronto omogeneo degli impatti ambientali, quelli dei tubi in HDPE e PVC sono stati normalizzati sulla scala temporale di vita del tubo in ghisa sferoidale, moltiplicandoli per due.

Come mostrato in **tabella 1**, le unità funzionali fanno tutte riferimento e sono conformi alle spe-

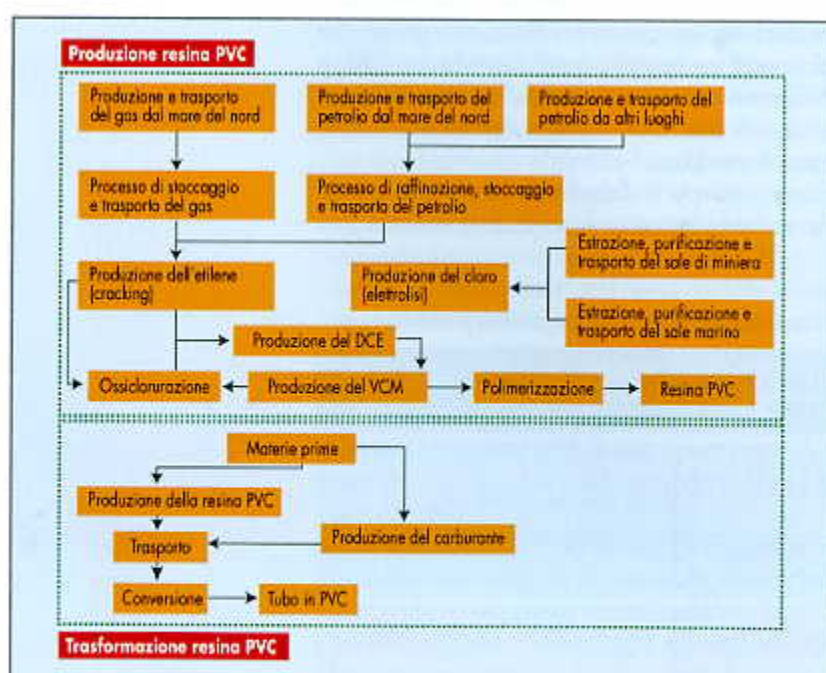
Tabella 1 • Unità funzionali di tubi in HDPE, PVC e ghisa sferoidale per il trasporto di acqua potabile.

Materiale	Unità funzionale Tubo di lunghezza 1 m e diametro 250 mm	
HDPE	Vita in opera 50 anni, spessore 22,7 mm, peso 15 kg, PN 16, norma UNI 10910 (attualmente UNI-EN 12201)	} Gli scenari di fine vita comprendono scarica e riciclo
PVC	Vita in opera 50 anni, spessore 14,8 mm, peso 15 kg, PN 16, norma UNI-EN 145	
Ghisa sferoidale	Vita in opera 100 anni, spessore 5,8 mm, peso 45 kg, norma UNI-EN 545	} Lo scenario di fine vita considera il riciclo

cifiche norme UNI ed UNI-EN, che definiscono in dettaglio le caratteristiche fisico meccaniche e prestazionali del corrispondente tubo all'atto della produzione ed in opera nel trasporto di acqua potabile per il tempo di vita indicato. La conformità alle norme di riferimento dei tubi in materia plastica per acqua potabile implica che il loro processo produttivo ed i corrispondenti manufatti sono all'interno di quanto definito nella norma di riferimento; così ad esempio i tubi in HDPE conformi alla norma UNI 10910 (ora UNI-EN 12201) sono ottenuti da una materia prima compound HDPE (PE 100), per la quale è stata accertata la capacità di produrre tubi la cui resistenza alla pressione a varie temperature, secondo la norma ISO 9080, definisce un valore di "minimum required strength MRS" a 20°C superiore a 10 MPa; analogamente i tubi a base di PVC, conformi alla norma UNI EN 1452, sono ottenuti da

formulazioni con valore di MRS superiore a 25 MPa. Questi limiti nelle formulazioni utilizzabili per la produzione di tubi conformi alle specifiche norme di riferimento per il trasporto di acqua potabile sono una condizione necessaria per l'ottenimento di tubi con vita in opera garantita di almeno 50 anni. L'unità funzionale di tubo in ghisa sferoidale per il trasporto di acqua potabile di spessore di 5,8 mm, come definito dalla norma UNI-EN 545, è in realtà costituita da tubo zincato rivestito internamente per 4 mm di malta cementizia. Definiti i confini delle unità funzionali dei tubi (ad esempio quelle dei tubi in PVC e ghisa sferoidale sono schematicamente indicate nelle figure 1 e 2 rispettivamente) per il calcolo degli impatti ambientali delle unità funzionali in HDPE e PVC sono stati utilizzati i dati raccolti nella Banca dati APME (dell'Associazione dei Produttori di materie plastiche in Europa) [2], per quella in ghisa sferoidale i dati delle Banche Dati BUWAL 250 (dell'Agenzia Federale svizzera per l'ambiente, le foreste ed il paesaggio) [3] ed ETHESU 96 (dell'Istituto Tecnico Federale svizzero di Zurigo) [4] ed Idemat (del Politecnico di Delf-Olanda) [5]. Utilizzando per ciascuna fase di vita (produzione, vita in opera e fine vita) dell'unità funzionale gli impatti ambientali ottenuti dalle Banche Dati specialistiche e seguendo in buona sostanza la metodologia (categorie di impatto, fattori di equivalenza) del "Centre of Environment Science-CMI" dell'Università di Leiden-Olanda [6], M. Levi ha ottenuto dalla caratterizzazione degli impatti di ciascuna fase (produzione, trasformazione, vita in opera e fine vita) le valutazioni di LCA per l'unità funzionale costituita dai tre materiali di cui in tabella 1. I risultati della caratterizzazione di impatto ambientale per la produzione dell'unità funzionale di tubo in HDPE, PVC e ghisa sferoidale sono raccolti in tabella 2; le categorie di impatto

Figura 1 • limiti al contorno dell'unità funzionale del tubo in PVC per acqua.



to ambientale e la loro unificazione con fattori di conversione sono essenzialmente quelle derivate dal "Centre of Environmental Science" [6] dell'Università di Leiden (Olanda) e per l'unità funzionale-tubo in ghisa sferoidale i risultati si riferiscono alla produzione a partire da minerali di ferro, diversamente da quanto avviene usualmente con l'utilizzo prevalente di rottami da riciclo (come schematicamente rappresentato in figura 2).

L'esame dei risultati di **tabella 2** indica che la produzione dei tubi:

- in PVC, richiede minor consumo di risorse rispetto a quelli in HDPE e ghisa sferoidale;
- in HDPE e PVC, ha minor impatto sul riscaldamento globale di quelli in ghisa sferoidale;
- in ghisa sferoidale, ha maggior impatto am-

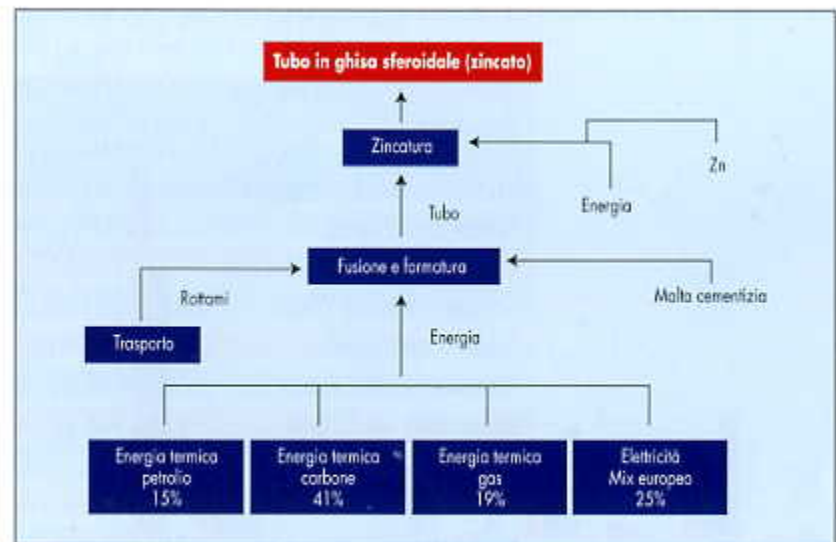


Tabella 2 • Caratterizzazione degli impatti ambientali associati alla sola produzione dell'unità funzionale tubo in HDPE, PVC e ghisa sferoidale.

Categoria	Impatto	Unità di sostanza equivalente	Unità funzionale tubo in:		
			HDPE	PVC	Ghisa sferoidale
Consumo di risorse*		kg Sb eq	0,607	0,415	0,682
Cambiamento climatico** (tempo 100 anni)		kg CO ₂ eq	32,7	36	94,4
Consumo strato di ozono***		kg CFC-11 eq	1,56E-06	1,48E-06	1,69E-05
Tossicità per l'uomo****		kg 1,4-DB eq	1,70	1,91	68,7
Ecotossicità per l'acqua*****		kg 1,4-DB eq	0,133	0,168	2,73
Ecotossicità per la terra*****		kg 1,4-DB eq	0,169	0,181	0,985
Ossidazione fotochimica		kg C ₂ H ₄	0,0123	0,009	0,0283
Acidificazione		kg SO ₂ eq	0,289	0,188	0,709
Eutrofizzazione		kg PO ₄ ... eq	0,00166	0,0020	0,0272

*Il consumo delle risorse è espresso, convertito ed unificato in kg equivalenti di antimonio/kg di minerali e combustibili fossili estratti. **Il cambiamento climatico detto usualmente riscaldamento globale, è unificato in kg equivalenti di CO₂. ***Valutato su scala geografica globale e scala temporale infinita; i dati sono parziali per mancanza di quelli relativi alla produzione dei polimeri. ****Le tossicità sono espresse ed unificate in kg di 1,4 diclorobenzolo e si riferiscono a scala temporale infinita; i dati qui riportati pur significativi e confrontabili non sono per mancanza di conoscenza in particolare per l'impatto sull'acqua marina, descrittivi in maniera esaustiva della totale (reale e potenziale) ecotossicità dei processi/prodotti esaminati.

Figura 2 • Limiti al contorno dell'unità funzionale - tubo in ghisa sferoidale per trasporto di acqua potabile.

Tabella 3 • Impatti ambientali delle unità funzionali tubo in HDPE, PVC e ghisa sferoidale per trasporto di acqua potabile; fine vita in discarica per i tubi in HDPE e PVC e riciclo/discarica per quelli in ghisa.

Categoria	Impatto Unità di sostanza equivalente	Unità funzionale tubo in:			
		HDPE	PVC	Ghisa sferoidale Riciclo 100%	Ghisa sferoidale (50% Riciclo 50% Discarica)
Consumo di risorse	kg Sb eq	1,216	0,834	-0,205	0,239
Cambiamento climatico	kg CO ₂ eq	78,4	79,2	81,9	88,1
Consumo strato di ozono	kg CFC-11 eq	3,48E-06	3,32E-06	2,14E-05	1,92E-05
Tossicità per l'uomo	kg 1,4-DB eq	3,46	4	75,8	72,5
Ecotossicità per l'acqua	kg 1,4-DB eq	0,272	0,348	4,15	5,89
Ecotossicità per la terra	kg 1,4-DB eq	0,348	0,366	1,08	1,03
Ossidazione fotochimica	kg C ₂ H ₄	0,0274	0,0195	0,0124	0,0203
Acidificazione	kg SO ₂ eq	0,582	0,380	0,726	0,717
Eutrofizzazione	kg PO ₄ eq	0,00442	0,00528	0,0278	0,0272

Non sono compresi i dati relativi alla produzione dei polimeri

bientale sulle tossicità per l'uomo, per l'acqua e per la terra, sulla ossidazione fotochimica, acidificazione ed eutrofizzazione di quelli in HDPE e PVC.

Tabella 4 • Fattori moltiplicativi di normalizzazione riferiti ai consumi-emissioni per ciascuna categoria in Europa Occidentale nel 1995 (Centre of Environmental Science 2000 - Università di Leiden - Olanda).

Categorie d'impatto	Fattore moltiplicativo di normalizzazione
Consumo di risorse	6.66E-11
Cambiamento climatico	2.12E-13
Consumo strato di ozono	1.2E-8
Tossicità per l'uomo	1.32E-13
Ecotossicità per l'acqua	1.98E-12
Ecotossicità per la terra	2.12E-11
Ossidazione fotochimica	1.21E-10
Acidificazione	3.66E-11
Eutrofizzazione	8.0E-11

L'analisi del ciclo di vita (CA) delle unità funzionali deve comprendere non solo la fase di produzione, ma tutte le fasi, incluse quella di fine vita.

La **tabella 3** riporta i risultati della caratterizzazione di impatto ambientale per le unità funzionali tubo in PVC ed in HDPE con fine vita in discarica e dell'unità funzionale tubo in ghisa sferoidale con fine vita in totale (100%) riciclo ed in riciclo per il 50% e in discarica per il 50%. L'esame di confronto tra i risultati di **tabella 3** e di **tabella 2** evidenzia che:

- per le unità funzionali in HDPE e PVC, il fine vita in discarica mediamente raddoppia il loro impatto ambientale per tutte le categorie rispetto agli impatti della fase produzione dei tubi;
- il riciclo dell'unità funzionale in ghisa sferoidale ha effetti molto positivi sul consumo di risorse senza modificare significativamente gli altri impatti rispetto alla fase di produzione dei tubi direttamente da minerali ferrosi.

Per la normalizzazione degli impatti ambientali

delle diverse categorie di impatto sono stati usati i fattori di pesatura, riportati in **tabella 4**, dell'Università di Leiden-Olanda [6]; questi pesano e riferiscono l'impatto trovato per ogni categoria all'impatto complessivo causato dalle emissioni nel 1995 in Europa Occidentale.

I dati di impatto ambientale di **tabella 3**, normalizzati in accordo ai fattori di **tabella 4**, sono riportati in **figura 3**. Schematicamente ed in sintesi essi indicano che il riciclo della ghisa sferoidale, sia totale che al 50%, consente un elevato risparmio (circa il 65%, con il 50% di riciclo) di risorse, senza appesantire l'impatto ambientale per le altre categorie di impatto rispetto alla produzione delle tubazioni da minerali ferrosi, pur restando questi impatti sempre più elevati di quelli dei corrispondenti tubi in HDPE e PVC con fine vita in discarica. Le cause principali dei relativamente elevati impatti ambientali dei tubi in ghisa sferoidale risiede nell'uso del carbone come principale fonte di energia e nel pro-

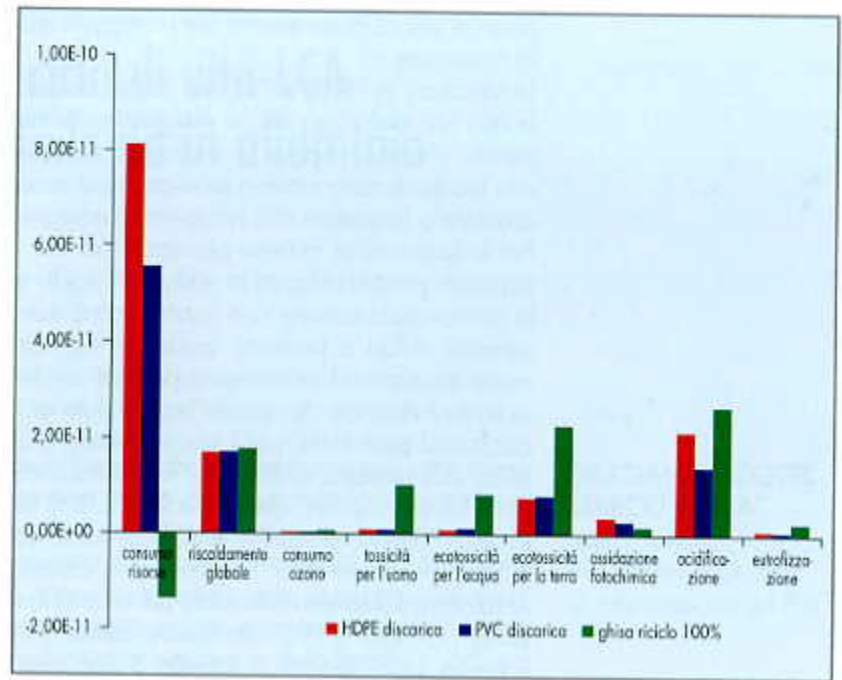


Tabella 5 • Impatti ambientali delle unità funzionali tubo in HDPE e PVC per trasporto d'acqua con scenario di fine vita: 50% discarica, 45% riciclo e 5% inceneritore; unità funzionale in ghisa sferoidale con fine vita in 100% riciclo.

Categoria	Impatto Unità di sostanza equivalente	Unità funzionale tubo in:		
		HDPE	PVC	Ghisa sferoidale
Consumo di risorse	kg Sb eq	0,936	0,74	-0,205
Cambiamento climatico	kg CO ₂ eq	79,6	80	81,9
Consumo strato di ozono (*)	kg CFC-11 eq	1,56E-06	7,48E-06	2,14E-05
Tossicità per l'uomo	kg 1,4-DB eq	11,52	11,98	75,8
Ecotossicità per l'acqua	kg 1,4-DB eq	1,632	1,684	4,15
Ecotossicità per la terra	kg 1,4-DB eq	0,314	0,326	1,08
Ossidazione fotochimica	kg C ₂ H ₄	0,024	0,0196	0,0124
Acidificazione	kg SO ₂ eq	0,526	0,61	0,726
Eutrofizzazione	kg PO ₄ ... eq	0,0043	0,005	0,0278

*Non sono compresi i dati relativi alla produzione dei polimeri HDPE e PVC

Figura 3 • Confronto del ciclo di vita di tubi in PVC, HDPE e ghisa sferoidale con fine vita in discarica per quelli in materia plastica e riciclo completo per quelli in ghisa sferoidale.

cesso di zincatura necessario per proteggerli dalla corrosione.

Le tubazioni in HDPE e PVC per acqua potabile alla fine della loro vita in esercizio possono venire, oltreché smaltite in discarica, riciclate con recupero della materia plastica di cui sono costituite o incenerite con recupero di energia. Per le tubazioni in materia plastica e per tutti i manufatti plastici utilizzati in edilizia, il riciclo e la termovalorizzazione non sono ancora estesamente diffusi e praticati, anche se tecnicamente possibili ed inizialmente praticati anche su scala industriale. Su questa base è stato ipotizzato ed esaminato, per i tubi in materia plastica, uno scenario di fine vita, non irrealistico per il futuro prossimo, che prevede il 50% di loro smaltimento in discarica, il 45% di riciclo ed il 5% di incenerimento. I risultati della caratterizzazione di impatto ambientale per le unità funzionali in HDPE e PVC con questo scenario di fine vita sono riportati in **tabella 5** con riferimento ed in confronto ai risultati dell'unità funzionale in ghisa, con fine vita in totale riciclo. I risultati di **tabella 5** confrontati con quelli corrispondenti di **tabella 3** evidenziano che il nuovo scenario di fine vita ipotizzato per i tubi in materia plastica:

- consente un significativo risparmio di risorse (15% circa per le unità in PVC e 23% circa per quelle in HDPE) senza impatti significativi sul riscaldamento globale;
- appesantisce però gli impatti di tossicità per le acque e per l'uomo ed in parte anche di ossidazione fotochimica, che permangono comunque inferiori a quelli della unità funzionale in ghisa riciclata.

Considerazioni conclusive

Nell'analisi di ciclo di vita LCA, le unità funzionali di tubo in HDPE e PVC per acqua potabile

mostrano impatti ambientali molto simili, con vantaggio per quelle in PVC di un più basso (circa 30%) consumo di risorse. La corrispondente unità funzionale in ghisa sferoidale, a causa del riciclo dei materiali ferrosi di cui è costituita, mostra un notevole vantaggio nelle risorse consumate rispetto a quelle in materia plastica, ma per le altre categorie di impatto a parte l'ossidazione fotochimica essa risulta svantaggiata e meno sostenibile rispetto alle unità funzionali in HDPE e PVC.

Lo scenario di fine vita delle tubazioni in materia plastica con riciclo pari al 45%, incenerimento con recupero di energia pari al 5% ed il restante 50% in discarica, consente risparmi significativi intorno al 20% sul consumo di risorse, ma peggiora gli impatti ambientali in particolare per quanto riguarda la tossicità per l'uomo e per l'acqua.

Ricerca svolta da Marinella Levi e Vanessa Acierno (Politecnico di Milano, Dipartimento di Chimica Giulio Natta) su "Analisi ambientale del ciclo di vita di tubi per il trasporto di acqua potabile"; gli estensori di questa nota-riassunto sono grati a M. Levi e V. Acierno del Politecnico di Milano per aver consentito a questa comunicazione dei risultati del loro lavoro.

Riferimenti

- 1) M. Levi, V. Acierno, Dipartimento di Chimica, Materiali ed Ingegneria Chimica "Giulio Natta" Politecnico di Milano, 2005.
- 2) Boustead: Ecoprofiles of plastics and intermediates: methodology APME - Brussel (1999); Ecoprofiles of European Plastic Industry (1999).
- 3) Life cycle inventories for packaging, Swiss Agency for Environment, forests and landscape, Berna (1996).
- 4) Okoinventare von Energie system - Frischnecht 1996 (www.energieforschgn.ch)
- 5) Ideamat. <http://www.ia.tudelft.nl/research/dts/ideamat/index.htm>
- 6) Centre of Environmental Science (CML) - Leiden University, Olanda.