Consumi di energia e impatto ambientale della produzione dei diversi materiali per condotte fognarie

1. Introduzione

Col passare dei tempi assume crescente importanza il problema dell'inquinamento ambientale e dell'ecologicità dei vari prodotti per la salvaguardia dell'ambiente. In relazione a tale problema interessa sopratutto sapere qual'è il complessivo consumo di energia assorbito durante la produzione dei vari prodotti e quali siano le emissioni generate dai processi produttivi. Dato che si tratta di stabilire un bilancio ecologico della produzione, il consumo complessivo di energia va inteso come consumo di energia necessario per produrre il prodotto, più l'energia necessaria per produrre tutti i prodotti ausiliari, nonché il consumo di energia associato all'estrazione, il trattamento e la fornitura dei vettori di energia. Si tratta dunque di determinare il fabbisogno complessivo di energia e le emissioni dell'intero ciclo di produzione cominciando dall'estrazione dei vettori di energia fino al completamento del prodotto finito considerando il fabbisogno di energia per tutti i materiali che concorrono alla produzione. Nell'ambito della presente relazione ci proponiamo di illustrare le indagini finora svolte e quindi stabilire il bilancio ecologico dei materiali per condotte fognarie. Visto che si utilizzano tubazioni in: gres ceramico, calcestruzzo, cemento, ghisa e materiali plastici, interessa ovviamente sapere qual'è il materiale meno offensivo per l'ambiente.

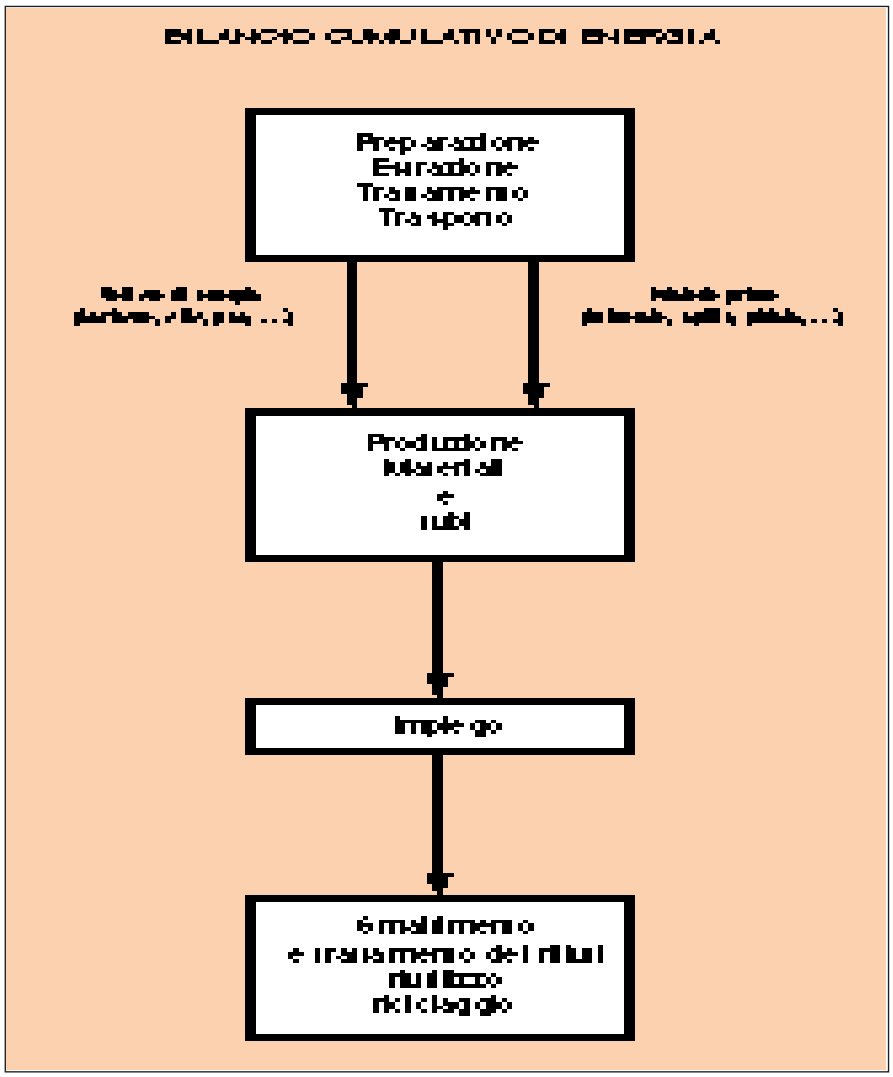
Jeschar con altri autori [1] [2] ha già svolto un'indagine sui consumi di energia e le emissioni CO_2 dei diversi materiali per condotte fognarie e precisamente:

- gres ceramico
- calcestruzzo
- cemento armato
- cemento armato con rivestimento anticorrosione
- ghisa
- PVC e
- HDPE

aventi i seguenti diametri nominali DN 100, DN 150, DN 300 e DN 500.

Partendo da tali indagini, nella presente relazione ci proponiamo l'obiettivo di estendere l'analisi a tutte le emissioni generate durante il processo produttivo di tali materiali da condotta ed includervi anche i valori medi europei che si è potuto raccogliere per il gres. In cifre ci proponiamo di fornire i consumi di acqua delle produzioni di gres, PVC e HDPE, nonché i relativi scarti di produzione.

Onde garantire la massima obiettività gli autori hanno fatto riferimento ai dati di consumo pubblicati dalle rispettive associazioni professionali. I bilanci ecologici dei consumi sono stati elaborati conformemente ai criteri di cui sopra, e cioè sono bilanci relativi al ciclo intero, a cominciare dalla produzione dell'energia fino al completamento del ciclo di produzione del prodotto finito. Visto che gli scarti di produzione assumono un'importanza sempre più crescente, si è ritenuto necessario includere anche i dati relativi agli scarti e allo smaltimento dei prodotti. Si ottiene in tal modo un bilancio ecologico del fabbisogno e dei consumi di energia dell'intero ciclo, come illustrato nella figura 1.



• *Figura 1*

2 Dati termodinamici e energie di produzione, trattamento e fornitura dei vettori di energia e dei materiali che concorrono alla produzione dei prodotti.

Alla nostra analisi del bilancio energetico del processo produttivo vero e proprio conviene premettere un'analisi dei dati termodinamici dei vettori di energia e dell'energia necessaria per la loro estrazione, il loro trattamento e la loro fornitura. La composizione dei combustibili fossili è caratterizzata dalla sua notevole variabilità. I valori di potere calorifico (valore inferiore) a cui si è fatto riferimento nei nostri studi sono riportati nella tabella della Fig. 2a. I dati riportati per il gas metano, l'olio combustibile EL, l'antracite e la lignite sono desunti dai dati pubblicati dal Miniestero federale tedesco per l'Economia [3] e rappresentano pertanto la media tedesca. I valori di potere calorifico del PVC e del HDPE sono desunti dai dati raccolti e pubblicati da Kindler e Nikles [4] e da Menges e altri autori [5].

Per poter fabbricare i materiali il produttore deve attingere a fonti di energia e procurarsi le necessarie materie prime. Tale energia e le materia prime hanno già un contenuto notevole di energia, cioè quella necessaria per estrarre, trattare, depurare i vettori di energia e le materie prime e trasportarle fino allo stabilimento di produzione. Nella tabella della figura 2b sono riportati alcuni consumi energetici necessari per produrre e fornire i combustibili fossili, i vettori di energia detti combustibili secondari, come per esempio il coke, nonché l'energia necessaria per produrre e fornire diverse materie prime inorganiche.
I valori riportati per il gas metano, l'olio combustibile e il salgemma sono desunti dai dati pubblicati da Boustead [6], quelle riportate per l'antracite dai dati pubblicati da Kindler e Nikles [4]. Per il minerale ferroso sono stati adottati gli stessi valori dell'antracite.

L'energia di estrazione, trattamento e fornitura della lignite coltivata a giorno è stata assunta essere approssimativamente pari a 0,6 MJ/kg e quella necessaria per produrre e fornire il calcare, l'argilla e la ghiaia pari a approsimativamente 0,2 MJ/kg.
L'energia di produzione, trattamento e fornitura del coke e della ghisa di prima fusione è stata desunta dai consumi pubblicati dal Verein Deutscher Eisenhüttenleute (Associazione tedesca della siderurgia)[7].

In linea teorica nel computo occorrerebbe tener conto anche dell'energia contenuta nei materiali di cui sono fatti gli impianti di produzione.
L'incidenza dell'energia contenuta nei beni strumentali è però trascurabile.
Ed è altrettanto trascurabile l'energia associata all'usura dei materiali di tali impianti.

POTERE CALORIFICO E POTENZIALI DI CO_2

	potere calorifico MJ/kg	potere calorifico MJ/m³	tenore di carbonio Kgc/Kg	potenziali di CO_2 Kg_{CO_2}/Kg	potenziali di CO_2 Kg_{CO_2}/MJ
gas metano	39,6	31,7	–	–	0,055
olio combustibile EL	42,7	–	0,86	3,15	0,074
antracite	29,7	–	0,77	2,82	0,095
lignite	8,5	–	0,28	1,10	0,120
PVC	18	–	–	1,4	0,078
PE-HD	43,2	–	–	3,1	0,071
corrente elettrica					
mix di energia					
rete	–	–	–	–	0,060
calcare	–	–	–	0,42	–

Figura 2a

ENERGIE DI PROVVEDIMENTO

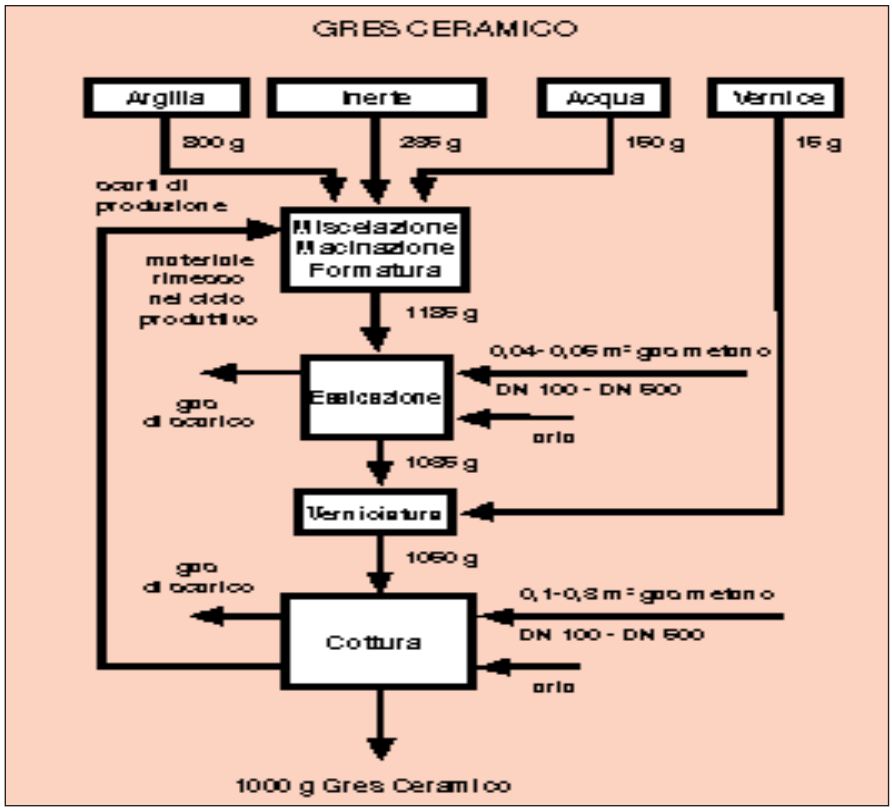
gas metano	3,8	MJ/kg
olio combustibile EL	4,9	MJ/kg
antracite	2,5	MJ/kg
lignite	0,6	MJ/kg
ghisa di prima fusione	18,2	MJ/kg
coke	8,8	MJ/kg
calcare, argilla, ghiaia	0,2	MJ/kg
salgemma	3,0	MJ/kg
corrente elettrica (mix di energia rete : η = 32%)	11,3	MJ/kwh

Figura 2b

3 Raffronto dei consumi di energia e delle emissioni CO_2

Partendo dai dati finora citati e dai bilanci delle masse di materiale che concorrono alla produzione dei materiali da condotta oggetto della nostra analisi, è possibile determinare il fabbisogno cumulativo di energia necessario per produrre tali materiali e le tubazioni. L'esempio di seguito fornito illustra il computo del fabbisogno cumulativo di energia necessaria per produrre il gres ceramico ed il PVC. Tutti i dati quantitativi si riferiscono ad 1 kg di prodotto finito.

Nella fig. 3a è riportato il diagramma di flusso delle masse interessate alla produzione di tubazioni di gres ceramico. Contrariamente alle sequenze di produzione di altri prodotti, la formatura del tubo costituisce una delle prime fasi del processo produttivo. Pertanto si ha un consumo di energia di cottura che varia col variare della tipologia del tubo, ragione per cui sono state riportate nella fig. 3b i consumi di energia e le emissioni di CO_2 di tre diversi diametri nominali, e cioè quello più piccolo, un diametro medio e uno più grande. I dati relativi alla dimensione media corrispondono ai valori medi di consumo di energia di tutti i produttori di tubi in gres europei. All'analisi dei consumi di energia dei diversi stabilimenti risulta che il consumo specifico dell'essicazione e della cottura dei grandi diame-



• *Figura 3a*

GRES CERAMICO

CONSUMO SPECIFICO DI ENERGIA

Provvedimento	DN 100 DN 150 MJ/kg	DN 300 MJ/kg	DN 500 elemento complementare MJ/kg
materie prime minerali	0,20	0,20	0,20
gas metano	0,42	0,49	0,56
	Σ 0,62	Σ 0,69	Σ 0,76
Produzione			
essicazione/ cottura	4,16	4,89	5,63
corrente elettrica	1,41	1,41	1,41
	Σ 5,57	**Σ 6,30**	**Σ 7,04**
	6,19	**6,99**	**7,80**

EMISSIONE SPECIFICA DI CO_2

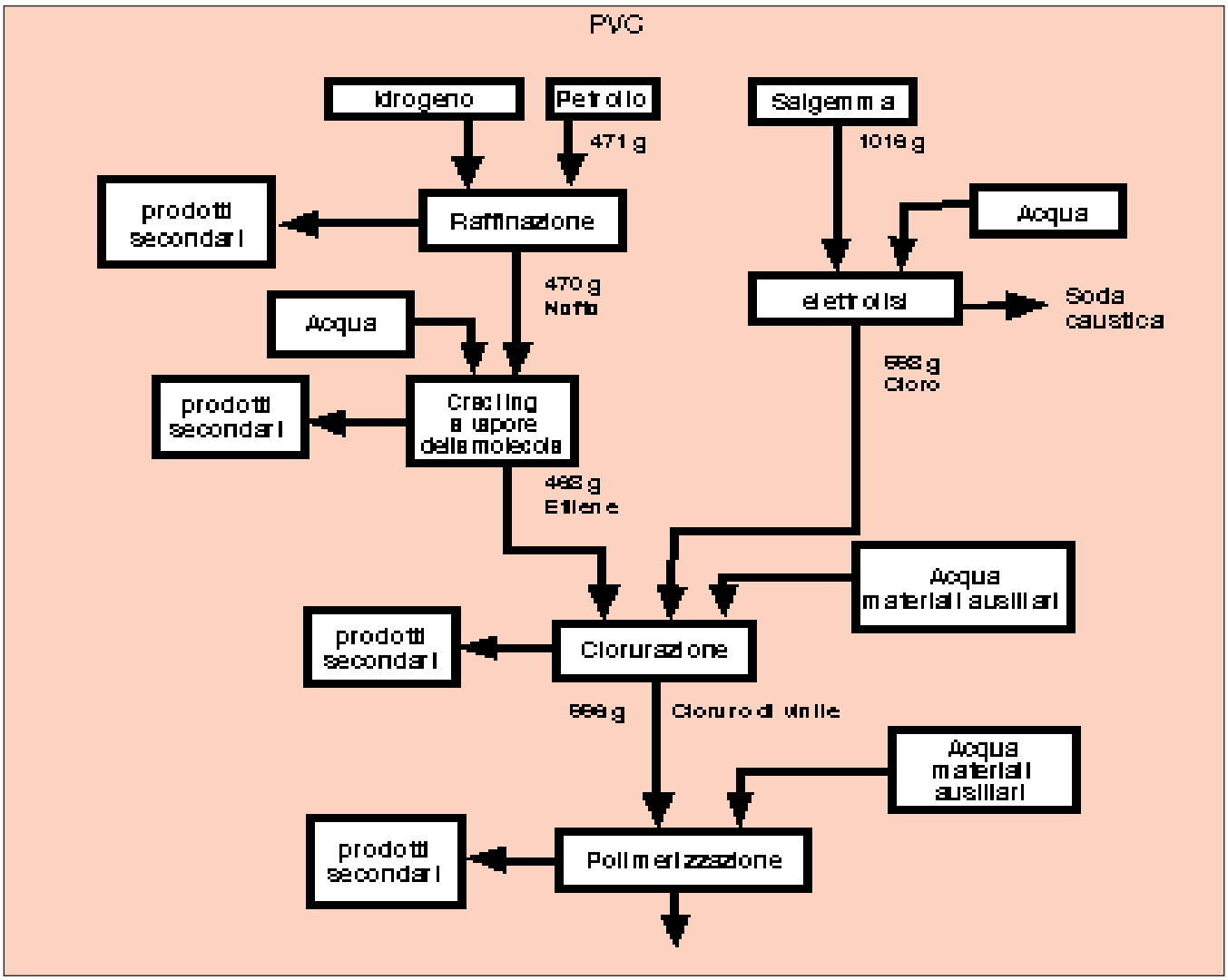
Provvedimento	DN 100 DN 150 kg_{CO_2}/kg	DN 300 kg_{CO_2}/kg	DN 500 elemento complementare kg_{CO_2}/kg
materie prime minerali	0,015	0,015	0,015
gas metano	0,031	0,037	0,042
	Σ 0,046	Σ 0,052	Σ 0,057
Produzione			
essicazione/ cottura	0,229	0,269	0,309
corrente elettrica	0,084	0,084	0,084
	Σ 0,313	**Σ 0,353**	**Σ 0,393**
	0,359	**0,405**	**0,450**

• *Figura 3b*

tri è superiore nella misura del 15 % ai corrispondenti consumi specifici dei diametri medi e che i consumi specifici dei piccoli diametri sono inferiori, sempre in misura del 15 %, a quelli dei diametri medi. Il fabbisogno di corrente elettrica essendo determinato dall'energia assorbita per macinare la materia prima e dall'operazione di pressatura, non varia col variare del diametro nominale.

Nella fig.4a è riportato il diagramma del flusso delle massse interessate alla produzione delle tubazioni di cloruro di polivinile (PVC) e nella fig. 4b i relativi consumi di energia e le corrispondenti emissioni di CO_2. Agli effetti del computo dei consumi specifici di energia riportati nella tabella il potere calorifico del petrolio, materia prima dei materiali plastici, viene considerato come consumo di energia. Tale potere calorifico si trasforma in guadagno di energia in caso di riutilizzazione dei materiali plastici con recupero del calore, oppure in caso di loro riciclaggio. Lo stessa dicasi delle emissioni di CO_2, in quanto col passare del tempo subentra un fenomeno di decomposizione dei materiali plastici che si decompogono in CO_2, H_2O e residui solidi. Bruciando i materiali plastici si ottengono gli stessi componenti, CO_2, H_2O e residui solidi. Pertanto nel fare il bilancio energetico dei materiali plastici bisogna tenere conto delle emissioni di CO_2 dovute alla decomposizione di tali materiali.

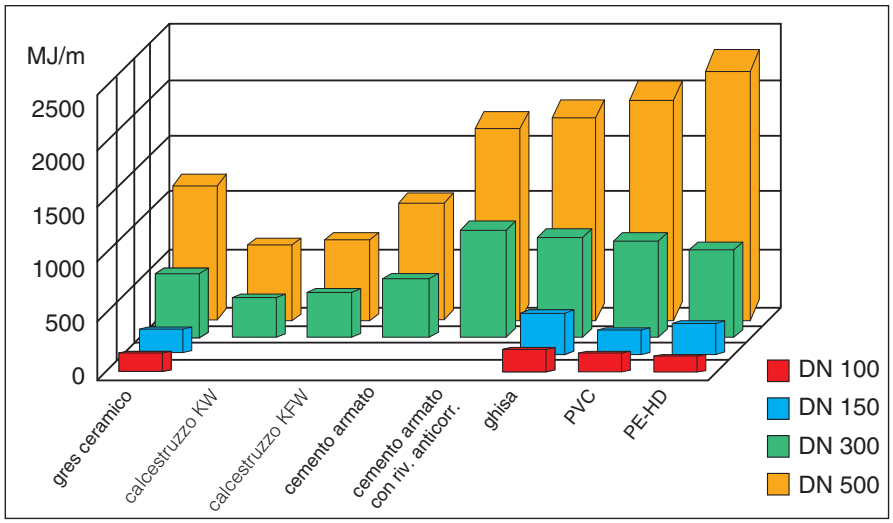
L'esempio di cui sopra vale anche per il computo dei consumi di energia e delle emissioni CO_2 del cemento, della ghisa e del polietilene. I dati così ottenuti per l'unità di massa servono da base per il conteggio del consumo specifico di energia e delle emissioni CO_2 associato alla produzioni di tubazioni fognarie. L'elemento di riferimento per



• *Figura 4a*

tale computo è il tratto di condotta con i relativi giunti, nel computo quindi si tiene conto anche dei consumi di energia e delle emissioni CO_2 associati ai giunti.

Nella fig. 5a sono riportati i consumi di energia di tratti rettilinei di condotta senza curve o diramazioni. Ne risulta che il consumo di energia di piccoli diametri di condotta di gres ceramico sia più basso dei consumi di altri materiali da condotta, anche se i consumi dei due materiali plastici risultano essere di poco superiori. Nel caso di grandi diametri è invece il tratto di condotta in cemento che ha il minor consumo di energia. Ove però vi è necessità di proteggerne l'interno con un rivestimento anticorrosione la situazione cambia ed il consumo di energia aumenta sensibilmente per raggiungere un livello intermedio tra quello del gres ceramico e quello dei materiali plastici. Le rispettive emissioni di CO_2 (compresa l'emissione dovuta alla decomposizione dei materiali plastici) sono riportate nel grafico della fig. 5b. Il quadro corrisponde più o meno a quello tracciato per i rispettivi consumi di energia.
Nel fare il bilancio del consumo di energia di reti fognarie che devono avere una durata in opera superiore ai 50 anni, bisogna tenere conto di un altro fattore, e cioè la vita utile dei diversi materiali da condotta [4] [5]. Il risultato di tale computo effettuato per un tratto di condotta rettilineo è illustrato nelle figg. 6a e 6b. Ne risulta che la condotta in gres ceramico e quella in cemento senza protezione si distinguono per avere i consumi di energia più bassi.
Le emissioni di CO_2 del gres ceramico sono più basse delle emissioni di tutti gli altri materiali.



• *Figura 5a - Consumo di energia per metro di condotta (giunto compreso)*

PVC

CONSUMO SPECIFICO DI ENERGIA

	Tubi	elementi complementari
Provvedimento	MJ/kg	MJ/kg
petrolio	1,55	1,55
salgemma	3,05	3,05
	Σ 4,6	Σ 4,6
Produzione		
petrolio	20,06	20,06
raffinazione	0,8	0,8
cracking a vapore della molecola	7,0	7,0
Elettrolisi	10,67	10,67
Clorurazione	16,0	16,0
Polimerizzazione	5,67	5,67
Estrusione	3,5	–
stampaggio ad iniezione	–	15,0
	Σ 63,7	Σ 75,2
	Σ 68,3	Σ 79,8

EMISSIONE SPECIFICA DI CO_2

	Tubi	elementi complementari
Provvedimento	kg_{CO_2}/kg	kg_{CO_2}/kg
petrolio	0,12	0,12
salgemma	0,22	0,22
	Σ 0,34	Σ 0,34
Produzione		
decomposizione	1,4	1,4
raffinazione	0,06	0,06
cracking a vapore della molecola	0,52	0,52
Elettrolisi	0,73	0,73
Clorurazione	1,18	1,18
Polimerizzazione	0,42	0,42
Estrusione	0,21	–
stampaggio ad iniezione	–	0,9
	Σ 4,52	Σ 5,21
	Σ 4,86	Σ 5,55

• *Figura 4b*

4. Raffronto delle emissioni di NOx, di SO2 e di HF, dei consumi di acqua e delle incidenze degli scarti.

Per valutare correttamente l'impatto ecologico dei diversi materiali da condotta, oltre al loro consumo di energia, bisogna tenere conto anche delle sostanze gassose, liquide o solide prodotte dal processo produttivo emanate o comunque scaricate nell'ambiente. A titolo di esempio ci proponiamo di esaminare la situazione con riferimento alle emissioni di NO_x, di SO_2 e di HF, al fabbisogno di acqua e all'incidenza degli scarti.

Nell'effettuare tale analisi conviene fare la stessa distinzione tra il processo produttivo nel senso stretto della parola e la fase precedente di procacciamento dell'energia e dei materiali necessari.

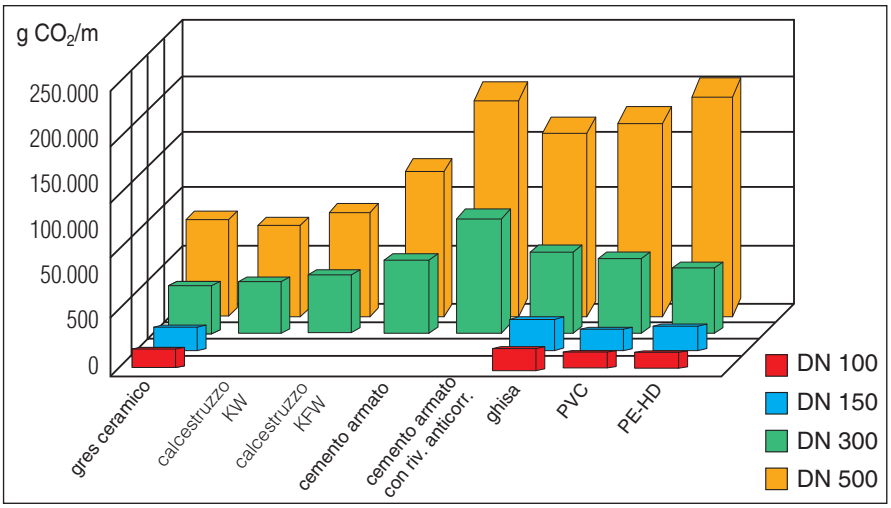
I dati relativi all'estrazione, il trattamento e la fornitura dell'olio combustibile EL e del gas metano sono desunti dai dati pubblicati da Boustead [10] e corrispondono alla media europea. Non essendo note le emissioni associate alle operazioni di estrazione, trattamento e di fornitura del carbone e delle materie prime minerali, si è fatta una stima delle probabili emissioni assumendo che nella maggioranza dei casi si ricorra ai carburanti del tipo Diesel.

Per determinare le emissioni della combustione dei carburanti del tipo Diesel si è fatto riferimento ai dati pubblicati da Günther [12] adottando come base di calcolo la composizione dell'olio combustibile.

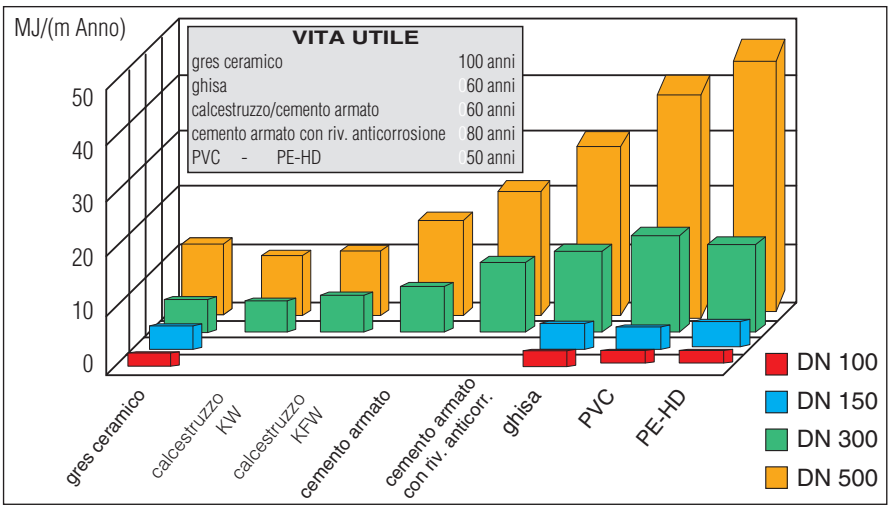
Il carico totale delle sostanze emanate è la risultante di due componenti, il carico associato alla fase preliminare di produzione, fornitura di energia e dei materiali ed il carico prodotto durante il processo produttivo.

Quest'ultimo è stato determinato come di seguito descritto:

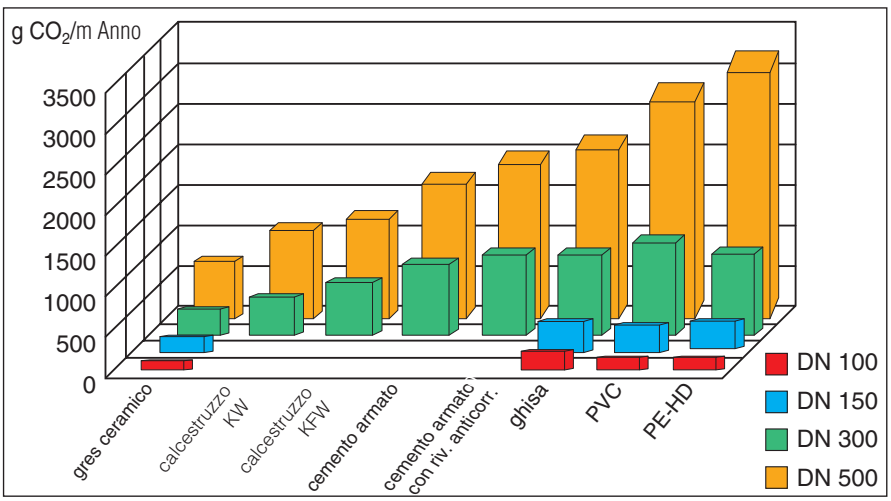
I valori delle emissioni gassose associate alla produzione di tubazioni di gres ceramico sono stati desunti dalle



• *Figura 5b - Emissione di anidride per metro di condotta (giunto compreso)*



• *Figura 6a - Consumo di anidride carbonica per metro di condotta (giunto compreso) e vita utile*

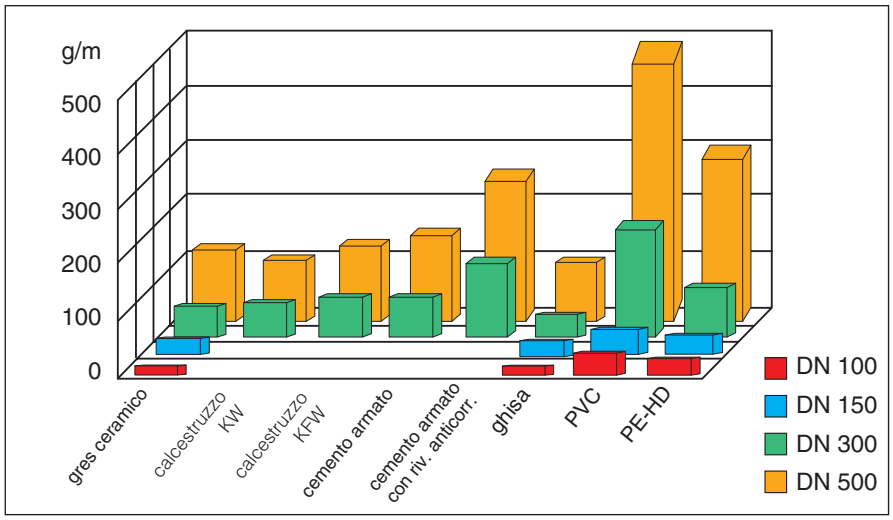


• *Figura 6b - Emissione di anidride carbonica per metro di condotta (giunto compreso) e vita utile*

misurazioni effettuate da tutti i produttori europei e corrispondono alla media calcolata per le rispettive produzioni, maggiorata del 15 % se trattasi di grandi diametri, o ridotta del 15 % se trattasi di piccoli diametri. Si è dunque adottato un approccio analogo a quello seguito per determinare i consumi di gas metano. Per determinare le emissioni associate al consumo di corrente elettrica non si è tenuto conto dei diametri dei manufatti ma del loro peso unitario. I consumi di acqua e l'incidenza degli scarti sono anch'essi desunti dalle misurazioni effettuate da tutti i produttori di gres europei e corrispondono dunque alla media europea.

Il carico di sostanze emanate durante la produzione di granulati di PVC e di HDPE è stato desunto dai dati pubblicati da Boustead [14] [15] e corrisponde alla media europea. Trattandosi però nel nostro caso della produzione di tubazioni, bisogna aggiungere al valore definito per i granulati, i carichi di sostanze emanate durante il processo di estrusione o di stampaggio a iniezione, ossia quello associato al consumo di corrente elettrica. Visto che, come già accennato in precedenza, mancano tuttora dati sulle emissioni associate alla produzione di corrente elettrica che corrispondano ad una media europea, abbiamo fatto riferimento ai dati pubblicati per la Germania. L'autore (Boustead) non ha fatto il bilancio delle emissioni di HF, per cui si è tenuto conto dell'energia elettrica assorbita dal processo di produzione per dedurne per stima il carico di emissioni di HF. Conviene ricordare a questo proposito che gran parte del fabbisogno di energia elettrica dell'industria delle materie plastiche viene prodotto da centrali elettriche integrate, ragione per cui nel computare le emissioni di HF delle materie plastiche si è tenuto conto soltanto della metà dell'energia elettrica assorbita.

In quanto al calcestruzzo e al cemento, le emissioni di cui tenere conto sono essenzialmente quelle dovute al processo di produzione del cemento. Kro-



• *Figura 7 - Emissione di NO_x per metro di tubazione*

both ed altri autori [13] hanno determinato le emissioni della cottura del cemento nel forno rotativo. Trattasi però di valori rilevati per la sola Germania. Non potendo attingere a valori che corrispondessero ad una media europea abbiamo fatto riferimento solo a quelli raccolti per la Germania. D'altronde non sapendo come si scompone il consumo di energia associato alla produzione di calcestruzzo abbiamo assunto a titolo di semplificazione che non vi sono altri consumi oltre a quelli dell'energia elettrica. A quanto ci risulta non esistono dati sui consumi di acqua e l'incidenza degli scarti delle industrie del cemento e del calcestruzzo. Pertanto nel fare il bilancio non si è tenuto conto di queste due voci.

In quanto al cemento armato è ovvio che bisogna tenere conto anche dell'incidenza delle emissioni associate alla produzione dell'acciaio. Tali emissioni furono determinate in modo esemplare per una grande acciaieria da Philipp ed altri autori [11] e pertanto ne abbiamo ripreso i valori.

Per il rivestimento anticorrosione in HDPE delle tubazioni di calcestruzzo abbiamo adottato gli stessi valori di emissione dei tubi HDPE.

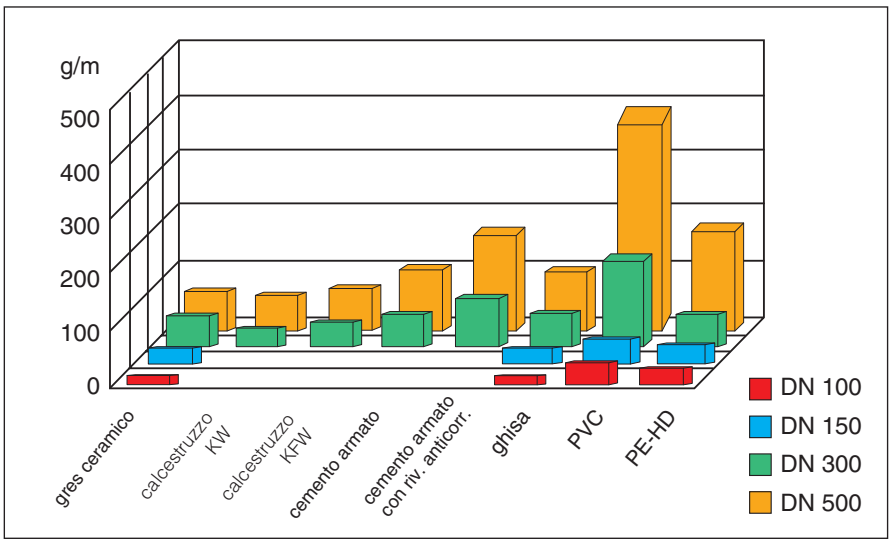
Non sono note le emissioni del processo produttivo di tubi in ghisa. L'energia assorbita essendo costituita per una parte pari o superiore al 70 % dall'energia elettrica, abbiamo assunto in via approssimativa che non il 70 %, bensì il 100 % del consumo di energia fosse costituito dall'energia elettrica e che pertanto si potessero adottare i valori di emissione associati alla produzione di energia elettrica.
Partendo dai dati raccolti e non avendo dei dati relativi ai giunti, sono stati determinati valori di emissione al metro di condotta rettilinea senza giunti. Nelle figg. 7, 8 e 9 sono riportati i valori delle emissioni di NO_x, di SO_2 e di HF al metro di condotta rettilinea nei materiali di condotta oggetto dei nostri studi. Le emissioni di NO_x delle materie plastiche sono sensibilmente più alte delle emissioni degli altri materiali da condotta. Quelle in calcestruzzo, gres ceramico e ghisa sono pressoché uguali. Il calcestruzzo ed il gres ceramico si distinguono per avere le emissioni di SO_2 più basse, seguiti nella graduatoria dalla ghisa. Il PVC produce invece le emissioni di NO_x e di SO_2 più alte. Il gres ceramico è l'unico materiale le cui emissioni di HF assumono una certa importanza.

Infine nelle figg. 10a e 10b sono riportati i consumi di acqua e l'incidenza degli scarti della produzione di tubazioni di gres ceramico, PVC e HDPE. I dati sono desunti dalle stesse fonti di

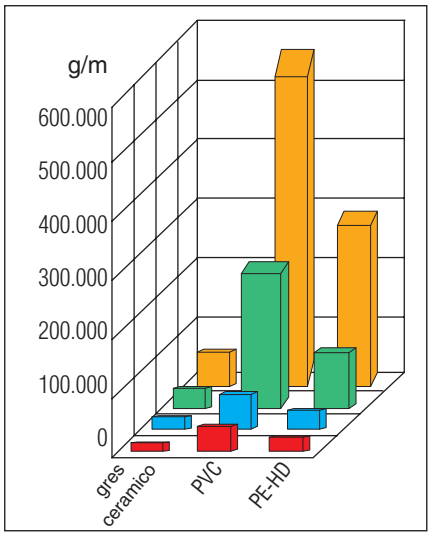
cui sopra. Ne risulta che il PVC si distingue per avere i consumi di acqua e un'incidenza degli scarti più alti degli altri materiali e questo per tutta la gamma dei diametri prodotti. Le condotte di gres ceramico si evidenziano per avere il minor consumo di acqua e le tubazioni di HDPE invece, per la minor incidenza degli scarti.

5. Smaltimento e trattamento dei rifiuti

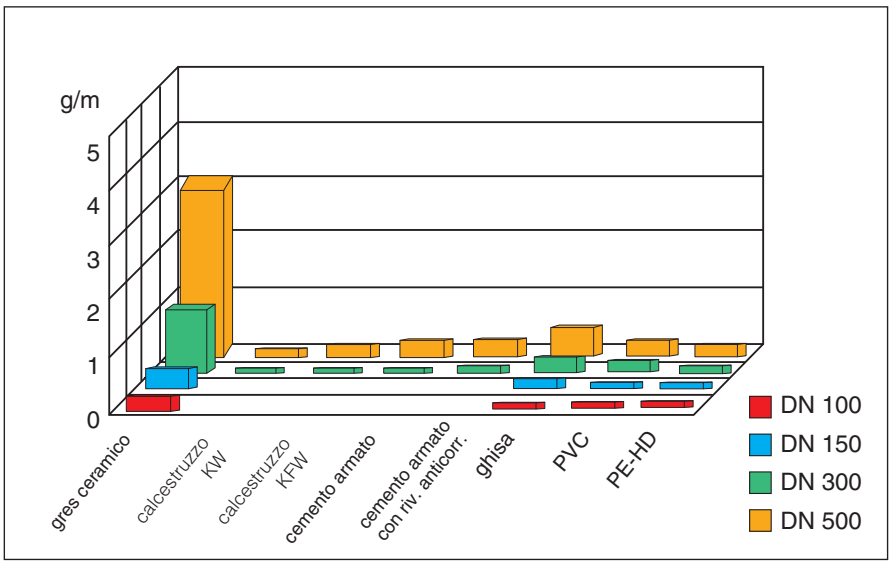
Come già detto in apertura, il bilancio ecologico non è completo se non si tiene conto dello smaltimento e del trattamento dei rifiuti, ragione per cui è importante vedere se i materiali da condotta possono essere smaltiti senza creare danno all'ambiente.
I materiali plastici possono essere bruciati o ridotti in granulati e riciclati. Nel primo caso si ha un guadagno di energia corrispondente alla metà del potere calorifico, l'altra metà è assorbita dalle operazioni di depurazione dei fumi e del trattamento dei residui. In quanto al riciclaggio, si assume che l'energia necessaria per riciclare i prodotti è pari all'energia necessaria per produrre il materiale plastico a partire dall'olio grezzo. Va notato che il potere calorifico non deve essere conteggiato come consumo di energia del prodotto riciclato, ma soltanto come



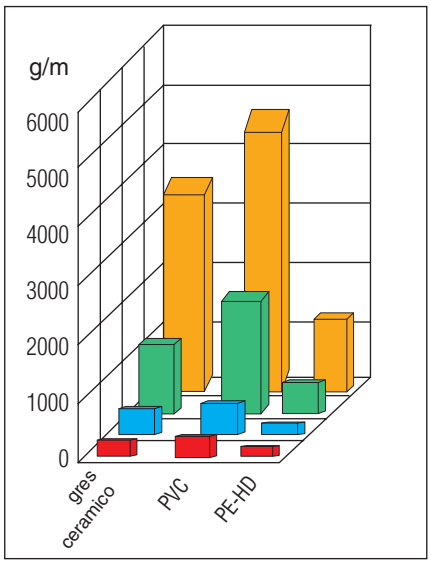
• *Figura 8 - Emissione di SO_2 per metro di tubazione*



• *Fig. 10a - Consumo di H_2O per metro di tubaz.*



• *Figura 9 - Emissione di HF per metro di tubazione*



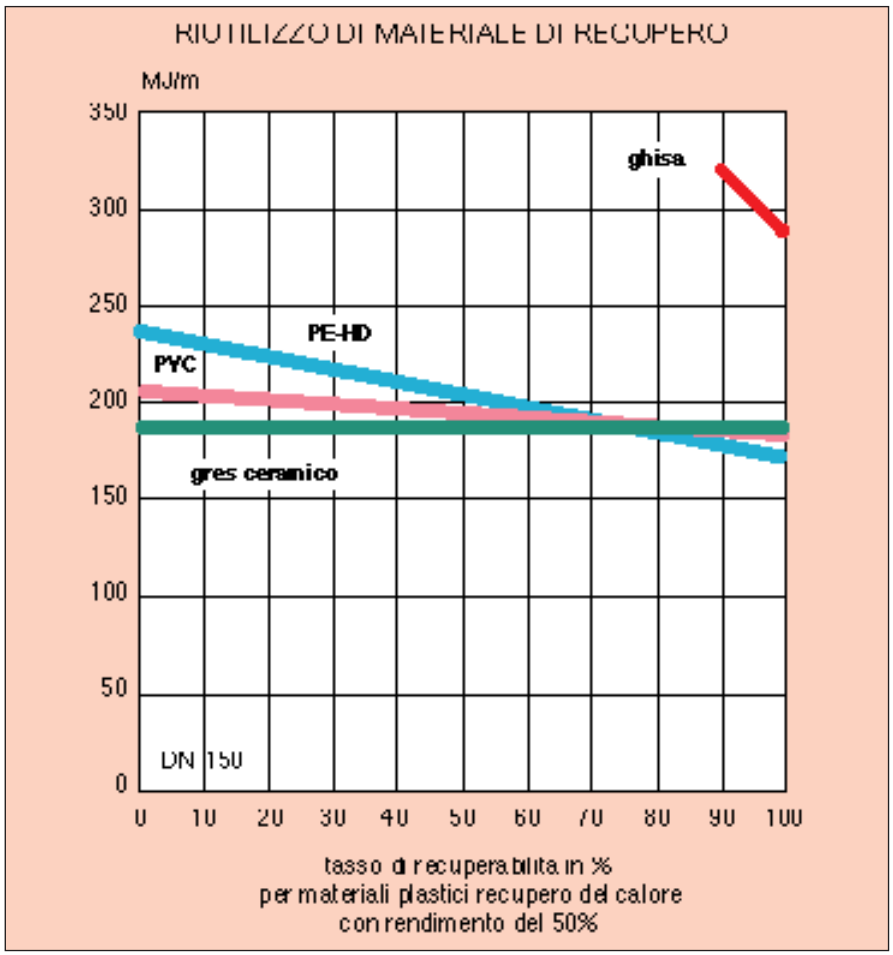
• *Fig. 10b - Incidenza scarti per metro di tubaz.*

consumo associato al primo impiego di un materiale. Pertanto conviene riciclare il materiale plastico, piuttosto che bruciarlo con recupero del calore, perché riciclando si recupera, non la metà, ma il complessivo potere calorifico del materiale.

In linea di massima esiste la possibilità di riciclare tubazioni di gres ceramico. Lo spezzone di tubo ceramico può essere macinato per dare della chamotte che si aggiunge alla miscela delle materie prime. Non occorre pulire le tubazioni perché l'elevata temperatura di cottura dei tubi favorisce l'ossidazione dei contaminanti. Pertanto come energia di smaltimento di cui tenere conto ci rimane soltanto il fabbisogno di energia per il trasporto e la macinazione degli scarti. Si ottiene invece un abbuono di energia prodotta dalla combustione dei giunti che non possono essere riciclati perché troppo insudiciati. Facendo un calcolo approssimativo arriviamo alla conclusione che lo smaltimento degli scarti non genera né perdite, né guadagni di energia.

Il riciclaggio dei tubi in ghisa non solleva problemi particolari. Non occorre pulire i tubi in quanto vengono portati a fusione. Il tasso di riciclabilità dei tubi in ghisa è assai alto, infatti è superiore a 90 %. Per semplificare il computo assumiamo che l'energia di combustione dei giunti è pari all'energia di riduzione e del trasporto. Aumentando le percentuali di rottame si riesce a trarre un maggior vantaggio dall'energia contenuta nei lingotti di ghisa di prima fusione e quindi un maggior guadagno di energia da mettere in conto. Aumentando le percentuali di rottame aumenta anche il tasso di riciclabilità e si riduce il consumo di energia associato alla produzione dei tubi di ghisa.

È molto meno facile riciclare tubi di calcestruzzo. È infatti pensabile il loro riutilizzo sotto forma di materiale da costruzione ghiaioso a condizione che le percentuali di contaminanti organici depositatisi nelle porosità del calcestruzzo siano davvero trascurabili. Nel caso contrario occorre sottoporre i tubi ad un trattamento dispendioso per eliminare tutti i contaminanti organici. Per esempio un trattamento che ne garantisce la combustione completa. I tubi di cemento armato con rivestimento anticorrosione non possono essere riutilizzati se non vengono decomposti nelle parti costitutive adottando un procedimento del tipo shredder. Attualmente si stanno sperimentando lavori per mettere a punto procedimenti di riciclaggio per tali tubi. La componente acciaio e la componente plastica sono portatrici di un abbuono di energia che compensa il consumo di energia necessaria per il trasporto del materiale.
I consumi specifici complessivi di energia di singoli tratti di condotta sono riportati nelle figg. 11a e 12a a fronte dei tassi di recuperabilità dei diametri DN 150 e DN 500. A questo proposito conviene ricordare che bruciando materiali plastici si ha un rendimento termico pari a 50 %. Risulta quindi che il riutilizzo dei tubi di gres e di calcestruzzo non incide affatto sui consumi specifici complessivi di energia di tali materiali. Il riutilizzo di materiali plastici si esprime invece con una riduzione dei consumi specifici complessivi di energia di tali condotte perché il recupero di calore consente di recuperare metà dell'inerente potere calorifico sotto forma di energia.
Per le figg. 11b e 12b è stato adottato lo stesso sistema di rappresentazione mettendo i consumi specifici complessivi di energia dei diametri DN 150 e

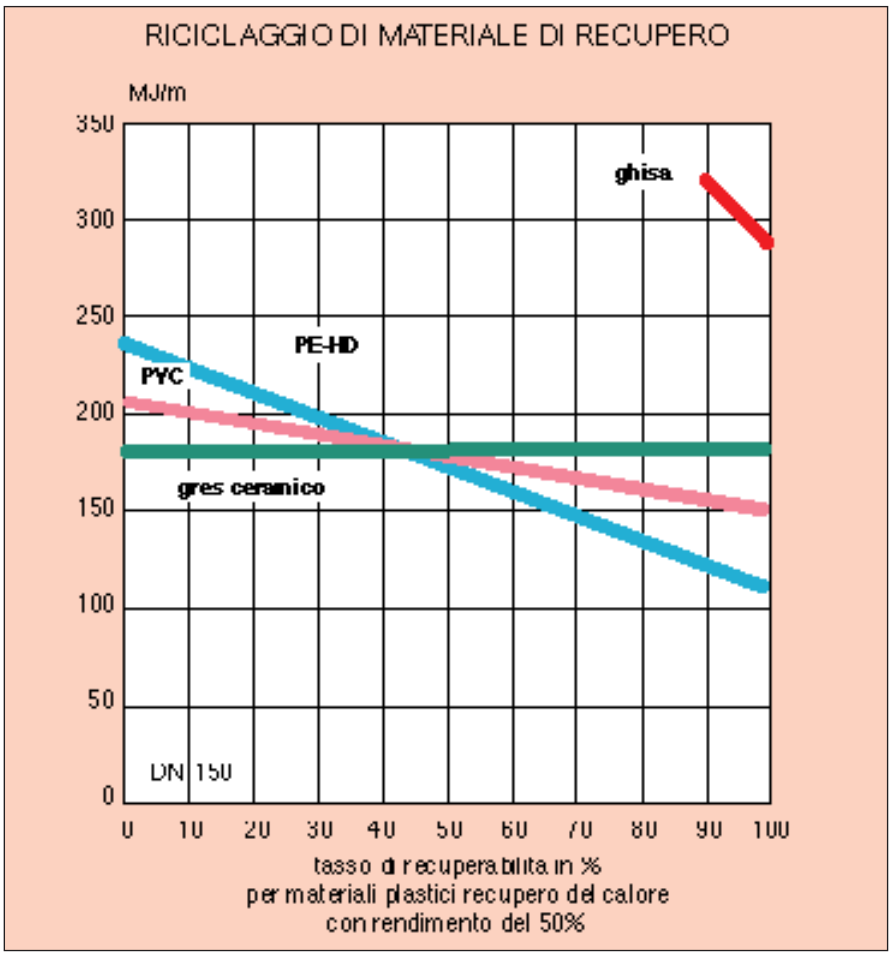


• *Figura 11a*

DN 500 a fronte dei rispettivi tassi di riciclabilità. Si noterà una differenza rispetto ai tracciati delle figg. 11a e 12a che si spiega dal fatto che allorquando si ricicla del materiale plastico si ha un guadagno di energia pari al potere calorifico del materiale di prima produzione.
L'energia contenuta nel potere calorifico viene computata come voce del consumo di energia soltanto in relazione alla prima produzione (a partire dalla materia prima) del materiale. Risulta dai grafici che il bilancio energetico dei piccoli diametri di tubazioni di materiale plastico è più positivo del bilancio energetico dei piccoli diametri di tubazioni di gres ceramico a patto di riuscire ad incrementare i tassi di recuperabilità o di riciclabilità dei materiali plastici.
I materiali plastici hanno una notevole potenzialità di economia in quanto il tasso di recuperabilità è attualmente inferiore al 5%.
Per i tubi di ghisa, essendo caratterizzati da un elevato tasso di recuperabilità, il rimanente potenziale di possibili economie è assai ridotto.

6. Valutazione del bilancio energetico dei processi produttivi

Nel capitolo che segue ci proponiamo di valutare i consumi di energia inerenti alla produzione dei diversi materiali da condotta, di cui nel capitolo 3, sotto il profilo delle possibili economie. A tale scopo bisogna inanzitutto vedere quali sono i rispettivi consumi limite di energia. Tali limiti sono definiti dalle energie fisiche necessarie per produrre il materiale per condotte e dalle energie chimiche inerenti al materiale, come per esempio il potere calorifico.
Nel caso del gres ceramico il consumo limite di energia è definito dalle entalpie di vetrificazione pari a 0,24 MJ/kg di fase minerale. Aggiungendo a tali entalpie l'entalpia di evaporazione corrispondente ad un tenore di acqua pari a 15 % si ottiene un consumo limite di energia pari a 0,62 MJ/kg. In teoria si potrebbe anche recuperare l'entalpia di evaporazione condensando i gas di scarico, però agli effetti della nostra analisi conviene tenerne conto nel computo del consumo limite. Il consumo effettivo di energia riportato nella tabella della fig. 3 corrisponde al decuplo di tale valore. Pertanto il processo di cottura del gres ceramico serba ancora un notevole potenziale di possibili economie.
L'entalpia di decomposizione del calcare è pari a 1,67 MJ/kg. Il consumo limite di energia della fabbricazione del calcestruzzo è definito dalla sola entalpia di decomposizione del calcare è si ha partanto un consumo limite di energia pari a 0,24 MJ/kg di calcestruzzo (tenore di calcare pari a 14 %). Il consumo complessivo di energia è pertanto pari al quadruplo di tale valore. Comparato a questi il processo di cottura del cemento risulta essere ottimizzato. Il consumo di energia è infatti pari al doppio del consumo limite di energia.
Nel caso del calcestruzzo il rimanente potenziale di possibili economie è assai ridotto. Il consumo limite di energia dell'acciaio e della ghisa è definito dall'entalpia di riduzione. Agli effetti della presente analisi abbiamo assunto che il minerale di base è costituito da parti uguali di ematite e di magnetite.
Nel caso della ghisa occorre aggiungere il consumo di energia corrispondente al potere calorifico di un tenore di carbonio pari a 3 %. Il consumo limite di energia del HDPE è definito dal potere



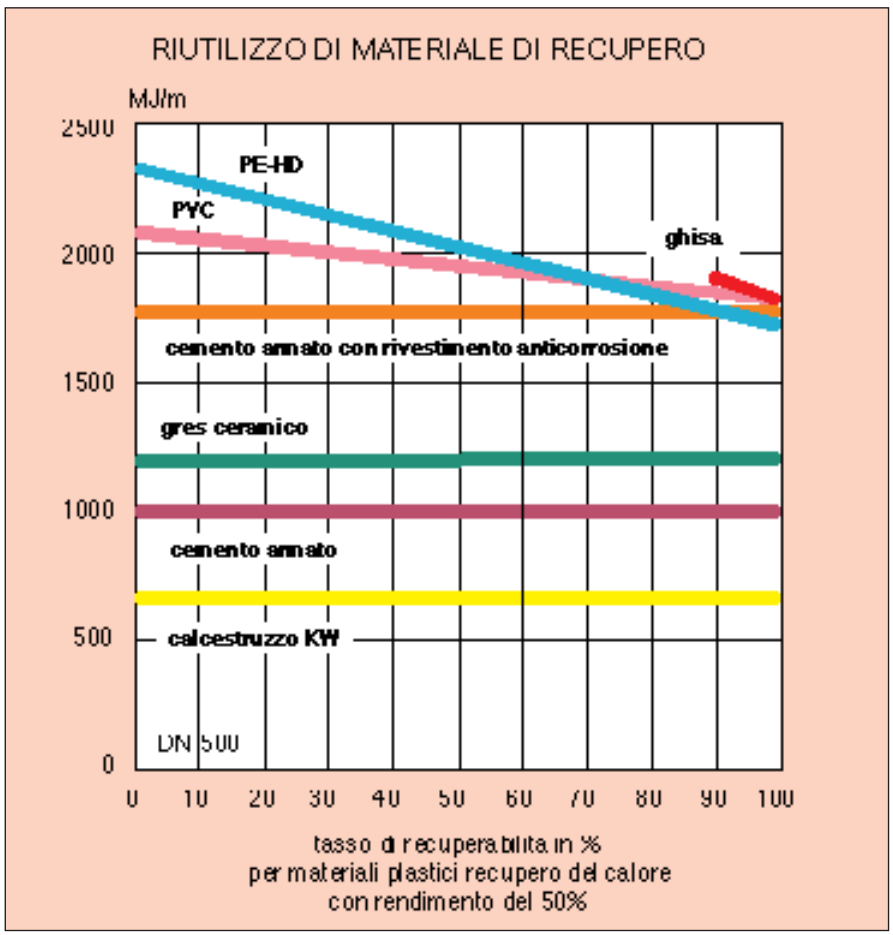
• *Figura 11b*

calorifico inferiore, quello del PVC dal potere calorifico inferiore maggiorato dall'entalpia di decomposizione del salgemma impiegato per produrre il cloro. L'energia di separazione dei polimeri dell' oilio grezzo può essere trascurata.
Nella fig. 13a è illustrato l'andamento dei consumi di energia che bisognerebbe realizzare per raggiungere valori vicini ai consumi limite di energia. La retta non corrisponde ad una diminuzione progressiva nel tempo, ma ha lo scopo di mettere in evidenza il rimanente potenziale di possibili economie dei consumi di energia. Fatta eccezione del gres, il quale potrebbe ridurre i propri consumi di energia a valori inferiori dei consumi di energia del calcestruzzo, la graduatoria dei materiali da condotta rimarrebbe invariata nel caso che tutti i materiali riuscissero a ridurre i loro consumi fino a tale limite.

7. Conclusioni

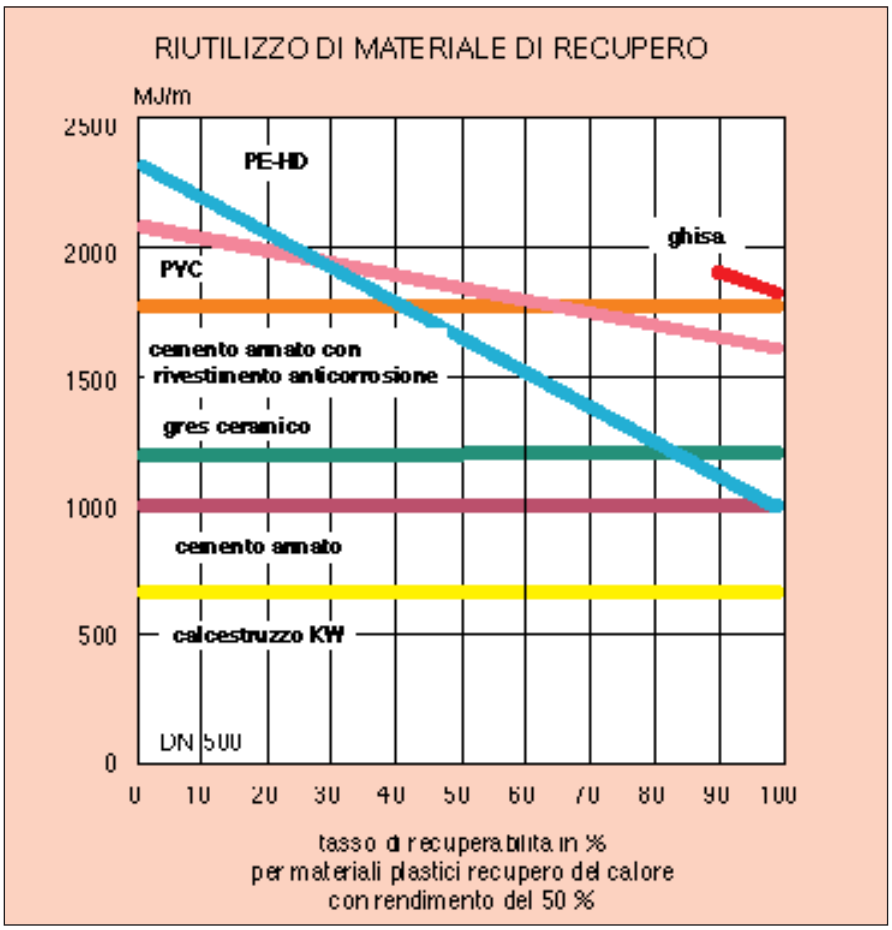
La presente è un'indagine comparativa dei consumi di energia e delle emissioni di CO_2. di NO_x, di SO_2 e di HF associate alla produzione di condotte fognarie di
- gres ceramico
- calcestruzzo
- cemento armato
- cemento armato con rivestimento anticorrosione
- ghisa
- PVC
- HDPE

In termini di consumo di energia la graduatoria di tali materiali da condotta dipende dei loro rispettivi diametri nominali.
Nei diametri piccoli il gres ed i materiali plastici si distinguono per avere i consumi di energia più bassi.
Nei grandi diametri è il calcestruzzo che ha i consumi di energia più ridotti ed è seguito nella graduatoria dal gres, dalla ghisa e infine dai materiali plastici.
Dove però il tubo di calcestruzzo deve essere protetto da un rivestimento anticorrosione si riscontra un aumento dei rispettivi cosumi di energia fino ai livelli di consumo dei materiali plastici.
In termini di emissioni di CO_2 la graduatoria è pressoché uguale.
I materiali plastici, e specie il PVC, producono le più forti emissioni di NO_x e di SO_2.
Le emissioni più basse sono quelle prodotte dal gres e dal calcestruzzo. Paragonate alle emissioni di HF degli altri materiali da condotta, il gres ceramicao produce le più forti emissioni di HF.
In quanto ai consumi di acqua, i livelli di consumo del gres sono sensibilmente inferiori ai livelli di consumo delle materie plastiche. In quanto all'incidenza degli scarti, l'HDPE, con l'incidenza più basse si piazza al primo posto della graduatoria, seguito dal gres ceramico e dal PVC.
Aggiungendo alle voci del bilancio ecologico dell'energia la voce smaltimento inoffensivo delle tubazioni si ottiee un quadro diverso : il consumo specifico di energia del gres e del calcestruzzo si aggira sugli stessi livelli, diminuisce invece quello dei materiali plastici e della ghisa, perché parte del loro potere calorifico o dell'energia di riduzione può essere iscritta a credito del loro billancio di energia se vengono riciclati oppure bruciati con ricupero di calore.
Avendo un tasso di riciclabilità più elevato del gres i materiali plastici occupano un miglior posto nella graduatoria dei consumi di energia.
L'esame dei valori limite dei consumi di energia fisica e chimica porta alla conclusione che il gres ceramico serba ancora un grande potenziale di possibi-



• *Figura 12a*

li economie di energia, un potenziale che è superiore a quello degli altri materiali da condotta.
Pertanto l'obiettivo da perseguire in futuro sarebbe quello di predisporre delle misure atte a garantire un migliore tasso di riciclabilità dei materiali plastici e dei metalli e a ridurre il consumo di energia associato al gres ceramico.



• *Figura 12b*

8. Bibliografia

[1] Jescher, R.; Specht, E.; Steinbrück, A.: Energieverbrauch und CO2- Emission bei der Herstellung und Entsorgung von Abwasserrohren aus verschiedenen Werkstoffen. Korrespondenz Abwasser 42 (1995) S. 537-549.

[2] Jescher, R.; Specht, E.; Steinbrück, A.: Cumulative energy consumption of pipes for drains and sewers. Zigelindustrie International 48 (1995) S. 245-254.

[3] Bundesministerium für Wirtschaft Referat Öffentlichkeitsarbeit. Bonn: Energiedaten 92/93.

[4] Kindler, H.; Nikles, A.: Energiebedarf bei der Herstellung und Verarbeitung von Kunststoffen. Chem. - Ing. - Techn. 51 (1979) S. 1-3.

[5] Menges, G.; Michaeli, W.; Bittner, M.; Recycling von Kunststoffen. Carl Hanser Verlag München 1992.

[6] Boustead, I.: Eco-balance, Methodology for Commodity Thermoplastics. European Centre for Plastics in the Environment, Brussels 1992.

[7] Wirtschaftsvereinigung Stahl: Statistischen Jahrbuch der Stahlindustrie 1993. Verlag Stahleisen, Düsseldorf, 1993.

[8] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser: Leitlinier zur Durchführung von Kostenvergleichsrechnungen 1992.

[9] W. Kleiber: Wertermittlungsrichtlinier 1991.4. Auflange Oktober 1992. Bundesanzeiger.

[10] Boustead, I.: Eco-profiles, Report 2: Olefin feedstock sources, Brussels 1993.

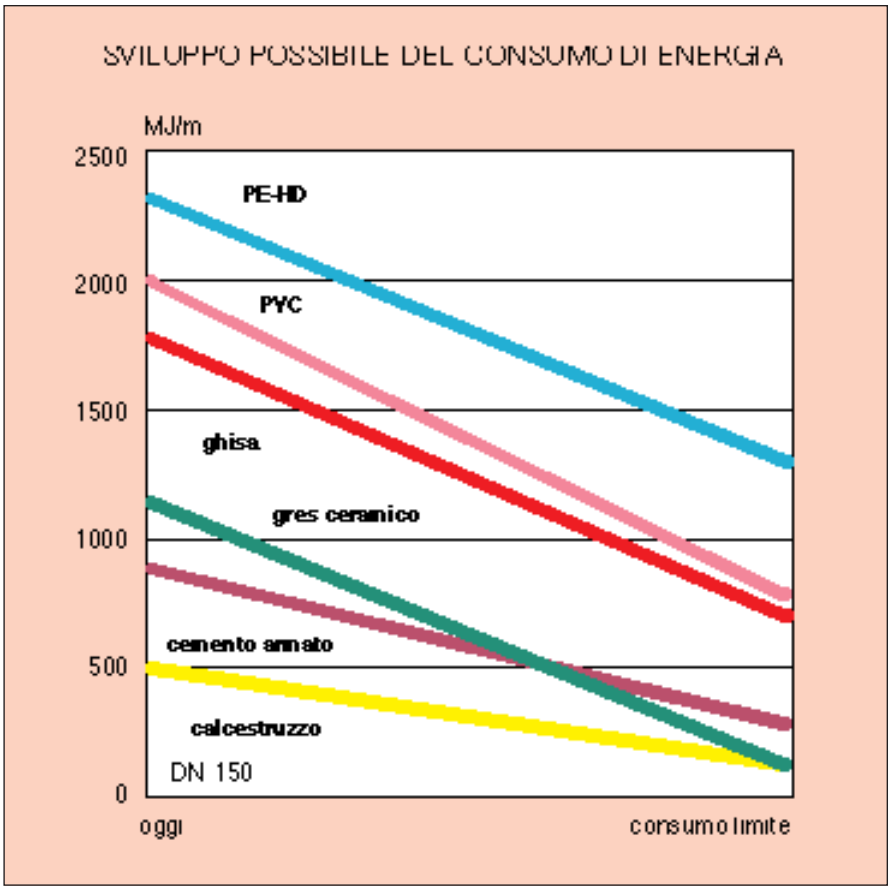
[11] Philipp, J. A.; Eyerer, P.; Erve, S.; Schuckert, M.; Theobald, W.; Volkhausen, W.; Ökobilanzen für Stahlprodukte - Sachstand und Perspektiven. Stahl und Eisen 114 (1994) Nr. 11, S. 71-78.

[12] Günther, R.; Verbrennung und Feuerungen. Springer Verlag Berlin 1974.

[13] JKroboth, K; Kuhlmann, K.; Xeller, H.; Stand der Technik der Emmissionsminderung in Europa. Zement-Kalk-Gips 43 (1990) Nr. 3, S. 121-131.

[14] Boustead, I.; Eco-profiles, Report 3: Polyethylene and Polypropylene. European Centre for Platics in the Environment, Brussels 1993.

[15] Boustead, I.; Eco-profiles, Report 6; Polyvinyl Cloride. European Centre for Platics in the Environment, Brussels 1994.



• *Figura 13a*

CONSUMI LIMITE DI ENERGIA TEORICI

gres ceramico	0,62 MJ/kg	entalpia di vetrificazione entalpia di evaporazione dell'acqua
calcestruzzo	0,24 MJ/kg	decomposizione del calcare
ghisa	8,10 MJ/kg	entalpia di riduzione
PVC	25,00 MJ/kg	potere calorifico decomposizione del salgemma
PE-HD	43,4 MJ/kg	potere calorifico

• *Figura 13b*

Prof. Dr.-Ing. E. h. R. **Jeschar**
c/o Institut für Energieverfahrenstechnik
und Brennstofftechnik
Technsche Universität Clausthal
Agricolastr. 4
38678 Clausthal - Zellerfeld

Prof. Dr.-Ing. habil. E. **Specht**
Dipl.-Ing. A. **Steinbrück**
c/o Institut für Strömungstechnik und
thermodynamik
Otto-von-Guericke-Universität
Magdeburg
Universitätsplatz 2
39106 Magdeburg