

Studio di Life Cycle Assessment

Analisi degli impatti ambientali

della produzione di 1ton di Ferrox ES95®

a partire da differenti materiali in
ingresso al processo produttivo

Rev. 2 – 16 Giugno 2014



Veneta Mineraria



Committente:
Veneta Mineraria S.p.A.

Dipartimento di Ingegneria
Industriale dell'Università
degli Studi di Padova

Centro Studi Qualità Ambiente - CeSQA
Dipartimento di Ingegneria Industriale
Università degli Studi di Padova
Via Marzolo 9, 35131 Padova
Tel. + 39 49 8275539 - Fax + 39 49 8275785
www.cesqa.it cesqa@unipd.it

Centro Studi Qualità Ambiente - CeSQA
Dipartimento di Ingegneria Industriale – DII
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Redazione a cura di:
Prof. Antonio Scipioni
Ing. Andrea Loss
Ing. Filippo Zuliani

Via Marzolo 9 – 35131 Padova
Telefono 049.8275539 - Fax 049.8275785
Email: cesqa@unipd.it



Indice

Veneta Mineraria S.p.A.: presentazione del committente dello studio.....	4
Centro Studi Qualità Ambiente - CeSQA	4
Introduzione	6
1. Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione	8
1.1 Aspetti generali	8
1.2 Obiettivi dello studio.....	8
1.3 Campo di applicazione dello studio.....	8
2. Analisi dell'inventario del ciclo di vita	20
2.1 Procedimenti di raccolta dei dati	20
2.2 Descrizione dei processi unitari	20
2.3 Analisi dei dati.....	29
2.4 Dati relativi alla produzione a partire dalle ceneri di pirite.....	29
2.5 Dati relativi al test di produzione a partire da minerale ferroso estratto da miniera	42
2.6 Principi e procedimenti di allocazione	46
3. Valutazione degli impatti.....	48
3.1 Confronto tra la via produttiva a partire dalle ceneri di pirite e la via produttiva che sfrutta minerali ferrosi	49
3.2 Analisi comparativa: approfondimenti	54
3.3 Ferrox95® prodotto sfruttando le ceneri di pirite: analisi per gruppi	59
3.2 Ferrox95® prodotto sfruttando minerali ferrosi da estrazione mineraria: analisi per gruppi 63	63
4. Interpretazione del ciclo di vita	68
4.1 Identificazione dei fattori significativi	69
4.2 Valutazione.....	70
4.3 Conclusioni, limitazioni, raccomandazioni.....	86
Indice delle figure	90
Indice delle tabelle.....	92
Bibliografia	95
APPENDICE A	97
APPENDICE B	103
APPENDICE C	110



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Veneta Mineraria S.p.A.: presentazione del committente dello studio

Veneta Mineraria, nasce nel 1944 ad Este, una città di antiche origini sita nel Nord Est d'Italia, in provincia di Padova, nella zona meridionale dei Colli Euganei. Ad Este, Veneta Mineraria progetta, produce e commercializza prodotti a base minerale, ponendo particolare attenzione allo sviluppo di filler attivi altamente performanti. Veneta Mineraria è leader europeo nella produzione di solfuri e ossidi minerali che vengono utilizzati principalmente nella produzione di: mole e dischi abrasivi, carte e tele abrasive, acciai risolforati (acciai ad elevata lavorabilità), contenitori in vetro (per vino, birra, olio, profumi e farmaci), vetro piano (automotive), pastiglie per freni, ed in molti altri mercati. Dal 2005 il settore produttivo e commerciale di Veneta Mineraria si è ristrutturato sviluppando nuovi prodotti e rafforzando l'attività nel territorio di Este. Nello stesso anno acquista il ramo d'azienda dalla Veneta Mineraria S.p.A.

Contatti:

Via Belle 2 – 35042 Este (PD) Italia.

Tel. 0429612611 – Fax. 0429600287

E-mail: info@venetamineraria.it

Sito internet: www.venetamineraria.com

Figura 1 Stabilimento di Venet Mineraria S.p.A. presso la località di Este (PD)



Centro Studi Qualità Ambiente - CeSQA

Il Gruppo di Ricerca CeSQA (Centro Studi Qualità Ambiente), attivo da oltre vent'anni ed operante all'interno del Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Padova ha maturato una grande esperienza in campo ambientale, che spazia in svariati settori, da quello chimico al turismo, dalla sanità all'industria meccanica, dai laboratori alla gestione dei rifiuti, dal settore alimentare alla pubblica amministrazione.

Le aree di ricerca e consulenza riguardano in particolar modo la gestione ambientale strategica (Sistemi di gestione ambientale, Life Cycle Assessment, Carbon Footprint, Water Footprint, gestione dell'energia, pianificazione del territorio e sviluppo sostenibile), la gestione della qualità e l'ottimizzazione di processo, la gestione della Sicurezza in impresa e la responsabilità etica e sociale.



Introduzione

La crescente attenzione per le tematiche ambientali spinge molte imprese ad adottare modelli e strumenti per ridurre il proprio impatto ambientale e differenziare la propria offerta perseguendo uno sviluppo sostenibile. Il mercato è sempre più attento a quelli che vengono definiti i prodotti verdi tanto che la proattività ambientale è considerata oggi come una delle principali leve competitive.

Per intervenire in modo efficace sui propri prodotti e processi con l'obiettivo di ridurre l'impatto ambientale, un'azienda deve sviluppare modelli interni di eco-progettazione che consentano di intervenire per ridurre gli impatti.

La mission del presente studio è la valutazione comparativa dei potenziali impatti ambientali associati alla produzione del prodotto FERROX ES95® a base di minerali ferrosi ad opera dell'azienda Veneta Mineraria S.p.A. a partire da differenti materiali: le ceneri di pirite esauste, miscelate con scaglie di laminazione ed ossido di ferro rosso, oppure i minerali ferrosi estratti da miniera.

La comparazione è stata effettuata considerando le fasi del ciclo di vita a partire dall'ottenimento dei materiali in ingresso al processo produttivo, passando per i trasporti e concludendo con il processo produttivo operato da Veneta Mineraria S.p.A.. Lo studio è quindi stato condotto con approccio "from cradle to gate" in quanto le fasi del ciclo di vita post-fase di produzione possono essere considerate identiche per entrambe le alternative confrontate. Infatti, pur essendoci molteplici scenari d'uso del prodotto, ai fini della comparazione delle due alternative, i potenziali impatti derivanti dalla fase d'uso e dal fine vita sono gli stessi.

I differenti materiali in ingresso al processo produttivo hanno origini diverse:

1. Le ceneri di pirite derivano dalla produzione dell'acido solforico e costituirebbero un sottoprodotto di scarto di questo processo produttivo. Le scaglie di laminazione e l'ossido di ferro rosso costituiscono sottoprodotti del processo di produzione dell'acciaio.
2. I minerali ferrosi derivano da attività di estrazione mineraria.

Lo studio ha permesso di ottenere risultati approfonditi e attendibili relativi alle performance ambientali dei due processi, con due output importanti:

1. Evidenziare le operazioni e le specifiche attività a maggior impatto ambientale per il ciclo di vita dei sistemi considerati;
2. Identificare l'opzione in grado di garantire minori impatti ambientali.

Tra le diverse metodologie disponibili per la valutazione dei potenziali impatti ambientali di prodotti e processi, quella a maggior rigore scientifico, riconosciuta a livello internazionale e normata dagli standard internazionali ISO 14040 e ISO 14044 e la metodologia: Life Cycle Assessment (LCA).



L'applicazione di questo strumento, comunemente definito come valutazione del ciclo di vita, consente infatti di disporre di informazioni e dati verificati e validati che supportano un'organizzazione nelle scelte strategiche minimizzando il rischio di errori.

In particolare un'azienda può utilizzare la LCA:

- nello sviluppo di nuovi prodotti;
- nell'ottimizzazione di processi esistenti;
- nella gestione di processi particolarmente dispendiosi di materie prime o energia;
- nelle sviluppo di strategie di marketing ambientale.

L'obiettivo del progetto è proprio quello di fornire risultati, ottenuti grazie ad un'analisi di ciclo di vita, che possano supportare Veneta Mineraria S.p.A., nella produzione e vendita di prodotti a base di minerali ferrosi a basso impatto ambientale, in grado di soddisfare le esigenze di una clientela sempre più attenta alle prestazioni ambientali dei prodotti e dei processi.

1. Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione

1.1 Aspetti generali

Il presente studio è stato commissionato da Veneta Mineraria S.p.A. al Centro Studi Qualità Ambiente– CeSQA del Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università degli Studi di Padova. Lo studio è stato svolto nel periodo Novembre 2013 – Febbraio 2014 ed è stato condotto secondo i requisiti contenuti all'interno delle norme internazionali per la valutazione del ciclo di vita attualmente in vigore: ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006 (ISO 2006a,b).

1.2 Obiettivi dello studio

L'obiettivo dello studio consiste nella valutazione e comparazione dei potenziali impatti ambientali associati alla produzione del codice prodotto FERROX ES95®, prodotto da Veneta Mineraria S.p.A., a partire da diversi materiali in ingresso al processo produttivo:

- le ceneri di pirite derivanti, come sottoprodotto di scarto, dal processo di produzione dell'acido solforico, mescolate alle scaglie di laminazione e all'ossido di ferro rosso, sottoprodotti del processo di produzione dell'acciaio;
- i minerali ferrosi estratti da miniera.

Lo studio è di tipo comparativo e le motivazioni per l'effettuazione di tale studio risiedono nella volontà di valutare quale materia prima garantisca minori impatti ambientali per la produzione del codice prodotto FERROXES95®.

I risultati dello studio potranno essere utilizzati per sostenere asserzioni comparative volte alla divulgazione al pubblico, una volta sottoposti al processo di revisione critica, secondo quanto previsto dalla norma ISO 14040:2006.

1.3 Campo di applicazione dello studio

Nella definizione del campo di applicazione si considerano gli elementi di seguito presentati:

Funzione

I processi presi in esame in questo studio sono la produzione del codice prodotto FERROX ES95®, prodotto da Veneta Mineraria S.p.A., a partire da diversi materiali in ingresso al processo produttivo:

- Ceneri di pirite: in questo caso, Veneta Mineraria S.p.A. produce il codice prodotto FERROX ES95® recuperando le ceneri di pirite derivanti dal processo di produzione dell'acido solforico e stoccate in depositi di proprietà dell'azienda. Le scaglie di laminazione e l'ossido di ferro rosso che vengono mescolati con le ceneri di pirite al fine di incrementare il tenore di ossido di ferro derivano dal processo di produzione dell'acciaio;
- Minerali ferrosi da estrazione mineraria: costituiscono la materia prima, tradizionalmente utilizzata per la produzione di prodotti a base di minerali ferrosi. In questo caso, i minerali

ferrosi utilizzati per la produzione del FERROX ES95® sono direttamente estratti da giacimenti naturali.

Entrambi i processi produttivi che sfruttano i differenti materiali portano alla produzione di codici prodotto con identiche specifiche tecniche. Per il caso specifico di questo studio, a livello comparativo, si è scelto uno specifico codice prodotto, il FERROX ES95®. La funzione di questo prodotto è costituita dal suo possibile utilizzo per applicazioni nel campo della ceramica e del vetro. I differenti materiali utilizzati per la produzione del codice prodotto FERROX ES95®, sono riportati nella seguente tabella:

Tabella 1 Elenco e descrizione dei materiali in ingresso al processo produttivo .

Codi Prodotto	Luogo produzione	Quantità di prodotto	Materiali di base
Ferrox ES95®	Sede Veneta Mineraria S.p.A.	1 ton	13,3 % Ceneri di pirite, 82,3% scaglie di laminazione e 4,4% ossido di ferro rosso
Ferrox ES95®	Sede Veneta Mineraria S.p.A.	1 ton	Minerali ferrosi

Figura 2 Il prodotto oggetto dello studio LCA comparativo: FERROX ES95®



Unità funzionale

L'unità funzionale corrisponde la produzione da parte di Veneta Mineraria S.p.A. di 1 ton di codice prodotto FERROX ES95® priva di imballaggi (sfusa), a partire da ceneri di pirite, scaglie di laminazione e ossido di ferro rosso oppure a partire da minerali ferrosi.

Il FERROX ES95® è un prodotto a base di ossido ferrico con titolo minimo in Fe_2O_3 del 95%. L'analisi ha focalizzato sui differenti materiali utilizzabili per la produzione di questo specifico codice prodotto.

La scelta dell'unità funzionale è risultata coerente con l'obiettivo e il campo di applicazione dello studio, che prevede di confrontare due diverse alternative per la produzione del codice prodotto Ferrox ES95® a partire da differenti materiali in ingresso al processo produttivo. Inoltre, la scelta di fare riferimento ad 1 ton di prodotto è dettata dal fatto che questa rappresenta l'unità di commercializzazione maggiormente utilizzata dall'azienda Veneta Mineraria S.p.A..

Di seguito si riportano le specifiche riguardanti il codice prodotto FERROX ES95® preso come riferimento in questo studio:

Tabella 2 Caratteristiche principali del codice prodotto FERROX ES95®

	Range	Unità di misura
Titolo (Fe₂O₃)	Min 95	%
Aspetto	Polvere scura	-
Umidità	> 1	%
Imballo	Sfuso	-

Confini del sistema

I sistemi analizzati includono le diverse fasi del ciclo di vita che intercorrono dall'ottenimento dei materiali in ingresso al processo produttivo, fino alla produzione industriale operata da Veneta Mineraria S.p.A., escludendo quindi le fasi successive che consistono nell'utilizzo da terze parti del codice prodotto e lo smaltimento a fine vita. Questa scelta è stata dettata dal fatto che nel caso di entrambe le alternative produttive considerate il prodotto ottenuto è esattamente identico e quindi nell'ottica comparativa le fasi post produzione non risultano discriminanti. Nel caso delle ceneri di pirite sono stati considerati: il processo produttivo dell'acido solforico, la fase di stoccaggio, tutti i trasporti e le movimentazioni subite dalla materia prima e dalle materie ausiliarie, e il processo produttivo condotto da Veneta Mineraria S.p.A. Nel caso dei minerali ferrosi, sono stati considerati: il processo minerario di estrazione e gli eventuali post trattamenti, e anche in questo caso tutti i trasporti e le movimentazioni subite dalla materia prima e dalle materie ausiliarie e il processo produttivo condotto da Veneta Mineraria S.p.A.. In entrambi i casi sono stati considerati i rifiuti prodotti in queste fasi, i consumi di energia e di altre materie ausiliarie. Gli input considerati all'interno dei confini del sistema sono:

- il consumo di materie prime e secondarie [kg] o [g];
- i consumi di energia [kWh] e vettori energetici [l];
- il consumo di acqua [m³];

I confini del sistema dei cicli di vita analizzati sono rappresentati nelle figure 3 e 4.

Si precisa che non sono stati considerati la realizzazione, manutenzione e dismissione delle infrastrutture, intese sia come edifici che come macchinari.

Come output si considerano le emissioni in aria, acqua e suolo derivanti dai processi analizzati, tenendo conto degli eventuali rifiuti associati alle fasi produttive.

Criteri di esclusione

Il criterio scelto per l'inclusione iniziale degli elementi in ingresso e in uscita si basa sulla definizione di un livello di cut-off dell'1%, in termini di massa, energia e rilevanza ambientale. Ciò significa che un processo è stato trascurato se è responsabile di meno dell'1% della totale massa, energia primaria e impatto totale. Tuttavia tutti i processi per i quali i dati sono disponibili, sono stati presi in considerazione, anche se il loro contributo è inferiore all'1%. Di conseguenza il cut-off è stato utilizzato per evitare di raccogliere dati sconosciuti, ma non per trascurare dati comunque a disposizione. Tale scelta è confermata da analoghi studi di LCA riportati in letteratura (Humbert et al., 2009).

Metodologia di Life Cycle Impact Assessment (LCIA) e tipi di impatti

La metodologia scelta per valutare i potenziali impatti ambientali dei prodotti oggetto del presente studio è il metodo ReCiPe 2008 (si veda l'appendice A per una descrizione esaustiva di tale metodo), applicato in questo contesto utilizzando la prospettiva gerarchica, che tiene conto degli impatti sul medio termine. La scelta di questo modello è riconducibile alla necessità di disporre di un metodo riconosciuto per valutare il maggior numero di categorie di impatto oggi conosciute.

Le categorie di impatto considerate dal metodo ReCiPe 2008 sono le seguenti:

➤ **Cambiamento climatico (Climate Change, CC)**

Quantifica l'impatto che le emissioni in atmosfera di gas serra (GHG, greenhouse gases) di origine antropogenica hanno sui cambiamenti climatici.

In questo modello viene considerato il contributo di tutti i gas serra (CO₂, CH₄, N₂O, SF₆, PFC, HCFC) che viene poi tradotto in kg CO₂ eq (kilogrammi di CO₂ equivalente) secondo quanto previsto dall'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).

➤ **Distruzione dello strato di ozono (Ozone Depletion, OD)**

Questa categoria rendiconta l'impatto derivante dall'emissione in aria delle principali sostanze (Ozone Depletion Sustances, ODS) responsabili, tramite reazioni chimiche, della distruzione dell'ozono stratosferico (O₃). L'ozono stratosferico funge da filtro per le radiazioni UV-B provenienti dal sole le quali possono provocare danni alla salute umana e all'ambiente (aumento dei rischi di tumore alla pelle e cataratta così come potenziali danni alle piante terrestri e agli organismi acquatici).

I principali gruppi di sostanze ODS considerati dal metodo ReCiPe 2008 sono: clorofluorocarburi (CFC), idro-clorofluorocarburi (HCFC) e idro-bromo-clorofluorocarburi (HBFC), halon (clorofluorocarburi bromurati), tetracloruro di carboni (CCl₄), metilcloroformio (CH₃CCl₃), metilbromuro (CH₃Br).

Il metodo utilizza i potenziali di riduzione dell'ozono (ODP, Ozone Depletion Potential) pubblicati dalla WMO (World Meteorological Organization); tali potenziali tengono in considerazione il tempo di permanenza della sostanza considerata, la formazione di EESC (Equivalent Effective Stratospheric Chlorine) e la conseguente distruzione di ozono, utilizzando come sostanza di riferimento il CFC-11 (CloroFluoroCarburo-11).

➤ **Acidificazione del suolo (*Terrestrial Acidification, TA*)**

Considera l'impatto relativo al cambiamento delle condizioni di acidità del suolo (e conseguenti danni sulla vegetazione e sulle piante) dovuto alla deposizione atmosferica di sostanze inorganiche come solfati, nitrati e fosfati.

Le principali sostanze acidificanti emesse in atmosfera sono gli ossidi di azoto (NO_x), l'anidride solforosa (SO₂) e l'ammoniaca (NH₃).

Il metodo ReCiPe 2008, per il calcolo di tale impatto, combina due modelli sviluppati su scala europea, il modello relativo al trasporto atmosferico EUTREND e il modello SMART2 relativo alle dinamiche nel suolo, e calcola gli impatti in relazione ad una sostanza di riferimento quale l'anidride solforosa (SO₂).

➤ **Eutrofizzazione (*Eutrophication*)**

Questa categoria tiene conto delle emissioni nei comparti acquatici di sostanze nutrienti in grado di favorire l'eutrofizzazione, fenomeno che può potenzialmente recare danno alle specie acquatiche vegetali e animali causando, tra le principali problematiche, una diminuzione della filtrazione solare nonché una diminuzione della concentrazione di ossigeno nelle acque.

Le principali sostanze responsabili di tale impatto sono i macro-nutrienti contenenti azoto e fosforo in forme biodisponibili, come nitrati e fosfati.

Il metodo ReCiPe 2008 per il calcolo dell'impatto usa la combinazione di due modelli europei, il modello relativo al trasporto atmosferico EUTREND e il modello CARMEN relativo alle dinamiche nei comparti acquatici e fornisce i risultati differenziando due sottocategorie:

- Freshwater eutrophication, eutrofizzazione delle acque dolci (che riporta i risultati in kg di P_{eq.} – kg di fosforo equivalente - essendo il fosforo il nutriente limitante in questi ecosistemi) e
- Marine eutrophication, eutrofizzazione marina (che riporta i risultati in kg di N_{eq.} – azoto equivalente - essendo in tal caso l'azoto il nutriente limitante).

➤ **Tossicità umana (*Human Toxicity, HT*)**

Considera gli effetti sulla salute umana dovuti all'emissione di sostanze tossiche tenendo conto della persistenza di tali sostanze nell'ambiente, dell'accumulo sulla catena alimentare e del grado di tossicità delle sostanze chimiche. All'interno di questa categoria non vengono considerati gli effetti di alcune specifiche sostanze inorganiche, delle radiazioni ionizzanti, della riduzione dello strato di ozono e dell'ossidazione fotochimica, trattati come categorie a se stanti.

Il metodo ReCiPe 2008 utilizza per il calcolo di tale impatto il modello USES-LCA (Uniform System for the Evaluation of Substances adapted for LCA purposes) e calcola l'impatto delle varie sostanze utilizzando come riferimento i kg di 1,4-DB equivalente (1,4-Dichlorobenzene).

➤ **Ossidazione fotochimica (*Photochemical Ozone Formation, POF*)**

Valuta gli impatti sulla salute umana (malattie alle vie respiratorie e ai polmoni) e sugli ecosistemi (danni alla vegetazione) causati dall'ozono sviluppato da reazioni fotochimiche di NO_x e NMVOCs (Non Methane Volatile Organic Compounds). La tossicità dell'ozono deriva dalla sua natura reattiva che gli permette di ossidare le molecole organiche.

Per la valutazione di tal tipologia di impatto ReCiPe 2008 utilizza il modello atmosferico LOTUS-EUROS, che tiene conto della chimica e della non linearità del processo di formazione dell'ozono considerando eventuali precursori della reazione, fattori meteorologici e il tempo di vita della molecola in base a specifiche condizioni. I risultati degli impatti calcolati sono riportati in kg di NMVOC equivalenti.

➤ **Formazione di particolato (*Particulate matter formation, PMF*)**

Considera gli impatti collegati alla salute umana connessi con l'inalazione di polveri sottili (problemi alle vie respiratorie e polmonari) derivanti da attività antropiche.

Vengono in particolare considerate una serie di complesse miscele di composti organici ed inorganici di dimensioni pari o inferiori ai 10 µm (PM10) e aerosol derivanti principalmente da emissioni di anidride solforosa (SO₂), ammoniacca (NH₃) e ossidi da azoto (NO_x).

Per il calcolo il metodo utilizza il modello europeo EUTREND relativo al trasporto atmosferico e riporta i risultati degli impatti calcolati in Kg PM10 equivalenti.

➤ **Ecotossicità (*ecotoxicity*)**

Include gli effetti di sostanze tossiche sugli ecosistemi e il metodo di calcolo è del tutto simile a quello utilizzato per la categoria "human toxicity". Il metodo suddivide questa macro-categoria in tre differenti categorie di impatto relative ai sistemi acquatici o terrestri:

- eco-tossicità terrestre (*Terrestrial EcoToxicity, TET*),
- eco-tossicità delle acque dolci (*Freshwater EcoToxicity, FET*) ed
- eco-tossicità marina (*Marine EcoToxicity MET*).

Viene utilizzato il modello USES-LCA per il calcolo e i risultati, per tutte e tre le diverse categorie, sono riportati in kg di 1,4-DB equivalenti (1,4-Dichlorobenzene).

➤ **Radiazione ionizzante (*Ionising radiation, IR*)**

Quantifica gli impatti sulla salute umane e sugli ecosistemi generati dalle radiazioni ionizzanti le cui principali fonti sono i radionuclidi presenti nell'aria e nell'acqua emessi durante il ciclo del combustibile nucleare, l'estrazione di rocce fosfatiche, gas e petrolio e il funzionamento delle centrali energetiche a carbone.

Il modello permette di tenere in considerazione i fenomeni di rilascio, di trasporto, dispersione, deposizione e di assunzione o inalazione di queste particelle con conseguente valutazione di danno sull'uomo o sull'ecosistema.

I risultati di questa categoria di impatto sono proposti da ReCiPe 2008 in kg di U235 equivalente (uranio radioattivo).

➤ **Sfruttamento del suolo (*land use*)**

Considera gli impatti sugli ecosistemi dovuti agli effetti di occupazione e trasformazione del suolo, tenendo in considerazione unicamente queste due tipologie di effetti o meccanismi per collegare le modalità di utilizzo del suolo alla perdita di biodiversità del terreno stesso.

Per il calcolo di tali impatti si fa riferimento alla tipologia di area considerata e al tempo che questa impiegherebbe per essere ripristinata alle condizioni iniziali dopo che è stata occupata e trasformata. Il metodo ReCiPe 2008 utilizza il modello sviluppato da CML per il calcolo di tale categoria ma suddivide tre diverse categorie di impatto:

- *Agricultural Land Occupation (ALO)*, area occupata per fini agricoli (u.d.m.: m²*yr);
- *Urban Land Occupation (ULO)*, area occupata da insediamenti urbani (u.d.m.: m²*yr);
- *Natural Land Transformation (NTL)*, area naturale trasformata (u.d.m.: m²).

➤ **Esaurimento di acqua (*Water Depletion, WD*)**

Considera il consumo netto di acqua utilizzata per una qualsiasi attività. Per tale valutazione è importante tenere conto della fonte idrica di provenienza (p.es acque di lago, fiume, sotterranee o altre fonti). L'unità di misura per tale categoria di impatto è m³ di acqua.

➤ **Esaurimento di risorse minerarie (*Mineral resource Depletion, MD*)**

Tale categoria quantifica il consumo di materie prime associabili ad un'attività o ad un particolare prodotto. Uno delle principali fonti di dati per lo sviluppo di questo metodo è il World Metal Deposite Database dell'US Logical Survey che contiene dati storici da più di 3000 miniere su 50 depositi. I risultati relativi a tale impatto sono riportati in kg Fe_{eq} (kg di ferro equivalente).

➤ **Esaurimento dei combustibili fossili (*Fossil fuel depletion, FD*)**

Valuta il consumo di combustibili fossili, nello specifico gli idrocarburi, nelle varie forme in cui si presentano: gassoso (come ad esempio il metano), petrolio liquido o materiali non-volatili (come ad esempio il carbone).

Il metodo si basa su dati derivanti principalmente dall'IEA (International Energy Agency) e riporta i risultati in termini di kg di petrolio equivalente (kg oil eq), ottenuti da valutazioni sui costi marginali e sui valori di densità dei vari idrocarburi.

Le assunzioni previste dalla prospettiva gerarchica sono di seguito riportate per le categorie di impatto che presentano delle differenze a seconda della prospettiva scelta:

- *Climate change*, valore di GWP100, orizzonte temporale maggiormente utilizzato e citato anche nella ISO 14044;
- *Terrestrial Acidification*, orizzonte temporale di 100 anni ;
- *Toxicity*, orizzonte temporale infinito, tutte le vie di esposizione per tutte le sostanze chimiche, per l'ecotossicità marina si considerano le emissioni di tutte le sostanze chimiche via mare e oceani, per gli effetti cancerogeni si considerano tutte le sostanze con TD50¹ ;
- *Land use*, tempo medio di ripristino della vegetazione, effetti regionali isolati.

La valutazione degli impatti è stata svolta utilizzando il set suggerito di default dal software per la valutazione degli impatti a livello midpoint, ovvero relativo alla condizione europea (Europe ReCiPe H).

Tipologia e sorgenti dei dati

Nella scelta dei dati da utilizzare per lo studio di LCA sono stati privilegiati i dati primari. I dati riguardanti la produzione del codice prodotto FERROX ES95® secondo le due diverse alternative produttive sono stati forniti da Veneta Mineraria S.p.A. e fanno riferimento a due test di produzione

¹ Chronic dose rate (expressed in milligrams per kilogram of bodyweight per day) which would induce tumors in half of the number of test animals at the end of the standard lifespan for the specie.

eseguiti, nell'occasione di questo studio, in data 14 ottobre 2013. I principali dati primari utilizzati sono riportati nei paragrafi 2.3/2.4 e riguardano:

- il trasporto dei materiali in ingresso al processo produttivo (luogo di origine, tipologia e classe del mezzo);
- materiali utilizzati (quantità e tipologia, modalità di imballaggio);
- materie secondarie utilizzate (quantità e tipologia, modalità di imballaggio);
- le fasi del processo produttivo realizzato presso Veneta Mineraria S.p.A.;
- consumi energetici del processo produttivo realizzato presso Veneta Mineraria S.p.A. (tipologia e quantità del vettore energetico utilizzato);
- rifiuti prodotti durante il processo produttivo realizzato presso Veneta Mineraria S.p.A. (qualità e tipologia, modalità di smaltimento);
- trasporto dei rifiuti prodotti (luogo di destinazione, tipologia e classe del mezzo).

Nel caso in cui non fossero disponibili dati primari si è fatto ricorso all'utilizzo di banche dati riconosciute a livello internazionale, privilegiando ove possibile l'utilizzo delle banche dati più aggiornate. In particolare i dati secondari riguardano i processi di produzione dei materiali ausiliari e dei materiali primari. Le banche dati internazionali utilizzate sono Ecoinvent ed aggiornate alla versione 2.2. Infine, nel caso nemmeno le banche dati fornissero informazioni adeguate, si è fatto riferimento ad informazioni disponibili nella letteratura internazionale e reperibili attraverso articoli o pubblicazioni scientifiche.

Requisiti di qualità dei dati

I dati necessari allo studio sono stati raccolti nel rispetto dei seguenti requisiti:

- a) copertura temporale: l'anno di riferimento per la raccolta dati è il 2013, anno durante il quale sono stati realizzati due test di produzione, specifici per il reperimento di dati primari da utilizzare in questo studio. Laddove vengano utilizzati dati generali e banche dati, questi devono essere non più vecchi di 15 anni; utilizzando le versioni disponibili più recenti dei database impiegati;
- b) copertura geografica: la zona geografica di provenienza dei dati primari è relativa alla situazione italiana, in quanto i dati fanno riferimento al processo produttivo realizzato da Veneta Mineraria S.p.A. e sono stati forniti dall'azienda stessa. Per quanto riguarda la scelta delle banche dati e dei dati di letteratura si è cercato di utilizzare i dati maggiormente compatibili con lo specifico contesto geografico dove si realizza il processo e laddove non fossero disponibili si sono privilegiate banche dati e dati medi (e.g. media europea) piuttosto che dati specifici per un contesto differente.

- c) copertura tecnologica: i dati raccolti fanno riferimento alle tecnologie utilizzate durante il processo produttivo. Anche la scelta della banche dati e dei dati di letteratura scientifica è stata orientata tenendo in considerazione le tecnologie specifiche del processo analizzato.
- d) precisione: i dati raccolti fanno riferimento ad effettivi consumi e misurazioni relativi al periodo considerato, pertanto si tratta di consumi puntuali;
- e) completezza: si può considerare che la percentuale del flusso di massa misurata o stimata sia pari al 95%;
- f) rappresentatività: il grado con cui l'insieme dei dati riflette la popolazione realmente interessata è elevato, dal momento che i dati sono raccolti direttamente durante due test produttivi realizzati per la raccolta di questi dati primari;
- g) coerenza: la metodologia dello studio è applicata in maniera uniforme alle diverse componenti dell'analisi per entrambi i sistemi considerati;
- h) riproducibilità: i dati sono stati raccolti con schede di raccolta dati, compilate direttamente da Veneta Mineraria S.p.A. e contengono tutte le informazioni necessarie che consentono anche ad un esecutore indipendente di riprodurre i risultati riportati nella relazione dello studio;
- i) fonti dei dati: come precedentemente esplicitato i dati derivano da fonte primaria (ove non sia stato possibile reperire i dati primari si è fatto ricorso a dati secondari provenienti da banche dati riconosciute a livello internazionale);
- j) incertezza dell'informazione: l'incertezza relativa ai dati e alle ipotesi è la medesima per entrambi i sistemi considerati, dal momento che i dati sono stati raccolti con le medesime modalità.

Nel caso in cui i dati utilizzati facciano riferimento a stime, provenienti da siti specifici o da medie significative, questo aspetto è stato messo in evidenza nella fase di creazione dell'inventario.

Confronti fra i sistemi

Dal momento che si sta considerando uno studio di LCA comparativo, per entrambi i sistemi è stata considerata la stessa funzione, unità funzionale, prestazione, confini del sistema, qualità dei dati, modalità di decisione degli elementi in ingresso e in uscita, medesimo metodo di valutazione degli impatti. Anche le procedure di allocazione applicate sono le stesse. Si precisa che si è applicata l'allocazione di massa per la ripartizione dei flussi in ingresso ed in uscita dal sistema.

Strumenti e Metodologia

Lo studio è stato condotto secondo i requisiti contenuti all'interno delle norme internazionali per la valutazione del ciclo di vita attualmente in vigore: ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006 (ISO 2006a,b).



Per la valutazione degli impatti ambientali è stato utilizzato il software SimaPro v7.3.2 attraverso il quale sono stati creati i due modelli di calcolo (uno per ciascuna alternativa produttiva).



2. Analisi dell'inventario del ciclo di vita

La fase di analisi di inventario comprende la raccolta dei dati e delle informazioni che consentono di quantificare gli elementi in ingresso e in uscita pertinenti ai processi considerati.

Di seguito verranno riportati gli elementi che sono stati considerati nell'analisi di inventario in riferimento ai requisiti delle norme della serie ISO 14040 (ISO 2006a,b).

2.1 Procedimenti di raccolta dei dati

La fase di raccolta dati è stata condotta con l'ausilio di schede predisposte per raccogliere i dati di input e output, in termini di consumo di massa ed energia, ed in termini di emissioni nei vari comparti ambientali per ciascuno dei processi analizzati.

Le schede di raccolta dati sono state differenziate sulla base delle due alternative che prevedono l'utilizzo di differenti materiali, ceneri di pirite derivanti dalla produzione di acido solforico, scaglie di laminazione e ossido di ferro rosso in un caso, e minerali ferrosi derivanti da processi di estrazione nell'altro caso.

Le schede di raccolta dati sono state compilate da parte di Veneta Mineraria S.p.A. e buona parte dai dati, relativi alla fase di produzione, è stata ottenuta attraverso due specifici test:

- 1 test di produzione del prodotto FERROX ES95® a partire da ceneri di pirite, della durata di 3 ore e 15 minuti;
- 1 test di produzione del prodotto FERROX ES95® a partire da minerali ferrosi estratti da miniera, della durata di 3 ore e 10 minuti.

Le schede di raccolta dati compilate sono state successivamente verificate e controllate mediante bilanci di massa e segnalando eventuali incongruenze che sono state quindi chiarite e risolte.

2.2 Descrizione dei processi unitari

Nel presente paragrafo viene fornita una descrizione dei processi unitari che costituiscono ciascuno dei sistemi prodotto analizzati. Si parte dalla definizione del diagramma di flusso per ciascun processo, all'interno del quale vengono indicati gli input e output considerati all'interno dei confini del sistema.

In figura 3 è riportato il diagramma di flusso relativo al processo produttivo svolto da Veneta Mineraria S.p.A. che prevede l'utilizzo delle ceneri di pirite, mentre nella figura 4 è riportato il diagramma di flusso relativo al processo produttivo svolto da Veneta Mineraria S.p.A. che prevede l'utilizzo dei minerali ferrosi ricavati da attività estrattive.

Per entrambe le vie produttive analizzate si considerano i trasporti dei materiali in ingresso al processo produttivo e delle materie ausiliarie dal sito di estrazione o stoccaggio allo stabilimento di

Veneta Mineraria S.p.A.. Inoltre, all'interno dei confini, si considera il fine vita dei rifiuti prodotti durante il processo di produzione, che tuttavia sono ridotti, in quanto sono riconducibili ai materiali di packaging che accompagnano i materiali in ingresso al processo produttivo. A livello del processo produttivo non vi è il consumo di acqua e il consumo di olio lubrificante rientra nella soglia di cut-off in quanto è stimato particolarmente ridotto (Landfield et al., 2000).

Nel caso di entrambe le due vie produttive, i processi che avvengono all'interno dello stabilimento di Veneta Mineraria S.p.A. sono pressoché i medesimi e le variazioni sono da ricercare nella variazione dei consumi energetici, dell'utilizzo di materiali ausiliari, della produzione di scarti di lavorazione e quindi in diverse rese del processo di produzione. I processi che avvengono all'interno di Veneta Mineraria S.p.A. sono i seguenti:

- Campionamento della materia prima
- Premiscelazione della materia prima con altri materiali ausiliari a mezzo di ruspa
- Carico della tramoggia a mezzo della ruspa
- Selezione del materiale per mezzo di una griglia di selezione e trasporto a mezzo di carriere del materiale scartano presso l'area stoccaggio, in attesa della frantumazione che avviene ad opera di mulini frantumatori, che vengono avviati una volta ogni 1/2 anni. Il materiale frantumato viene poi riutilizzato come materia prima ottenendo un recupero del 100% del materiale scartato dalla griglia di preselezione, tuttavia visto l'elevato tempo di stoccaggio, questa operazione non viene considerata un close-loop in continuo, perché di fatto la maggior parte dei cicli produttivi viene realizzata con materiale ex-novo.
- Il materiale selezionato è avviato al processo combinato di essiccazione-macinazione effettuato a mezzo di un mulino bi-rullo al quale viene alimentato un flusso di aria calda. L'energia necessaria al riscaldamento della portata di aria calda richiesta da questa fase di processo è assicurata da una centrale termica alimentata a metano. Il flusso di aria oltre ad essiccare il materiale permette il trasporto del materiale verso la parte alta dell'apparecchiatura dove è posizionato il selettore che permette il passaggio della frazione di materiale avente la desiderata granulometria, mentre la restante parte di materiale, rimane nel mulino bi-rullo per essere macinata ulteriormente ed uscirà solo una volta raggiunta la desiderata granulometria.
- Il materiale selezionato, nel caso specifico, è stato inviato ai silos di stoccaggio per essere successivamente venduto come prodotto sfuso. In altri casi il prodotto può anche essere confezionato in sacchi di carta o in big bag di polietilene e successivamente pallettizzato, ma queste casistiche non sono oggetto del presente studio che si focalizza sul prodotto sfuso, in quanto inoltre non costituirebbero una variante in termini comparativi.

Per quanto riguarda la fase del ciclo di vita relativa all'ottenimento dei differenti materiali in ingresso al processo produttivo, possiamo distinguere i due differenti casi:

- Produzione a partire da ceneri di pirite: si è considerato la parte del processo industriale di produzione dell'acido solforico che genera le ceneri di pirite, considerando i consumi di energia del processo e l'estrazione dei minerali di pirite. Sono stati inoltre considerati i processi industriali che generano le scaglie di laminazione e l'ossido rosso utilizzati come materiali in ingresso al processo produttivo. Sono stati compresi anche i trasporti necessari a far giungere questi materiali allo stabilimento di Veneta Mineraria S.p.A. È importante sottolineare come in questa fase sia stata effettuata l'allocazione in quanto i processi industriali dai quali derivano questi sottoprodotti di scarto sono asserviti alla produzione di altri prodotti. L'allocazione è stata effettuata solo per i processi per i quali, pur suddividendo il sistema specifico in sotto sistemi, non è stata possibile un'ulteriore suddivisione che separasse completamente i flussi di materia ed energia in input e output (ISO 14044, 2006).
- Minerali Ferrosi: si è considerato il processo di estrazione minerario degli ossidi di ferro ed i relativi trasporti necessari a far giungere queste materie prime allo stabilimento di Veneta Mineraria S.p.A.



Figura 3 Confini del sistema nel caso del processo produttivo basato sulle ceneri di pirite (CeSQA, 2014).

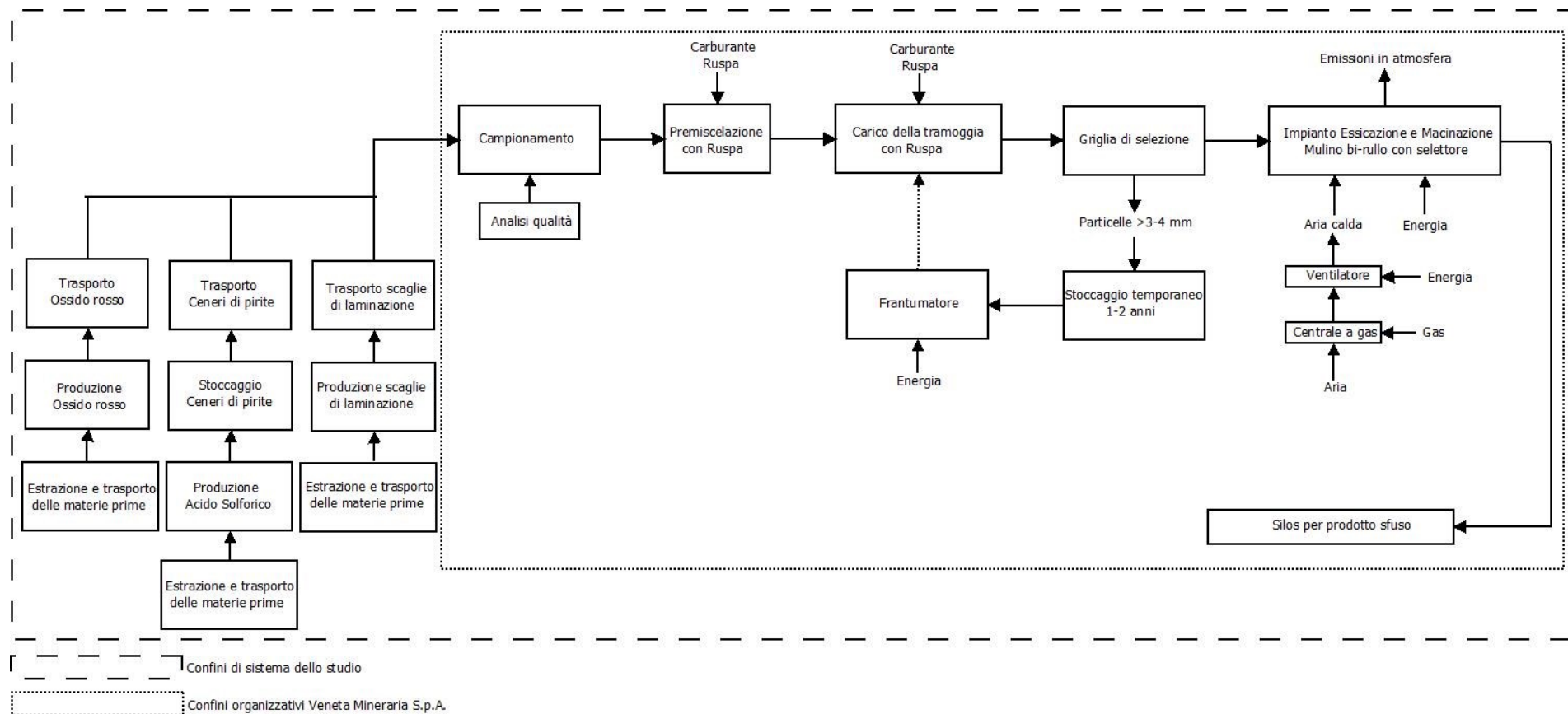
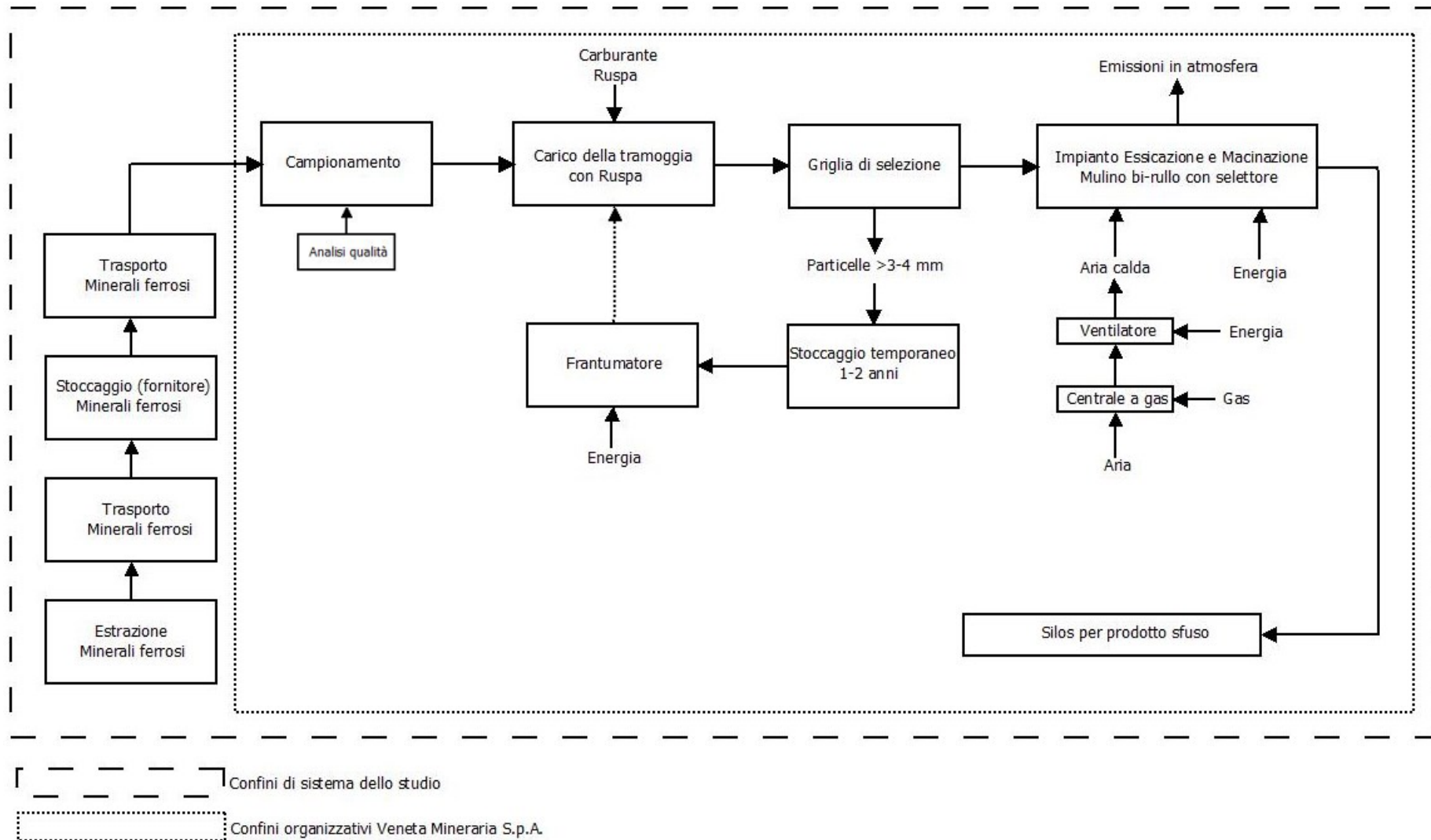




Figura 4 Confini del sistema nel caso del processo produttivo basato sui minerali ferrosi estratti da miniera (CeSQA, 2014).





2.3 Analisi dei dati

Una volta individuati i processi unitari che costituiscono ciascun sistema e una volta raccolti i dati, si è proceduto alla validazione degli stessi, verificando la completezza delle informazioni raccolte e la qualità dei dati rispetto ai requisiti definiti nella fase di definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione.

Nel presente paragrafo viene presentata la modellazione definita all'interno del modello di calcolo per tutti i processi considerati, con indicazione delle eventuali procedure di calcolo e banche dati utilizzate. La descrizione verrà effettuata dapprima per la via produttiva che prevede di ottenere il prodotto FERROX ES95® a partire dalle ceneri di pirite e successivamente per la via produttiva che permette di ottenere il prodotto FERROX ES95® a partire dai minerali ferrosi estratti da miniera.

Le principali differenze fra i processi analizzati, risiedono nei differenti materiali utilizzati, nei processi che concorrono a produrle e in differenti consumi energetici, di materie ausiliarie e differenti rese a livello del processo di produzione condotto presso lo stabilimento di Veneta Mineraria S.p.A.

La raccolta dei dati e delle informazioni, relativamente alla fase di produzione, è stata effettuata in occasione di due test di produzione specificamente realizzati dall'azienda per permettere la raccolta di dati primari precisi.

2.4 Dati relativi alla produzione a partire dalle ceneri di pirite

Ai fini dell'analisi del ciclo di vita del prodotto FERROX ES95® secondo la via produttiva che sfrutta le ceneri di pirite, sono stati raccolti dati primari relativi ai flussi di massa ed energia che interessano le fasi dei processi produttivi operati da Veneta Mineraria S.p.A.

I dati primari forniti dall'azienda ed utilizzati per la modellazione verranno presentati nel prossimo paragrafo, fanno riferimento allo specifico test di produzione del prodotto FERROX ES95® condotto utilizzando le ceneri di pirite e riguardano in modo particolare i flussi di massa e i consumi di energia associati allo specifico test produzione.

I dati relativi alle fasi non controllate da Veneta Mineraria S.p.A. sono ricavati attraverso banche dati Internazionali Ecoinvent v2.2 e informazioni reperite nella letteratura scientifica di settore.

Di seguito vengono descritte le singole unità di processo incluse nel ciclo di vita ed i relativi flussi di materia ed energia contabilizzati nel caso della produzione del prodotto FERROX ES95® a partire dalle ceneri di pirite.

Ceneri di pirite

Le ceneri di pirite, considerate in questo studio, sono state prodotte durante il processo di produzione dell'acido solforico, condotto nello specifico, attraverso la via industriale del roasting della pirite. La pirite è un minerale molto comune composto da disolfuro di ferro (FeS_2) e durante il trattamento termico di roasting subisce una disgregazione che permette la generazione del flusso di anidride solforosa, mentre le ceneri di pirite costituiscono la matrice esausta ed elevato tenore di ferro che viene estratta e stoccata in siti di stoccaggio spesso adiacenti al sito di produzione dell'acido solforico.

Le ceneri di pirite sono da sempre considerate un rifiuto di questo processo industriale, anche se negli ultimi anni, visto il loro elevato contenuto di ossidi di ferro stanno subendo una rivalutazione nel settore metallurgico (Treccani, 2013) e nella produzione del cemento (Alp et al., 2009). Il loro valore economico residuo è molto basso, pari a circa 5\$/ton.

La composizione chimica delle ceneri di pirite è variabile ma in generale può essere descritta come riportato in tabella 3 (Alp et al., 2009).

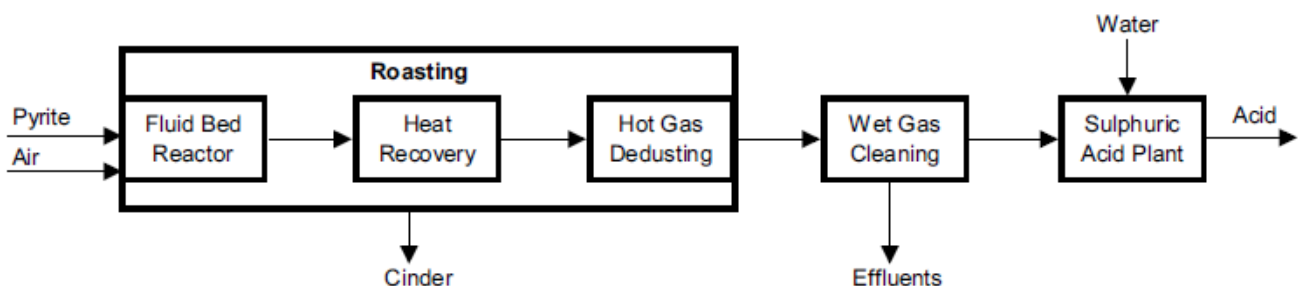
Tabella 3 Composizione chimica media delle ceneri di pirite (Alp et al., 2009)

Componente	% in peso
Fe_2O_3	86,50
SiO_2	6,71
Al_2O_3	1,91
SO_3	1,38
CuO	1,34
CaO	0,59
MgO	0,48

Si sottolinea che, in ingresso al processo produttivo, Veneta Mineraria attua analisi a campione con spettrometro a raggi X per accertare l'assenza di contaminazione da metalli pesanti: gli impatti associati a tale processo sono da considerarsi poco significativi e al di sotto della soglia di cut-off.

Il processo di produzione dell'acido solforico a partire dai minerali di pirite è presentato nella figura 5.

Figura 5 Principali fasi che caratterizzano il processo di produzione dell'acido Solforico (Runkel et al., 2009).

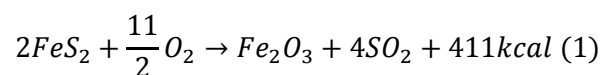


È importante puntualizzare che la banca dati Ecoinvent v2.2 disponibile per la modellazione del processo di produzione dell'acido solforico "Sulphuric acid, liquid, at plant/RER S" considera i contributi delle vie industriali più rilevanti utilizzate in Europa, facendone una media ponderata in funzione della frazione di acido solforico prodotta con quella specifica via industriale rispetto alla produzione di acido solforico totale, come di seguito elencato (Report Ecoinvent 08_Chemicals, 2007):

- 50% Via industriale "Sulphur Burning";
- 35% "Smelter Gas Burning";
- 8,5% "Pyrites Roasting";
- 5,5% "Spent Acid Regeneration".

È quindi evidente che questa banca dati non è particolarmente adatta a rappresentare il processo in esame. Conseguentemente, si è ritenuto opportuno ricostruire, attraverso informazioni disponibili nella letteratura scientifica internazionale, i flussi di massa ed energia che caratterizzano il processo da modellare. Focalizzando l'attenzione sulle ceneri di pirite, sono stati identificati i sottoprocessi coinvolti nella produzione delle ceneri stesse in quanto alle ceneri di pirite devono essere allocati i potenziali impatti ambientali relativi ai processi che concorrono alla loro formazione. Come evidenziato in figura 5, la produzione delle ceneri di pirite è attribuibile al processo di roasting dei minerali di pirite: a tale processo è stato quindi applicato il principio di allocazione su base massa, considerando come output principale l'anidride solforosa e come sottoprodotto le ceneri di pirite.

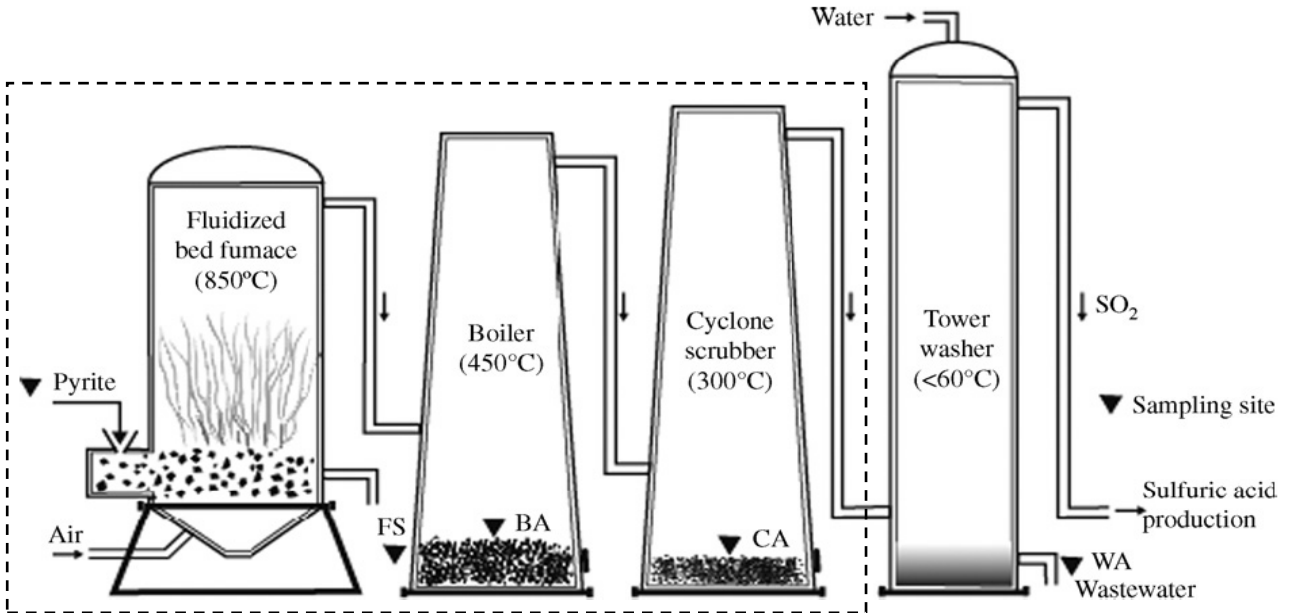
Nel processo di roasting la pirite, proveniente da estrazione mineraria, viene inserita in un reattore a letto fluido e attraverso un trattamento termico e l'insufflazione di aria viene bruciata ottenendo come prodotto l'anidride solforosa e come sottoprodotto le ceneri di pirite. La reazione chimica che governa la formazione dell'anidride solforosa a partire dai minerali di pirite è la seguente:



La reazione, per essere innescata, necessita di una temperatura compresa nel range di 700-800 °C, ed una volta innescata si automantiene data l'alta quantità di calore sviluppato. Per favorire il controllo termico del processo, viene utilizzato un eccesso di aria al posto di ossigeno puro in quanto l'azoto presente nell'aria agisce da volano termico mantenendo la temperatura del reattore attorno ad un valore di 850°C. Nella corrente gassosa in uscita dall'unità di roasting è pertanto presente non solo l'anidride solforosa ma anche l'ossigeno in eccesso e l'azoto. La percentuale in volume di SO₂ si aggirerà in media attorno al 12% del flusso di gas in uscita.

Il reattore a letto fluido all'interno del quale avviene la combustione, in generale, opera in condizioni stazionarie ed è assimilabile a una grossa fornace industriale (Figura 6). Le condizioni operative prevedono: temperatura attorno agli 850°C e un'alimentazione con umidità massima del 9%.

Figura 6 Schema di processo relativo alla produzione e purificazione dell' SO_2 per la produzione di acido Solforico secondo la via industriale del roasting della pirite. FS: Reattore a letto fluido, BA: Boiler delle ceneri di pirite, CA: ciclone per lo scrubber delle ceneri volatili, WA: torre per il lavaggio delle ceneri volatili (Chunxia et al., 2009).



Nella seguente tabella sono riportati i dati, reperiti nella letteratura scientifica di settore, utilizzati per caratterizzare il processo di roasting .

Tabella 4 Specifica dei dati di processo relativi alla fase di roasting.

Informazione di processo	Unità di misura	Valore	Fonte dato
Portata giornaliera di pirite alimentata	ton/giorno	650	Runkel et al., 2009
Portata volumetrica oraria di SO_2 prodotta	Nm^3/h	60000	Runkel et al., 2009
Portata oraria di ceneri pirite prodotte	ton/h	20	Runkel et al., 2009
Portata giornaliera di H_2SO_4 ottenibile	ton/giorno	750	Runkel et al., 2009
Potenza specifica consumata dal reattore di roasting	kW	1250	Runkel et al., 2009

La massa giornaliera di ceneri di pirite prodotte risulta pari a:

$$Portata_{massica\ ceneri\ pirite,giorno} = Portata_{massica\ ceneri\ pirite,oraria} \cdot 24 = 20 \cdot 24 = 480 \frac{ton}{giorno}$$

Il dato relativo alla portata volumetrica oraria di anidride solforosa generata dal processo di roasting dei minerali di pirite permette il calcolo del flusso molare di anidride solforosa. Questo calcolo è stato condotto assumendo che il gas presenti un comportamento ideale in quanto presenta una bassa pressione ed un alta temperatura (condizione che favorisce il comportamento ideale).

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

La fornace di roasting opera ad una pressione di 0,6 bar e alla temperatura di 850°C (1123 K). La costante universale utilizzata è pari a 8314 m³Pa/K*kmol. La portata molare risulta quindi pari a :

$$Portata_{SO_2 \text{ molare,giorno}} = n = \frac{P \cdot V}{R \cdot T} = \frac{60000 \cdot 60000 \cdot 24}{8314 \cdot 1123} = 9254 \frac{\text{kmol}}{\text{giorno}}$$

Utilizzando il peso molecolare dell'anidride solforosa (64 kg/kmol) è stata calcolata la portata massica:

$$Portata_{massica \text{ } SO_2, \text{giorno}} = Portata_{SO_2 \text{ molare,giorno}} \cdot 64 = 9254 \cdot 64 = 592 \frac{\text{ton}}{\text{giorno}}$$

I fattori di allocazione su base massa sono stati quindi calcolati nel seguente modo:

$$F_{\text{allocazione}_{\text{ceneri pirite}}} = \frac{Portata_{massica \text{ ceneri pirite,giorno}}}{Portata_{massica \text{ ceneri pirite,giorno}} + Portata_{massica \text{ } SO_2, \text{giorno}}} = \frac{480}{480 + 592} = 0,45$$

$$F_{\text{allocazione}_{SO_2}} = \frac{Portata_{massica \text{ } SO_2, \text{giorno}}}{Portata_{massica \text{ ceneri pirite,giorno}} + Portata_{massica \text{ } SO_2, \text{giorno}}} = \frac{592}{480 + 592} = 0,55$$

È importante notare come il calore sviluppato dalla reazione, potrebbe essere a sua volta considerato un prodotto del sistema che abbasserebbe ulteriormente il fattore di allocazione delle ceneri di pirite. Non essendo disponibili dati relativi all'energia recuperata per lo specifico caso in esame dai quali sono stati estratti i dati, si è preferito effettuare l'ipotesi cautelativa di escludere questo aspetto. Inoltre il recupero di energia viene effettuato nelle unità a valle della fornace di roasting e quindi riguardano la stream di SO₂.

Una volta determinati i fattori per effettuare l'allocazione su base massa, sono state raccolte tutte le informazioni riguardo i flussi di materia ed energia che caratterizzano i processi coinvolti per la produzione delle ceneri di pirite. Il primo processo considerato è il processo di estrazione mineraria dei minerali di pirite. Non essendo disponibile un database specifico per l'estrazione del minerale di pirite è stato usato il database di un processo molto simile, relativo all'estrazione mineraria di ferro. Questo database, presenta un tenore di ferro compatibile con il range di composizione che si riscontra nei minerali di pirite che presentano, in media, un'umidità del 7% in peso, un contenuto di zolfo che attesta attorno al 48% in peso, un contenuto di ferro pari circa al 43% in peso (Runkel et al., 2009) ed infine un frazione massica di impurezze che si aggira attorno al 2%. Queste impurezze possono essere costituite da silicio, alluminio, rame ed altri metalli (Alp et al., 2009).

I processi inclusi in questa banca dati riguardano il flusso di materiale estratto, i consumi di energia elettrica e fossile del processo di estrazione e gli aspetti relativi alla realizzazione dell'impianto estrattivo e all'occupazione del suolo generata. Il trasporto dei minerali di pirite all'impianto di

trattamento è già compreso all'interno della banca dati. Questo aspetto risulta inoltre poco significativo in quanto uno dei più grandi giacimenti di minerali di pirite è localizzato a Grosseto (Treccani, 2013), località nella quale è posizionato l'impianto di produzione dell'acido solforico che produce le ceneri di pirite.

Focalizzando ora l'attenzione sul processo di roasting (figura 6), sono state utilizzate tutte le informazioni disponibili: il consumo energetico dell'unità di roasting è stato considerato utilizzando il dato di potenza specifico relativo al reattore di roasting, presentato in tabella 4 che considera il parziale recupero dell'energia sviluppata dalla reazione. Infatti, pur essendo esotermica, la reazione di degradazione termica della pirite, richiede un consumo di energia per innalzare la temperatura della fornace fino al valore di innesco della reazione compresa nel range di 700-800 °C. La banca dati scelta per rappresentare il reattore di roasting è relativa ad una fornace industriale di grandi dimensioni che considera molteplici aspetti legati ai consumi di energia, e alle emissioni in atmosfera. È stata inclusa l'emissione in atmosfera di anidride solforosa generata dalla fornace di roasting, assunta pari a 0,047 kg per ogni kg di anidride solforosa prodotta, sulla base di quanto riportato nel Report Ecoinvent "08_Chemicals" (2007). Le informazioni relative ai rifiuti e ai flussi di acqua in ingresso e in uscita per il lavaggio della corrente gassosa di anidride solforosa non sono disponibili (Report Ecoinvent 08_Chemicals, 2007).

Le banche dati utilizzate per la modellazione di 1 kg di ceneri di pirite sono riassunte nella seguente tabella:

Tabella 5 Banche dati e valori utilizzati per la modellazione di 1 kg di ceneri di pirite. NB: tra virgolette sono riportati i nomi dei moduli creati per la costruzione del modello e che a loro volta all'interno richiamano i relativi database.

Modulo "Ceneri di pirite"	Banca dati	Unità di misura	Valore	Note
Estrazione mineraria della pirite	Ecoinvent v2.2 Iron ore, 46% Fe, at mine GLO/S	kg	6,090E-1	Il valore è il risultato dell'allocazione
Trattamento termico di roasting	Ecoinvent v2.2 Heat, natural gas, at industrial furnace low-NOx > 100 kW/RER S	MJ	1,001E-1	Il valore è il risultato dell'allocazione
Trasporto	Ecoinvent v2.2 Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER S	kgkm	360	Dato primario

Il valore relativo alla massa di pirite necessaria alla formazione di 1kg di ceneri di pirite è stato calcolato nel seguente modo:

$$Consumo_{pirite,1\text{ kg ceneri pirite}} = \frac{Portata_{massica\text{ pirite,giorno}}}{Portata_{massica\text{ ceneri pirite,giorno}}} = 1,354 \frac{kg\text{ pirite}}{kg\text{ ceneri di pirite}}$$

$$Consumo_{pirite,1\text{ kg ceneri pirite,alloc}} = Consumo_{pirite,1\text{ kg ceneri pirite}} \cdot F_{allocazione\text{ ceneri irite}} = 0,609 \frac{kg\text{ pirite}}{kg\text{ ceneri di pirite, all}}$$

mentre il valore relativo al consumo di energia del processo di roasting è stato stimato nel seguente modo:

$$Energia_{totale_{Roasting,giorno}} = Potenza_{Unità_{roasting}} \cdot 24 = 30000 \frac{kWh}{giorno}$$

$$Energia_{Roasting,1kg\ ceneri} = \frac{Energia_{totale_{Roasting,giorno}}}{1000 \cdot Portata_{ceneri\ pirite,giorno}} = 0,0625 \frac{kWh}{kg\ ceneri\ di\ pirite}$$

$$Energia_{Roasting,1kg\ ceneri,all} = Energia_{Roasting,1kg\ ceneri} \cdot Fallocazione_{ceneri\ pirite} = 0,101 \frac{MJ}{kg\ ceneri\ di\ pirite,all}$$

Per quanto riguarda il trasporto delle ceneri di pirite dai siti di stoccaggio allo stabilimento di Veneta Mineraria S.p.A., sono disponibili due differenti siti, uno in provincia di Grosseto e l'altro in provincia di Venezia. Le ceneri di pirite utilizzate per il test produttivo specifico per questo studio derivano per il 100% dal sito di stoccaggio localizzato a Grosseto. In futuro potrebbero essere utilizzate le ceneri di pirite stoccate in un sito in provincia di Venezia. Nel caso del sito di stoccaggio di Grosseto, non è stato necessario includere il trasporto dal sito di produzione dell'acido solforico al sito di stoccaggio in quanto sono ubicati nella stessa località. Nel caso del sito di Venezia si dovrebbe considerare che una parte del materiale deriva da siti di produzione dell'acido solforico dislocati in varie zone dell'Europa, sebbene comunque la maggior parte delle ceneri di pirite derivino dall'ex area di produzione dell'acido solforico di Porto Marghera. Per quanto riguarda questo aspetto, sarà condotta un'analisi di sensibilità specifica. I camion utilizzati per il trasporto sono di classe EURO 5 e da 30 ton.

Scaglie di laminazione

Le scaglie di laminazione costituiscono un materiale di scarto derivante da processi meccanici di finitura degli acciai e sono caratterizzate da un elevato tenore di ferro. Anche in questo caso è stato necessario effettuare l'allocazione degli impatti relativi al processo di produzione dell'acciaio. Quest'ultimo risulta piuttosto complesso e non essendo disponibili, a livello di database, dati relativi ai sottoprocessi, l'allocazione è stata effettuata considerando l'intero processo di produzione dell'acciaio e i prodotti e sottoprodotti. I dati relativi ai flussi in uscita dal processo di produzione dell'acciaio sono stati reperiti nella letteratura scientifica internazionale e sono riportati nella seguente tabella:

Tabella 6 Dati di letteratura utilizzati per il calcolo dei fattori di allocazione per le scaglie di laminazione e per l'ossido di ferro rosso. NB: nello studio di letteratura utilizzato l'unità di misura utilizzata per la presentazione dei dati è kg/FU (kg/Unità Funzionale). L'unità funzionale consiste nella produzione di 1 ton di acciaio.

Informazione di processo	Unità di misura	Valore	Fonte dato
Massa di acciaio prodotta	kg/FU	1400,96	Burchart-Korol, 2013
Massa ferro sinterizzato	kg/FU	947,16	Burchart-Korol, 2013
Massa ghisa	kg/FU	1307,71	Burchart-Korol, 2013
Massa di scaglie di laminazione	kg/FU	86,23	Burchart-Korol, 2013
Massa polveri metalliche	kg/FU	49,72	Burchart-Korol, 2013

$$Massa\ totale_{prodotti} = Massa_{acciaio} + Massa_{ghisa} + Massa_{ferro\ sinterizzato} = 3655,83\ kg/FU$$

$$Massa\ totale_{scarti} = Massaa_{scaglie\ laminazione} + Massa_{polveri\ metalliche} = 135,95\ kg/FU$$

$$Massa\ totale_{OUT} = Massa\ totale_{prodotti} + Massa\ totale_{scarti} = 3791,78\ kg/FU$$

$$F\ allocazione_{scaglie} = \frac{Massa_{scaglie}}{Massa\ totale_{OUT}} = 0,0227$$

Le banche dati utilizzate per il calcolo degli impatti relativi a 1kg di scaglie di laminazione sono riportate nella seguente tabella:

Tabella 7 Banche dati e valori utilizzati per la modellazione di 1 kg di scaglie di laminazione. NB: tra virgolette sono riportati i nomi dei moduli creati per la costruzione del modello e che a loro volta all'interno richiamano i relativi database.

Modulo "Scaglie di laminazione"	Banca dati	Unità di misura	Valore	Note
Processo di produzione dell'acciaio	Ecoinvent v2.2 Steel, converter, unalloyed, at plant/RER S	kg	2,270E-2	Il valore è il risultato dell'allocazione
Trasporto	Ecoinvent v2.2 Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER S	kgkm	213	Dato primario

In questo caso, l'output equivalente del processo di produzione dell'acciaio coincide con il fattore di allocazione in quanto il modulo è stato costruito in riferimento ad 1 kg di scaglie di laminazione. La banca dati Ecoinvent v2.2 utilizzata per modellare il processo di produzione dell'acciaio considera i seguenti aspetti: estrazione e trasporto delle materie prime, consumi di energia a livello del processo di produzione dell'acciaio, smaltimento dei rifiuti generati e le emissioni relative ai vari comparti ambientali. Le scaglie di laminazione vengono acquistate sfuse da un unico fornitore che ha sede a Udine e vengono trasportate con camion di classe EURO 5 da 30 ton.

Ossido di ferro rosso

L'ossido di ferro rosso è una polvere metallica assimilabile alla ruggine e deriva dall'operazione di decapaggio dell'acciaio e per questo, analogamente a quanto precedentemente mostrato, è stata eseguita l'allocazione sfruttando i medesimi dati ma facendo riferimento alle polveri metalliche.

$$F_{\text{allocazione polveri metalliche}} = \frac{\text{Massa}_{\text{polveri metalliche}}}{\text{Massa}_{\text{totale}_{OUT}}} = 0,0131$$

Le banche dati utilizzate per la modellazione di 1kg di ossido di ferro rosso sono riassunte nella seguente tabella:

Tabella 8 Banche dati e valori utilizzati per la modellazione di 1 kg di ossido di ferro rosso. NB: tra virgolette sono riportati i nomi dei moduli creati per la costruzione del modello e che a loro volta all'interno richiamano i relativi database.

Modulo "Ossido di ferro rosso"	Banca dati	Unità di misura	Valore	Note
Processo di produzione dell'acciaio	Ecoinvent v2.2 Steel, converter, unalloyed, at plant/RER S	kg	1,310E-2	Valore allocato
Big bag	"Big bag"	kg	3,000E-3	Valore allocato
pallet	"Pallet legno"	kg	7,500E-4	Valore allocato
Smaltimento big bag	"Smaltimento HDPE"	kg	3,000E-3	Valore allocato
Smaltimento pallet	"Smaltimento pallet legno"	kg	7,500E-4	Valore allocato
Trasporto	Ecoinvent v2.2 Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER S	kgkm	344	Dato primario

In questo caso, l'output equivalente del processo di produzione dell'acciaio coincide con il fattore di allocazione in quanto il modulo è stato costruito in riferimento ad 1 kg di ossido di ferro rosso. L'ossido di ferro rosso viene acquistato da un unico fornitore situato a Jesenice in Slovenia ed è trasportato con camion di classe EURO 5 da 30 ton. Un altro aspetto considerato è il packaging, infatti, l'ossido di ferro rosso arriva in big bag di HDPE del peso di 3 kg e contenenti 1 ton di materia prima. Ogni big bag è caricato su un pallet di legno del peso di 15kg. Il big bag è successivamente gestito come un rifiuto: è quindi stato modellato il suo fine vita sulla base dei dati forniti dai rapporti sul fine vita dei rifiuti (ISPRA, 2013). Per quanto riguarda il pallet di legno si è considerato un fattore di riutilizzo pari a 20.

Nelle seguenti tabelle sono riportate le banche dati utilizzate per la modellazione dei big bag e del pallet di legno.

Tabella 9 Banche dati e valori utilizzati per la modellazione di 1 kg di sacco in plastica HDPE. NB: tra virgolette sono riportati i nomi dei moduli creati per la costruzione del modello e che a loro volta all'interno richiamano i relativi database.

Modulo "Big bag"	Banca dati	Unità di misura	Valore
Plastica HDPE	Ecoinvent v2.2 Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER S	kg	1
Processo produttivo	Ecoinvent v2.2 Blow moulding/RER S	kg	1

Tabella 10 Banche dati e valori utilizzati per la modellazione di un pallet di legno. NB: tra virgolette sono riportati i nomi dei moduli creati per la costruzione del modello e che a loro volta all'interno richiamano i relativi database.

Modulo "Pallet legno"	Banca dati	Unità di misura	Valore
Pallet	Ecoinvent v2.2 EUR-flat pallet/RER S	pezzo	1
Lavorazione del legno	Ecoinvent v2.2 Industrial residual wood chopping, stationary electric chopper, at plant/RER S	kg	15

Fase di premiscelazione

In questa fase, le ceneri di pirite, le scaglie di laminazione e l'ossido di ferro rosso vengono mescolati per raggiungere una miscela omogenea. La miscelazione è effettuata utilizzando una ruspa il cui consumo orario fornito dall'azienda è pari a 8 litri di diesel. Considerando la durata del test è stato quindi stimato il consumo di carburante per questa fase di processo. Nella seguente tabella sono riportate le banche dati utilizzate per la modellazione e i moduli richiamati.

Tabella 11 Banche dati e valori utilizzati per la modellazione del processo di "Premiscelazione". NB: tra virgolette sono riportati i nomi dei moduli creati per la costruzione del modello e che a loro volta all'interno richiamano i relativi database.

Modulo "Premiscelazione"	Banca dati	Unità di misura	Valore	Note
<i>Input</i>				
Alimentazione ceneri di pirite	"Ceneri di pirite"	ton	0,894	Dato primario
Alimentazione scaglie di laminazione	"Scaglie di laminazione"	ton	5,558	Dato primario
Alimentazione ossido di ferro rosso	"Ossido di ferro rosso"	ton	0,252	Dato primario
Consumo diesel ruspa	"Diesel consumato per movimentazione ruspa premiscelazione"	kg	22,1	Dato stimato dall'azienda
<i>Output</i>				
Massa miscelata	"Carico tramoggia"	ton	6,704	Dato primario

La massa totale utilizzata per il test è pari a 6,704 ton ed è composta da 0,894 ton di ceneri di pirite con un tenore di umidità pari al 15,75%, 5,558 ton di scaglie di laminazione con un tenore di umidità pari al 15,35% e 0,252 ton di ossido di ferro rosso con un tenore di umidità residua dello 0,62%. Il consumo del diesel da parte della ruspa è stato modellato utilizzando la banca dati Ecoinvent v2.2 "Diesel, burned in building machine/GLO S".

Fase di carico della tramoggia

In questa fase, la miscela omogenea premiscelata viene caricata nella tramoggia per mezzo di una ruspa. La massa caricata è pari a quella premiscelata e cioè pari a 6,704 ton di alimentazione umida. Il consumo orario del processo di carico della tramoggia è stato stimato dall'azienda pari a 6 litri di diesel. Considerando la durata del test è stato quindi stimato il consumo di carburante per questa fase di processo. Nella seguente tabella sono riportate le banche dati utilizzate per la modellazione e i moduli richiamati.

Tabella 12 Banche dati e valori utilizzati per la modellazione del processo di “Carico della tramoggia”. NB: tra virgolette sono riportati i nomi dei moduli creati per la costruzione del modello e che a loro volta all'interno richiamano i relativi database.

Modulo “Carico tramoggia”	Banca dati	Unità di misura	Valore	Note
<i>Input</i>				
Massa miscelata	“Premiscelazione”	ton	6,704	Dato primario
Consumo diesel ruspa	“Diesel consumato per movimentazione ruspa premiscelazione”	kg	16,58	Dato stimato dall'azienda
<i>Output</i>				
Massa in uscita dalla tramoggia	“Preselezione con griglia”	ton	6,704	Dato primario

Anche in questo caso, per la modellazione dell'utilizzo della ruspa è stata utilizzata la banca dati Ecoinvent v2.2 “Diesel, burned in building machine/GLO S”.

Fase di preselezione con griglia

Il materiale caricato in tramoggia prima di essere trattato nel mulino bi-rullo viene preselezionato con una grigliatura meccanica in modo da consentire il passaggio del materiale con la granulometria desiderata, escludendo il materiale troppo grossolano. Durante il test con ceneri di pirite la massa anidra di materiale scartato è stata pari a 0,510 ton che corrispondono a 0,601 ton di alimentazione umida. Quindi la massa che effettivamente oltrepassa la griglia è pari a 6,102 ton. Nella seguente tabella sono riportate le banche dati utilizzate per la modellazione e i moduli richiamati.

Tabella 13 Banche dati e valori utilizzati per la modellazione del processo di “Preselezione con griglia”. NB: tra virgolette sono riportati i nomi dei moduli creati per la costruzione del modello e che a loro volta all'interno richiamano i relativi database.

Modulo “Preselezione con griglia”	Banca dati	Unità di misura	Valore	Note
<i>Input</i>				
Alimentazione della miscela alla griglia	“Carico tramoggia”	ton	6,704	Dato primario
<i>Output</i>				
Massa selezionata	“Macinazione ed essiccamento”	ton	6,102	Dato primario
Massa scartata	“Scarto da frantumare”	ton	0,601	Dato primario

La massa scartata è stoccata nel pressi dell'impianto di trattamento e una volta ogni 1/2 anni, quando l'area di stoccaggio è satura di materiale, viene frantumata attraverso l'impianto di frantumazione che presenta 2 unità. Solitamente lavora solo l'unità primaria mentre l'unità secondaria è attivata nello specifico solo se vi è una parte residua di materiale grossolano in uscita dall'unità primaria. La frantumazione permette il recupero del 100% del materiale scartato che verrà utilizzato in futuri cicli produttivi. In riferimento alla generazione del materiale di scarto sono stati considerati anche gli impatti relativi alla sua frantumazione considerando i consumi energetici originati da questo processo che sono stati stimati dall'azienda pari a 40 kWh per il trattamento di 15 ton.

Nella seguente tabella sono riportate le banche dati e i moduli utilizzati per la modellazione del processo di frantumazione:

Tabella 14 Banche dati e valori utilizzati per la modellazione del processo di "Frantumazione". NB: tra virgolette sono riportati i nomi dei moduli creati per la costruzione del modello e che a loro volta all'interno richiamano i relativi database.

Modulo "Frantumatore"	Banca dati	Unità di misura	Valore	Note
<i>Input</i>				
Massa da frantumare	"Scarto da frantumare"	ton	0,601	Dato primario
Energia frantumazione	Electricity, medium voltage, at grid/IT S	kWh	1,604	Dato stimato in base a dati forniti dall'azienda
<i>Output</i>				
Massa frantumata	"Scarto frantumato"	ton	0,601	Dato primario

Fase di macinazione ed essiccamento

La miscela di materiale che oltrepassa la griglia di preselezione è convogliata nel mulino bi-rullo che costituisce l'unità principale di questo processo produttivo. Questa unità svolge simultaneamente la macinazione e l'essiccamento del materiale. Una porta di aria calda, ad elevato potere essiccante, è alimentata dal basso verso l'alto e permettendo la risalita della particelle di materiale che oltrepassano il selettore posto in testa all'unità quando raggiungono la granulometria desiderata. L'energia per il riscaldamento della porta di aria è garantita da una caldaia a metano, mentre il funzionamento del mulino bi-rullo genera un consumo di energia elettrica. Nella seguente tabella sono riportate le banche dati e i moduli utilizzati per la modellazione del processo di macinazione:

Tabella 15 Banche dati e valori utilizzati per la modellazione del processo di “Macinazione ed essiccamento”. NB: tra virgolette sono riportati i nomi dei moduli creati per la costruzione del modello e che a loro volta all’interno richiamano i relativi database.

Modulo “Macinazione ed essiccamento”	Banca dati	Unità di misura	Valore	Note
<i>Input</i>				
Massa selezionata	“Preselezione con griglia”	ton	6,102	Dato primario
Energia elettrica mulino bi-rullo	Ecoinvent v2.2 Electricity, medium voltage, at grid/IT S	kWh	275	Dato primario
Consumo energetico di metano per il riscaldamento della portata di aria	Ecoinvent v2.2 Heat, natural gas, at boiler modulating > 100 kW/RER S	MJ	3276	Dato primario
Massa di aria	air	kg	88980	Dato primario
<i>Output</i>				
Prodotto	“Ferrox ES 95% - Ceneri di pirite”	ton	5,180	Dato primario
Massa di aria	air	kg	88980	Dato primario

Il consumo totale di gas metano registrato durante il test con ceneri di pirite è stato pari a 91,3 m³, che corrispondono a 3276 MJ considerando un potere calorifico pari al 35,88 MJ/Nm³.

Il prodotto è convogliato ai silos di stoccaggio per essere successivamente venduto come sfuso. La portata volumetrica di aria pari a 22350 Nm³/h è invece convogliata all’unico camino industriale: per il test di produzione considerato in questo studio, è stata effettuata un’analisi a camino delle emissioni in atmosfera (RIF. RdP 67382/E) i cui risultati sono di seguito riportati:

Tabella 16 Risultati dell’analisi delle emissioni in atmosfera (RIF. RdP 67382/E).

Parametro qualitativo	Unità di misura	Valore
Polveri	mg/m ³	0,9
Ossidi di azoto	g/h	48,8
Cromo totale	g/h	0,106
Manganese	g/h	0,318
Totale sostanze inorganiche	g/h	0,445

Il prodotto: FERROX ES 95% - Ceneri di pirite

Durante il test è stata ottenuta una massa di prodotto finito pari a 5,18 ton. Tuttavia l’azienda ha fornito informazione relativamente ad una frequenza di non conformità di prodotto pari allo 0,1%. La massa di prodotto conforme è pertanto 5,175 ton con una massa non conforme pari a 0,005 ton.

Tabella 17 Banche dati e valori utilizzati per la modellazione della massa di prodotto ottenuto. NB: tra virgolette sono riportati i nomi dei moduli creati per la costruzione del modello e che a loro volta all’interno richiamano i relativi database.

Modulo “FERROX ES 95% - Ceneri di pirite”	Banca dati	Unità di misura	Valore	Note
Massa di prodotto	“Macinazione ed essiccamento”	ton	5,175	Dato primario

2.5 Dati relativi al test di produzione a partire da minerale ferroso estratto da miniera

Ai fini dell'analisi del ciclo di vita del prodotto FERROX ES95® secondo la via produttiva che sfrutta i minerali ferrosi derivanti da estrazione mineraria sono stati raccolti dati primari relativi ai vari flussi di massa ed energia che interessano le fasi dei processi produttivi operati da Veneta Mineraria S.p.A. I dati primari forniti dall'azienda ed utilizzati per la modellazione verranno presentati nel prossimo paragrafo e fanno riferimento allo specifico test di produzione del prodotto FERROX ES 95% condotto utilizzando i minerali ferrosi estratti da miniera.

I dati primari forniti dall'azienda fanno riferimento alle masse di materiali e ai consumi di energia associati allo specifico test.

I dati relativi alle fasi non controllate da Veneta Mineraria S.p.A. sono stati ricavati attraverso l'utilizzo di banche dati Internazionali Ecoinvent v2.2 e da informazioni reperite nella letteratura scientifica di settore.

Di seguito vengono descritte le singole unità di processo incluse nel ciclo di vita ed i relativi flussi di materia ed energia contabilizzati nel caso della produzione del prodotto FERROX 95% a partire da minerali ferrosi estratti da miniera.

Minerali ferrosi

In questo caso, i minerali ferrosi derivano da attività estrattive condotte in miniere localizzate in Canada. Il fornitore, per motivi commerciali, non ha voluto dichiarare il punto di estrazione e il porto di canadese di partenza. È noto che il porto di arrivo olandese è situato a Rotterdam e che il sito intermedio di si trova in Germania ma non è stata specificata la posizione.

Le banche dati utilizzate per la modellazione di 1kg di minerali ferrosi sono riassunte nella seguente tabella:

Tabella 18 Banche dati e valori utilizzati per la modellazione di 1 kg di minerali ferrosi estratti da miniera. NB: tra virgolette sono riportati i nomi dei moduli creati per la costruzione del modello e che a loro volta all'interno richiamano i relativi database.

Modulo "Ossido di ferro rosso"	Banca dati	Unità di misura	Valore	Note
Processo di estrazione dei minerali ferrosi	Ecoinvent v2.2 Iron ore, 65%, at beneficiation/GLO S	kg	1	È stata scelta una banca dati relative al processo estrattivo più simile
Trasporto stradale dal sito di estrazione al porto	Ecoinvent v2.2 Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER S	kgkm	500	Ipotizzato

Trasporto navale	Ecoinvent v2.2 Transport, transoceanic freight ship/OCE S	kgkm	4900	Stimato, ipotizzando Québec come porto di partenza
Trasporto stradale dal porto al sito di stoccaggio	Ecoinvent v2.2 Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER S	kgkm	500	Ipotizzato
Trasporto stradale dal sito di stoccaggio	Ecoinvent v2.2 Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER S	kgkm	950	Stimato

In questo caso, essendo i minerali ferrosi estratti da miniere localizzate in Canada, sono stati considerati i seguenti trasporti:

- Trasporto stradale con camion da 30 ton a partire dal sito di estrazione al porto canadese che è stato ipotizzato essere quello di Québec, dove i minerali vengono caricati su nave. La distanza percorsa è di 500km. Va sottolineato che il punto di estrazione è stato ipotizzato considerando che in Canada le regioni del Québec e del Labrador, sono storicamente le maggiormente ricche di miniere ferrose.
- Trasporto navale dal porto di partenza di Québec al porto olandese di Rotterdam dove i minerali vengono nuovamente caricati su camion. La distanza percorsa è di circa 4900 km.
- Trasporto stradale con camion da 30 ton a partire dal porto olandese di Rotterdam, nel quale arriva la nave, fino al sito di stoccaggio localizzato in Germania. Non essendo nota quest'ultima località tedesca, la distanza percorsa è stata ipotizzata pari a 500 km. Va sottolineato che lo stoccaggio intermedio non genera impatti in quanto il materiale non richiede condizioni particolari di stoccaggio.
- Trasporto stradale con camion da 30 ton a partire dal sito di stoccaggio tedesco fino allo stabilimento di Veneta Mineraria S.p.A.. La distanza percorsa è stata stimata pari a 950 km.

Fase di carico della tramoggia

In questo caso, questa via produttiva utilizza come materia prima i soli minerali ferrosi e quindi non richiede un'operazione di premiscelazione. Quindi in questo caso la massa di minerali ferrosi viene caricata direttamente nella tramoggia per mezzo di una ruspa. La massa caricata è pari a quella premiscelata e cioè pari a 5,90 ton di alimentazione umida. Il consumo orario del processo di carico della tramoggia è stato stimato dall'azienda pari a 6 litri di diesel. Considerando la durata del test è stato quindi stimato il consumo di carburante per questa fase di processo. Nella seguente tabella sono riportate le banche dati utilizzate per la modellazione e i moduli richiamati.

Tabella 19 Banche dati e valori utilizzati per la modellazione del processo di “Carico della tramoggia”. NB: tra virgolette sono riportati i nomi dei moduli creati per la costruzione del modello e che a loro volta all’interno richiamano i relativi database.

Modulo “Carico tramoggia”	Banca dati	Unità di misura	Valore	Note
<i>Input</i>				
Massa miscelata	“Premiscelazione”	ton	5,90	Dato primario
Consumo diesel ruspa	“Diesel consumato per movimentazione ruspa premiscelazione”	kg	16,17	Dato stimato dall’azienda
<i>Output</i>				
Massa in uscita dalla tramoggia	“Preselezione con griglia”	ton	5,90	Dato primario

Anche in questo caso, per la modellazione dell’utilizzo della ruspa è stata utilizzata la banca dati Ecoinvent v2.2 “Diesel, burned in building machine/GLO S”.

Fase di preselezione con griglia

Il materiale caricato in tramoggia prima di essere trattato nel mulino bi-rullo viene preselezionato con una grigliatura meccanica che permette il passaggio del materiale con la granulometria desiderata, escludendo il materiale troppo grossolano. Durante il test con minerali ferrosi la massa anidra di materiale scartato è stata pari a 1,47 ton di alimentazione umida. Quindi la massa che effettivamente oltrepassa la griglia è pari a 4,43 ton. Nella seguente tabella sono riportate le banche dati utilizzate per la modellazione e i moduli richiamati.

Tabella 20 Banche dati e valori utilizzati per la modellazione del processo di “Preselezione con griglia”. NB: tra virgolette sono riportati i nomi dei moduli creati per la costruzione del modello e che a loro volta all’interno richiamano i relativi database.

Modulo “Preselezione con griglia”	Banca dati	Unità di misura	Valore	Note
<i>Input</i>				
Alimentazione della miscela alla griglia	“Carico tramoggia”	ton	5,90	Dato primario
<i>Output</i>				
Massa selezionata	“Macinazione ed essiccamento”	ton	4,43	Dato primario
Massa scartata	“Scarto da frantumare”	ton	1,47	Dato primario

La massa scartata è stoccata nei pressi dell’impianto di trattamento e una volta ogni 1/2 anni, quando l’area di stoccaggio è satura di materiale, viene frantumata, anche in questo caso, nell’impianto di frantumazione precedentemente descritto. La frantumazione permette il recupero del 100% del materiale scartato che verrà utilizzato in futuri cicli produttivi. In riferimento alla generazione del materiale di scarto sono stati considerati anche gli impatti relativi alla sua frantumazione considerando i consumi energetici originati da questo processo che sono stati stimati dall’azienda, anche in questo caso, pari a 40 kWh con una capacità di trattamento pari a 15 ton.

Nella seguente tabella sono riportate le banche dati e i moduli utilizzati per la modellazione del processo di frantumazione:

Tabella 21 Banche dati e valori utilizzati per la modellazione del processo di “Frantumazione”. NB: tra virgolette sono riportati i nomi dei moduli creati per la costruzione del modello e che a loro volta all’interno richiamano i relativi database.

Modulo “Frantumatore”	Banca dati	Unità di misura	Valore	Note
<i>Input</i>				
Massa da frantumare	“Scarto da frantumare”	ton	1,47	Dato primario
Energia frantumazione	Ecoinvent v2.2 Electricity, medium voltage, at grid/IT S	kWh	3,92	Dato stimato sulla base delle informazioni fornite dall’azienda
<i>Output</i>				
Massa frantumata	“Scarto frantumato “	ton	1,47	Dato primario

Fase di macinazione ed essiccamento

La miscela di materiale che oltrepassa la griglia di preselezione è convogliata nel mulino bi-rullo che costituisce l’unità principale del processo produttivo. Questa unità svolge simultaneamente la macinazione e l’essiccamento del materiale. Un flusso di aria calda, ad elevato potere essiccante, è convogliato dal basso verso l’alto, permettendo la risalita della particelle di materiale che oltrepassano il selettore posto in testa all’unità quando raggiungono la granulometria desiderata. L’energia per il riscaldamento dell’aria è fornita da una caldaia a metano, mentre il funzionamento del mulino bi-rullo comporta un consumo di energia elettrica. Nella seguente tabella sono riportate le banche dati e i moduli utilizzati per la modellazione del processo di macinazione:

Tabella 22 Banche dati e valori utilizzati per la modellazione del processo di “Macinazione ed essiccamento”. NB: tra virgolette sono riportati i nomi dei moduli creati per la costruzione del modello e che a loro volta all’interno richiamano i relativi database.

Modulo “Macinazione ed essiccamento”	Banca dati	Unità di misura	Valore	Note
<i>Input</i>				
Massa selezionata	“Preselezione con griglia”	ton	4,43	Dato primario
Energia elettrica mulino bi-rullo	Ecoinvent v2.2 Electricity, medium voltage, at grid/IT S	kWh	300	Dato primario
Consumo energetico di metano per riscaldamento il della portata di aria	Ecoinvent v2.2 Heat, natural gas, at boiler modulating > 100 kW/RER S	MJ	3294	Dato primario
Massa di aria	air	kg	86791	Dato primario
<i>Output</i>				
Prodotto	“Ferrox ES 95% - Minerali ferrosi”	ton	4,43	Dato primario
Massa di aria	Used air	kg	86791	Dato primario

Il consumo totale di gas metano registrato durante il test con ceneri di pirite è stato pari a 91,8 m³, che corrispondono a 3294 MJ considerando un potere calorifico pari al 35,88 MJ/Nm³.

Il prodotto è convogliato ai silos di stoccaggio per essere successivamente venduto come sfuso. . La portata volumetrica di aria pari a 22350 Nm³/h è invece convogliata all'unico camino industriale: per il test di produzione considerato in questo studio, è stata effettuata un'analisi a camino delle emissioni in atmosfera (RIF. RdP 67385/E) i cui risultati sono di seguito riportati:

Tabella 23 Risultati dell'analisi delle emissioni in atmosfera (RIF. RdP 67385/E).

Parametro qualitativo	Unità di misura	Valore
Polveri	mg/m ³	2,5
Ossidi di azoto	g/h	47,4
Cromo totale	g/h	0,108
Manganese	g/h	0,431
Totale sostanze inorganiche	g/h	0,539

FERROX ES 95% - Minerali ferrosi

Durante il test è stata ottenuta una massa di prodotto finito pari a 4,43 ton. In questo caso l'azienda non riscontra casi di prodotto non conforme.

Tabella 24 Banche dati e valori utilizzati per la modellazione della massa di prodotto ottenuto. NB: tra virgolette sono riportati i nomi dei moduli creati per la costruzione del modello e che a loro volta all'interno richiamano i relativi database.

Modulo "FERROX ES 95% - Minerali ferrosi"	Banca dati	Unità di misura	Valore	Note
Massa di prodotto	"Macinazione ed essiccamento"	ton	4,43	Dato primario

2.6 Principi e procedimenti di allocazione

L'allocazione consiste nella ripartizione dei flussi in ingresso e in uscita di un processo unitario o di un sistema di prodotto tra il sistema di prodotto allo studio e uno o diversi altri sistemi di prodotto (ISO 14040:2006). Si tratta di un'operazione necessaria quando un processo ha più di un output e viene realizzata dividendo l'impatto ambientale complessivo dei processi tra i diversi prodotti in output. In accordo con quanto previsto dalla norma ISO 14040:2006 l'allocazione dovrebbe essere evitata, attraverso una divisione o espansione dei confini del sistema; laddove non sia possibile evitare l'allocazione è preferibile adottare il principio di allocazione su base di massa rispetto a quello economico.

Nel presente studio di LCA è stata applicata l'allocazione su base massa in modo coerente con riferimento ai dati relativi ai processi di produzione delle ceneri di pirite, delle scaglie di laminazione e dell'ossido di ferro rosso.



3. Valutazione degli impatti

Nella fase di valutazione degli impatti, i risultati ottenuti nella precedente fase di analisi d'inventario vengono utilizzati come riferimento per valutare gli impatti potenziali che il prodotto studiato può generare nei confronti dell'ambiente.

Poiché l'obiettivo dello studio consiste in un'analisi comparativa tra le due diverse vie produttive per la produzione del prodotto FERROX ES95® (a partire da ceneri di pirite o da minerali ferrosi) al fine di stabilire, se possibile, a quale alternativa siano associati maggiori impatti dal punto di vista ambientale. I risultati della valutazione sono riportati, in termini di confronto, nel paragrafo successivo.

I cicli di vita delle due alternative vengono inoltre analizzati singolarmente, al fine di individuare le fasi maggiormente responsabili dei potenziali impatti sull'ambiente.

In conformità con i requisiti delle norme ISO 14040 e ISO14044, nel presente studio la fase di valutazione è limitata ai soli elementi obbligatori, cioè la definizione delle categorie di impatto, la classificazione e la caratterizzazione, utilizzando il metodo di valutazione "ReCiPe 2008 midpoint (H) Europe" le cui principali caratteristiche, in termini di categorie di impatto, indicatori di categoria e modelli di caratterizzazione sono riportate in Appendice A. In particolare le categorie di impatto considerate dal metodo di valutazione degli impatti utilizzato sono le seguenti:

Tabella 25 Elenco delle categorie di impatto considerate nel metodo di valutazione degli impatto ReCiPe 2008 (Goedkoop et al., 2013).

Categoria d'impatto	Unità di misura	Fattore di caratterizzazione
Climate change	kg CO ₂ eq	Global warming potential (GWP)
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	Ozone depletion potential (ODP)
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	Human toxicity potential (HTP)
Photochemical oxidant formation	kg NMVOC	Photochemical oxidant formation potential (POFP)
Particulate matter formation	kg PM ₁₀ eq	Particulate matter formation potential (PMFP)
Ionising radiation	kg U235 eq	Ionising radiation potential (IRP)
Terrestrial acidification	kg SO ₂ eq	Terrestrial acidification potential (TAP)
Freshwater eutrophication	kg P eq	Freshwater eutrophication potential (FEP)
Marine eutrophication	kg N eq	Marine eutrophication potential (MEP)
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	Terrestrial ecotoxicity potential (TETP)
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	Freshwater ecotoxicity potential (FETP)
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	Marine ecotoxicity potential (METP)
Agricultural land occupation	m ² anno	Agricultural land occupation potential (ALOP)
Urban land occupation	m ² anno	Urban land occupation potential (ALOP)
Natural land transformation	m ²	Urban land transformation potential (ULOP)
Water depletion	m ³	Water depletion potential (WDP)
Metal depletion	kg Fe eq	Mineral depletion potential (MDP)
Fossil depletion	kg oil eq	Fossil depletion potential (FDP)

La valutazione degli impatti viene effettuata secondo quanto segue:

1. in riferimento alla produzione del prodotto FERROX ES95® a partire da ceneri di pirite, scaglie di laminazione e ossido di ferro rosso (unità funzionale = produzione da parte di Veneta Mineraria S.p.A. di 1 ton di codice prodotto FERROX ES95®);
2. in riferimento alla produzione del prodotto FERROX ES95® a partire da minerali ferrosi (unità funzionale = produzione da parte di Veneta Mineraria S.p.A. di 1 ton di codice prodotto FERROX ES95®).

Occorre precisare, secondo quanto espresso dalle norme di riferimento per la conduzione degli studi di LCA (ISO 2006a,b), che i risultati della valutazione degli impatti sono espressioni relative permettono la valutazione di impatti ambientali potenziali.

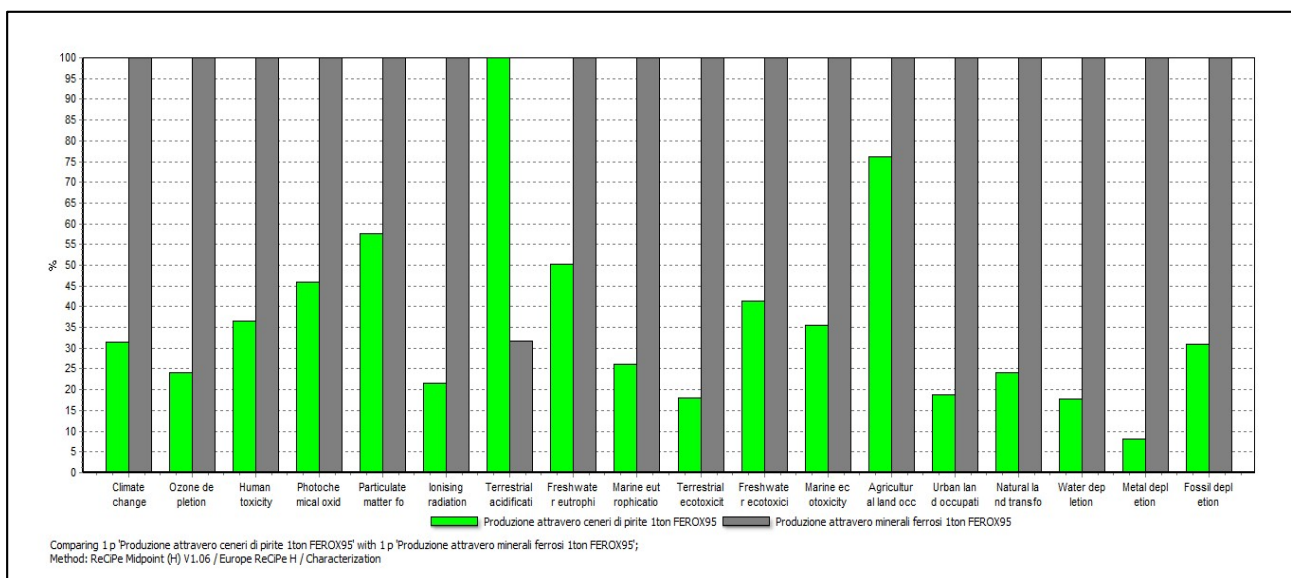
3.1 Confronto tra la via produttiva a partire dalle ceneri di pirite e la via produttiva che sfrutta minerali ferrosi

In questo paragrafo, sono confrontati i potenziali impatti ambientali generati dalle due alternative produttive per la produzione di 1ton di prodotto FERROX ES95®:

- Produzione di 1ton di prodotto FERROX ES95® a partire dalle ceneri di pirite, scaglie di laminazione e ossido di ferro rosso;
- Produzione di 1ton di prodotto FERROX ES95® a partire da minerali ferrosi.

Nel seguente grafico sono riportati i risultati comparativi della caratterizzazione per ciascuna categoria di impatto. La rappresentazione grafica è espressa in termini percentuali: viene assegnato il valore 100% all'alternativa che ha il maggior impatto ambientale in riferimento a ciascuna singola categoria di impatto, mentre la rimanente opzione viene quantificata in modo proporzionale.

Figura 7 Grafico comparativo di caratterizzazione, relativo alle due diverse vie produttive per la produzione di 1ton di FERROX ES95®.



Per consentire una comparazione più precisa, in tabella 26 sono riportati i risultati della caratterizzazione in termini assoluti per entrambe le vie produttive considerate nello studio. I risultati grafici e numerici sono riferiti alla produzione di 1ton di prodotto FERROX ES95®.

Tabella 26 Risultati della caratterizzazione per le delle due diverse alternative per la produzione di 1ton di FERROX ES95®.

Categoria d'impatto	Unità	Produzione di 1ton di FERROX ES95® a partire dalle ceneri di pirite	Produzione di 1ton di FERROX ES95® a partire da minerali ferrosi
Climate change	kg CO2 eq	2,00E+02	6,36E+02
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	2,21E-05	9,14E-05
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	3,03E+01	8,26E+01
Photochemical oxidant formation	kg NMVOC	1,76E+00	3,85E+00
Particulate matter formation	kg PM10 eq	2,55E+00	4,44E+00
Ionising radiation	kg U235 eq	1,53E+01	7,08E+01
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	1,08E+01	3,40E+00
Freshwater eutrophication	kg P eq	3,90E-02	7,76E-02
Marine eutrophication	kg N eq	3,75E-02	1,43E-01
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1,57E-02	8,78E-02
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	7,29E-01	1,76E+00
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	7,86E-01	2,21E+00
Agricultural land occupation	m2anno	1,85E+00	2,42E+00
Urban land occupation	m2anno	1,15E+00	6,12E+00
Natural land transformation	m2	5,38E-02	2,22E-01
Water depletion	m3	7,33E-01	4,13E+00
Metal depletion	kg Fe eq	8,51E+01	1,04E+03
Fossil depletion	kg oil eq	7,19E+01	2,31E+02

Di seguito vengono illustrati i risultati per ogni categoria di impatto, confrontando le due alternative produttive. Per ciascuna categoria di impatto sono stati evidenziati i principali processi responsabili dell'impatto.

Per la categoria di impatto **Climate change**, la via produttiva che sfrutta i minerali ferrosi (636 kg CO2 eq) presenta un impatto potenziale maggiore rispetto alla via produttiva che sfrutta le ceneri di pirite (200 kg CO2 eq). Il processo di trasporto in camion dei minerali ferrosi rappresenta la principale causa di questa differenza producendo un'emissione pari a 435 kg CO2 eq nel caso della via produttiva che sfrutta i minerali ferrosi, contro i 51,6 kg CO2 eq nel caso del trasporto dei materiali (ceneri di pirite, ossido rosso e scaglie di laminazione) utilizzati nella via produttiva che sfrutta le ceneri di pirite. Concorrono a determinare questa differenza, seppur in maniera molto minore, anche i consumi di metano ed energia elettrica che generano rispettivamente 52,8 kg CO2 eq e 39,9 kg CO2 eq nel caso della via produttiva che sfrutta i minerali ferrosi e 45 kg CO2 eq e 31,1 kg CO2 eq nel caso della via produttiva che sfrutta le ceneri di pirite. Un altro aspetto piuttosto importante è

relativo all'emissione generata dal trasporto marittimo che si realizza solo nel caso dei minerali ferrosi cui è attribuibile un impatto pari a 69,6 kg CO₂ eq.

Per la categoria di impatto **Ozone depletion** la via produttiva che sfrutta i minerali ferrosi (9,14E-05 kg CFC-11 eq) presenta un impatto potenziale maggiore rispetto alla via produttiva che sfrutta le ceneri di pirite (2,21E-05 kg CFC-11 eq). Questa differenza è essenzialmente dovuta al trasporto in camion dei materiali in ingresso al processo produttivo, che nel caso del processo basato su minerali ferrosi genera un impatto di 6,88E-05 kg CFC-11 eq, contro i 8,16E-06 kg CFC-11 eq generati dal trasporto dei materiali in ingresso al processo produttivo, nel caso del processo basato sulle ceneri di pirite. Un altro aspetto piuttosto importante è relativo all'impatto generato dal trasporto marittimo che si realizza solo nel caso dei minerali ferrosi e che genera un impatto di 7,95E-06 kg CFC-11 eq.

Per la categoria di impatto **Human toxicity** la via produttiva che sfrutta i minerali ferrosi (8,26E+01 kg 1,4-DB eq) presenta un impatto potenziale maggiore rispetto alla via produttiva che sfrutta le ceneri di pirite (3,03E+01 kg 1,4-DB eq). Questa differenza è essenzialmente dovuta al trasporto in camion dei materiali in ingresso al processo produttivo, che nel caso del processo produttivo basato su minerali ferrosi genera un impatto di 5,10E+01 kg 1,4-DB eq, contro i 6,05E+00 kg 1,4-DB eq generati al processo produttivo basato sulle ceneri di pirite. Altri due aspetti piuttosto importanti sono relativi al trasporto marittimo che si realizza solo nel caso dei minerali ferrosi e che genera un impatto pari a 9,88E+00 kg 1,4-DB eq e al processo di estrazione dei materiali che genera un impatto pari a 1,19E+01 kg 1,4-DB eq nel caso del processo produttivo che sfrutta i minerali ferrosi e pari a 9,07E-02 kg 1,4-DB eq nel caso del processo produttivo basato sulle ceneri di pirite, in quanto solo una parte degli impatti di estrazione dei minerali di pirite utilizzati per la produzione dell'acido solforico sono allocati al sottoprodotto di scarto ceneri di pirite.

Per la categoria di impatto **Photochemical oxidant formation** la via produttiva che sfrutta i minerali ferrosi (3,85E+00 kg NMVOC) presenta un impatto potenziale maggiore rispetto alla via produttiva che sfrutta le ceneri di pirite (1,76E+00 kg NMVOC). Questa differenza è essenzialmente dovuta al trasporto in camion dei materiali in ingresso al processo produttivo, che nel caso del processo basato su minerali ferrosi genera un impatto di 2,01E+00 kg NMVOC, contro i 2,38E-01 kg NMVOC generati dal processo produttivo basato sulle ceneri di pirite. Un altro aspetto importante è relativo all'emissione generata dal trasporto marittimo che si realizza solo nel caso dei minerali ferrosi e che genera un impatto pari a 1,08E+00 kg NMVOC. È importante sottolineare che il processo di roasting dei minerali di pirite, per via delle emissioni di gas SO₂ genera un impatto pari a 8,13E-01 kg NMVOC.

Per la categoria di impatto **Particulate matter formation** la via produttiva che sfrutta i minerali ferrosi ($4,44E+00$ kg PM10 eq) presenta un impatto potenziale maggiore rispetto alla via produttiva che sfrutta le ceneri di pirite ($2,55E+00$ kg PM10 eq). In questo caso, è il processo di estrazione dei minerali ferrosi ad essere discriminante. Infatti ad esso è attribuibile un impatto pari a $3,29$ kg PM10 eq, che risulta molto superiore a quello attribuibile all'estrazione dei minerali di pirite nel caso del processo produttivo basato sulle ceneri di pirite, cui corrisponde un impatto pari a $1,56E-01$ kg PM10 eq. Anche i trasporti su strada e quelli marittimi concorrono a generare la differenza riscontrata: nel caso dei minerali ferrosi, l'impatto è rispettivamente pari a $5,79E-01$ kg PM10 eq e $4,42E-01$ kg PM10 eq, mentre nel caso delle ceneri di pirite l'impatto dovuto ai trasporti su strada è pari a $6,87E-02$ kg PM10 eq. È importante sottolineare che il processo di roasting dei minerali di pirite, per via delle emissioni di gas SO_2 genera un impatto pari a $2,01E+00$ kg PM10 eq.

Per la categoria di impatto **Ionising radiation** la via produttiva che sfrutta i minerali ferrosi ($7,08E+01$ kg U235 eq) presenta un impatto potenziale maggiore rispetto alla via produttiva che sfrutta le ceneri di pirite ($1,53E+01$ kg U235 eq). Il trasporto stradale genera un impatto pari a $4,11E+01$ kg U235 eq nel caso del processo basato sui minerali ferrosi e pari a $4,89E+00$ kg U235 eq nel caso del processo che sfrutta le ceneri di pirite. Anche il trasporto navale, che è necessario per il trasporto dei minerali ferrosi, genera un impatto consistente pari a $9,22E+00$ kg U235 eq. Infine il processo di estrazione mineraria genera degli impatti più consistenti nel caso dei minerali ferrosi ($1,22E+01$ kg U235 eq) rispetto alla via produttiva basata sulle ceneri di pirite ($8,20E-02$ kg U235 eq).

Per la categoria di impatto **Terrestrial acidification** la via produttiva che sfrutta le ceneri di pirite ($1,08E+01$ kg SO_2 eq) presenta un impatto potenziale maggiore rispetto alla via produttiva che sfrutta i minerali ferrosi ($3,40E+00$ kg SO_2 eq). In questo caso, la differenza di impatti è imputabile alle emissioni di gas SO_2 che si generano durante il processo di roasting dei minerali di pirite. Questo processo genera un impatto pari a $1,00E+01$ kg SO_2 eq.

Per la categoria di impatto **Freshwater eutrophication** la via produttiva che sfrutta i minerali ferrosi ($7,76E+02$ kg P eq) presenta un impatto potenziale maggiore rispetto alla via produttiva che sfrutta le ceneri di pirite ($3,90E-02$ kg P eq). In questa categoria i processi più impattanti sono il trasporto stradale con $3,88E-02$ kg P eq, nel caso dei minerali ferrosi e $4,60E-03$ kg P eq, nel caso delle ceneri di pirite, il processo estrattivo con $1,54E-02$ kg P eq nel caso dei minerali ferrosi e $1,12E-04$ kg P eq nel caso delle ceneri di pirite, ed infine il trasporto marittimo con un'emissione pari a $1,22E-02$ kg P eq sono nel caso del processo produttivo basato sui minerali ferrosi.

Per la categoria di impatto **Marine eutrophication** la via produttiva che sfrutta i minerali ferrosi ($1,43E-01$ kg N eq) presenta un impatto potenziale maggiore rispetto alla via produttiva che sfrutta

le ceneri di pirite ($3,75E-02$ kg N eq). Anche in questo caso, i maggiori impatti si riscontrano nel caso dei trasporti. Il trasporto su strada genera un impatto pari a $6,83E-02$ kg N eq nel caso del processo basato sui minerali ferrosi contro gli $8,11E-03$ kg N eq nel caso del processo produttivo che sfrutta le ceneri di pirite. Il trasporto navale, esclusivo per i minerali ferrosi, concorre alla generazione di buona parte degli impatti con un impatto pari a $4,01E-02$ kg N eq.

Per la categoria di impatto **Terrestrial ecotoxicity** la via produttiva che sfrutta i minerali ferrosi ($8,78E-02$ kg 1,4-DB eq) presenta un impatto potenziale maggiore rispetto alla via produttiva che sfrutta le ceneri di pirite ($1,57E-02$ kg 1,4-DB eq). In questo caso, è essenzialmente il trasporto stradale a generare la differenza di impatto con un'emissione pari a $7,45E-02$ kg 1,4-DB eq nel caso dei minerali ferrosi e di $8,84E-03$ kg 1,4-DB eq nel caso delle ceneri di pirite.

Per la categoria di impatto **Freshwater ecotoxicity**, la via produttiva che sfrutta i minerali ferrosi ($1,76E+00$ kg 1,4-DB eq) presenta un impatto potenziale maggiore rispetto alla via produttiva che sfrutta le ceneri di pirite ($7,29E-01$ kg 1,4-DB eq). Anche in questo caso, è essenzialmente il trasporto stradale a generare la differenza di impatto con un'emissione pari a $1,09E+00$ kg 1,4-DB eq nel caso dei minerali ferrosi e di $1,30E-01$ kg 1,4-DB eq nel caso delle ceneri di pirite.

Per la categoria di impatto **Marine ecotoxicity** la via produttiva che sfrutta i minerali ferrosi ($2,21E+00$ kg 1,4-DB eq) presenta un impatto potenziale maggiore rispetto alla via produttiva che sfrutta le ceneri di pirite ($7,86E-01$ kg 1,4-DB eq). Il trasporto stradale, genera le principali differenze in termini di impatti con un'emissione pari a $1,33E+00$ kg 1,4-DB eq nel caso dei minerali ferrosi e di $1,58E-01$ kg 1,4-DB eq nel caso delle ceneri di pirite. Un impatto consistente, nel caso del processo produttivo basato sui minerali ferrosi, è dovuto anche al trasporto navale ($3,95E-01$ kg 1,4-DB eq) che non è previsto nel caso delle ceneri di pirite.

Per la categoria di impatto **Agricultural land occupation** la via produttiva che sfrutta i minerali ferrosi ($2,42E+00$ m²a) presenta un impatto potenziale maggiore rispetto alla via produttiva che sfrutta le ceneri di pirite ($1,84E-01$ m²a). La differenza di impatto è essenzialmente dovuta al trasporto su strada che genera un impatto pari a $1,66E+00$ m²a nel caso dei minerali ferrosi e di $1,97E-01$ m²a nel caso delle ceneri di pirite. Si può notare come in questa categoria di impatto vi sia più equilibrio in termini di differenza di impatto e ciò è dovuto agli impatti associati alle scaglie di laminazione ($1,12E+00$ m²a) utilizzate nella via produttiva che sfrutta le ceneri di pirite.

Per la categoria di impatto **Urban land occupation**, la via produttiva che sfrutta i minerali ferrosi ($6,11E+00$ m²a) presenta un impatto potenziale maggiore rispetto alla via produttiva che sfrutta le ceneri di pirite ($1,15E+00$ kg 1,4-DB eq). In questo caso, è essenzialmente il trasporto stradale a

generare la differenza di impatto con un impatto pari a $5,30E+00$ m²a nel caso dei minerali ferrosi e di $6,29E-01$ m²a nel caso delle ceneri di pirite.

Per la categoria di impatto **Natural land transformation**, la via produttiva che sfrutta i minerali ferrosi ($2,22E-01$ m²) presenta un impatto potenziale maggiore rispetto alla via produttiva che sfrutta le ceneri di pirite ($5,38E-02$ m²). Anche in questo caso, è essenzialmente il trasporto stradale a generare la differenza di impatto con un'emissione pari a $1,57E-01$ m² nel caso dei minerali ferrosi e di $1,86E-02$ m² nel caso delle ceneri di pirite.

Per la categoria di impatto **Water depletion**, la via produttiva che sfrutta i minerali ferrosi ($4,13E+00$ m³) presenta un impatto potenziale maggiore rispetto alla via produttiva che sfrutta le ceneri di pirite ($7,33E-01$ m³). Il processo di estrazione mineraria è il processo che genera il maggiore consumo di acqua con un impatto pari a $2,16E+00$ m³ nel caso dei minerali ferrosi e di $1,57E-03$ m³ nel caso delle ceneri di pirite. Un impatto rilevante lo ha anche il trasporto su strada che genera un impatto di $1,62E+00$ m³ nel caso della produzione basata sui minerali ferrosi e di $1,93E-01$ m³ nel caso della produzione basata sulle ceneri di pirite.

Per la categoria di impatto **Metal depletion**, la via produttiva che sfrutta i minerali ferrosi ($1,04E+03$ kg Fe eq) presenta un impatto potenziale maggiore rispetto alla via produttiva che sfrutta le ceneri di pirite ($8,51E+01$ kg Fe eq). In questo caso, è essenzialmente il processo minerario estrattivo a generare la differenza di impatto con un impatto pari a $1,02E+03$ kg Fe eq nel caso dei minerali ferrosi e di $4,84E+01$ kg Fe eq nel caso delle ceneri di pirite.

Infine, per la categoria di impatto **Fossil depletion**, la via produttiva che sfrutta i minerali ferrosi ($2,31E+02$ kg oil eq) presenta un impatto potenziale maggiore rispetto alla via produttiva che sfrutta le ceneri di pirite ($7,18E+01$ kg oil eq). In questo caso, è essenzialmente il trasporto stradale a generare la differenza di impatto con un impatto pari a $1,61E+02$ kg oil eq nel caso dei minerali ferrosi e di $1,91E+01$ kg oil eq nel caso delle ceneri di pirite.

3.2 Analisi comparativa: approfondimenti

Nel precedente paragrafo, sono stati comparati i seguenti cicli di vita:

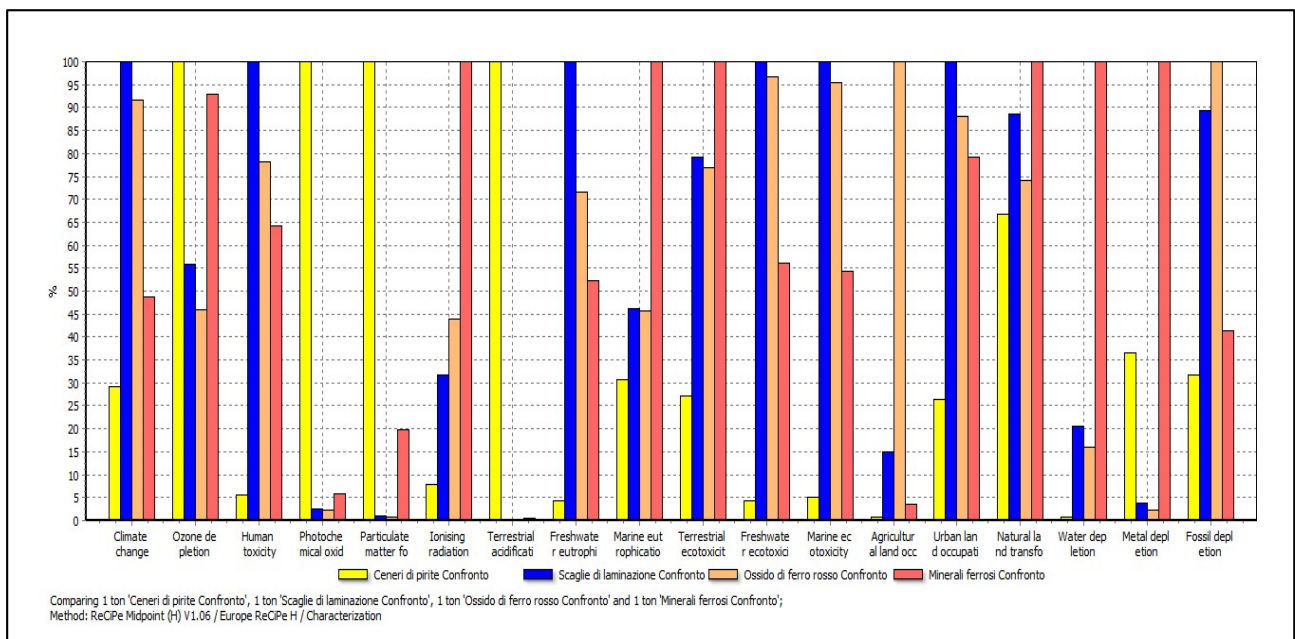
- Ciclo di vita relativo alla produzione di 1ton di prodotto FERROX ES95® a partire dalle ceneri di pirite, scaglie di laminazione e ossido di ferro rosso;
- Ciclo di vita relativo alla produzione di 1ton di prodotto FERROX ES95® a partire da minerali ferrosi.

Si ritiene utile di seguito approfondire alcuni aspetti specifici dell'analisi, al fine di fornire informazioni più dettagliate riguardo le principali peculiarità delle due diverse alternative produttive, con riferimento ai seguenti aspetti:

- impatti ambientali associati ai differenti materiali utilizzati per il processo industriale di produzione;
- impatti del processo produttivo relativi ai consumi specifici di energia (elettrica e metano) ed emissioni in atmosfera convogliate;
- impatti generati dai materiali in ingresso con riferimento alla resa del processo produttivo (% di scarto).

Considerando, i materiali in ingresso al processo produttivo, che costituiscono il principale elemento di distinzione fra le due alternative produttive, è interessante valutare i potenziali impatti associati all'utilizzo di 1ton di ciascun materiale, in modo da valutare le differenze a livello di impatti ambientali. Nei seguenti grafici sono riportati in termini relativi gli impatti delle 4 materiali utilizzati, i primi tre, ceneri di pirite, scaglie di laminazione e ossido di ferro rosso, nel caso del processo basato sulle ceneri di pirite, ed invece, i minerali ferrosi, nel caso del processo basato sui minerali. Il primo grafico (figura 8) esclude il contributo dei trasporti, che viene invece compreso negli impatti rappresentati nel secondo grafico (figura 9).

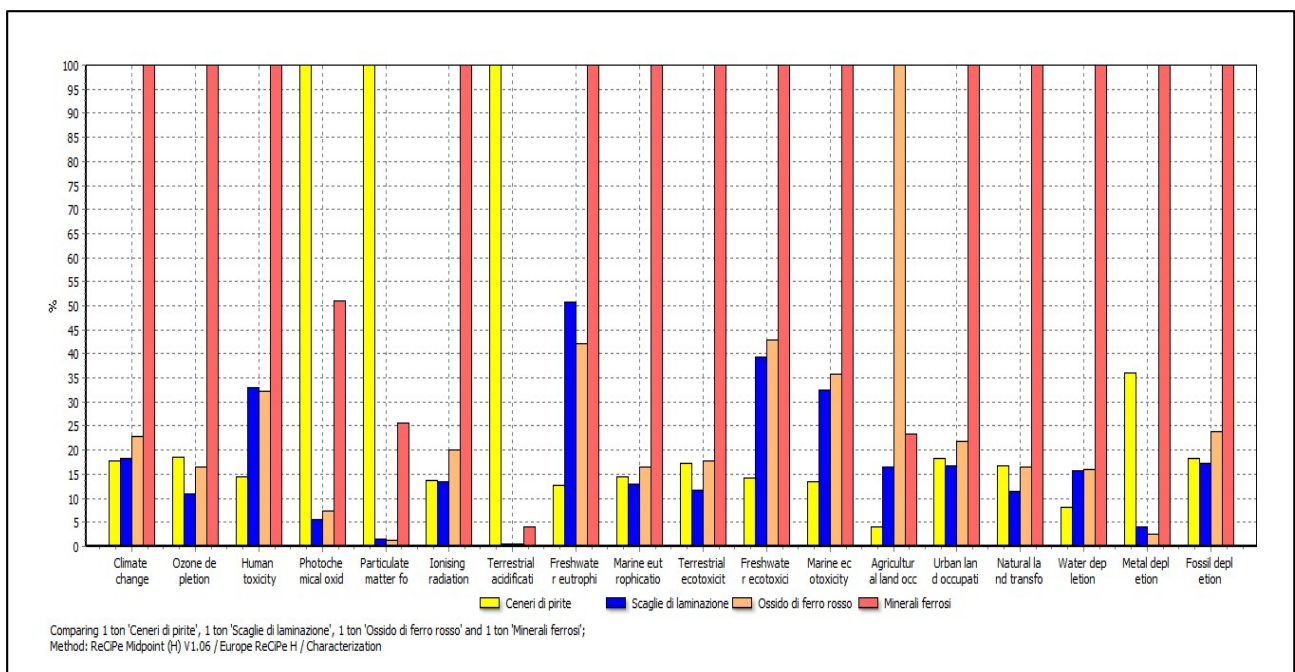
Figura 8 Confronto dei potenziali impatti ambientali relativi alla produzione dei materiali in ingresso al processo produttivo, escludendo il loro trasporto. Unità scelta per il confronto: 1ton di materiale in ingresso al processo.



Il precedente grafico mostra come, in generale, i materiali utilizzati per il processo produttivo basato sulle ceneri di pirite presentato un impatto minore o equivalente in buona parte delle categorie di

impatto, in quanto, essendo materiali di scarto di altri processi industriali sono responsabili di solo una parte degli impatti ambientali potenziali generati dai processi che concorrono alla loro produzione. Le ceneri di pirite presentano elevati impatti sulle categorie “Photochemical oxidant formation”, “Particulate matter formation” e “Terrestrial acidification” per via delle emissioni di gas SO₂ generate dal processo di roasting. Le scaglie di laminazione e l’ossido di ferro rosso, mostrano impatti rilevanti sulle categorie “Climate change”, “Human toxicity”, “Freshwater ecotoxicity” e “Marine ecotoxicity” in conseguenza degli impatti generati dal processo di produzione dell’acciaio.

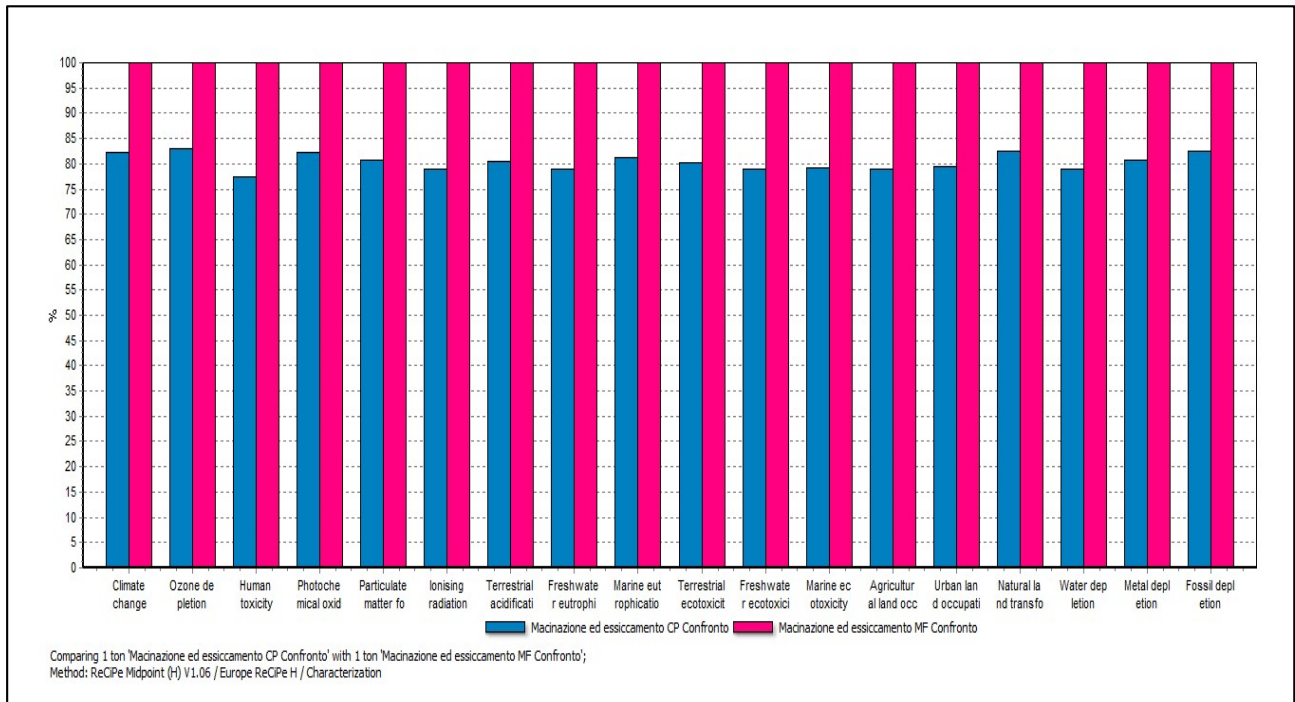
Figura 9 Confronto dei potenziali impatti ambientali derivanti dall’utilizzo dei differenti materiali in ingresso al processo produttivo, includendo il loro trasporto. Unità scelta per il confronto: 1ton di materiale in ingresso al processo.



In questo caso, confrontando i materiali in ingresso al processo produttivo e includendo anche gli impatti relativi ai trasporti, si nota come i minerali ferrosi presentano un impatto molto maggiore per via degli ingenti trasporti a partire dal giacimento canadese per giungere fino allo stabilimento di produzione. Le ceneri di pirite, mantengono impatti rilevanti sulle categorie “Photochemical oxidant formation”, “Particulate matter formation” e “Terrestrial acidification” per via delle emissioni di gas SO₂ generate dal processo di roasting.

Considerando invece il processo produttivo operato da Veneta Mineraria S.p.A. e focalizzandosi sui consumi di energia elettrica e di metano e sulle emissioni in atmosfera convogliate, è possibile confrontare gli impatti ambientali potenziali generati da questi aspetti nel caso dei due differenti processi produttivi. In questo caso, l’unità di riferimento è pari ad 1ton di FERROX ES95® prodotto presso lo stabilimento di Veneta Mineraria S.p.A.

Figura 10 Confronto dei potenziali impatti ambientali a livello di processo produttivo, derivanti dai consumi di energia (elettrica e metano) e dalle emissioni in atmosfera convogliate. Unità scelta per il confronto: 1ton di prodotto FERROX ES95®.



Come è possibile notare dal grafico, il processo produttivo basato sui minerali ferrosi genera maggiori impatti ambientali nella fase di produzione a causa di maggiori consumi di energia elettrica (circa il 27,5% in più), maggiori consumi di metano (circa il 17,5%) e maggiori emissioni in atmosfera convogliate (vedi analisi).

Infine, per quanto riguarda gli scarti, dai bilanci di materia effettuati sul processo di preselezione del materiale in ingresso, si evince come i minerali ferrosi generino una maggior massa di scarto a parità di massa di FERROX ES95® prodotta. Infatti, per la produzione di 1 ton di prodotto, nel caso dei minerali ferrosi è necessaria una maggiore massa di materiale in ingresso rispetto al processo produttivo basato sulle ceneri di pirite. La percentuale di scarto nel caso del processo basato sui minerali ferrosi è pari al 24,9%, mentre nel caso del processo basato sulle ceneri di pirite è pari a 9,0%. I seguenti due grafici mostrano, in termini di impatto, la ripartizione degli impatti per la produzione di 1ton di prodotto FERROX ES95® e il corrispondente scarto frantumato che si genera. Come è possibile notare, nel caso dei minerali ferrosi, crescendo la percentuale di scarto, cresce il rispettivo contributo in termini di impatti relativi.

Figura 11 Confronto dei potenziali impatti ambientali a livello di incidenza dello scarto sui materiali in ingresso al processo, nel caso del processo produttivo basato sulle ceneri di pirite. Unità scelta per il confronto: 1ton di prodotto FERROX ES95®.

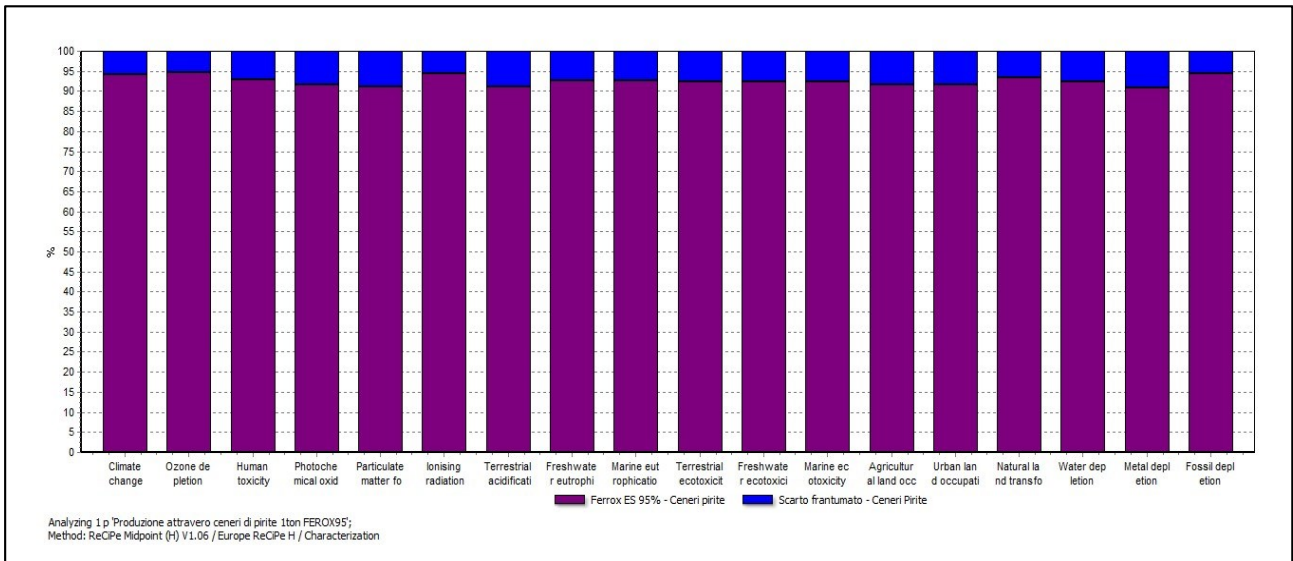
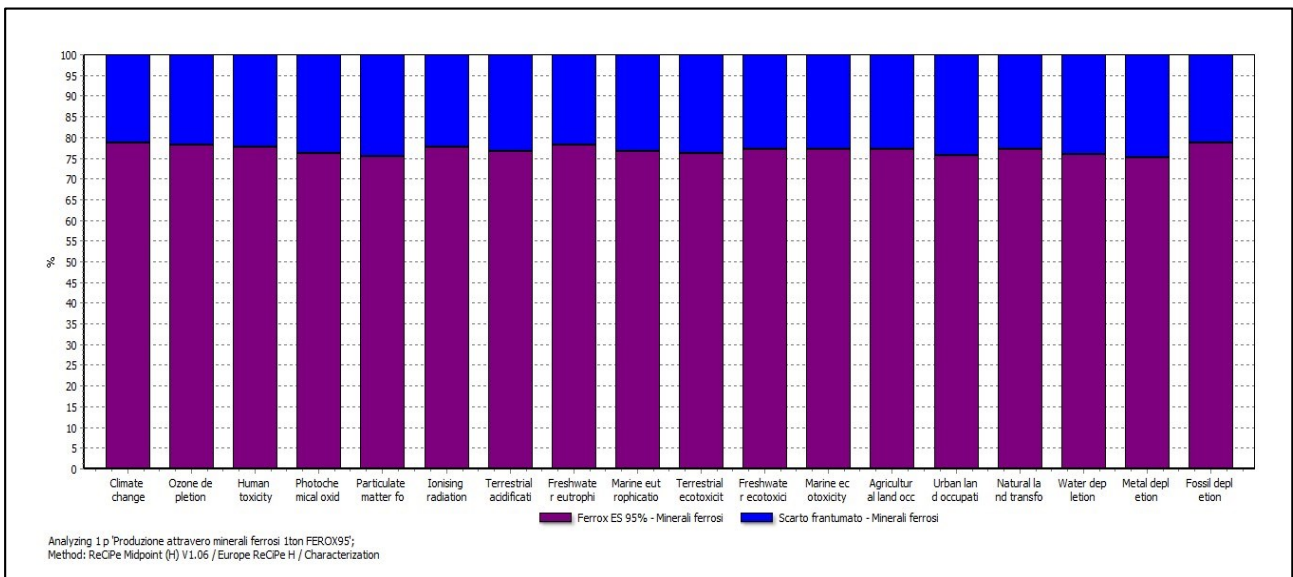


Figura 12 Confronto dei potenziali impatti ambientali a livello di incidenza dello scarto sui materiali in ingresso al processo, nel caso del processo produttivo basato su minerali ferrosi. Unità scelta per il confronto: 1ton di prodotto FERROX ES95®.



3.3 Ferrox95® prodotto sfruttando le ceneri di pirite: analisi per gruppi

In questo paragrafo, vengono riportati i risultati della valutazione degli impatti del ciclo di vita con approccio “from cradle to gate” del prodotto FERROX ES95® ottenuto utilizzando le ceneri di pirite. In particolare, la figura 13 e la tabella 27 riportano l’analisi per gruppi dei risultati della caratterizzazione degli impatti, permettendo di individuare il contributo dei diversi “gruppi” sul totale dell’impatto ambientale complessivo per ciascuna categoria di impatto. I risultati presentati fanno sempre riferimento all’unità funzionale, assunta pari a 1ton di prodotto FERROX ES95®. I gruppi sono stati definiti in modo da evidenziare le principali attività o processi:

- **Materiali:** comprende gli impatti relativi ai processi di produzione dei materiali utilizzati;
- **Trasporti materiali:** comprende gli impatti relativi alle attività di trasporto dei materiali utilizzati per la produzione, fino allo stabilimento di Veneta Mineraria S.p.A.;
- **Metano:** comprende gli impatti relativi ai processi per la produzione del metano e per la combustione presso lo stabilimento di Veneta Mineraria S.p.A.;
- **Energia elettrica:** comprende gli impatti relativi ai processi per la produzione e il trasporto dell’energia elettrica fino all’utilizzo per il processo produttivo presso lo stabilimento di Veneta Mineraria S.p.A.;
- **Frantumazione scarto:** comprende gli impatti derivanti dai consumi di materia ed energia conseguenti alla non conformità di parte della materia prima che necessita di un trattamento di frantumazione per poter essere processata in futuri cicli produttivi;
- **Rifiuti:** comprende gli impatti relativi al trattamento dei rifiuti generati dal processo di produzione attuato da Veneta Mineraria S.p.A.;
- **Emissioni in atmosfera:** comprende gli impatti relativi alle emissioni in atmosfera generate dal processo di produzione attuato da Veneta Mineraria S.p.A.;
- **Diesel movimentazione ruspa:** comprende gli impatti derivanti dalla movimentazione della ruspa utilizzata per le operazioni di miscelamento e carico della tramoggia.

L’unione dei gruppi identificati rappresenta la totalità degli impatti del sistema analizzato.

Figura 13 Grafico di caratterizzazione, relativo alla produzione di 1ton di FERROX95 a partire da ceneri di pirite.

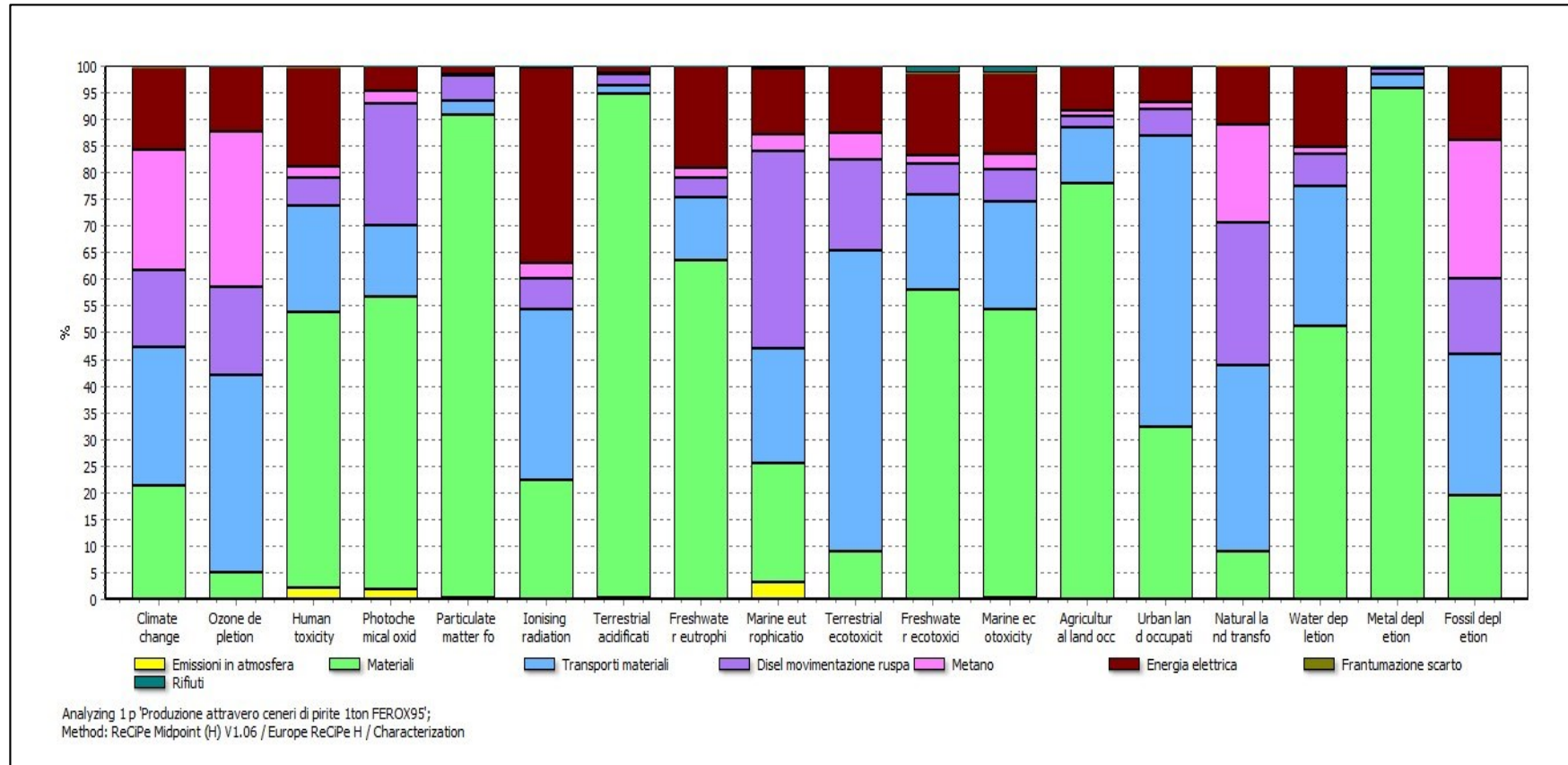




Tabella 27 Valori assoluti della caratterizzazione relativa alla produzione di 1ton di FERROX 95® a partire da ceneri di pirite.

Categoria d'impatto	Unità	Materiali	Trasporti materiali	Metano	Energia elettrica	Frantumazione scarto	Disel movimentazione ruspa	Rifiuti	Emissioni in atmosfera	Totale
Climate change	kg CO2 eq	4,26E+01	5,16E+01	4,50E+01	3,09E+01	1,83E-01	2,93E+01	2,91E-01	0,00E+00	2,00E+02
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	1,12E-06	8,16E-06	6,45E-06	2,72E-06	1,61E-08	3,65E-06	4,59E-10	0,00E+00	2,21E-05
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	1,56E+01	6,05E+00	6,39E-01	5,60E+00	3,32E-02	1,61E+00	6,84E-02	6,43E-01	3,03E+01
Photochemical oxidant formation	kg NMVOC	9,68E-01	2,38E-01	4,21E-02	8,07E-02	4,78E-04	4,05E-01	6,50E-05	3,06E-02	1,76E+00
Particulate matter formation	kg PM10 eq	2,31E+00	6,87E-02	1,01E-02	3,90E-02	2,31E-04	1,20E-01	1,45E-05	6,74E-03	2,55E+00
Ionising radiation	kg U235 eq	3,42E+00	4,89E+00	4,52E-01	5,62E+00	3,33E-02	8,46E-01	4,56E-04	0,00E+00	1,53E+01
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	1,02E+01	1,55E-01	3,13E-02	1,35E-01	8,00E-04	2,37E-01	3,44E-05	1,72E-02	1,08E+01
Freshwater eutrophication	kg P eq	2,48E-02	4,60E-03	6,72E-04	7,46E-03	4,42E-05	1,44E-03	5,45E-07	0,00E+00	3,90E-02
Marine eutrophication	kg N eq	8,33E-03	8,11E-03	1,17E-03	4,67E-03	2,76E-05	1,39E-02	1,27E-04	1,20E-03	3,75E-02
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1,41E-03	8,85E-03	7,83E-04	1,98E-03	1,17E-05	2,69E-03	1,47E-06	4,60E-06	1,57E-02
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	4,23E-01	1,30E-01	1,18E-02	1,12E-01	6,64E-04	4,11E-02	9,69E-03	9,81E-06	7,29E-01
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	4,26E-01	1,58E-01	2,22E-02	1,20E-01	7,13E-04	4,82E-02	9,51E-03	1,31E-03	7,86E-01
Agricultural land occupation	m2a	1,44E+00	1,98E-01	1,57E-02	1,56E-01	9,26E-04	3,83E-02	4,45E-05	0,00E+00	1,85E+00
Urban land occupation	m2a	3,71E-01	6,29E-01	1,75E-02	7,67E-02	4,54E-04	5,57E-02	3,82E-04	0,00E+00	1,15E+00
Natural land transformation	m2	4,85E-03	1,87E-02	9,93E-03	5,86E-03	3,47E-05	1,45E-02	-4,07E-06	0,00E+00	5,38E-02
Water depletion	m3	3,74E-01	1,93E-01	1,04E-02	1,11E-01	6,55E-04	4,43E-02	1,45E-04	0,00E+00	7,33E-01
Metal depletion	kg Fe eq	8,15E+01	2,42E+00	1,62E-01	2,92E-01	1,73E-03	7,86E-01	2,31E-04	0,00E+00	8,51E+01
Fossil depletion	kg oil eq	1,39E+01	1,91E+01	1,86E+01	1,00E+01	5,92E-02	1,03E+01	1,16E-03	0,00E+00	7,19E+01

I risultati mostrano come i processi di produzione dei materiali e i trasporti siano gli aspetti che generano i maggiori impatti sulla totalità delle categorie di impatto. I materiali in ingresso al processo produttivo presentano contributi d'impatto rilevanti sulle categorie: "Human toxicity", "Photochemical oxidant formation", "Particulate matter formation", "Terrestrial acidification", "Freshwater eutrophication", "Freshwater ecotoxicity", "Marine ecotoxicity", "Agricultural land occupation", "Water depletion" e "Metal depletion". I consumi di metano ed energia elettrica, dovuti al processo produttivo condotto da Veneta Mineraria S.p.A., generano impatti rilevanti per le categorie: "Climate change", "Ozone depletion", "Ionising radiation" e "fossil depletion". I consumi di gasolio della ruspa e le relative emissioni, generano impatti principalmente sulle categorie: "Photochemical oxidation" e "Marine eutrophication". Ai fini di analizzare con una maggiore accuratezza i contributi in termini di impatti relativi dei diversi materiali in ingresso al processo produttivo, di seguito vengono riportati i risultati disaggregati in riferimento al solo gruppo "Materiali".

Tabella 28 Risultati della caratterizzazione relativi alla produzione dei materiali in ingresso al processo produttivo, utilizzati per la produzione 1ton di FERROX 95® a partire da ceneri di pirite.

Categoria d'impatto	Unità	Produzione materiali input al processo produttivo (%)	Produzione Ceneri di pirite (%)	Produzione Scaglie di laminazione (%)	Produzione Ossido di ferro rosso (%)
Climate change	kg CO2 eq	100	13,02	83,37	3,62
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	100	20,40	74,71	4,89
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	100	6,27	91,58	2,16
Photochemical oxidant formation	kg NMVOC	100	72,92	25,85	1,23
Particulate matter formation	kg PM10 eq	100	91,48	8,34	0,18
Ionising radiation	kg U235 eq	100	13,36	82,06	4,58
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	100	97,50	2,40	0,10
Freshwater eutrophication	kg P eq	100	3,74	94,91	1,36
Marine eutrophication	kg N eq	100	14,67	81,83	3,50
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	100	18,12	76,96	4,92
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	100	5,21	92,24	2,55
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	100	5,98	91,38	2,65
Agricultural land occupation	m2a	100	2,95	77,78	19,27
Urban land occupation	m2a	100	14,17	81,94	3,89
Natural land transformation	m2	100	18,20	77,27	4,53
Water depletion	m3	100	7,24	90,34	2,41
Metal depletion	kg Fe eq	100	58,35	41,48	0,16
Fossil depletion	kg oil eq	100	13,87	82,05	4,08

La tabella 28 mostra come le scaglie di laminazione siano responsabili dei maggiori impatti (in riferimento agli impatti generati dai materiali in ingresso al processo produttivo) in quasi la totalità

delle categorie di impatto, mentre le ceneri di pirite presentano impatti rilevanti solo su quattro categorie di impatto (“Photochemical oxidant formation”, “Particulate matter formation”, “Terrestrial acidification” e “Metal depletion”) per via dei processi di estrazione della pirite necessaria per la produzione dell’anidride solforosa e a causa delle emissioni di anidride solforosa generate dal processo di roasting. In virtù della maggior massa di scaglie di laminazione (82,3%) alimentata al processo, rispetto al 13,3% delle ceneri di pirite e al 4,4% dell’ossido rosso, le scaglie di laminazione presentano la maggior influenza anche sugli impatti relativi al trasporto stradale dei materiali in ingresso: infatti circa il 74,3% degli impatti derivanti dal trasporto stradale dei materiali sono imputabili alle scaglie di laminazione mentre alle ceneri di pirite e all’ossido rosso sono imputabili rispettivamente il 20,2% e il 5,44%.

3.2 Ferrox95® prodotto sfruttando minerali ferrosi da estrazione mineraria: analisi per gruppi

In questo paragrafo, vengono riportati i risultati della valutazione degli impatti del ciclo di vita con approccio “from cradle to gate” del prodotto FERROX ES95® ottenuto utilizzando i minerali ferrosi. In particolare, la figura 14 e la tabella 29 riportano l’analisi per gruppi dei risultati della caratterizzazione degli impatti, permettendo di individuare, anche in questo caso, il contributo dei diversi “gruppi” sul totale dell’impatto ambientale complessivo per ciascuna categoria di impatto. I risultati presentati fanno sempre riferimento all’unità funzionale, assunta pari a 1ton di prodotto FERROX ES95®. I gruppi sono stati definiti nel medesimo modo presentato nel paragrafo precedente per permettere la confrontabilità dei risultati.

Figura 14 Grafico di caratterizzazione, relativo alla produzione di 1ton di FERROX95 a partire da minerali ferrosi.

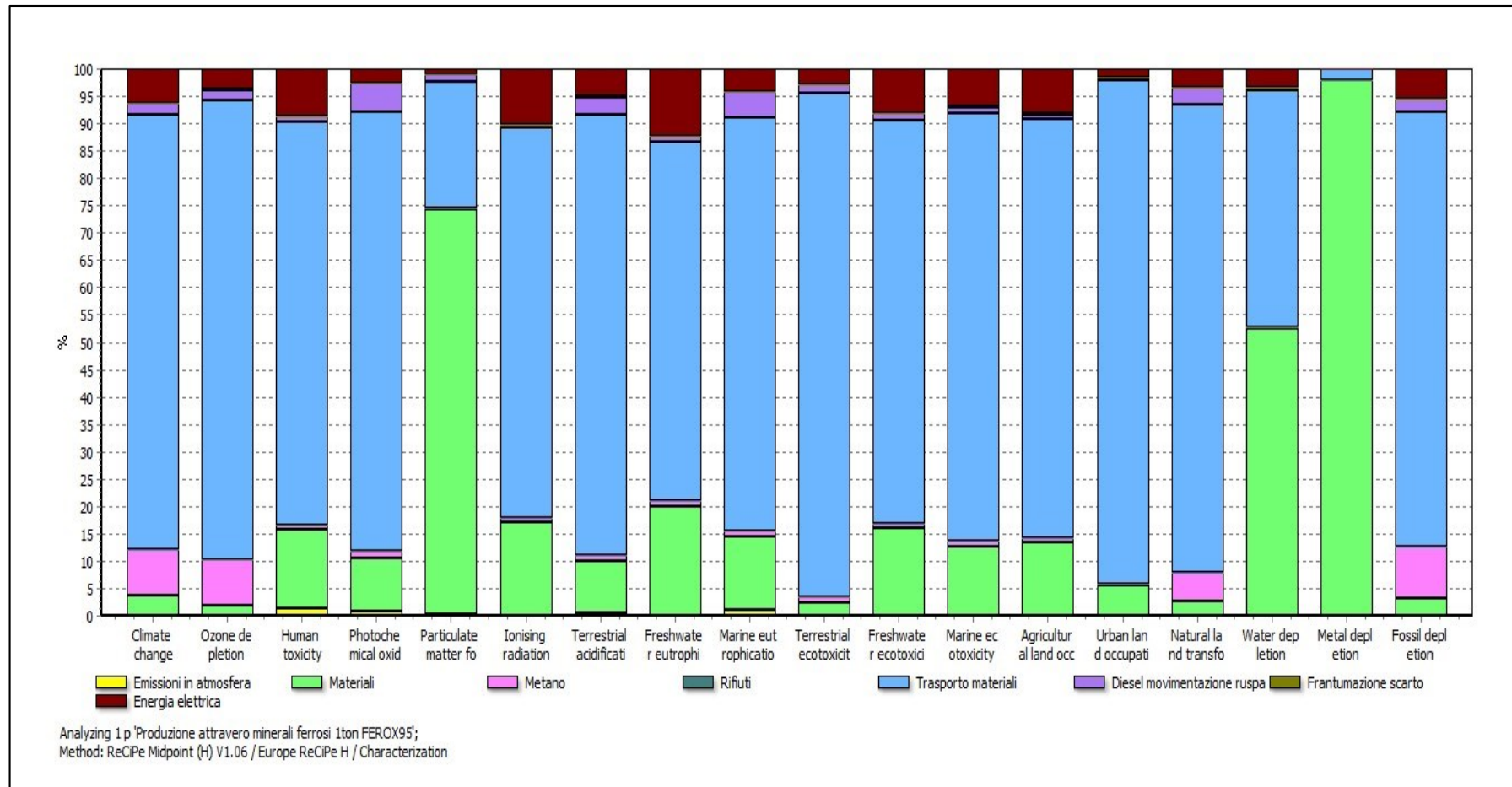




Tabella 29 Valori assoluti della caratterizzazione relativa alla produzione di 1ton di FERROX ES95® a partire da minerali ferrosi.

Categoria d'impatto	Unità	Materiali	Trasporti materiali	Metano	Energia elettrica	Frantumazione scarto	Disel movimentazione ruspa	Rifiuti	Emissioni in atmosfera	Totale
Climate change	kg CO2 eq	2,37E+01	5,05E+02	5,28E+01	3,94E+01	5,15E-01	1,43E+01	0,00E+00	0,00E+00	6,36E+02
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	1,74E-06	7,68E-05	7,58E-06	3,47E-06	4,53E-08	1,78E-06	0,00E+00	0,00E+00	9,14E-05
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	1,19E+01	6,09E+01	7,50E-01	7,14E+00	9,33E-02	7,84E-01	0,00E+00	9,93E-01	8,26E+01
Photochemical oxidant formation	kg NMVOC	3,71E-01	3,09E+00	4,94E-02	1,03E-01	1,34E-03	1,97E-01	0,00E+00	3,39E-02	3,85E+00
Particulate matter formation	kg PM10 eq	3,29E+00	1,02E+00	1,19E-02	4,97E-02	6,49E-04	5,83E-02	0,00E+00	7,46E-03	4,44E+00
Ionising radiation	kg U235 eq	1,22E+01	5,04E+01	5,31E-01	7,17E+00	9,36E-02	4,12E-01	0,00E+00	0,00E+00	7,08E+01
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	3,24E-01	2,73E+00	3,68E-02	1,72E-01	2,25E-03	1,16E-01	0,00E+00	1,90E-02	3,40E+00
Freshwater eutrophication	kg P eq	1,54E-02	5,10E-02	7,89E-04	9,51E-03	1,24E-04	7,03E-04	0,00E+00	0,00E+00	7,76E-02
Marine eutrophication	kg N eq	1,95E-02	1,08E-01	1,37E-03	5,95E-03	7,78E-05	6,77E-03	0,00E+00	1,32E-03	1,43E-01
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	2,01E-03	8,10E-02	9,20E-04	2,52E-03	3,29E-05	1,31E-03	0,00E+00	5,34E-06	8,78E-02
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	2,83E-01	1,30E+00	1,39E-02	1,43E-01	1,87E-03	2,00E-02	0,00E+00	1,49E-05	1,76E+00
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	2,75E-01	1,73E+00	2,61E-02	1,53E-01	2,00E-03	2,35E-02	0,00E+00	1,94E-03	2,21E+00
Agricultural land occupation	m2a	3,24E-01	1,86E+00	1,84E-02	1,99E-01	2,60E-03	1,87E-02	0,00E+00	0,00E+00	2,42E+00
Urban land occupation	m2a	3,36E-01	5,63E+00	2,05E-02	9,77E-02	1,28E-03	2,72E-02	0,00E+00	0,00E+00	6,12E+00
Natural land transformation	m2	5,84E-03	1,90E-01	1,17E-02	7,47E-03	9,76E-05	7,05E-03	0,00E+00	0,00E+00	2,22E-01
Water depletion	m3	2,16E+00	1,79E+00	1,23E-02	1,41E-01	1,84E-03	2,16E-02	0,00E+00	0,00E+00	4,13E+00
Metal depletion	kg Fe eq	1,02E+03	2,15E+01	1,90E-01	3,72E-01	4,86E-03	3,83E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,04E+03
Fossil depletion	kg oil eq	7,18E+00	1,84E+02	2,18E+01	1,28E+01	1,67E-01	5,01E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,31E+02

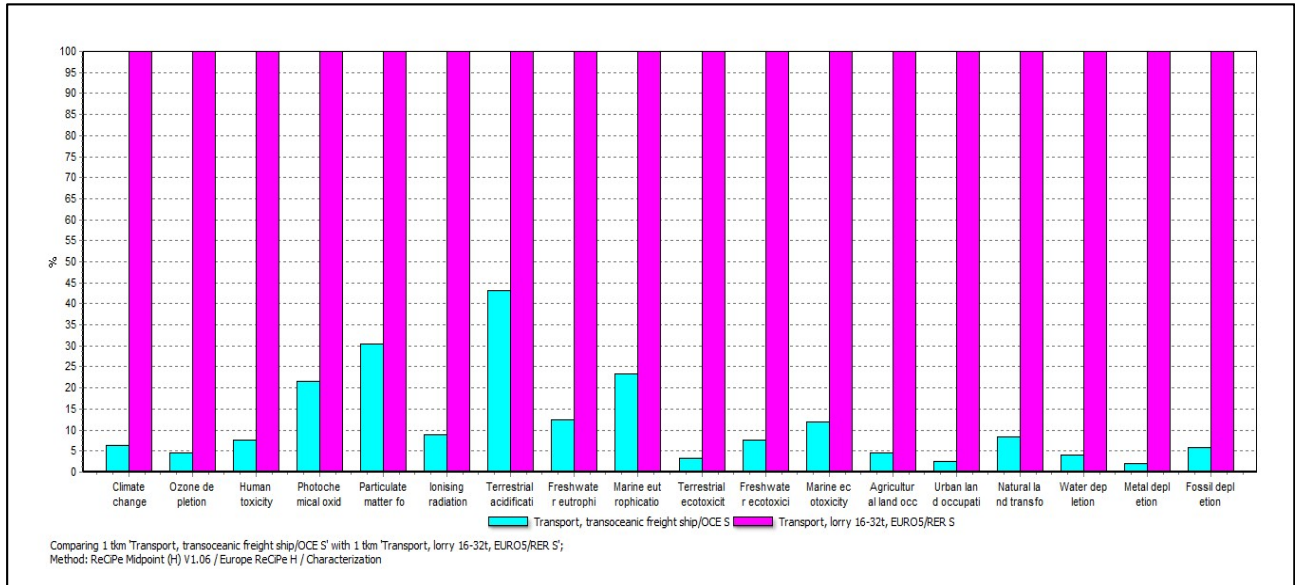
I risultati mostrano come i trasporti su strada e il trasporto navale dei minerali ferrosi rappresentino i processi maggiormente impattanti per quasi la totalità delle categorie di impatto. Il processo di estrazione mineraria dei minerali ferrosi genera impatti rilevanti sulle categorie di impatto: “Particulate matter formation”, “Water depletion” e “Metal depletion”. L’influenza relativa degli impatti dovuti al trasporto stradale e navale rispetto agli impatti totali di trasporto è stata approfondita utilizzando i risultati di seguito presentati .

Tabella 30 Risultati della caratterizzazione relativi ai processi di trasporto dei minerali ferrosi utilizzati per la produzione 1ton di FERROX ES95®.

Categoria d'impatto	Unità	Trasporto materiali input al processo produttivo (%)	Trasporto Camion (%)	Trasporto Nave (%)
Climate change	kg CO2 eq	100	86,15	13,85
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	100	89,65	10,35
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	100	83,78	16,22
Photochemical oxidant formation	kg NMVOC	100	64,98	35,02
Particulate matter formation	kg PM10 eq	100	56,71	43,29
Ionising radiation	kg U235 eq	100	81,70	18,30
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	100	47,95	52,05
Freshwater eutrophication	kg P eq	100	76,09	23,91
Marine eutrophication	kg N eq	100	63,05	36,95
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	100	92,10	7,90
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	100	83,96	16,04
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	100	77,09	22,91
Agricultural land occupation	m2a	100	89,60	10,40
Urban land occupation	m2a	100	94,09	5,91
Natural land transformation	m2	100	82,76	17,24
Water depletion	m3	100	90,75	9,25
Metal depletion	kg Fe eq	100	95,13	4,87
Fossil depletion	kg oil eq	100	87,11	12,89

La tabella 30 mostra, come gli impatti derivanti dai trasporti su strada siano quasi sempre molto più rilevanti di quelli derivanti dal trasporto navale dei minerali ferrosi. Questa valutazione non vale però per le categorie “Terrestrial acidification” e “Particulate matter formation”. Questo risultato può essere contestualizzato anche confrontando, a parità di massa trasportata e distanza (1ton*km), le banche dati utilizzate per modellare il trasporto stradale e navale:

Figura 15 Confronto degli impatti generati dal trasporto stradale e dal trasporto navale per unità funzionale pari a 1 ton*km.



Come si può vedere, a parità di massa trasportata e distanza, il trasporto navale risulta molto meno impattante di quello su strada.

4. Interpretazione del ciclo di vita

Sulla base dei requisiti delle norme di riferimento (ISO 2006a, b), la fase di interpretazione del ciclo di vita consiste nell'analisi dei risultati relativi all'analisi di inventario (LCI) e alla valutazione degli impatti (LCIA), comprendendo diversi elementi:

- identificazione dei fattori significativi;
- valutazione;
- conclusioni, limitazioni, raccomandazioni.

Come precedentemente evidenziato, l'obiettivo dello studio consiste nella valutazione e comparazione dei potenziali impatti ambientali associati alla produzione di 1ton del codice prodotto FERROX ES95®, che costituisce un prodotto a base di ossidi di ferro con titolo minimo del 95%, secondo due diverse vie produttive: la prima si basa sull'utilizzo delle ceneri di pirite esauste derivanti dalla produzione dell'acido solforico attraverso il processo industriale di roasting, la seconda, invece, prevede l'utilizzo dei minerali ferrosi direttamente estratti da miniera. La conduzione dell'analisi di ciclo di vita è stata svolta secondo un approccio "from cradle to gate", in quanto le due vie produttive danno origine al medesimo prodotto che può essere utilizzato per i medesimi scopi e quindi, generare, nelle successive fasi del ciclo di vita post-produttive, i medesimi impatti ambientali. Lo studio ha l'obiettivo di individuare la via produttiva a minore impatto ambientale e di consentire l'identificazione delle operazioni e delle attività a maggior impatto ambientale per ciascun sistema studiato. Lo scopo è quello di poter supportare, con dati effettivi relativi ai diversi prodotti le strategie dell'azienda in relazione alla sostenibilità ambientale.

Nella fase di interpretazione del ciclo di vita i risultati dello studio sono interpretati in modo da valutare la loro significatività, tenendo presente che quando si confrontano diverse alternative è importante definire quando una differenza, in termini di impatti ambientali, è significativa. Nella conduzione del presente studio di LCA sono state fatte stime ed assunzioni che introducono un certo grado di incertezza nei risultati finali. I principali elementi di incertezza associati ai risultati del presente studio sono riconducibili ai seguenti aspetti:

1. non è stato possibile avere informazioni relative al punto di estrazione preciso del minerale ferroso;
2. per quanto riguarda la fase di produzione, lo studio è stato condotto utilizzando dati primari misurati attraverso due test produttivi specifici: non essendo state effettuate prove con materiali differenti in ingresso (e.g. minerali ferrosi di un diverso fornitore), i parametri e risultati a livello di processo devono essere considerati "caso-specifici";
3. l'alternativa produttiva basata sull'utilizzo delle ceneri di pirite, delle scaglie di laminazione e dell'ossido di ferro rosso, che sono 3 materiali di scarto di altri processi industriali, è stata valutata applicando il principio di allocazione su base massa, con fattori calcolati sulla base

di informazioni presenti nella letteratura scientifica internazionale. Questo approccio è robusto, in quanto previsto dalle norme di riferimento (ISO, 2006a,b), e basato su dati scientifici consolidati.

4. ipotesi e approssimazioni intrinseche nelle banche dati utilizzate (e.g. limitatezza delle informazioni e dei dati per la modellazione degli specifici processi);
5. errore umano (e.g. misurazione dei dati primari).

Nell'interpretare i risultati di uno studio di LCA comparativo è necessario tenere in considerazione la presenza di tali tipologie di incertezza e comprenderne gli effetti.

Sulla base di analisi riportate in letteratura (Environmental Resources Management, 2007) si può assumere un margine di incertezza del 5% per i dati misurati, del 10% per quelli calcolati e del 25% per quelli stimati. Nel presente studio la maggior parte dei dati sono stati misurati e in minor misura stimati, pertanto si può assumere che intervallo di incertezza pari al 15%. Sulla base di questa assunzione si considera che una differenza in termini di impatto ambientale sia significativa se superiore al 15%; nel caso in cui tale differenza sia inferiore al 15% i sistemi di prodotto possono essere considerati equivalenti per quanto riguarda l'impatto ambientale.

Come richiesto dalle norme di riferimento (ISO, 2006a,b) occorre precisare che, in relazione all'obiettivo dello studio, l'unità funzionale scelta (la produzione di 1ton di codice prodotto FERROX ES95®) si è rivelata appropriata al sistema studiato, dal momento che ha consentito di effettuare valutazioni e confronti fra le due differenti vie per la produzione industriale.

I criteri definiti per la valutazione della qualità dei dati (si veda il paragrafo 1.3) sono stati rispettati in maniera coerente per entrambi i sistemi considerati.

Alla luce di queste considerazioni vengono di seguito presentati i diversi elementi della fase di interpretazione.

4.1 Identificazione dei fattori significativi

In riferimento all'obiettivo e campo di applicazione dello studio e tenendo conto del livello di incertezza ritenuto accettabile, si evince che i fattori significativi che emergono dalla valutazione degli impatti del ciclo di vita per le due alternative produttive riguardano il trasporto dei materiali in ingresso al processo produttivo e le caratteristiche dei materiali in ingresso che influenzano la resa del processo.

Per quanto riguarda la valutazione degli impatti ambientali, dal confronto fra le due diverse alternative, emerge che per tutte le categorie di impatto considerate le differenze tra le due vie produttive risultano superiori al 15%.

Il principio di allocazione è stato applicato solo ai processi per i quali non è stato possibile evitarlo, quali: processi di produzione delle ceneri di pirite, scaglie di laminazione e ossido di ferro rosso. In

tutti i casi l'applicazione è stata fatta su base massa e utilizzando dati secondari reperiti nella letteratura scientifica di settore.

In relazione alle scelte metodologiche va evidenziato che i confini dei due sistemi sono analoghi, le fasi considerate sono le stesse e le valutazioni relative ai modelli di calcolo sono coerenti con l'obiettivo e il campo di applicazione.

4.2 Valutazione

Vengono di seguito sintetizzati gli elementi e i risultati della fase di valutazione:

- ◆ **Controllo di completezza:** le informazioni e i dati disponibili pertinenti all'interpretazione sono stati considerati. Tuttavia non è stato possibile includere alcune informazioni non reperibili relative a processi ausiliari al processo produttivo di roasting quali: lavaggi della corrente gassosa di anidride solforosa e generazione di rifiuti. Le informazioni relative al punto di estrazione dei minerali ferrosi, per motivi di segretezza, non sono state comunicate dal fornitore: è stato quindi necessario ipotizzare il punto di estrazione compatibilmente con le informazioni disponibili nella letteratura scientifica.
- ◆ **Controllo di sensibilità:** deve essere indagato mediante analisi di sensibilità. A tal fine sono state condotte 5 analisi di sensibilità di seguito presentate.
- ◆ **Controllo di coerenza:** consente di stabilire se ci sia un'equivalenza tra la qualità dei dati relativi ai due processi industriali analizzati. I dati relativi alle due alternative produttive fanno riferimento all'azienda coinvolta nello studio per quanto riguarda il processo produttivo, mentre per quello che concerne i processi di produzione dei materiali in ingresso sono stati utilizzati dati secondari derivanti da database e letteratura scientifica. Le regole di allocazione e gli elementi della valutazione dell'impatto risultano applicati in modo coerente. Nel caso delle scaglie di laminazione e dell'ossido di ferro rosso l'allocazione è stata effettuata considerando l'intero processo di produzione dell'acciaio e i flussi in input e output, in quanto, a livello di database, non è stato possibile dividere gli input e output in funzione di prodotti e sottoprodotti. Invece, nel caso delle ceneri di pirite, non essendo disponibile un database specifico, è stato necessario studiare nello specifico il processo di produzione dell'acido solforico applicando il principio di allocazione ai processi coinvolti nella generazione delle ceneri di pirite.

Nei paragrafi successivi vengono riportati i risultati delle analisi di sensibilità ed incertezza.

Analisi di sensibilità

L'analisi di sensibilità permette di valutare il peso delle scelte metodologiche la robustezza dei risultati andando ad analizzare gli aspetti più critici che possono generare variabilità analizzando i risultati in funzione della variazione di alcuni parametri e confrontando i risultati con il "caso base" inizialmente scelto.

Nello specifico per consolidare i risultati e le conclusioni dello studio di LCA sono state svolte le seguenti analisi di sensibilità:

1. Trasporto dei minerali ferrosi. Non essendo disponibile, per motivi di strategia di marketing del fornitore, la località precisa di estrazione dei minerali ferrosi, nello studio è stato ipotizzato sia il porto di partenza che il punto di estrazione, assumendo una distanza fra i due di 500 km. Come porto è stato scelto quello della città di Québec ed il punto di estrazione è stato assunto a 500 km, cautelativamente, considerata la vastità della regione del Québec. Si sottolinea che è stata scelta la regione canadese del Québec perché è nota per la presenza di giacimenti di minerali ferrosi. Considerato che il trasporto dei minerali ferrosi è un aspetto fortemente discriminativo in termini comparativi, si vuole analizzare, la variazione dei risultati riducendo al minimo il trasporto del materiale, soprattutto in relazione al trasporto su gomma che, come precedentemente presentato, incide molto di più del trasporto in nave. Nel caso alternativo, si assume che il minerale sia estratto nel raggio di 100km dal porto di Québec e che il minerale giunga fino in Italia, presso il porto di Livorno, con trasporto navale, per poi essere trasportato di nuovo con camion fino allo stabilimento di Veneta Mineraria. Così facendo si riduce fortemente il trasporto su gomma del minerale, eliminando anche il trasporto da Rotterdam ai magazzini tedeschi del fornitore e quello dai magazzini del fornitore allo stabilimento di Veneta Mineraria S.p.A..
2. Localizzazione del giacimento dei minerali ferrosi. Per quanto riguarda i materiali in ingresso utilizzati per il test, gli stessi sono stati estratti in Canada, ma come noto, esistono importanti siti estrattivi anche in Europa. In questa analisi di sensibilità si considerano i giacimenti minerari della Lapponia svedese (Kiruna) che è uno dei più grandi al mondo, e il giacimento francese della Lorena, anch'esso molto rilevante.
3. Scarto generato nel processo produttivo. Nell'ipotesi studiata,, viene considerato lo scarto generato dal processo produttivo sulla base di quanto misurato durante il test. Nel caso alternativo viene invece considerata una materia prima costituita da minerali ferrosi più fini, che in fase produttiva generano il 50% in meno di scarto da inviare a frantumazione.
4. Applicazione del metodo di valutazione degli impatti IMPACT 2002+. La valutazione degli impatti è stata effettuata facendo riferimento al metodo di valutazione degli impatti "ReCiPe 2008 Midpoint (H) V1.06/Europe ReCiPe H". È stata effettuata una specifica analisi di

sensibilità al fine di verificare se la scelta del metodo di valutazione degli impatti ha conseguenze significative per i risultati.

5. Determinazione del trade-off. In quest'ultima analisi di sensibilità si vuole indagare quale sia la condizione nella quale si realizza l'equivalenza degli impatti ambientali fra le due alternative produttive. Questa valutazione viene effettuata, considerando un possibile reperimento delle ceneri di pirite in siti di stoccaggio europei e il mezzo trasporto più impattante, e cioè quello con camion.

Analisi di sensibilità 1: Trasporto dei minerali ferrosi

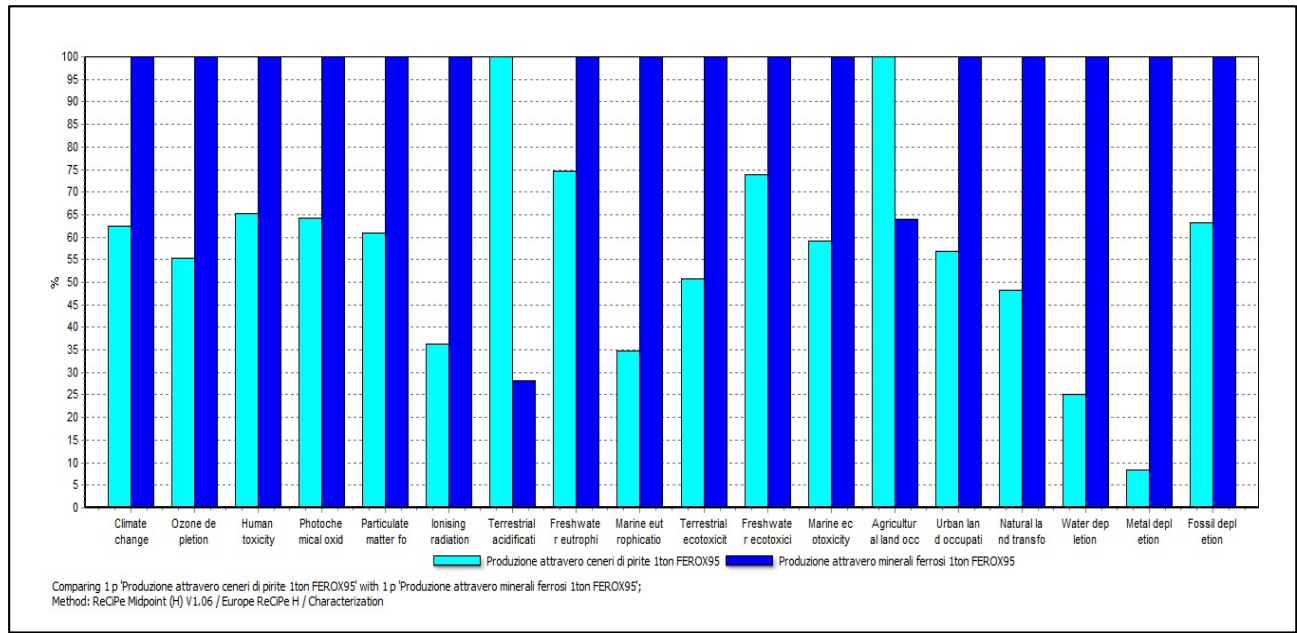
Attraverso questa analisi di sensibilità si sono confrontati i risultati minimizzando il trasporto su gomma del minerale ferroso e comparando i due seguenti cicli di vita:

1. Ciclo di vita per la produzione di una 1ton di FERROX ES95® secondo il processo industriale che sfrutta le ceneri di pirite, le scaglie di laminazione e l'ossido di ferro rosso, invariato;
2. Ciclo di vita per la produzione di una 1ton di FERROX ES95® secondo il processo industriale che sfrutta i minerali ferrosi considerando il "caso alternativo" che prevede la minimizzazione del trasporto su gomma.

Va considerato che il trasporto dei minerali ferrosi nel caso base prevedeva: 500 km per il trasporto dal punto di estrazione al porto di Québec, 4900 km di trasporto navale dal porto di Québec al porto di Rotterdam, 500 km di trasporto camion dal porto di Rotterdam ai magazzini tedeschi del fornitore, ed infine, 950 km di trasporto camion dai magazzini tedeschi del fornitore allo stabilimento di Veneta Mineraria. Nel caso alternativo invece sono stati considerati: 100 km per il trasporto dal punto di estrazione al porto di Québec, 7230 km di trasporto navale dal porto di Québec al porto di Livorno, 287 km di trasporto camion dal porto di Livorno allo stabilimento di Veneta Mineraria. Il trasporto su gomma si riduce quindi da 1950 km a 387 km.

Nella seguente figura sono presentati i risultati della caratterizzazione, relativi al confronto fra i due cicli di vita sopra menzionati.

Figura 16 Analisi di sensibilità 1 a livello di ipotesi sui trasporti dei minerali ferrosi estratti dal giacimento canadese. Confronto tra il ciclo di vita del processo basato sulle ceneri di pirite e il processo basato sui minerali ferrosi considerando il caso alternativo (minimizzazione del trasporto su gomma).



Questa analisi di sensibilità conferma i risultati dello studio; infatti, pur minimizzando il trasporto su gomma dei minerali ferrosi, il processo produttivo basato sulle ceneri di pirite risulta generare minori impatti ambientali potenziali in quasi la totalità delle categorie di impatto. Va tuttavia notato, come nel caso della categoria di impatto "Agricultural land occupation" si verifica un'inversione dei risultati. I maggiori impatti del processo produttivo basato sulle ceneri di pirite sono legati al processo di produzione dell'acciaio che origina le scaglie di laminazione e l'ossido di ferro rosso.

Analisi di sensibilità 2: Localizzazione del giacimento dei minerali ferrosi

Con questa analisi di sensibilità si sono confrontati i risultati ipotizzando che i minerali ferrosi siano estratti in giacimenti europei e non in quello canadese. Sono stati quindi comparati i due seguenti cicli di vita:

1. Ciclo di vita per la produzione di una 1ton di FERROX ES95® secondo il processo industriale che sfrutta le ceneri di pirite, la scaglia di laminazione e l'ossido di ferro rosso, invariato;
2. Ciclo di vita per la produzione di una 1ton di FERROX ES95® secondo il processo industriale che sfrutta i minerali ferrosi considerando il "caso alternativo" che prevede l'estrazione dei minerali ferrosi da due differenti giacimenti: quello della Lapponia svedese (Kiruna) e quello francese della Lorena.

In entrambi i casi è stata considerata una via di trasporto combinata che contempla: trasporto in treno e trasporto in camion, che rende questa via alternativa a minor impatto rispetto al caso del trasporto solo su gomma.

Nel caso del giacimento svedese di Kiruna sono stati ipotizzati seguenti trasporti sulla base della distribuzione della rete ferroviaria svedese:

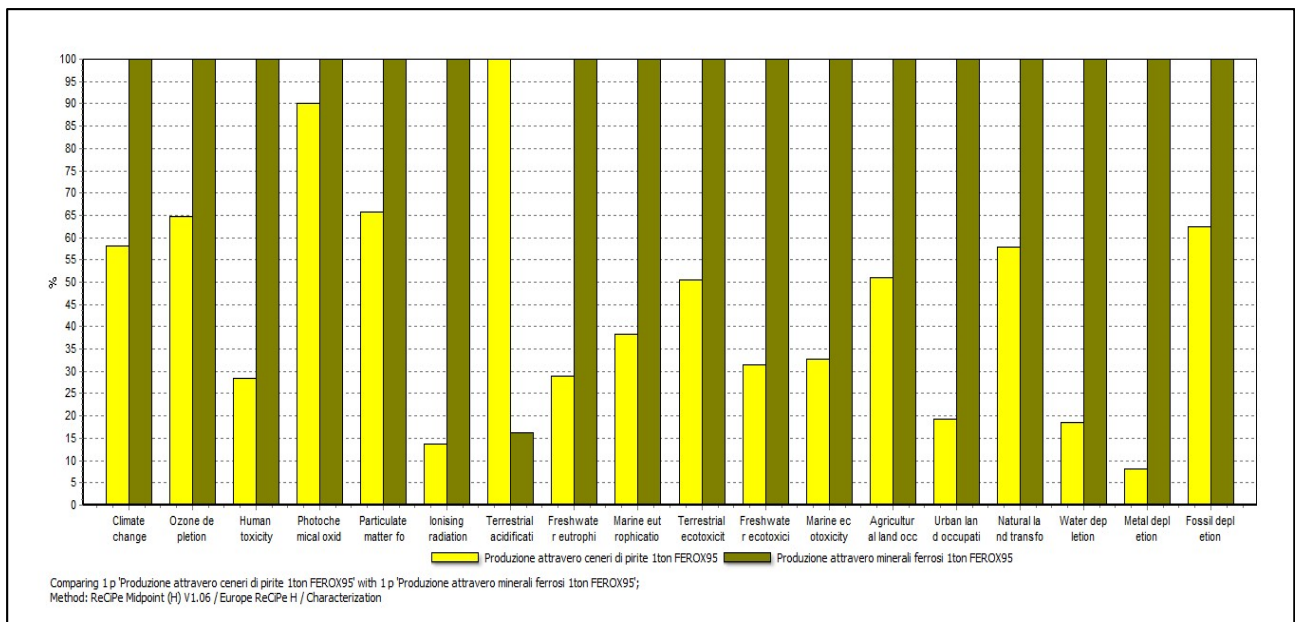
- Trasporto in camion da Kiruna alla stazione di Gällivare per 120 km;
- Trasporto in treno fino a Malmö per 1820 km;
- Trasporto marittimo fino al porto tedesco di Travemunde per 262 km;
- Trasporto in treno fino alla stazione di Verona per 1283 km;
- Trasporto in camion fino allo stabilimento di Veneta Mineraria S.p.A. per 89 km.

Nel caso del giacimento francese della Lorena sono stati ipotizzati i seguenti trasporti:

- Trasporto in camion dal sito di estrazione francese della Lorena (località Mosella) alla stazione di Metz per 50 km;
- Trasporto in treno fino alla stazione di Verona per 870 km;
- Trasporto in camion fino allo stabilimento di Veneta Mineraria S.p.A. per 89 km.

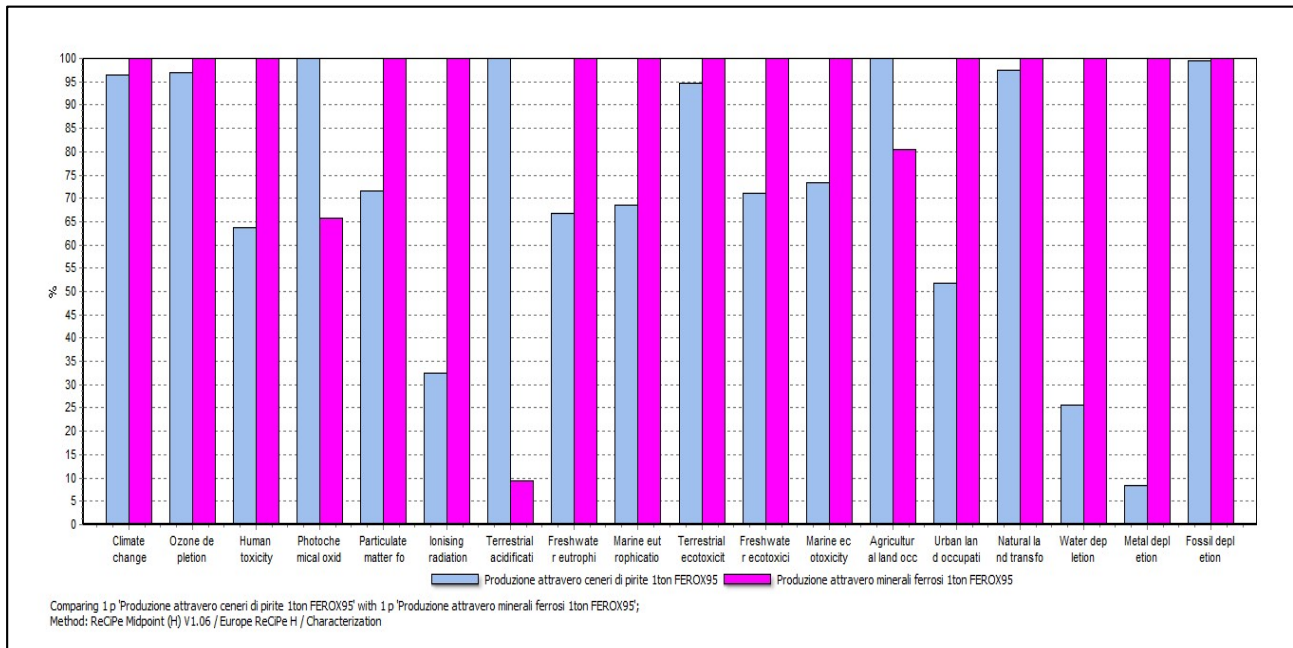
Nella seguente figura sono riportati i risultati comparativi della caratterizzazione nel caso del giacimento svedese di Kiruna.

Figura 17 Analisi di sensibilità 2 a livello di ipotesi sul giacimento di estrazione considerando il giacimento svedese di Kiruna. Confronto tra il ciclo di vita del processo basato sulle ceneri di pirite e il processo basato sui minerali ferrosi considerando il caso alternativo (giacimento svedese di Kiruna).



Nella seguente figura, invece, sono riportati i risultati comparativi della caratterizzazione nel caso del giacimento francese della Lorena.

Figura 18 Analisi di sensibilità 2 a livello di ipotesi sul giacimento di estrazione considerando il giacimento francese della Lorena. Confronto tra il ciclo di vita del processo basato sulle ceneri di pirite e il processo basato sui minerali ferrosi considerando il caso alternativo (giacimento francese della Lorena).



I risultati mostrano, come la via industriale di produzione del prodotto FERROX ES95® basato sulle ceneri di pirite, genera minori impatti rispetto alla via produttiva basata sui minerali ferrosi in quasi la totalità delle categorie di impatto. Questa considerazione vale anche nel caso del giacimento francese della Lorena, che è quello con la posizione che minimizza i trasporti. Il processo produttivo basato sulle ceneri di pirite presenta maggiori impatti sulle categorie “Terrestrial acidification” e “Photochemical oxidation” per via delle emissioni di gas SO₂ generate dal processo di roasting. Nel caso della categoria “Agricultural land occupation” i maggiori impatti del processo produttivo basato sulle ceneri di pirite sono legati al processo di produzione dell’acciaio che origina le scaglie di laminazione e l’ossido di ferro rosso.

Analisi di sensibilità 3: Scarto generato

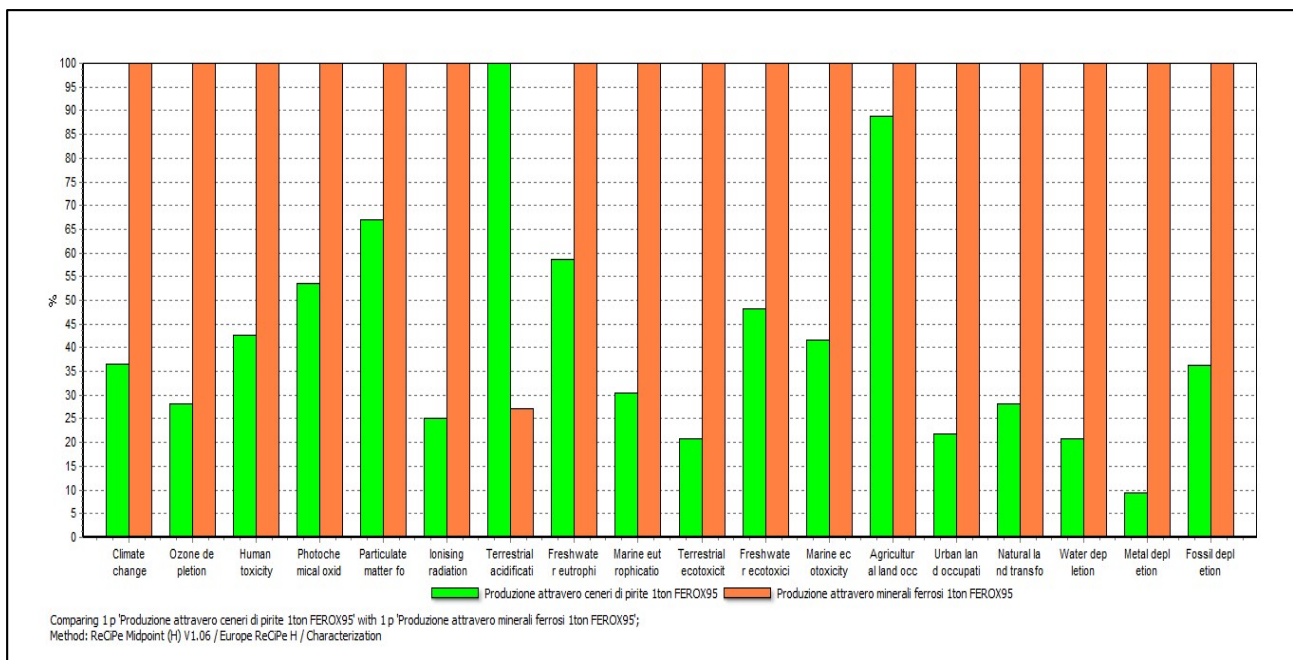
Con questa analisi di sensibilità si sono confrontati i risultati ipotizzando che i minerali ferrosi in ingresso al processo produttivo generino una minore quantità di scarti, per una percentuale pari al 50% in meno. Questa analisi di sensibilità quindi compara i due seguenti cicli di vita:

1. Ciclo di vita per la produzione di una 1ton di FERROX ES95® secondo il processo industriale che sfrutta le ceneri di pirite, le scaglie di laminazione e l’ossido di ferro rosso, invariato;

2. Ciclo di vita per la produzione di una 1ton di FERROX ES95® secondo il processo industriale che sfrutta i minerali ferrosi considerando il “caso alternativo” che prevede una diminuzione degli scarti in produzione.

Nella seguente figura sono proposti i risultati comparativi della caratterizzazione riferiti all’analisi di sensibilità 3.

Figura 19 Analisi di sensibilità 3 a livello di ipotesi sul quantitativo di materia prima scartata durante il processo produttivo. Confronto tra il ciclo di vita del processo basato sulle ceneri di pirite e del processo basato sui minerali ferrosi considerando il caso alternativo (diminuzione del fattore di scarto del 50%).



Come è possibile notare, nonostante una riduzione significativa, pari al 50%, degli scarti generati dal processo produttivo basato sui minerali ferrosi, il processo produttivo basato sulle ceneri di pirite rimane, in termini di impatti potenziali, più vantaggioso in tutte le categorie di impatto ad eccezione della categoria “Terrestrial acidification”.

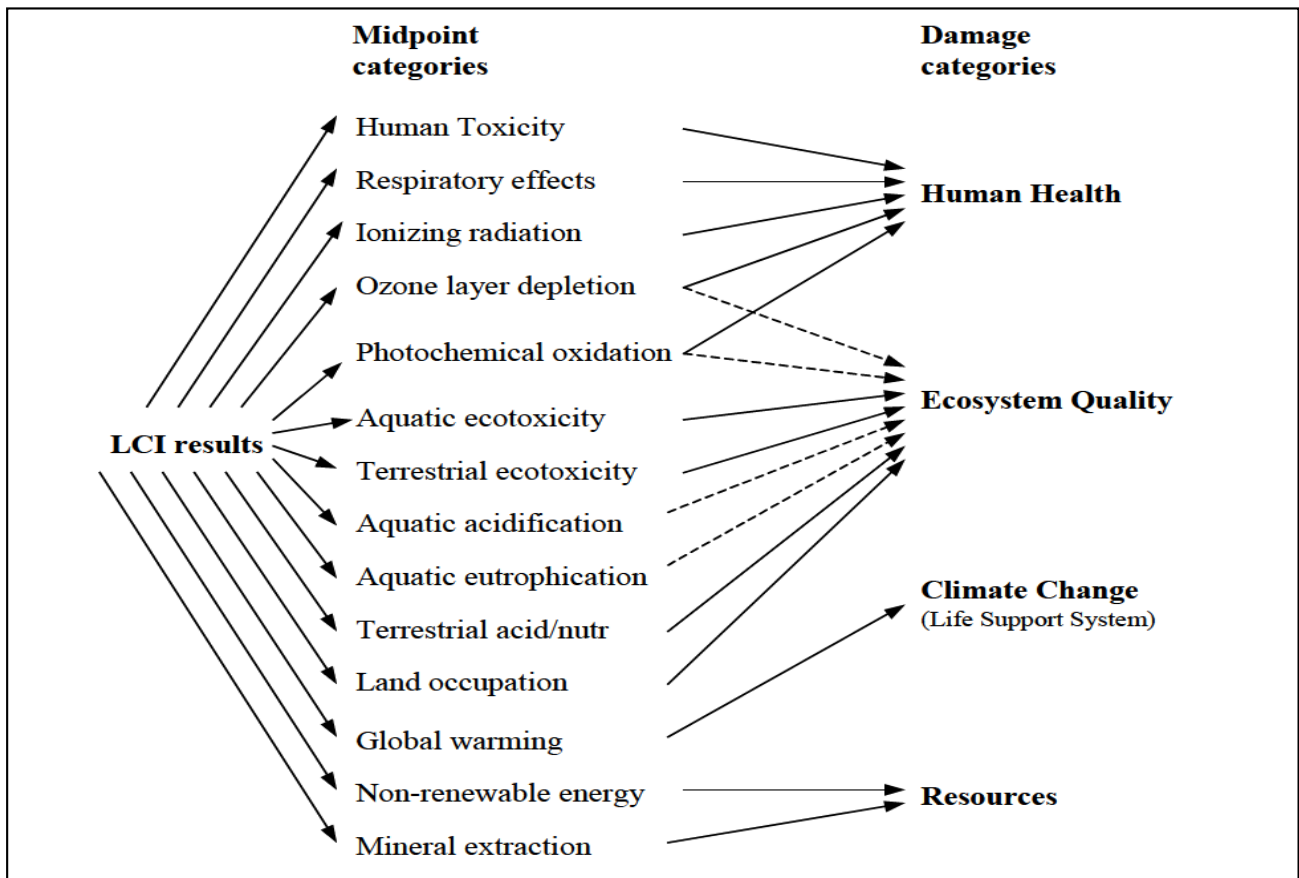
Analisi di sensibilità 4: Metodo di valutazione degli impatti IMPACT 2002+

Il metodo IMPACT 2002 + è stato pubblicato dall’Università svizzera EPFL (Swiss Federal Institute of Technology Lausanne) nel 2005 e propone un approccio combinato Midpoint/Endpoint, collegando i risultati dell’analisi di inventario a 4 categorie di danno, attraverso 14 categorie di impatto Midpoint, secondo lo schema riportato nella Figura 20. Con questa analisi di sensibilità si è valutata l’influenza della scelta del modello di valutazione degli impatti sui risultati ottenuti. È stato

quindi utilizzato il modello di valutazione degli impatti IMPACT 2002+, per il confronto dei due cicli di vita inizialmente analizzati:

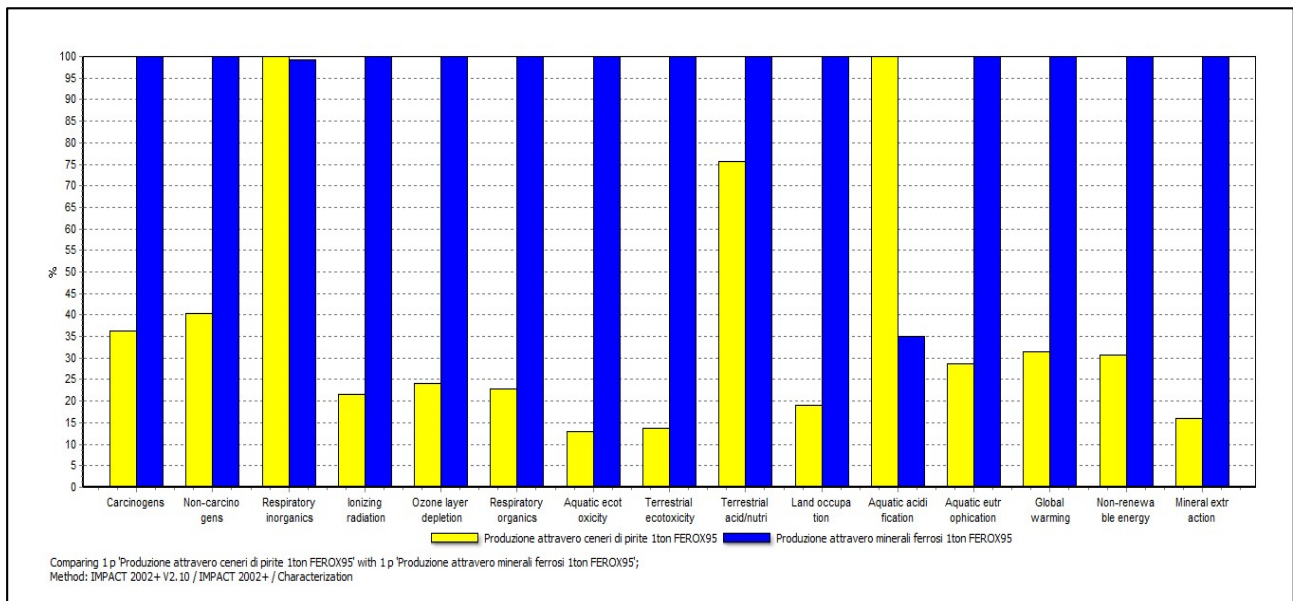
1. Ciclo di vita per la produzione di una 1ton di FERROX ES95® secondo il processo industriale che sfrutta le ceneri di pirite, le scaglie di laminazione e l'ossido di ferro rosso;
2. Ciclo di vita per la produzione di una 1ton di FERROX ES95® secondo il processo industriale che sfrutta i minerali ferrosi.

Figura 20 Categorie di impatto e categorie di danno del metodo IMPACT 2002+ (Jolliet et al., 2005).



Al fine di garantire la coerenza tra i due modelli, vengono presentati i risultati relativi alla caratterizzazione per le categorie di impatto e non i risultati in termini di categorie di danno. Nella seguente figura si mostrano, in termini grafici, i risultati ottenuti a seguito di questa analisi di sensibilità.

Figura 21 Analisi di sensibilità 4 a livello di scelta del metodo di valutazione degli impatti. Confronto tra il ciclo di vita del processo basato sulle ceneri di pirite e il processo basato sui minerali ferrosi utilizzando il metodo di valutazione IMPACT 2002+.



Il grafico mostra come, pur variando il metodo di valutazione degli impatti, i risultati siano sostanzialmente confermati. Se confrontati con i risultati presentati in Figura 7, ottenuti applicando il metodo di valutazione degli impatti “ReCiPe 2008 Midpoint (H) V1.06/Europe ReCiPe H”, si nota come le differenze riscontrate, considerando le varie categorie di impatto, siano dello stesso ordine di grandezza. Si può quindi desumere che i risultati siano robusti rispetto a questa scelta. È importante notare, che le emissioni di anidride solforosa generate dal processo di roasting, nel caso di questo metodo di valutazione degli impatti, generano rilevanti impatti sulle categorie “Respiratory inorganics”, “Terrestrial acid/nutri” e “Aquatic acidification”. La prima categoria, che quantifica gli impatti in termini di kg PM_{2,5} eq presenta molte affinità con la categoria “Particulate matter formation” relativa al metodo ReCiPe, mentre le altre due categorie, che quantificano gli impatti in termini di kg SO₂ eq, presentano affinità con la categoria “Terrestrial acidification” del metodo di valutazione ReCiPe.

Analisi di sensibilità 5: Trade-off

Quest'ultima analisi di sensibilità è finalizzata a ricercare la condizione di trade-off, nella quale si realizza l'equivalenza in termini di impatti ambientali fra le due alternative produttive: la variabile considerata è il trasporto delle ceneri di pirite su gomma, secondo quanto di seguito espresso:

Impatti_{processo ceneri di pirite} = impatti ambientali totali per la produzione di 1ton di prodotto FERROX ES95® attraverso il processo produttivo basato sulle ceneri di pirite, le scaglie di laminazione e l'ossido di ferro rosso. Gli impatti sono stati suddivisi separando la parte riconducibile

al trasporto delle ceneri di pirite (*Impatti trasporto_{ceneri di pirite}*) espressi in funzione della variabile $km_{percorsi}$, dal resto degli impatti (*Impatti_{costanti}*).

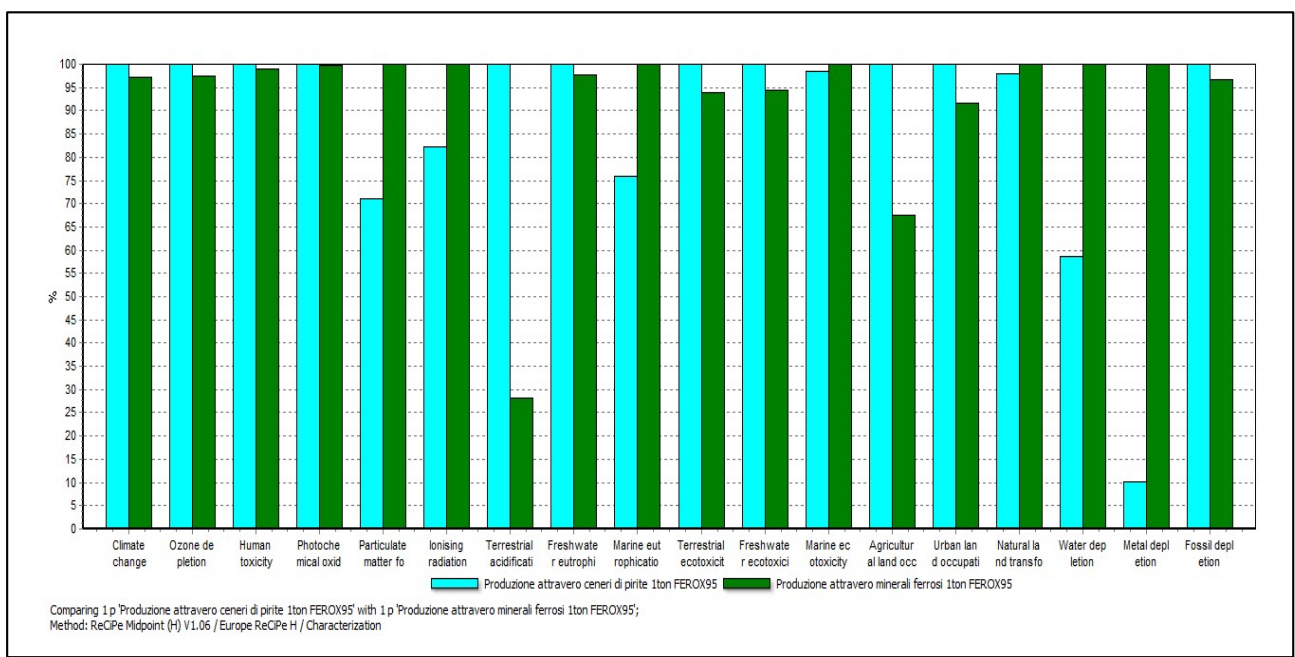
Impatti_{processo minerali ferrosi} = impatti ambientali totali per la produzione di 1ton di prodotto FERROX ES95® attraverso il processo produttivo basato sui minerali ferrosi.

Si sono quindi confrontati i seguenti due cicli di vita base:

1. Ciclo di vita per la produzione di una 1ton di FERROX ES95® secondo il processo industriale che sfrutta le ceneri di pirite, le scaglie di laminazione e l'ossido di ferro rosso, considerando il processo di trasporto delle ceneri di pirite come la variabile per la determinazione della condizione di trade-off;
2. Ciclo di vita per la produzione di una 1ton di FERROX ES95® secondo il processo industriale che sfrutta i minerali ferrosi, inalterato.

La condizione di equivalenza, per la maggior parte delle categorie di impatto, si determina attorno ai 16000km, di trasporti su gomma: considerando che, a parità di massa trasportata e distanza percorsa, il trasporto su nave e treno sono meno impattanti rispetto al trasporto su gomma, si può dedurre che i risultati dello studio sono robusti per quanto riguarda l'ubicazione del sito di stoccaggio delle ceneri di pirite.

Figura 22 Analisi di sensibilità 5 a livello della determinazione della condizione di trade-off, nella quale si realizza l'equivalenza degli impatti ambientali fra le due alternative produttive, rispetto ai trasporti delle ceneri di pirite.



Analisi di incertezza

L'analisi di incertezza è stata condotta allo scopo di individuare l'incidenza dell'incertezza relativa ai dati in ingresso sui risultati dello studio. Per analisi di incertezza si intende infatti lo studio sistematico della propagazione dell'incertezza degli input sull'incertezza degli output. Se viene specificata l'incertezza dei dati di processo, ad esempio sotto forma di una distribuzione gaussiana con una certa standard deviation, che può differire per le diverse sezioni dei dati di processo, allora l'analisi di incertezza produrrà le standard deviation o gli intervalli di confidenza per i risultati dell'inventario (Heijungs et al., 2005).

In uno studio di LCA ci sono almeno due tipologie di incertezza coinvolte: una è la normale incertezza associata con la determinazione di un parametro in un dato sistema, e l'altra si riferisce alla scelta del valore di tale parametro per rappresentare un valore in un altro sistema simile (Steen B., 1997). Molto spesso l'incertezza sulla quantità di uno specifico input o output non può essere derivata dalle informazioni disponibili, dal momento che c'è una sola sorgente di informazioni che fornisce il valore medio, senza alcuna indicazione sull'incertezza di quel valore.

Per questo, in riferimento al database Ecoinvent, è stata sviluppata una procedura semplificata per quantificare l'incertezza di questi dati: tale approccio semplificato prevede una valutazione qualitativa degli indicatori della qualità dei dati, sulla base di una matrice pedigree. Questa matrice è stata introdotta e sviluppata da Pedersen Weidema & Wesnae (Weidema et al., 1996) e viene così definita (pedigree matrix), dal momento che gli indicatori della qualità dei dati si riferiscono alla storia o all'origine dei dati, come un albero genealogico riporta la genealogia (pedigree) di un individuo (Weidema et al., 1996).

Vengono utilizzati dei fattori di incertezza di base per i tipi di input ed output considerati; ad esempio si assume che le emissioni di CO₂ presentino in generale un'incertezza molto minore se confrontate con le emissioni di CO. Mentre la prima può essere calcolata dai dati in input sui combustibili, la seconda dipende in maniera più stretta dalle caratteristiche della caldaia, dalla manutenzione dei motori, dai fattori di carico. Questi fattori di incertezza sono riportati nella tabella seguente, secondo quanto ricavato da giudizi di esperti.

Tabella 31 Esempi di fattori di incertezza di base (adimensionali) applicati agli input e output da tecnosfera e ai flussi elementari; per le emissioni c=da combustione, p=da processi; a=da processi derivanti dall' agricoltura (Frischknecht et al., 2005)

Input / output group	c	p	a
Demand of:			
Thermal energy, electricity, semi-finished products, working material, waste treatment services	1.05	1.05	1.05
Transport services (tkm)	2.00	2.00	2.00
Infrastructure	3.00	3.00	3.00
Resources:			
Primary energy carriers, metals, salts	1.05	1.05	1.05
Land use, occupation	1.50	1.50	1.50
Land use, transformation	2.00	2.00	2.00
Pollutants emitted to air:			
CO ₂	1.05	1.05	
SO ₂	1.05		
NM VOC total	1.50		
NO _x , N ₂ O	1.50		1.40
CH ₄ , NH ₃	1.50		1.20
Individual hydrocarbons	1.50	2.00	
Pm>10	1.50	1.50	
Pm10	2.00	2.00	
Pm2.5	3.00	3.00	
Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH)	3.00		
CO, heavy metals	5.00		
Inorganic emissions, others		1.50	
Radionuclides (e.g. Radon-222)		3.00	
Pollutants emitted to water:			
BOD, COD, DOC, TOC, inorganic compounds (NH ₄ , PO ₄ , NO ₃ , Cl, Na, etc.)		1.50	
Individual hydrocarbons, PAH		3.00	
Heavy metals		5.00	1.80
Pesticides			1.50
NO ₃ , PO ₄			1.50
Pollutants emitted to soil:			
Oil, hydrocarbon total		1.50	
Heavy metals		1.50	1.50
Pesticides			1.20

Le fonti dei dati sono valutate in accordo alle sei caratteristiche “affidabilità”, “completezza”, “correlazione temporale”, “correlazione geografica”, “ulteriore correlazione tecnologica”, “dimensioni del campione”, riportate nella tabella seguente.

Ogni caratteristica è suddivisa in cinque livelli di qualità con un punteggio compreso tra 1 e 5. Di conseguenza ad ogni singolo flusso in input e output viene attribuito un set di sei indicatori: cinque riferiti alla Pedigree matrix (U_i) ed uno sull'incertezza di base (U_b).

Tabella 32 Matrice Pedigree utilizzata per valutare la qualità delle fonti dei dati, derivata da Pedersen et al., 1996. (Frischknecht et al., 2005).

Indicator score	1	2	3	4	5	Remarks
Reliability	Verified data based on measurements	Verified data partly based on assumptions OR non-verified data based on measurements	Non-verified data partly based on qualified estimates	Qualified estimate (e.g. by industrial expert); data derived from theoretical information (stoichiometry, enthalpy, etc.)	Non-qualified estimate	verified means: published in public environmental reports of companies, official statistics, etc unverified means: personal information by letter, fax or e-mail
Completeness	Representative data from all sites relevant for the market considered over an adequate period to even out normal fluctuations	Representative data from >50% of the sites relevant for the market considered over an adequate period to even out normal fluctuations	Representative data from only some sites (<50%) relevant for the market considered OR >50% of sites but from shorter periods	Representative data from only one site relevant for the market considered OR some sites but from shorter periods	Representativeness unknown or data from a small number of sites AND from shorter periods	Length of adequate period depends on process/technology
Temporal correlation	Less than 3 years of difference to our reference year (2000)	Less than 8 years of difference to our reference year (2000)	Less than 10 years of difference to our reference year (2000)	Less than 15 years of difference to our reference year (2000)	Age of data unknown or more than 15 years of difference to our reference year (2000)	less than 3 years means: data measured in 1997 or later; score for processes with investment cycles of <10 years; for other cases, scoring adjustments can be made accordingly
Geographical correlation	Data from area under study	Average data from larger area in which the area under study is included	Data from smaller area than area under study, or from similar area		Data from unknown OR distinctly different area (north america instead of middle east, OECD-Europe instead of Russia)	Similarity expressed in terms of environmental legislation. Suggestion for grouping: North America, Australia; European Union, Japan, South Africa; South America, North and Central Africa and Middle East; Russia, China, Far East Asia
Further technological correlation	Data from enterprises, processes and materials under study (i.e. identical technology)		Data on related processes or materials but same technology, OR Data from processes and materials under study but from different technology	Data on related processes or materials but different technology, OR data on laboratory scale processes and same technology	Data on related processes or materials but on laboratory scale of different technology	Examples for different technology: - steam turbine instead of motor propulsion in ships - emission factor B(a)P for diesel train based on lorry motor data Examples for related processes or materials: - data for tyres instead of bricks production - data of refinery infrastructure for chemical plants infrastructure
Sample size	>100, continuous measurement, balance of purchased products	>20	> 10, aggregated figure in env. report	>=3	unknown	sample size behind a figure reported in the information source

Gli indicatori così individuati si trasformano in un fattore di incertezza, espresso come quadrato della deviazione standard geometrica, secondo la corrispondenza indicata nella tabella seguente.

Tabella 33 Fattori di incertezza (che contribuiscono al quadrato della deviazione standard geometrica) applicati in combinazione con la matrice Pedigree (Frischknecht et al., 2005).

Indicator score	1	2	3	4	5
Reliability	1.00	1.05	1.10	1.20	1.50
Completeness	1.00	1.02	1.05	1.10	1.20
Temporal correlation	1.00	1.03	1.10	1.20	1.50
Geographical correlation	1.00	1.01	1.02		1.10
Further technological correlation	1.00		1.20	1.50	2.00
Sample size	1.00	1.02	1.05	1.10	1.20

Il quadrato della deviazione standard geometrica (pari al 95% dell'intervallo) viene calcolato con la formula seguente:

$$SD_{gss} := \sigma_g^2 = \exp^{\sqrt{[\ln(U_1)]^2 + [\ln(U_2)]^2 + [\ln(U_3)]^2 + [\ln(U_4)]^2 + [\ln(U_5)]^2 + [\ln(U_6)]^2}} \quad (4.1)$$

dove (Weidema et al., 1996):

- U_1 : fattore di incertezza dell'affidabilità (R, *reliability*), si riferisce alle fonti, ai metodi di acquisizione e alle procedure di verifica utilizzate per ottenere i dati;
- U_2 : fattore di incertezza della completezza (C, *completeness*), si riferisce alle proprietà statistiche dei dati, a quanto rappresentativi sono, se il campione comprende un numero sufficiente di dati e se il periodo è adeguato per tener conto delle fluttuazioni;
- U_3 : fattore di incertezza della correlazione temporale (TC, *temporal correlation*), rappresenta la correlazione temporale tra l'anno dello studio (come specificato nella definizione dell'obiettivo) e l'anno a cui i dati si riferiscono;
- U_4 : fattore di incertezza della correlazione geografica (G, *geographic correlation*), in riferimento alla correlazione geografica tra l'area definita e i dati ottenuti;
- U_5 : fattore di incertezza di altre correlazioni tecnologiche (T, *other technological correlation*), si riferisce a tutti gli altri aspetti diversi dalle correlazioni geografica e temporale, ad esempio potrebbe essere necessario fare riferimento a dati relativi a processi o imprese simili;
- U_6 : fattore di incertezza delle dimensioni del campione (S, *sample size*);
- U_b : fattore di incertezza di base (*basic uncertainty factor*), calcolato facendo riferimento alla tabella 31.

Una volta ottenuti i valori dei punteggi per le sei categorie, attraverso la tabella 33 e la formula (4.1) si calcola il quadrato della deviazione standard.

Dopo aver individuato i dati più significativi è opportuno procedere con l'analisi quantitativa dell'incertezza e a questo proposito si possono distinguere essenzialmente due diverse modalità per condurre l'analisi di incertezza: attraverso un campionamento statistico o mediante formule

analitiche basate sulla propagazione degli errori. Un metodo assai conosciuto di campionamento casuale è l'analisi di Monte Carlo, la cui procedura base è la seguente (Heijungs et al., 2005):

- Ogni parametro in ingresso viene considerato come una variabile stocastica con una specificata distribuzione di probabilità;
- Il modello LCA viene costruito con una particolare configurazione di ogni parametro stocastico;
- I risultati della LCA vengono calcolati con questa particolare configurazione;
- Le due fasi precedenti vengono ripetute un certo numero di volte;
- Il campione dei risultati della LCA viene indagato in riferimento alle sue proprietà statistiche (come la media, *standard deviation*, gli intervalli di confidenza).

Nel presente studio è stata applicata la metodologia di calcolo dell'analisi di incertezza descritta in Scipioni et al. (2009).

La selezione dei dati più significativi è stata fatta analizzando i contributi alla valutazione degli impatti ambientali dei singoli sottoprocessi presenti in ciascuna unità di processo, in riferimento a tutte le categorie di impatto individuate dal metodo di valutazione degli impatti ReCiPe 2008.

E' stata effettuata l'analisi del contributo di processo a livello di caratterizzazione, impostando un valore di esclusione pari all'1%: in questo modo sono stati visualizzati solamente i sotto-processi che incidono in quantità superiore all'1% sui risultati della fase di valutazione degli impatti per ciascuna delle categorie di impatto. I risultati dell'analisi dei contributi è riportata in Appendice B.

A ciascuna delle voci così ottenute è stato necessario attribuire una distribuzione di probabilità; dal momento che le voci di inventario risultate significative provengono tutte dalla banca dati Ecoinvent si è assunta la distribuzione di probabilità log-normale.

E' stata poi condotta una simulazione di Monte Carlo utilizzando come criterio di fermata un numero di esecuzioni pari a 1000; in questo modo vengono campionati in maniera casuale una serie di valori sulla base della distribuzione e i risultati dell' LCA comparativo vengono ricalcolati per ciascun parametro.

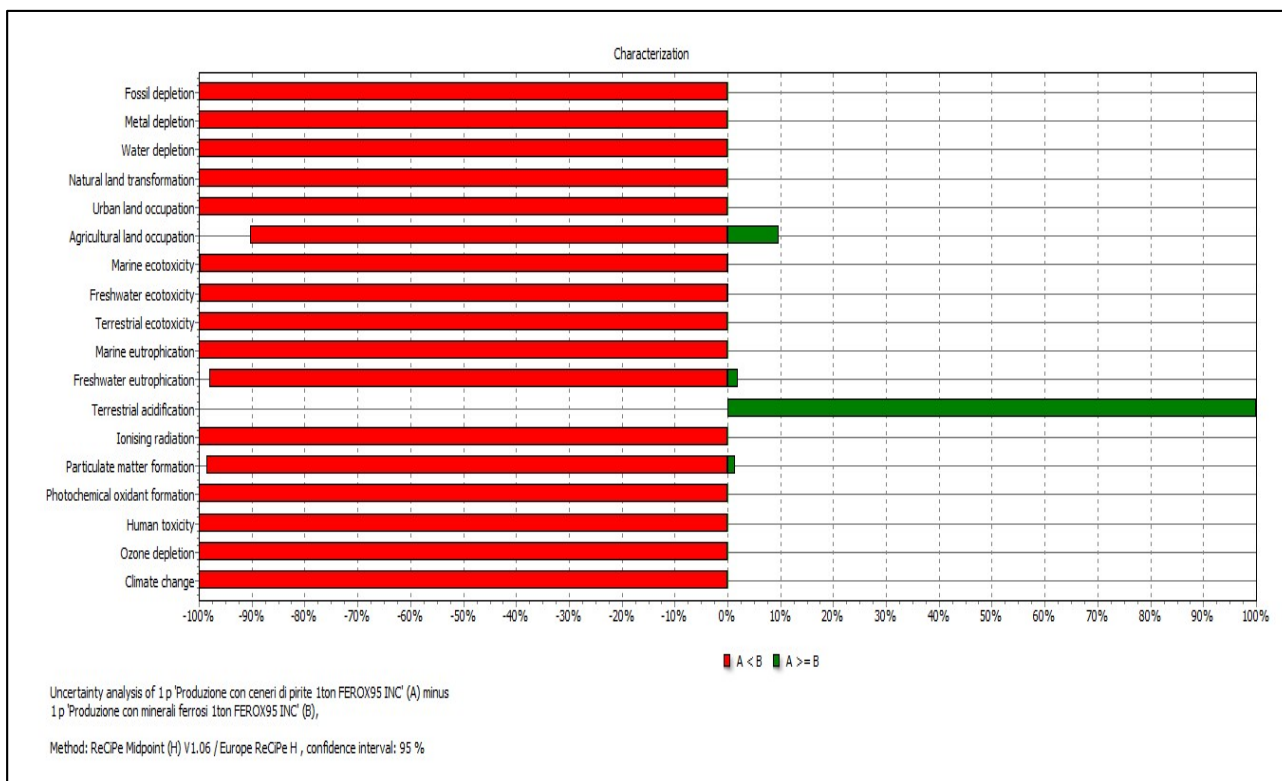
I risultati ottenuti sono riportati tenendo conto che il confronto è avvenuto considerando i due processi così definiti:

- Processo produttivo basato sulle ceneri di pirite (A);
- Processo produttivo basato sui minerali ferrosi (B).

Tabella 34 Analisi di incertezza a livello Midpoint

Categoria d'impatto	A >= B	Media	Mediana	Err. Std. di media
Agricultural land occupation	9.7%	-5,56E-01	-5,04E-01	-2,95E-02
Climate change	0%	-4,36E+02	-4,16E+02	-8,78E-03
Fossil depletion	0%	-1,59E+02	-1,51E+02	-8,46E-03
Freshwater ecotoxicity	0.1%	-1,03E+00	-9,48E-01	-1,47E-02
Freshwater eutrophication	2%	-3,84E-02	-3,08E-02	-2,72E-02
Human toxicity	0%	-5,01E+01	-4,20E+01	-1,94E-02
Ionising radiation	0%	-5,32E+01	-3,81E+01	-3,30E-02
Marine ecotoxicity	0.1%	-1,41E+00	-1,32E+00	-1,18E-02
Marine eutrophication	0%	-1,06E-01	-1,03E-01	-6,09E-03
Metal depletion	0%	-9,58E+02	-9,59E+02	-1,25E-03
Natural land transformation	0%	-1,66E-01	-1,43E-01	-1,64E-02
Ozone depletion	0%	-7,00E-05	-6,38E-05	-1,38E-02
Particulate matter formation	1.4%	-1,80E+00	-1,64E+00	-1,87E-02
Photochemical oxidant formation	0%	-2,09E+00	-2,00E+00	-9,04E-03
Terrestrial acidification	100%	7,37E+00	7,30E+00	7,32E-03
Terrestrial ecotoxicity	0%	-7,32E-02	-5,83E-02	-2,91E-02
Urban land occupation	0%	-4,88E+00	-4,37E+00	-1,48E-02
Water depletion	0%	-3,39E+00	-3,32E+00	-4,17E-03

Figura 23 Analisi di incertezza a livello Midpoint.



I risultati dell'analisi di certezza confermano i risultati dello studio, mostrando che il ciclo di vita del processo produttivo basato sulle ceneri di pirite genera minori impatti rispetto al ciclo di vita del processo produttivo basato sui minerali ferrosi, in tutte le categorie di impatto ad esclusione della



categoria di impatto “Terrestrial acidification”. Per quest’ultima categoria, il ciclo di vita basato sull’utilizzo delle ceneri di pirite presenta maggiori impatti a causa delle emissioni di anidride solforosa generate dal processo di roasting dei minerali di pirite. È importante sottolineare che queste emissioni sono state generate diversi anni fa, in concomitanza con il processo di roasting e per questo non è possibile evitarle o ridurle con la scelta di diverse alternative di produzione.

4.3 Conclusioni, limitazioni, raccomandazioni

Dai risultati dello studio LCA comparativo emerge che il sistema prodotto per la produzione di FERROX ES95® basato su ceneri di pirite, scaglie di laminazione e ossido di ferro rosso, presenta minori potenziali impatti ambientali rispetto al sistema prodotto basato sull'utilizzo di minerali ferrosi estratti da miniera per tutte le categorie di impatto analizzate, ad eccezione della categoria "terrestrial acidification": il risultato è attribuibile a diversi fattori che riguardano sia gli impatti associati ai materiali di produzione e al loro trasporto, sia gli impatti relativi al processo di produzione;

Per quanto riguarda **i materiali utilizzati**, le ceneri di pirite, le scaglie di laminazione e l'ossido di ferro rosso presentano un profilo di impatto minore rispetto ai minerali ferrosi in quanto costituiscono materiali di scarto di altri processi e il loro utilizzo risulta vantaggioso se comparato all'estrazione ex-novo di minerali da miniera. Si sottolinea a questo proposito che la riutilizzabilità delle ceneri di pirite è legata a specifiche caratteristiche chimico fisiche – in particolare il livello di contaminazione da impurezze, quali i metalli pesanti, che possono o meno essere presenti in funzione della composizione dei giacimenti di estrazione dei minerali di pirite – che le rendono compatibili con i successivi processi produttivi. Inoltre le ceneri di pirite possono risultare stoccate da decenni in particolari siti a cielo aperto e a contatto con il terreno: questa pratica, che genera impatti limitati nel caso in cui i materiali non siano contaminati, potrebbe presentare impatti anche rilevanti nel caso di ceneri contaminate da metalli pesanti che possono essere dilavati e determinare l'inquinamento del suolo, sottosuolo e delle falde acquifere. I risultati del presente studio sono da considerarsi validi nel caso di ceneri di pirite che non presentano questo tipo di contaminazione e che risultano stoccate in aree confinate.

Per quanto riguarda i **processi di trasporto**, ai minerali ferrosi, che risultano estratti in un giacimento canadese, risultano associati notevoli impatti per il trasporto su gomma e nave necessario al loro conferimento allo stabilimento di Veneta Mineraria. Le analisi di sensibilità condotte, relative alla minimizzazione dei trasporti su gomma e alla scelta del giacimento di estrazione dei minerali ferrosi, hanno consentito di verificare che il processo produttivo basato sulle ceneri di pirite risulta comunque sempre più vantaggioso in termini di impatti ambientali potenziali: questa condizione si realizza anche in virtù del posizionamento strategico dello stabilimento produttivo rispetto agli attuali fornitori di scaglie di laminazione e di ossido di ferro rosso.

Per quanto riguarda l'analisi dei **processi produttivi** realizzati all'interno dello stabilimento di Veneta Mineraria, l'utilizzo in ingresso della miscela di ceneri di pirite, scaglie di laminazione e ossido di ferro rosso presenta diversi vantaggi che concorrono alla diminuzione degli impatti generati a livello di stabilimento: minori consumi di energia elettrica (-27,5%) e di metano (-17,5%) a parità di massa prodotta, riduzione dello scarto sulla materia in ingresso (-16%) e delle emissioni in atmosfera convogliate. Va sottolineato che, se si analizza il rendimento massivo complessivo del processo produttivo, nonostante i minerali ferrosi generino un maggiore scarto sulla materia in ingresso, gli

stessi registrano un calo ponderale molto minore durante il processo di macinazione-essiccamento a fronte di un tenore di umidità molto più basso, limitando il vantaggio del processo basato sulle ceneri di pirite al 2-3% in termini di resa. Il maggiore consumo di energia a livello del processo di macinazione, rilevato nel caso del processo basato sui minerali ferrosi, è inoltre dovuto alla maggiore durezza di questo materiale rispetto alla durezza media dei componenti della miscela di materiali utilizzata nel caso del processo basato sulle ceneri di pirite.

Come già sottolineato, i risultati dello studio hanno messo in luce come il processo basato su ceneri di pirite, scaglie di laminazione e ossido di ferro rosso presenti minori impatti ambientali rispetto al processo basato sui minerali ferrosi estratti da miniera per tutte le categorie di impatto, ad eccezione della categoria "Terrestrial acidification" a causa delle emissioni di anidride solforosa attribuibili al processo di roasting dei minerali di pirite: tali emissioni risultano generate diversi anni or sono, in concomitanza con il processo di roasting, e pertanto non è possibile evitarle o ridurle con la scelta di diverse alternative di produzione o con il miglioramento di parametri di processo. Si evidenzia inoltre che nel presente studio le ceneri di pirite sono state cautelativamente considerate come sottoprodotti della fase di generazione di SO₂ nell'ambito del processo industriale per la produzione di acido solforico e non come rifiuti di tale processo, come storicamente è avvenuto e come alcune recenti interpretazioni legislative vorrebbero: tale scelta implica l'inclusione nello studio degli impatti ambientali associati alla produzione delle ceneri di pirite che, diversamente, avrebbero potuto essere totalmente esclusi con una conseguente consistente riduzione dell'impatto associato alla categoria "terrestrial acidification", unica per la quale l'alternativa "estrazione minerali ferrosi" risulta preferibile sotto il profilo ambientale.

Il calcolo del trade-off, cioè la condizione nella quale si realizza l'equivalenza delle prestazioni ambientali delle due alternative comparate, ha permesso di concludere che il minore impatto ambientale del sistema basato sulle ceneri di pirite è consolidato a prescindere dal posizionamento del sito di stoccaggio delle medesime, in quanto la distanza per la quale si realizza la condizione di trade-off, considerando il 100% di trasporto su gomma, è pari a circa 16000 km.

La specifica analisi di sensibilità condotta utilizzando un differente metodo di valutazione degli impatti, ha permesso inoltre di dimostrare come i risultati dello studio comparativo siano indipendenti dalla metodologia di valutazione utilizzata.

Si sottolinea che i risultati dello studio di LCA comparativo effettuato hanno un valore relativo e risultano validi in relazione alle ipotesi e alla scelta dei sistemi analizzati. Nel presente studio le principali assunzioni sono legate ai fattori di allocazione utilizzati in relazione alla produzione di ceneri di pirite, scaglie di laminazione e ossido di ferro rosso, che sono stati ricavati a partire da dati di letteratura scientifica caratterizzati da un elevato grado di autorevolezza.

Per la conduzione dello studio si è fatto ricorso a dati specifici per entrambi i sistemi analizzati e, laddove questi non fossero a disposizione, sono state utilizzate anche dati riconosciute a livello internazionale e dati pubblicati nella letteratura scientifica. I dati primari utilizzati per lo studio fanno

riferimento in modo particolare al processo produttivo e sono stati ricavati a seguito dell'esecuzione di due specifici test realizzati per la comparazione delle due alternative. I dati da fonte secondaria, per i quali sono state utilizzate le banche dati internazionali Ecoinvent v2.2., riguardano nello specifico i processi di produzione dei materiali in ingresso al processo produttivo e delle materie ausiliarie.

Un eventuale futuro aggiornamento dei dati, a seguito di un test effettuato con minerali ferrosi provenienti da altri giacimenti e con differenti caratteristiche chimico fisiche, potrebbe portare a risultati diversi. Va tuttavia sottolineato che questo aspetto è stato parzialmente considerato attraverso l'analisi di sensibilità condotta in relazione alla quantità di scarto generata dai minerali ferrosi: i risultati hanno evidenziato che, pur riducendo del 50% la quantità di scarto generata, il processo produttivo basato sulle ceneri di pirite presenta prestazioni ambientali migliori.

La solidità dello studio e delle conclusioni è ribadita anche dall'analisi di incertezza effettuata che conferma i risultati ottenuti per le diverse categorie di impatto previste dal metodo di valutazione "ReCiPe 2008".

Tra i possibili sviluppi futuri, a partire dalle conclusioni del presente studio, potrebbe essere effettuata una successiva analisi al fine di valutare come il processo industriale proposto da Veneta Mineraria per la produzione di prodotti a base di ossidi di ferro (nello specifico FERROX ES95®) possa costituire una valida alternativa industriale per il riutilizzo delle ceneri di pirite esenti da contaminazioni, permettendo di valorizzare il contenuto di ferro ed evitando l'estrazione di minerali, come già avviene in altri processi industriali del settore siderurgico (Treccani, 2014) e cementizio (Alp et al., 2009) e supportando il progressivo utilizzo dei materiali attualmente presenti nei siti di stoccaggio; l'eventuale analisi dovrebbe altresì valutare i potenziali impatti associati alla riqualificazione ambientale dei siti di stoccaggio.





Indice delle figure



Figura 1 Stabilimento di Venet Mineraria S.p.A. presso la località di Este (PD).....	4
Figura 2 Il prodotto oggetto dello studio LCA comparativo: FERROX ES95®	9
Figura 3 Confini del sistema nel caso del processo produttivo basato sulle ceneri di pirite (CeSQA, 2014).....	24
Figura 4 Confini del sistema nel caso del processo produttivo basato sui minerali ferrosi estratti da miniera (CeSQA, 2014).	26
Figura 5 Principali fasi che caratterizzano il processo di produzione dell'acido Solforico (Runkel et al., 2009).	30
Figura 6 Schema di processo relativo alla produzione e purificazione dell'SO ₂ per la produzione di acido Solforico secondo la via industriale del roasting della pirite. FS: Reattore a letto fluido, BA: Boiler delle ceneri di pirite, CA: ciclone per lo scrubber delle ceneri volatili, WA: torre per il lavaggio delle ceneri volatili (Chunxia et al., 2009).	32
Figura 7 Grafico comparativo di caratterizzazione, relativo alle due diverse vie produttive per la produzione di 1ton di FERROX ES95®	49
Figura 8 Confronto dei potenziali impatti ambientali relativi alla produzione dei materiali in ingresso al processo produttivo, escludendo il loro trasporto. Unità scelta per il confronto: 1ton di materiale in ingresso al processo.	55
Figura 9 Confronto dei potenziali impatti ambientali derivanti dall'utilizzo dei differenti materiali in ingresso al processo produttivo, includendo il loro trasporto. Unità scelta per il confronto: 1ton di materiale in ingresso al processo.	56
Figura 10 Confronto dei potenziali impatti ambientali a livello di processo produttivo, derivanti dai consumi di energia (elettrica e metano) e dalle emissioni in atmosfera convogliate. Unità scelta per il confronto: 1ton di prodotto FERROX ES95®.	57
Figura 11 Confronto dei potenziali impatti ambientali a livello di incidenza dello scarto sui materiali in ingresso al processo, nel caso del processo produttivo basato sulle ceneri di pirite. Unità scelta per il confronto: 1ton di prodotto FERROX ES95®.	58
Figura 12 Confronto dei potenziali impatti ambientali a livello di incidenza dello scarto sui materiali in ingresso al processo, nel caso del processo produttivo basato su minerali ferrosi. Unità scelta per il confronto: 1ton di prodotto FERROX ES95®.	58
Figura 13 Grafico di caratterizzazione, relativo alla produzione di 1ton di FERROX95 a partire da ceneri di pirite.	60
Figura 14 Grafico di caratterizzazione, relativo alla produzione di 1ton di FERROX95 a partire da minerali ferrosi.	64
Figura 15 Confronto degli impatti generati dal trasporto stradale e dal trasporto navale per unità funzionale pari a 1ton*km.....	67
Figura 16 Analisi di sensibilità 1 a livello di ipotesi sui trasporti dei minerali ferrosi estratti dal giacimento canadese. Confronto tra il ciclo di vita del processo basato sulle ceneri di pirite e il processo basato sui minerali ferrosi considerando il caso alternativo (minimizzazione del trasporto su gomma).	73
Figura 17 Analisi di sensibilità 2 a livello di ipotesi sul giacimento di estrazione considerando il giacimento svedese di Kurina. Confronto tra il ciclo di vita del processo basato sulle ceneri di pirite e il processo basato sui minerali ferrosi considerando il caso alternativo (giacimento svedese di Kiruna).	74
Figura 18 Analisi di sensibilità 2 a livello di ipotesi sul giacimento di estrazione considerando il giacimento francese della Lorena. Confronto tra il ciclo di vita del processo basato sulle ceneri di pirite e il processo basato sui minerali ferrosi considerando il caso alternativo (giacimento francese della Lorena).	75
Figura 19 Analisi di sensibilità 3 a livello di ipotesi sul quantitativo di materia prima scartata durante il processo produttivo. Confronto tra il ciclo di vita del processo basato sulle ceneri di pirite e del processo basato sui minerali ferrosi considerando il caso alternativo (diminuzione del fattore di scarto del 50%).	76
Figura 20 Categorie di impatto e categorie di danno del metodo IMPACT 2002+ (Jolliet et al., 2005).	77
Figura 21 Analisi di sensibilità 4 a livello di scelta del metodo di valutazione degli impatti. Confronto tra il ciclo di vita del processo basato sulle ceneri di pirite e il processo basato sui minerali ferrosi utilizzando il metodo di valutazione IMPACT 2002+.	78
Figura 22 Analisi di sensibilità 5 a livello della determinazione della condizione di trade-off, nella quale si realizza l'equivalenza degli impatti ambientali fra le due alternative produttive, rispetto ai trasporti delle ceneri di pirite.	79
Figura 23 Analisi di incertezza a livello Midpoint.	84



Indice delle tabelle

Tabella 1 Elenco e descrizione dei materiali in ingresso al processo produttivo	9
Tabella 2 Caratteristiche principali del codice prodotto FERROX ES95®.....	10
Tabella 3 Cospoizione chimica media delle ceneri di pirite (Alp et al., 2009).....	30



Tabella 4 Specifica dei dati di processo relativi alla fase di roasting.	32
Tabella 5 Anche dati e valori utilizzati per la modellazione di 1 kg di ceneri di pirite. NB: tra virgolette sono riportati i nomi dei moduli creati per la costruzione del modello e che a loro volta all'interno richiamano i relativi database.	34
Tabella 6 Dati di letteratura utilizzati per il calcolo dei fattori di allocazione per le scaglie di laminazione e per l'ossido di ferro rosso. NB: nello studio di letteratura utilizzato l'unità di misura utilizzata per la presentazione dei dati è kg/FU (kg/Unità Funzionale). L'unità funzionale consiste nella produzione di 1 ton di acciaio.	36
Tabella 7 Anche dati e valori utilizzati per la modellazione di 1 kg di scaglie di laminazione. NB: tra virgolette sono riportati i nomi dei moduli creati per la costruzione del modello e che a loro volta all'interno richiamano i relativi database.	36
Tabella 8 Anche dati e valori utilizzati per la modellazione di 1 kg di ossido di ferro rosso. NB: tra virgolette sono riportati i nomi dei moduli creati per la costruzione del modello e che a loro volta all'interno richiamano i relativi database.	37
Tabella 9 Anche dati e valori utilizzati per la modellazione di 1 kg di sacco in plastica HDPE. NB: tra virgolette sono riportati i nomi dei moduli creati per la costruzione del modello e che a loro volta all'interno richiamano i relativi database.	38
Tabella 10 Anche dati e valori utilizzati per la modellazione di un pallet di legno. NB: tra virgolette sono riportati i nomi dei moduli creati per la costruzione del modello e che a loro volta all'interno richiamano i relativi database.	38
Tabella 11 Anche dati e valori utilizzati per la modellazione del processo di "Premiscelazione". NB: tra virgolette sono riportati i nomi dei moduli creati per la costruzione del modello e che a loro volta all'interno richiamano i relativi database.	38
Tabella 12 Anche dati e valori utilizzati per la modellazione del processo di "Carico della tramoggia". NB: tra virgolette sono riportati i nomi dei moduli creati per la costruzione del modello e che a loro volta all'interno richiamano i relativi database.	39
Tabella 13 Anche dati e valori utilizzati per la modellazione del processo di "Preselezione con griglia". NB: tra virgolette sono riportati i nomi dei moduli creati per la costruzione del modello e che a loro volta all'interno richiamano i relativi database.	39
Tabella 14 Anche dati e valori utilizzati per la modellazione del processo di "Frantumazione". NB: tra virgolette sono riportati i nomi dei moduli creati per la costruzione del modello e che a loro volta all'interno richiamano i relativi database.	40
Tabella 15 Anche dati e valori utilizzati per la modellazione del processo di "Macinazione ed essiccamento". NB: tra virgolette sono riportati i nomi dei moduli creati per la costruzione del modello e che a loro volta all'interno richiamano i relativi database.	41
Tabella 16 Risultati dell'analisi delle emissioni in atmosfera (RIF. RdP 67382/E).	41
Tabella 17 Anche dati e valori utilizzati per la modellazione della massa di prodotto ottenuto. NB: tra virgolette sono riportati i nomi dei moduli creati per la costruzione del modello e che a loro volta all'interno richiamano i relativi database.	41
Tabella 18 Anche dati e valori utilizzati per la modellazione di 1 kg di minerali ferrosi estratti da miniera. NB: tra virgolette sono riportati i nomi dei moduli creati per la costruzione del modello e che a loro volta all'interno richiamano i relativi database.	42
Tabella 19 Anche dati e valori utilizzati per la modellazione del processo di "Carico della tramoggia". NB: tra virgolette sono riportati i nomi dei moduli creati per la costruzione del modello e che a loro volta all'interno richiamano i relativi database.	44
Tabella 20 Anche dati e valori utilizzati per la modellazione del processo di "Preselezione con griglia". NB: tra virgolette sono riportati i nomi dei moduli creati per la costruzione del modello e che a loro volta all'interno richiamano i relativi database.	44
Tabella 21 Anche dati e valori utilizzati per la modellazione del processo di "Frantumazione". NB: tra virgolette sono riportati i nomi dei moduli creati per la costruzione del modello e che a loro volta all'interno richiamano i relativi database.	45
Tabella 22 Anche dati e valori utilizzati per la modellazione del processo di "Macinazione ed essiccamento". NB: tra virgolette sono riportati i nomi dei moduli creati per la costruzione del modello e che a loro volta all'interno richiamano i relativi database.	45
Tabella 23 Risultati dell'analisi delle emissioni in atmosfera (RIF. RdP 67385/E).	46
Tabella 24 Anche dati e valori utilizzati per la modellazione della massa di prodotto ottenuto. NB: tra virgolette sono riportati i nomi dei moduli creati per la costruzione del modello e che a loro volta all'interno richiamano i relativi database.	46
Tabella 25 Elenco delle categorie di impatto considerate nel metodo di valutazione degli impatto ReCiPe 2008 (Goedkoop et al., 2013).	48
Tabella 26 Risultati della caratterizzazione per le delle due diverse alternative per la produzione di 1ton di FERROX ES95®.	50
Tabella 27 Valori assoluti della caratterizzazione relativa alla produzione di 1ton di FERROX 95® a partire da ceneri di pirite.	61
Tabella 28 Risultati della caratterizzazione relativi alla produzione dei materiali in ingresso al processo produttivo, utilizzati per la produzione 1ton di FERROX 95® a partire da ceneri di pirite.	62
Tabella 29 Valori assoluti della caratterizzazione relativa alla produzione di 1ton di FERROX ES95® a partire da minerali ferrosi.	65
Tabella 30 Risultati della caratterizzazione relativi ai processi di trasporto dei minerali ferrosi utilizzati per la produzione 1ton di FERROX ES95®.	66
Tabella 31 Esempi di fattori di incertezza di base (adimensionali) applicati agli input e output da tecnosfera e ai flussi elementari; per le emissioni c=da combustione, p=da processi; a=da processi derivanti dall' agricoltura (Frischknecht et al., 2005)	81



Tabella 32 Matrice Pedigree utilizzata per valutare la qualità delle fonti dei dati, derivata da Pedersen et al., 1996. (Frischknecht et al., 2005).....	81
Tabella 33 Fattori di incertezza (che contribuiscono al quadrato della deviazione standard geometrica) applicati in combinazione con la matrice Pedigree (Frischknecht et al., 2005).	82
Tabella 34 Analisi di incertezza a livello Midpoint.....	84

Bibliografia

- Alp I., Deveci H., Yazici E.Y., Türk T., Söngün Y.H. 2009. *Potential use of pyrite cinders as raw material in cement production: Results of industrial scale trial operations*. Journal of Hazardous Materials, (166) 144-149.
- Buchart -Korol Dorota. *Life cycle assessment of steel production in Poland: a case study*. Journal of Cleaner Production. 2013.
- Chunxia Yang, Yongheng Chen, Ping'an Peng, Chao Li, Xiangyang Chang, Yingjuan Wu. *Trace element transformations and partitioning during roasting of pyrite ores in the sulfuric acid industry*. Journal of Hazardous Materials. 2009.
- De Schryver AM, Brakkee KW, Goedkoop MJ, Huijbregts MAJ., 2009, *Characterization Factors for Global Warming in Life Cycle Assessment Based on Damages to Humans and Ecosystems*. Environmental Science and Technology 43 (6), 1689–1695.
- Ecoinvent. *Report 08_Chemicals*, 2007.
- Treccani. *Enciclopedia Italiana Treccani*,. 2014.
- Environmental Resources Management, 2007, *Life Cycle Assessment of Tissue Products. Final Report. Prepared by Jacob Madsen*. Environmental resources management limited.
- European Commission, 2010, *ILCD Handbook: Analysing of existing Environmental Impact Assessment methodologies for use in Life Cycle Assessment* First edition, European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability.
- Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.J., Doka G., Dones R., Heck T., Hellweg S., Hischer R., Nemecek T., Rebitzer G., Spielmann M., 2005, *The ecoinvent Database: Overview and Methodological Framework*, International Journal of Life Cycle Assessment 10 (1), 3-9.
- Goedkoop M., Heijungs R., Huijbregts M, De Schryver A., Struje J., van Zelm R., 2013, *ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and then endpoint level*. First edition (version 1.08), Report I: Characterisation.
- Heijungs R., Suh S., Kleijn R., 2005, *Numerical Approaches to Life Cycle Interpretation. The case of the ecoinvent '96 database*, International Journal of Life Cycle Assessment 10 (2) 103-112.
- Huijbregts MAJ, Struijs J, Goedkoop M, Heijungs R, Hendriks AJ, Van de Meent D., 2005a, *Human population intake fractions and environmental fate factors of toxic pollutants in Life Cycle Impact Assessment*. Chemosphere 61 (10): 1495-1504.
- Huijbregts MAJ, Rombouts LJA, Ragas AMJ, Van de Meent D., 2005b, *Human-toxicological effect and damage factors of carcinogenic and non-carcinogenic chemicals for life cycle impact assessment*. Integrated Environmental Assessment and Management 1 (3), 181-244.
- ISPRA, *Rapporto rifiuti*. 2013.
- ISO, 2006a, *ISO 14040:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*, International Organization for Standardisation (ISO), Ginevra.



- ISO 2006b, *ISO 14044:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines*, International Organization for Standardisation (ISO), Ginevra.
- Landfield Anne H., Karra Vija. *Life cycle assessment of a rock crusher*. Resources conservation and recycling (28), 207-217. 2000.
- Runkel M., Sturm P. *Pyrite roasting, an alternative to sulphur burning*. The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Sulphur and Sulphuric Acid Conference. 2009.
- Scipioni A., Mazzi A., Niero M., Boatto T., 2009. *LCA to choose among alternative design solutions: The case study of a new Italian incineration line*. Waste Management 29, 2462-2474.
- Steen B., 1997, *On uncertainty and sensitivity of LCA-based priority setting*, Journal of Cleaner Production 5 (4), 255-262.
- Van de Meent D, Huijbregts MAJ, 2005, *Evaluating ecotoxicological effect factors based on the Potentially Affected Fraction of species*. Environmental Toxicology and Chemistry 24 (6): 1573-1578.
- Van Zelm R, Huijbregts MAJ, Van Jaarsveld HA, Reinds GJ, De Zwart D, Struijs J, Van de Meent D., 2007a, *Time horizon dependent characterization factors for acidification in life-cycle impact assessment based on the disappeared fraction of plant species in European forests*. Environmental Science and Technology 41: 922-927.
- Van Zelm R, Huijbregts MAJ, Harbers JV, Wintersen A, Struijs J, Posthuma L, Van de Meent D. , 2007b, *Uncertainty in msPAF-based ecotoxicological freshwater effect factors for chemicals with a non-specific mode of action in life cycle impact assessment*. Integrated Environmental Assessment and Management 3 (2): 203-210.
- Van Zelm R, Huijbregts MAJ, Den Hollander HA, Van Jaarsveld HA, Sauter FJ, Struijs J, Van Wijnen HJ, Van de Meent D., 2008, *European characterization factors for respiratory health damage due to PM10 and ozone in life cycle impact assessment*. Atmospheric Environment 42 (3): 441-453.
- Van Zelm R, Huijbregts MAJ, Wintersen A, Posthuma L, Van de Meent D., 2009, *Pesticide ecotoxicological effect factors and their uncertainties for freshwater ecosystems*. International Journal of Life Cycle Assessment 14 (1): 43–51.
- Weidema B., Wesnaes M.S., 1996, *Data quality management for life cycle inventories – an example of using data quality indicators*, Journal of Cleaner Production 4 (3-4), 167-174.

APPENDICE A

Metodo di valutazione degli impatti Recipe 2008

Per il calcolo dell'impatto ambientale in questo studio è stato utilizzato il metodo ReCiPe 2008, che è un aggiornamento dei metodi Eco-indicatore 99 e CML 2002 ed è il risultato di un lavoro sviluppato in Olanda tra il 2001 e il 2008, che ha visto a capo del comitato il Ministero dell'Ambiente olandese (Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, VROM).

Il nome del metodo è un acronimo, che rappresenta le iniziali delle istituzioni che hanno contribuito in maniera preponderante al progetto: RIVM e Radboud University, CML e Pré Consultants.

Si tratta di un metodo di valutazione che offre una soluzione intermedia tra gli approcci delle metodologie Midpoint-oriented (ossia basate sulla valutazione per categorie di impatto, come CML) e damage-oriented (ovvero orientate alla valutazione per categorie di danno, come Eco-Indicator99). In tabella A.1 si riporta il riepilogo delle caratteristiche del metodo ReCiPe 2008, per una cui descrizione dettagliata si rimanda al manuale, da cui sono tratte le informazioni di seguito riportate (Goedkoop et al., 2013).

In figura A.1 si riporta come esempio per la categoria Climate change il passaggio tra livello Midpoint, caratterizzato da un minor livello di incertezza, basato su modelli riconosciuti e specifico però per la categoria di impatto, ed il livello Endpoint, caratterizzato da un maggior livello di incertezza e da unità di misura comuni per più categorie di impatto.

Figura A.1 Concetto di indicatore di categoria (Goedkoop et al., 2013).

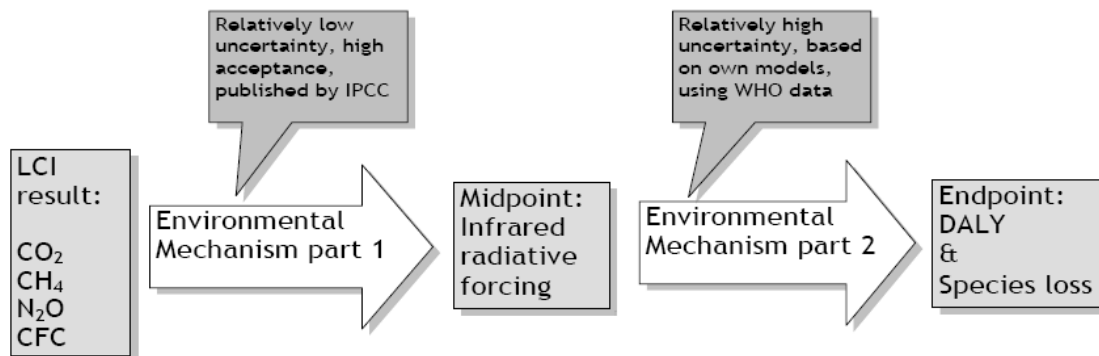
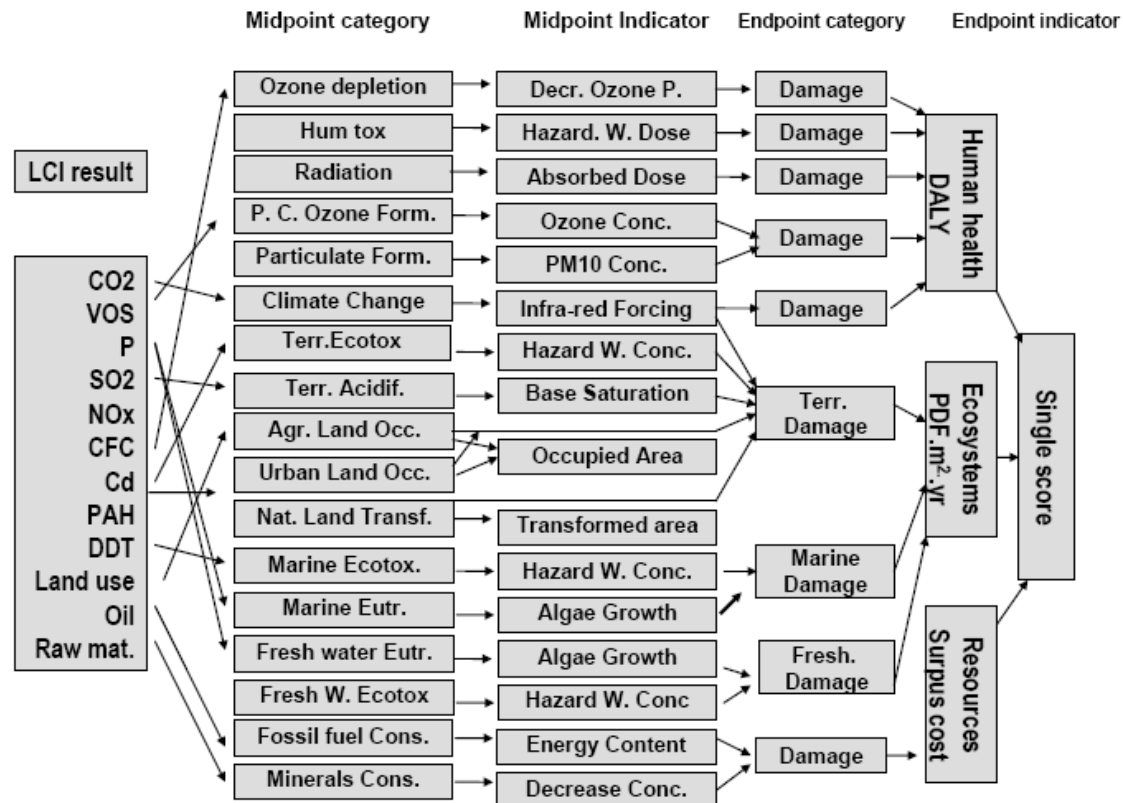


Tabella A.1: Riepilogo delle caratteristiche del metodo ReCiPe 2008 (European Commission, 2010).

Principle	Comment
Intended purpose of the method:	Combining midpoint and endpoint methodologies in a consistent way
Midpoint/endpoint:	Midpoint and endpoint characterisation factors are calculated on the basis of a consistent environmental cause-effect chain, except for land-use and resources
Handling of choices:	Cultural perspectives are used to distinguish three different sets of subjective choices. User can choose which version to apply.
Data uncertainties:	Data uncertainties are discussed in the text but not always quantified.
Regional validity:	Europe. Global for Climate change, Ozone layer depletion and resources
Temporal validity :	Present time
Time horizon:	20 years, 100 years or indefinite, depending on the cultural perspective
How is consistency ensured in the treatment of different impacts In characterisation In normalisation and weighting?	For all emission based categories similar principles and choices are used. All impacts are marginal. All impact categories of the same area of protection have the same indicator unit. Same environmental mechanism for midpoint and endpoint calculations is used.
Midpoint impacts covered:	climate change; ozone depletion; terrestrial acidification; freshwater eutrophication; marine eutrophication; human toxicity; photochemical oxidant formation; particulate matter formation; terrestrial ecotoxicity; freshwater ecotoxicity; marine ecotoxicity; ionising radiation; agricultural land occupation; urban land occupation; natural land transformation; depletion of fossil fuel resources; depletion of mineral resources; depletion of freshwater resources
Endpoint impacts covered:	Human health (DALY); ecosystem quality (biodiversity, PDF.m ² .yr); resources (surplus cost)
Approximate number of substances covered:	Approximately 3000 substances
Other observations:	

Con questo metodo è possibile collegare i risultati desunti dall'analisi di inventario a 17 "Midpoint categories" a loro volta riconducibili a 3 "damage categories", secondo lo schema riportato in Figura A.2.

Figura A.2 Relazione tra categorie di impatto (Midpoint categories) e categorie di danno (damage categories), (European Commission, 2010)



Le principali caratteristiche del metodo ReCiPe 2008 fanno riferimento ai seguenti aspetti (European Commission, 2010):

- I fattori di caratterizzazione relativi all'impatto del cambiamento climatico (*Climate change*), al livello Endpoint lo attribuiscono alle due categorie di danno Human health and Ecosystem. A livello Midpoint si utilizza l'ultima versione dei fattori di equivalenza dell'IPCC (2007) per i tre orizzonti temporali (20, 100 e 500 anni);
- I fattori di caratterizzazione per l'assottigliamento dello strato di ozono (*Ozone depletion*) a livello Endpoint sono basati su una esplicita previsione temporale di sviluppo demografico fino al 2100;
- L'impatto acidificazione (*Acidification*), si collega al danno all'ecosistema e alla dipendenza dall'orizzonte temporale;
- I fattori di formazione dell'ozono fotochimico e i fattori di formazione di materiale particolato derivano da aggiornamenti di modelli atmosferici e da studi epidemiologici;
- La categoria Land-use distingue l'utilizzo di suolo per fini agricoli;
- L'approccio marginale non lineare è incluso nel calcolo della tossicità umana e dell'ecotossicità;
- L'eutrofizzazione acquatica per le acque dolci fa riferimento al danno agli ecosistemi;

- Il calcolo del danno alle risorse (Resources) è basato sull'approccio di costo aggiuntivo (Endpoint).

Le categorie di danno utilizzate da ReCiPe 2008 sono 3, secondo quanto riportato in figura A.3:

Figura A.3 Caratteristiche delle categorie di danno (Goedkoop et al., 2013)

Impact category Name	abbr.	Indicator name	unit
damage to human health	HH	disability-adjusted loss of life years	yr
damage to ecosystem diversity	ED	Loss of species during a year	yr
damage to resource availability	RA	increased cost	\$

Tra le caratteristiche del metodo ReCiPe 2008 va sottolineato come esso riprenda la teoria della Cultural theory del metodo Ecoindicator, prevedendo tre distinte prospettive:

- Individualista (I, Individualist), basata su interessi a breve termine;
- Gerarchica (H, Hierarchist), basata sui principali principi di policy;
- Ugualitaria (E, Egalitarian), la prospettiva maggiormente precauzionaria, che tiene conto di una prospettiva temporale a più ampio spettro.

Nella figura A.4 si riportano le scelte per ciascuna delle prospettive considerate relativamente al passaggio dai dati di inventario e il livello Midpoint.

Figura A.4 Caratteristiche delle categorie di impatto a livello Midpoint per le 3prospettive culturali(Goedkoop et al., 2013)

To midpoint impact category:	Perspectives		
	I	H	E
climate change	20-yr time horizon	100 yr	500 yr
ozone depletion	-	-	-
terrestrial acidification	20-yr time horizon	100 yr	500 yr
freshwater eutrophication	-	-	-
marine eutrophication	-	-	-
human toxicity	100-yr time horizon	infinite	infinite
	organics: all exposure routes	all exposure routes for all chemicals	all exposure routes for all chemicals
	metals: drinking water and air only	all carcinogenic chemicals with reported TD ₅₀	all carcinogenic chemicals with reported TD ₅₀
	only carcinogenic chemicals with TD ₅₀ classified as 1, 2A, 2B by IARC		
photochemical oxidant formation	-	-	-
particulate matter formation	-	-	-
terrestrial ecotoxicity	100-yr time horizon	infinite	infinite
freshwater ecotoxicity	100-yr time horizon	infinite	infinite
marine ecotoxicity	100-yr time horizon	infinite	infinite
	sea + ocean for organics and non-essential metals.	sea + ocean for all chemicals	sea + ocean for all chemicals
	for essential metals the sea compartment is included only, excluding the oceanic compartments		
ionising radiation	100-yr time horizon	100,000 yr	100,000 yr
agricultural land occupation	-	-	-
urban land occupation	-	-	-
natural land transformation	-	-	-
water depletion	-	-	-
mineral resource depletion	-	-	-
fossil fuel depletion	-	-	-



Per approfondimento sulla metodologia si veda il link www.lcia-Recipe.net ed i riferimenti (De Schryver et al., 2009; Huijbregts et al., 2005a; Huijbregts et al., 2005b; Van de Meent et al., 2005; Van Zelm et al., 2007; Van Zelm et al 2007; Van Zelm et al., 2008; Van Zelm et al., 2009; Wegener Sleeswijk et al., 2008).



APPENDICE B

Analisi dei contributi per analisi di incertezza –confronto: processo produttivo basato sulle ceneri di pirite – processo basato sui minerali ferrosi

Si riporta di seguito l'analisi dei contributi per ciascuna delle categorie di impatto considerate per il caso relativo alla produzione di 1 ton di FERROX ES95®; il valore di cut-off è stato impostato pari all'1%, pertanto per ciascuna categoria vengono indicati i sotto-processi che sono responsabili dell'impatto in percentuale maggiore a tale valore.

Climate change				
Processo	Progetto	Unità	Processo basato sulle ceneri di pirite	Processo basato sui minerali ferrosi
Il totale di tutti i processi	-	%	100	100
Processi rimanenti	-	%	1,30	0,00
Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER S	Ecoinvent	%	25,83	68,44
Transport, transoceanic freight ship/OCE S	Ecoinvent	%	x	11,00
Heat, natural gas, at boiler modulating >100kW/RER S	Ecoinvent	%	22,50	8,31
Electricity, medium voltage, at grid/IT S	Ecoinvent	%	15,57	6,28
Iron ore, 65% Fe, at beneficiation/GLO S	Ecoinvent	%	x	3,72
Diesel, burned in building machine/GLO S	Ecoinvent	%	14,65	2,25
Steel, converter, unalloyed, at plant/RER S	Ecoinvent	%	20,15	x

Ozone depletion				
Processo	Progetto	Unità	Processo basato sulle ceneri di pirite	Processo basato sui minerali ferrosi
Il totale di tutti i processi	-	%	100	100
Processi rimanenti	-	%	1,14	0,00
Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER S	Ecoinvent	%	36,92	75,32
Transport, transoceanic freight ship/OCE S	Ecoinvent	%	x	8,70
Heat, natural gas, at boiler modulating >100kW/RER S	Ecoinvent	%	29,16	8,29
Electricity, medium voltage, at grid/IT S	Ecoinvent	%	12,37	3,84
Diesel, burned in building machine/GLO S	Ecoinvent	%	16,50	1,95
Iron ore, 65% Fe, at beneficiation/GLO S	Ecoinvent	%	x	1,90
Steel, converter, unalloyed, at plant/RER S	Ecoinvent	%	3,91	x

Human toxicity				
Processo	Progetto	Unità	Processo basato sulle ceneri di pirite	Processo basato sui minerali ferrosi
Il totale di tutti i processi	-	%	100	100
Processi rimanenti	-	%	1,02	0,00
Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER S	Ecoinvent	%	20,01	61,78



Iron ore, 65% Fe, at beneficiation/GLO S	Ecoinvent	%	x	14,44
Transport, transoceanic freight ship/OCE S	Ecoinvent	%	x	11,96
Electricity, medium voltage, at grid/IT S	Ecoinvent	%	18,64	8,76
3) Macinazione ed essiccamento MF	Ecoinvent	%	x	1,20
Steel, converter, unalloyed, at plant/RER S	Ecoinvent	%	50,78	x
Diesel, burned in building machine/GLO S	Ecoinvent	%	5,31	0,95
4) Macinazione ed essiccamento CP	Ecoinvent	%	2,12	x
Heat, natural gas, at boiler modulating >100kW/RER S	Ecoinvent	%	2,11	0,91

Photochemical oxidant formation				
Processo	Progetto	Unità	Processo basato sulle ceneri di pirite	Processo basato sui minerali ferrosi
Il totale di tutti i processi	-	%	100	100
Processi rimanenti	-	%	1,11	0,88
Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER S	Ecoinvent	%	13,50	52,21
Transport, transoceanic freight ship/OCE S	Ecoinvent	%	x	28,14
Iron ore, 65% Fe, at beneficiation/GLO S	Ecoinvent	%	x	9,64
Diesel, burned in building machine/GLO S	Ecoinvent	%	22,94	5,13
Electricity, medium voltage, at grid/IT S	Ecoinvent	%	4,60	2,71
Heat, natural gas, at boiler modulating >100kW/RER S	Ecoinvent	%	2,39	1,29
Steel, converter, unalloyed, at plant/RER S	Ecoinvent	%	7,63	x
4) Macinazione ed essiccamento CP	Ecoinvent	%	1,74	x
Emissioni SO ₂ processo di roasting	Ecoinvent	%	46,10	x

Particulate matter formation				
Processo	Progetto	Unità	Processo basato sulle ceneri di pirite	Processo basato sui minerali ferrosi
Il totale di tutti i processi	-	%	100	100
Processi rimanenti	-	%	0,30	0,17
Iron ore, 65% Fe, at beneficiation/GLO S	Ecoinvent	%	x	74,12
Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER S	Ecoinvent	%	2,69	13,04
Transport, transoceanic freight ship/OCE S	Ecoinvent	%	x	9,95
Diesel, burned in building machine/GLO S	Ecoinvent	%	4,68	1,31
Electricity, medium voltage, at grid/IT S	Ecoinvent	%	1,53	1,13
Steel, converter, unalloyed, at plant/RER S	Ecoinvent	%	5,76	x
Iron ore, 46% Fe, at mine/GLO S	Ecoinvent	%	6,09	x
Emissioni SO ₂ processo di roasting	Ecoinvent	%	78,54	x



Ionising radiation				
Processo	Progetto	Unità	Processo basato sulle ceneri di pirite	Processo basato sui minerali ferrosi
Il totale di tutti i processi	-	%	100	100
Processi rimanenti	-	%	1,56	0,00
Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER S	Ecoinvent	%	32,01	58,19
Iron ore, 65% Fe, at beneficiation/GLO S	Ecoinvent	%	x	17,18
Transport, transoceanic freight ship/OCE S	Ecoinvent	%	x	13,03
Electricity, medium voltage, at grid/IT S	Ecoinvent	%	37,06	10,26
Steel, converter, unalloyed, at plant/RER S	Ecoinvent	%	20,88	x
Diesel, burned in building machine/GLO S	Ecoinvent	%	5,54	0,58
Heat, natural gas, at boiler modulating >100kW/RER S	Ecoinvent	%	2,96	0,75

Terrestrial acidification				
Processo	Progetto	Unità	Processo basato sulle ceneri di pirite	Processo basato sui minerali ferrosi
Il totale di tutti i processi	-	%	100	100
Processi rimanenti	-	%	0,30	0,56
Transport, transoceanic freight ship/OCE S	Ecoinvent	%	x	41,81
Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER S	Ecoinvent	%	1,44	38,51
Iron ore, 65% Fe, at beneficiation/GLO S	Ecoinvent	%	x	9,52
Electricity, medium voltage, at grid/IT S	Ecoinvent	%	1,26	5,13
Diesel, burned in building machine/GLO S	Ecoinvent	%	2,20	3,40
Heat, natural gas, at boiler modulating >100kW/RER S	Ecoinvent	%	0,29	1,08
Steel, converter, unalloyed, at plant/RER S	Ecoinvent	%	1,23	x
Emissioni SO ₂ processo di roasting	Ecoinvent	%	93,26	x

Freshwater eutrophication				
Processo	Progetto	Unità	Processo basato sulle ceneri di pirite	Processo basato sui minerali ferrosi
Il totale di tutti i processi	-	%	100	100
Processi rimanenti	-	%	0,91	0,91
Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER S	Ecoinvent	%	11,80	50,03
Iron ore, 65% Fe, at beneficiation/GLO S	Ecoinvent	%	X	19,90
Transport, transoceanic freight ship/OCE S	Ecoinvent	%	x	15,72
Electricity, medium voltage, at grid/IT S	Ecoinvent	%	19,24	12,42
Heat, natural gas, at boiler modulating >100kW/RER S	Ecoinvent	%	1,72	1,02
Steel, converter, unalloyed, at plant/RER S	Ecoinvent	%	62,73	x

Freshwater eutrophication				
Processo	Progetto	Unità	Processo basato sulle ceneri di pirite	Processo basato sui minerali ferrosi
Diesel, burned in building machine/GLO S	Ecoinvent	%	3,70	0,91

Marine eutrophication				
Processo	Progetto	Unità	Processo basato sulle ceneri di pirite	Processo basato sui minerali ferrosi
Il totale di tutti i processi	-	%	100	100
Processi rimanenti	-	%	0,67	1,88
Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER S	Ecoinvent	%	21,62	47,65
Transport, transoceanic freight ship/OCE S	Ecoinvent	%	x	27,92
Iron ore, 65% Fe, at beneficiation/GLO S	Ecoinvent	%	x	13,63
Diesel, burned in building machine/GLO S	Ecoinvent	%	37,00	4,72
Electricity, medium voltage, at grid/IT S	Ecoinvent	%	12,53	4,20
Steel, converter, unalloyed, at plant/RER S	Ecoinvent	%	19,92	x
4) Macinazione ed essiccamento CP	Ecoinvent	%	3,19	x
Heat, natural gas, at boiler modulating >100kW/RER S	Ecoinvent	%	3,12	0,96
Iron ore, 46% Fe, at mine/GLO S	Ecoinvent	%	1,95	x

Terrestrial ecotoxicity				
Processo	Progetto	Unità	Processo basato sulle ceneri di pirite	Processo basato sui minerali ferrosi
Il totale di tutti i processi	-	%	100	100
Processi rimanenti	-	%	0,63	0,01
Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER S	Ecoinvent	%	56,24	84,96
Transport, transoceanic freight ship/OCE S	Ecoinvent	%	x	7,29
Electricity, medium voltage, at grid/IT S	Ecoinvent	%	12,64	2,91
Iron ore, 65% Fe, at beneficiation/GLO S	Ecoinvent	%	x	2,29
Diesel, burned in building machine/GLO S	Ecoinvent	%	17,13	1,50
Heat, natural gas, at boiler modulating >100kW/RER S	Ecoinvent	%	4,98	1,05
Steel, converter, unalloyed, at plant/RER S	Ecoinvent	%	8,38	x

Freshwater ecotoxicity				
Processo	Progetto	Unità	Processo basato sulle ceneri di pirite	Processo basato sui minerali ferrosi
Il totale di tutti i processi	-	%	100	100
Processi rimanenti	-	%	2,04	0,79
Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER S	Ecoinvent	%	17,79	61,96
Iron ore, 65% Fe, at beneficiation/GLO S	Ecoinvent	%	x	16,06
Transport, transoceanic freight ship/OCE S	Ecoinvent	%	x	11,84



Freshwater ecotoxicity				
Processo	Progetto	Unità	Processo basato sulle ceneri di pirite	Processo basato sui minerali ferrosi
Electricity, medium voltage, at grid/IT S	Ecoinvent	%	15,50	8,22
Diesel, burned in building machine/GLO S	Ecoinvent	%	5,64	1,14
Steel, converter, unalloyed, at plant/RER S	Ecoinvent	%	57,41	x
Heat, natural gas, at boiler modulating >100kW/RER S	Ecoinvent	%	1,62	0,79

Marine ecotoxicity				
Processo	Progetto	Unità	Processo basato sulle ceneri di pirite	Processo basato sui minerali ferrosi
Il totale di tutti i processi	-	%	100	100
Processi rimanenti	-	%	2,08	0,09
Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER S	Ecoinvent	%	20,09	60,25
Transport, transoceanic freight ship/OCE S	Ecoinvent	%	x	17,91
Iron ore, 65% Fe, at beneficiation/GLO S	Ecoinvent	%	x	12,47
Electricity, medium voltage, at grid/IT S	Ecoinvent	%	15,41	7,04
Heat, natural gas, at boiler modulating >100kW/RER S	Ecoinvent	%	2,83	1,18
Diesel, burned in building machine/GLO S	Ecoinvent	%	6,13	1,06
Steel, converter, unalloyed, at plant/RER S	Ecoinvent	%	53,48	x

Agricultural land occupation				
Processo	Progetto	Unità	Processo basato sulle ceneri di pirite	Processo basato sui minerali ferrosi
Il totale di tutti i processi	-	%	100	100
Processi rimanenti	-	%	0,45	1,53
Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER S	Ecoinvent	%		68,76
Iron ore, 65% Fe, at beneficiation/GLO S	Ecoinvent	%	10,70	13,39
Electricity, medium voltage, at grid/IT S	Ecoinvent	%	8,52	8,34
Transport, transoceanic freight ship/OCE S	Ecoinvent	%		7,98
Steel, converter, unalloyed, at plant/RER S	Ecoinvent	%	60,92	x
EUR-flat pallet/RER S	Ecoinvent	%	10,73	x
Blow moulding/RER S	Ecoinvent	%	5,75	x
Diesel, burned in building machine/GLO S	Ecoinvent	%	2,07	0,77



Urban land occupation				
Processo	Progetto	Unità	Processo basato sulle ceneri di pirite	Processo basato sui minerali ferrosi
Il totale di tutti i processi		%	100	100
Processi rimanenti		%	0,48	0,78
Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER S	Ecoinvent	%	54,66	86,66
Iron ore, 65% Fe, at beneficiation/GLO S	Ecoinvent	%	X	5,49
Transport, transoceanic freight ship/OCE S	Ecoinvent	%	x	5,45
Electricity, medium voltage, at grid/IT S	Ecoinvent	%	6,70	1,62
Steel, converter, unalloyed, at plant/RER S	Ecoinvent	%	30,63	x
Diesel, burned in building machine/GLO S	Ecoinvent	%	4,84	0,443896
Heat, natural gas, at boiler modulating >100kW/RER S	Ecoinvent	%	1,52	0,335192
Iron ore, 46% Fe, at mine/GLO S	Ecoinvent	%	1,06	x

Natural land transformation				
Processo	Progetto	Unità	Processo basato sulle ceneri di pirite	Processo basato sui minerali ferrosi
Il totale di tutti i processi		%	100	100
Processi rimanenti		%	1,03	0,00
Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER S	Ecoinvent	%	34,71	70,80
Transport, transoceanic freight ship/OCE S	Ecoinvent	%	x	14,75
Heat, natural gas, at boiler modulating >100kW/RER S	Ecoinvent	%	18,45	5,24
Electricity, medium voltage, at grid/IT S	Ecoinvent	%	10,96	3,40
Diesel, burned in building machine/GLO S	Ecoinvent	%	26,88	3,17
Iron ore, 65% Fe, at beneficiation/GLO S	Ecoinvent	%	x	2,63
Steel, converter, unalloyed, at plant/RER S	Ecoinvent	%	7,97	x

Water depletion				
Processo	Progetto	Unità	Processo basato sulle ceneri di pirite	Processo basato sui minerali ferrosi
Il totale di tutti i processi		%	100	100
Processi rimanenti		%	0,74	0,82
Iron ore, 65% Fe, at beneficiation/GLO S	Ecoinvent	%	x	52,40
Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER S	Ecoinvent	%	26,26	39,31
Transport, transoceanic freight ship/OCE S	Ecoinvent	%	x	4,01
Electricity, medium voltage, at grid/IT S	Ecoinvent	%	15,18	3,46
Steel, converter, unalloyed, at plant/RER S	Ecoinvent	%	50,37	x
Diesel, burned in building machine/GLO S	Ecoinvent	%	6,05	0,52
Heat, natural gas, at boiler modulating >100kW/RER S	Ecoinvent	%	1,42	0,30



Metal depletion				
Processo	Progetto	Unità	Processo basato sulle ceneri di pirite	Processo basato sui minerali ferrosi
Il totale di tutti i processi		%	100	100
Processi rimanenti		%	1,47	0,19
Iron ore, 65% Fe, at beneficiation/GLO S	Ecoinvent	%	x	97,85
Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER S	Ecoinvent	%	2,85	1,96
Iron ore, 46% Fe, at mine/GLO S	Ecoinvent	%	56,92	x
Steel, converter, unalloyed, at plant/RER S	Ecoinvent	%	38,76	x

Fossil depletion				
Processo	Progetto	Unità	Processo basato sulle ceneri di pirite	Processo basato sui minerali ferrosi
Il totale di tutti i processi		%	100	100
Processi rimanenti		%	1,43	0,00
Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER S	Ecoinvent	%	26,51	69,43
Transport, transoceanic freight ship/OCE S	Ecoinvent	%	x	10,27
Heat, natural gas, at boiler modulating >100kW/RER S	Ecoinvent	%	25,87	9,44
Electricity, medium voltage, at grid/IT S	Ecoinvent	%	14,00	5,59
Iron ore, 65% Fe, at beneficiation/GLO S	Ecoinvent	%	x	3,10
Steel, converter, unalloyed, at plant/RER S	Ecoinvent	%	17,89	x
Diesel, burned in building machine/GLO S	Ecoinvent	%	14,30	2,17



APPENDICE C

Inventario - Processo basato sull'utilizzo di ceneri di pirite, scaglie di laminazione e ossido di ferro rosso.



N°	Sostanza	Compartimento	Unità di misura	Valore assoluto
1	1-Butanol	Air	ng	4,447E+00
2	1-Butanol	Water	µg	9,467E+01
3	1-Pentanol	Air	ng	1,544E+01
4	1-Pentanol	Water	ng	3,706E+01
5	1-Pentene	Air	ng	1,167E+01
6	1-Pentene	Water	ng	2,800E+01
7	1-Propanol	Air	ng	5,876E+02
8	1-Propanol	Water	ng	7,461E+01
9	1,4-Butanediol	Air	ng	3,153E+02
10	1,4-Butanediol	Water	ng	1,261E+02
11	2-Aminopropanol	Air	ng	2,138E+00
12	2-Aminopropanol	Water	ng	5,367E+00
13	2-Butene, 2-methyl-	Air	pg	2,588E+00
14	2-Methyl-1-propanol	Air	ng	2,959E+01
15	2-Methyl-1-propanol	Water	ng	7,102E+01
16	2-Methyl-2-butene	Water	pg	6,212E+00
17	2-Nitrobenzoic acid	Air	ng	3,691E+00
18	2-Propanol	Air	mg	5,617E+00
19	2-Propanol	Water	ng	2,134E+01
20	2,4-D	Soil	µg	1,418E+01
21	4-Methyl-2-pentanone	Water	ng	1,341E+01
22	Acenaphthene	Air	ng	1,944E+02
23	Acenaphthene	Water	µg	9,863E+00
24	Acenaphthylene	Water	ng	6,168E+02
25	Acetaldehyde	Air	mg	3,694E+01
26	Acetaldehyde	Water	µg	1,796E+02
27	Acetic acid	Air	mg	2,597E+02
28	Acetic acid	Water	mg	2,689E+00
29	Acetone	Air	mg	3,050E+01
30	Acetone	Water	µg	1,793E+00
31	Acetonitrile	Air	µg	4,221E+01
32	Acetonitrile	Water	ng	1,748E+01
33	Acetyl chloride	Water	ng	2,911E+01
34	Acidity, unspecified	Water	mg	1,436E+00
35	Aclonifen	Soil	µg	3,177E+01
36	Acrolein	Air	µg	1,133E+01
37	Acrylate, ion	Water	µg	3,439E+01
38	Acrylic acid	Air	µg	1,453E+01
39	Actinides, radioactive, unspecified	Air	mBq	5,174E+00
40	Actinides, radioactive, unspecified	Water	mBq	7,329E+02
41	Aerosols, radioactive, unspecified	Air	mBq	1,003E+02
42	Air	Raw	tn.lg	1,692E+01
43	Aldehydes, unspecified	Air	µg	5,861E+02
44	Aldrin	Soil	ng	3,738E+02



45	Aluminium	Air	g	1,128E+01
46	Aluminium	Water	g	4,388E+01
47	Aluminium	Soil	mg	8,245E+02
48	Aluminium, 24% in bauxite, 11% in crude ore, in ground	Raw	g	4,302E+01
49	Ammonia	Air	g	5,616E+00
50	Ammonium carbonate	Air	µg	2,155E+01
51	Ammonium, ion	Water	mg	4,476E+02
52	Anhydrite, in ground	Raw	mg	1,465E+00
53	Aniline	Air	ng	8,829E+01
54	Aniline	Water	ng	2,134E+02
55	Anthranilic acid	Air	ng	2,691E+00
56	Antimony	Air	µg	6,832E+02
57	Antimony	Water	mg	3,330E+01
58	Antimony	Soil	ng	3,511E+01
59	Antimony-122	Water	mBq	1,588E+00
60	Antimony-124	Air	µBq	3,938E+00
61	Antimony-124	Water	mBq	1,690E+02
62	Antimony-125	Air	µBq	4,110E+01
63	Antimony-125	Water	mBq	1,566E+02
64	AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl	Water	mg	4,404E+00
65	Argon-41	Air	Bq	3,088E+01
66	Arsenic	Air	mg	9,328E+00
67	Arsenic	Soil	µg	3,306E+02
68	Arsenic, ion	Water	mg	1,936E+02
69	Arsine	Air	pg	1,694E+02
70	Atrazine	Soil	ng	9,805E+01
71	Barite	Water	g	8,359E+00
72	Barite, 15% in crude ore, in ground	Raw	g	1,440E+02
73	Barium	Air	mg	8,309E+00
74	Barium	Water	g	2,515E+00
75	Barium	Soil	mg	4,061E+02
76	Barium-140	Air	mBq	2,673E+00
77	Barium-140	Water	mBq	6,955E+00
78	Basalt, in ground	Raw	g	7,222E+00
79	Benomyl	Soil	ng	9,027E+01
80	Bentazone	Soil	µg	1,622E+01
81	Benzal chloride	Air	pg	2,260E+00
82	Benzaldehyde	Air	µg	4,082E+00
83	Benzene	Air	mg	6,867E+02
84	Benzene	Water	mg	1,384E+02
85	Benzene, 1-methyl-2-nitro-	Air	ng	3,187E+00
86	Benzene, 1,2-dichloro-	Air	ng	8,991E+01
87	Benzene, 1,2-dichloro-	Water	µg	4,097E+01
88	Benzene, chloro-	Water	µg	8,417E+02
89	Benzene, ethyl-	Air	mg	3,648E+01



90	Benzene, ethyl-	Water	mg	3,806E+01
91	Benzene, hexachloro-	Air	µg	2,031E+01
92	Benzene, pentachloro-	Air	ng	5,637E+02
93	Benzo(a)pyrene	Air	mg	1,366E+00
94	Beryllium	Air	µg	8,053E+01
95	Beryllium	Water	mg	4,737E+01
96	BOD5, Biological Oxygen Demand	Water	g	3,317E+02
97	Borate	Water	µg	3,022E+00
98	Borax, in ground	Raw	µg	4,257E+02
99	Boron	Air	mg	1,424E+02
100	Boron	Water	g	1,140E+00
101	Boron	Soil	mg	1,099E+01
102	Boron trifluoride	Air	pg	2,318E+00
103	Bromate	Water	mg	1,247E+01
104	Bromide	Water	µg	1,755E+02
105	Bromine	Air	mg	2,096E+01
106	Bromine	Water	g	1,145E+00
107	Bromine, 0.0023% in water	Raw	µg	2,032E+02
108	Butadiene	Air	ng	1,814E+02
109	Butane	Air	g	2,535E+00
110	Butene	Air	mg	3,629E+01
111	Butene	Water	µg	2,530E+01
112	Butyl acetate	Water	µg	1,231E+02
113	Butyrolactone	Air	ng	8,704E+01
114	Butyrolactone	Water	ng	2,089E+02
115	Cadmium	Air	mg	3,375E+00
116	Cadmium	Soil	µg	1,108E+02
117	Cadmium, 0.30% in sulfide, Cd 0.18%, Pb, Zn, Ag, In, in ground	Raw	mg	1,103E+02
118	Cadmium, ion	Water	mg	4,844E+01
119	Calcite, in ground	Raw	oz	3,579E+02
120	Calcium	Air	mg	1,377E+02
121	Calcium	Soil	g	3,391E+00
122	Calcium, ion	Water	g	6,688E+02
123	Carbetamide	Soil	µg	6,126E+00
124	Carbofuran	Soil	µg	4,949E+01
125	Carbon	Soil	g	2,475E+00
126	Carbon-14	Air	Bq	5,157E+02
127	Carbon dioxide, biogenic	Air	g	7,715E+02
128	Carbon dioxide, fossil	Air	kg	1,886E+02
129	Carbon dioxide, in air	Raw	oz	4,009E+01
130	Carbon dioxide, land transformation	Air	g	1,266E+00
131	Carbon disulfide	Air	mg	9,629E+01
132	Carbon disulfide	Water	µg	1,659E+00
133	Carbon monoxide, biogenic	Air	mg	2,295E+02



134	Carbon monoxide, fossil	Air	g	9,819E+02
135	Carbon, in organic matter, in soil	Raw	mg	6,251E+01
136	Carbonate	Water	mg	3,035E+01
137	Carboxylic acids, unspecified	Water	g	6,741E+00
138	Cerium-141	Air	µBq	6,481E+02
139	Cerium-141	Water	mBq	2,781E+00
140	Cerium-144	Water	µBq	8,466E+02
141	Cesium	Water	mg	1,586E+00
142	Cesium-134	Air	µBq	3,104E+01
143	Cesium-134	Water	mBq	9,708E+01
144	Cesium-136	Water	µBq	4,935E+02
145	Cesium-137	Air	µBq	5,502E+02
146	Cesium-137	Water	Bq	8,498E+01
147	Chloramine	Air	ng	5,848E+01
148	Chloramine	Water	ng	5,241E+02
149	Chlorate	Water	mg	9,770E+01
150	Chloride	Water	oz	4,166E+01
151	Chloride	Soil	g	1,019E+02
152	Chlorinated solvents, unspecified	Water	µg	6,191E+01
153	Chlorine	Air	mg	8,716E+01
154	Chlorine	Water	mg	1,346E+00
155	Chloroacetic acid	Air	µg	5,719E+00
156	Chloroacetic acid	Water	µg	3,654E+02
157	Chloroacetyl chloride	Water	ng	7,158E+00
158	Chloroform	Air	µg	1,955E+01
159	Chloroform	Water	µg	1,941E+00
160	Chlorosilane, trimethyl-	Air	µg	3,829E+00
161	Chlorosulfonic acid	Air	ng	2,549E+01
162	Chlorosulfonic acid	Water	ng	6,358E+01
163	Chlorothalonil	Soil	µg	3,817E+02
164	Chromium	Air	mg	1,048E+02
165	Chromium	Soil	mg	4,665E+00
166	Chromium-51	Air	µBq	4,153E+01
167	Chromium-51	Water	mBq	5,494E+02
168	Chromium VI	Air	µg	8,857E+02
169	Chromium VI	Water	g	1,443E+00
170	Chromium VI	Soil	mg	1,617E+01
171	Chromium, 25.5% in chromite, 11.6% in crude ore, in ground	Raw	g	8,040E+00
172	Chromium, ion	Water	mg	6,879E+00
173	Chrysotile, in ground	Raw	mg	2,399E+00
174	Cinnabar, in ground	Raw	µg	2,185E+02
175	Clay, bentonite, in ground	Raw	g	3,984E+02
176	Clay, unspecified, in ground	Raw	g	7,932E+02
177	Coal, brown, in ground	Raw	oz	1,367E+02
178	Coal, hard, unspecified, in ground	Raw	kg	2,944E+01



179	Cobalt	Air	mg	9,415E+00
180	Cobalt	Water	g	1,024E+00
181	Cobalt	Soil	µg	9,569E+00
182	Cobalt-57	Water	mBq	1,567E+01
183	Cobalt-58	Air	µBq	5,783E+01
184	Cobalt-58	Water	Bq	2,664E+00
185	Cobalt-60	Air	µBq	5,109E+02
186	Cobalt-60	Water	Bq	2,296E+00
187	Cobalt, in ground	Raw	µg	5,941E+02
188	COD, Chemical Oxygen Demand	Water	g	4,048E+02
189	Colemanite, in ground	Raw	mg	1,011E+02
190	Copper	Air	mg	1,682E+02
191	Copper	Soil	mg	1,692E+01
192	Copper, 0.99% in sulfide, Cu 0.36% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground	Raw	mg	9,360E+02
193	Copper, 1.18% in sulfide, Cu 0.39% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground	Raw	g	5,140E+00
194	Copper, 1.42% in sulfide, Cu 0.81% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground	Raw	g	1,364E+00
195	Copper, 2.19% in sulfide, Cu 1.83% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground	Raw	g	6,831E+00
196	Copper, ion	Water	mg	6,907E+02
197	Cumene	Air	mg	1,483E+01
198	Cumene	Water	mg	3,564E+01
199	Cyanide	Air	mg	1,229E+00
200	Cyanide	Water	mg	3,667E+01
201	Cyanoacetic acid	Air	ng	2,088E+01
202	Cypermethrin	Soil	µg	7,132E+00
203	Diatomite, in ground	Raw	µg	4,104E+01
204	Dichromate	Water	µg	4,217E+02
205	Diethylamine	Air	ng	4,038E+01
206	Diethylamine	Water	ng	9,691E+01
207	Dimethyl malonate	Air	ng	2,618E+01
208	Dimethylamine	Water	ng	2,031E+02
209	Dinitrogen monoxide	Air	g	4,731E+00
210	Dioxin, 2,3,7,8 Tetrachlorodibenzo-p-	Air	ng	1,940E+02
211	Dipropylamine	Air	ng	2,453E+01
212	Dipropylamine	Water	ng	5,887E+01
213	DOC, Dissolved Organic Carbon	Water	g	1,434E+02
214	Dolomite, in ground	Raw	g	7,392E+01
215	Energy, gross calorific value, in biomass	Raw	MJ	9,603E+00
216	Energy, gross calorific value, in biomass, primary forest	Raw	kJ	4,334E+00
217	Energy, kinetic (in wind), converted	Raw	Wh	7,146E+02
218	Energy, potential (in hydropower reservoir), converted	Raw	MJ	5,922E+01
219	Energy, solar, converted	Raw	kJ	2,952E+01
220	Ethane	Air	g	6,018E+00
221	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	Air	µg	1,054E+01



222	Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	Air	ng	4,996E+01
223	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	Air	mg	1,249E+02
224	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	Air	ng	6,897E+02
225	Ethane, 1,2-dichloro-	Air	µg	8,995E+02
226	Ethane, 1,2-dichloro-	Water	µg	6,596E+01
227	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	Air	µg	1,941E+02
228	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	Air	mg	1,059E+00
229	Ethanol	Air	mg	4,339E+01
230	Ethanol	Water	µg	2,226E+02
231	Ethene	Air	mg	6,420E+02
232	Ethene	Water	mg	1,029E+01
233	Ethene, chloro-	Air	µg	3,252E+02
234	Ethene, chloro-	Water	µg	3,295E+00
235	Ethene, tetrachloro-	Air	ng	1,186E+02
236	Ethyl acetate	Air	mg	2,609E+01
237	Ethyl acetate	Water	ng	1,159E+02
238	Ethyl cellulose	Air	µg	5,276E+01
239	Ethylamine	Air	ng	2,173E+01
240	Ethylamine	Water	ng	5,216E+01
241	Ethylene diamine	Air	µg	1,083E+00
242	Ethylene diamine	Water	µg	2,619E+00
243	Ethylene oxide	Air	µg	1,542E+02
244	Ethylene oxide	Water	µg	1,782E+01
245	Ethyne	Air	mg	2,210E+01
246	Feldspar, in ground	Raw	µg	5,129E+00
247	Fenpiclonil	Soil	µg	1,612E+01
248	Fluoride	Water	g	5,251E+00
249	Fluoride	Soil	mg	5,156E+01
250	Fluorine	Air	mg	1,590E+01
251	Fluorine, 4.5% in apatite, 1% in crude ore, in ground	Raw	mg	1,878E+02
252	Fluorine, 4.5% in apatite, 3% in crude ore, in ground	Raw	mg	8,528E+01
253	Fluorspar, 92%, in ground	Raw	g	2,844E+00
254	Fluosilicic acid	Air	mg	1,182E+00
255	Fluosilicic acid	Water	mg	2,128E+00
256	Formaldehyde	Air	mg	1,903E+02
257	Formaldehyde	Water	mg	2,004E+00
258	Formamide	Air	ng	2,824E+01
259	Formamide	Water	ng	6,778E+01
260	Formate	Water	µg	5,364E+00
261	Formic acid	Air	µg	3,150E+02
262	Formic acid	Water	ng	1,967E+01
263	Furan	Air	µg	8,017E+01
264	Gallium, 0.014% in bauxite, in ground	Raw	ng	8,124E+01
265	Gas, mine, off-gas, process, coal mining/m3	Raw	dm3	2,685E+02
266	Gas, natural, in ground	Raw	cu.yd	3,957E+01



267	Glutaraldehyde	Water	mg	1,032E+00
268	Glyphosate	Soil	mg	3,582E+00
269	Gold, Au 1.1E-4%, Ag 4.2E-3%, in ore, in ground	Raw	µg	5,168E+01
270	Gold, Au 1.3E-4%, Ag 4.6E-5%, in ore, in ground	Raw	µg	9,476E+01
271	Gold, Au 1.4E-4%, in ore, in ground	Raw	µg	1,135E+02
272	Gold, Au 2.1E-4%, Ag 2.1E-4%, in ore, in ground	Raw	µg	1,733E+02
273	Gold, Au 4.3E-4%, in ore, in ground	Raw	µg	4,295E+01
274	Gold, Au 4.9E-5%, in ore, in ground	Raw	µg	1,029E+02
275	Gold, Au 6.7E-4%, in ore, in ground	Raw	µg	1,593E+02
276	Gold, Au 7.1E-4%, in ore, in ground	Raw	µg	1,796E+02
277	Gold, Au 9.7E-4%, Ag 9.7E-4%, Zn 0.63%, Cu 0.38%, Pb 0.014%, in ore, in ground	Raw	µg	1,076E+01
278	Granite, in ground	Raw	ng	1,843E+02
279	Gravel, in ground	Raw	kg	5,627E+01
280	Gypsum, in ground	Raw	mg	9,048E+00
281	Heat, waste	Air	kWh	7,861E+02
282	Heat, waste	Water	MJ	6,536E+01
283	Heat, waste	Soil	Wh	5,191E+02
284	Helium	Air	mg	1,138E+02
285	Heptane	Air	mg	3,628E+02
286	Hexane	Air	mg	9,746E+02
287	Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, cyclic	Air	µg	1,879E+02
288	Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified	Air	g	4,181E+00
289	Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified	Water	mg	2,061E+02
290	Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated	Air	mg	6,640E+01
291	Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated	Water	mg	1,903E+01
292	Hydrocarbons, aromatic	Air	mg	2,342E+02
293	Hydrocarbons, aromatic	Water	mg	8,502E+02
294	Hydrocarbons, chlorinated	Air	µg	7,623E+02
295	Hydrocarbons, unspecified	Water	mg	1,760E+02
296	Hydrogen	Air	mg	1,383E+02
297	Hydrogen-3, Tritium	Air	Bq	2,486E+03
298	Hydrogen-3, Tritium	Water	kBq	1,934E+02
299	Hydrogen chloride	Air	g	2,862E+00
300	Hydrogen fluoride	Air	mg	6,109E+02
301	Hydrogen peroxide	Air	µg	3,909E+01
302	Hydrogen peroxide	Water	µg	4,107E+02
303	Hydrogen sulfide	Air	g	1,456E+00
304	Hydrogen sulfide	Water	mg	5,568E+01
305	Hydroxide	Water	mg	1,089E+00
306	Hypochlorite	Water	mg	5,516E+01
307	Indium, 0.005% in sulfide, In 0.003%, Pb, Zn, Ag, Cd, in ground	Raw	mg	1,842E+00
308	Iodide	Water	mg	1,593E+02
309	Iodine	Air	mg	1,066E+01
310	Iodine-129	Air	mBq	4,512E+02



311	Iodine-131	Air	Bq	1,175E+01
312	Iodine-131	Water	mBq	3,604E+01
313	Iodine-133	Air	mBq	3,782E+00
314	Iodine-133	Water	mBq	4,366E+00
315	Iodine-135	Air	mBq	1,269E+00
316	Iodine, 0.03% in water	Raw	µg	4,729E+01
317	Iron	Air	mg	3,898E+02
318	Iron	Soil	g	3,794E+00
319	Iron-59	Water	mBq	1,200E+00
320	Iron dust	Air	g	1,263E+01
321	Iron, 46% in ore, 25% in crude ore, in ground	Raw	kg	8,006E+01
322	Iron, ion	Water	g	7,900E+01
323	Isocyanic acid	Air	µg	3,006E+02
324	Isoprene	Air	µg	3,720E+00
325	Isopropylamine	Air	ng	3,855E+00
326	Isopropylamine	Water	ng	9,252E+00
327	Kaolinite, 24% in crude ore, in ground	Raw	g	2,155E+00
328	Kieserite, 25% in crude ore, in ground	Raw	mg	6,918E+01
329	Krypton-85	Air	Bq	9,845E+01
330	Krypton-85m	Air	Bq	3,994E+01
331	Krypton-87	Air	Bq	9,659E+00
332	Krypton-88	Air	Bq	1,217E+01
333	Krypton-89	Air	Bq	4,887E+00
334	Lactic acid	Air	ng	1,922E+01
335	Lactic acid	Water	ng	4,612E+01
336	Lanthanum-140	Air	µBq	2,285E+02
337	Lanthanum-140	Water	mBq	7,408E+00
338	Lead	Air	mg	1,420E+02
339	Lead	Water	mg	1,047E+02
340	Lead	Soil	mg	4,087E+00
341	Lead-210	Air	Bq	3,513E+00
342	Lead-210	Water	Bq	3,764E+00
343	Lead, 5.0% in sulfide, Pb 3.0%, Zn, Ag, Cd, In, in ground	Raw	g	8,121E+00
344	Linuron	Soil	µg	2,449E+02
345	Lithium, 0.15% in brine, in ground	Raw	ng	8,170E+02
346	Lithium, ion	Water	mg	3,440E+00
347	m-Xylene	Air	µg	4,436E+02
348	m-Xylene	Water	ng	1,692E+02
349	Magnesite, 60% in crude ore, in ground	Raw	g	3,006E+01
350	Magnesium	Air	mg	1,286E+02
351	Magnesium	Water	g	3,087E+02
352	Magnesium	Soil	mg	6,657E+02
353	Magnesium, 0.13% in water	Raw	µg	3,690E+02
354	Mancozeb	Soil	µg	4,958E+02
355	Manganese	Air	mg	2,349E+02



356	Manganese	Water	g	2,435E+01
357	Manganese	Soil	mg	4,188E+01
358	Manganese-54	Air	µBq	2,127E+01
359	Manganese-54	Water	mBq	1,611E+02
360	Manganese, 35.7% in sedimentary deposit, 14.2% in crude ore, in ground	Raw	g	3,885E+00
361	Mercury	Air	mg	5,312E+00
362	Mercury	Water	mg	8,648E+00
363	Mercury	Soil	ng	5,542E+02
364	Metaldehyde	Soil	µg	1,251E+00
365	Metamorphous rock, graphite containing, in ground	Raw	mg	6,308E+01
366	Methane, biogenic	Air	g	1,946E+00
367	Methane, bromo-, Halon 1001	Air	pg	5,169E-01
368	Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	Air	mg	1,446E+00
369	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	Air	mg	1,076E+00
370	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	Air	mg	5,090E+00
371	Methane, dichloro-, HCC-30	Air	µg	1,604E+00
372	Methane, dichloro-, HCC-30	Water	mg	2,056E+01
373	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	Air	µg	6,291E+00
374	Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	Air	ng	4,644E+00
375	Methane, fossil	Air	g	3,734E+02
376	Methane, monochloro-, R-40	Air	µg	1,385E+00
377	Methane, tetrachloro-, CFC-10	Air	µg	1,118E+02
378	Methane, tetrafluoro-, CFC-14	Air	mg	9,103E+00
379	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	Air	ng	7,539E+00
380	Methane, trifluoro-, HFC-23	Air	µg	1,478E+00
381	Methanesulfonic acid	Air	ng	2,110E+01
382	Methanol	Air	mg	7,212E+01
383	Methanol	Water	mg	1,809E+01
384	Methyl acetate	Air	pg	8,546E+02
385	Methyl acetate	Water	ng	2,051E+00
386	Methyl acrylate	Air	µg	1,649E+01
387	Methyl acrylate	Water	µg	3,221E+02
388	Methyl amine	Air	ng	4,263E+01
389	Methyl amine	Water	ng	1,023E+02
390	Methyl borate	Air	ng	5,876E+00
391	Methyl ethyl ketone	Air	mg	2,609E+01
392	Methyl formate	Air	ng	7,141E+01
393	Methyl formate	Water	ng	2,851E+01
394	Methyl lactate	Air	ng	2,110E+01
395	Metolachlor	Soil	mg	1,772E+00
396	Metribuzin	Soil	µg	1,746E+01
397	Molybdenum	Air	mg	1,683E+00
398	Molybdenum	Water	mg	1,644E+02
399	Molybdenum	Soil	µg	2,426E+00



400	Molybdenum-99	Water	mBq	2,554E+00
401	Molybdenum, 0.010% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 1.83% in crude ore, in ground	Raw	mg	1,269E+02
402	Molybdenum, 0.014% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 0.81% in crude ore, in ground	Raw	mg	1,791E+01
403	Molybdenum, 0.022% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 0.36% in crude ore, in ground	Raw	mg	4,287E+01
404	Molybdenum, 0.025% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 0.39% in crude ore, in ground	Raw	mg	6,563E+01
405	Molybdenum, 0.11% in sulfide, Mo 4.1E-2% and Cu 0.36% in crude ore, in ground	Raw	mg	8,617E+01
406	Monoethanolamine	Air	mg	1,103E+00
407	Napropamide	Soil	µg	2,214E+00
408	Nickel	Air	mg	6,943E+01
409	Nickel	Soil	mg	1,354E+00
410	Nickel, 1.13% in sulfide, Ni 0.76% and Cu 0.76% in crude ore, in ground	Raw	mg	2,451E+01
411	Nickel, 1.98% in silicates, 1.04% in crude ore, in ground	Raw	g	2,940E+02
412	Nickel, ion	Water	g	4,224E+00
413	Niobium-95	Air	µBq	2,525E+00
414	Niobium-95	Water	mBq	1,398E+01
415	Nitrate	Air	mg	3,081E+00
416	Nitrate	Water	g	2,938E+01
417	Nitrite	Water	mg	6,783E+00
418	Nitrobenzene	Air	ng	1,212E+02
419	Nitrobenzene	Water	ng	4,856E+02
420	Nitrogen	Water	mg	7,236E+02
421	Nitrogen oxides	Air	g	7,399E+02
422	Nitrogen, organic bound	Water	mg	2,760E+02
423	NM VOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	Air	g	1,293E+02
424	Noble gases, radioactive, unspecified	Air	kBq	4,336E+03
425	o-Xylene	Water	ng	7,058E+01
426	Occupation, arable, non-irrigated	Raw	cm2a	9,264E+01
427	Occupation, construction site	Raw	cm2a	8,152E+01
428	Occupation, dump site	Raw	m2a	1,813E-01
429	Occupation, dump site, benthos	Raw	cm2a	1,342E+02
430	Occupation, forest, intensive	Raw	m2a	1,146E-01
431	Occupation, forest, intensive, normal	Raw	m2a	1,716E+00
432	Occupation, forest, intensive, short-cycle	Raw	cm2a	1,087E+01
433	Occupation, industrial area	Raw	m2a	1,646E-01
434	Occupation, industrial area, benthos	Raw	mm2a	1,245E+02
435	Occupation, industrial area, built up	Raw	cm2a	4,579E+02
436	Occupation, industrial area, vegetation	Raw	cm2a	1,943E+02
437	Occupation, mineral extraction site	Raw	m2a	1,026E-01
438	Occupation, permanent crop, fruit, intensive	Raw	cm2a	1,571E+01
439	Occupation, shrub land, sclerophyllous	Raw	cm2a	2,925E+01
440	Occupation, traffic area, rail embankment	Raw	cm2a	1,677E+02



441	Occupation, traffic area, rail network	Raw	cm2a	1,854E+02
442	Occupation, traffic area, road embankment	Raw	m2a	1,058E-01
443	Occupation, traffic area, road network	Raw	m2a	4,741E-01
444	Occupation, urban, discontinuously built	Raw	mm2a	1,171E+01
445	Occupation, water bodies, artificial	Raw	cm2a	6,488E+02
446	Occupation, water courses, artificial	Raw	cm2a	6,219E+02
447	Oil, crude, in ground	Raw	kg	2,726E+01
448	Oils, biogenic	Soil	mg	2,529E+01
449	Oils, unspecified	Water	g	9,289E+01
450	Oils, unspecified	Soil	g	9,492E+01
451	Olivine, in ground	Raw	µg	6,508E+02
452	Orbencarb	Soil	µg	9,426E+01
453	Ozone	Air	mg	3,545E+02
454	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	Air	mg	5,414E+01
455	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	Water	mg	9,387E+00
456	Particulates, < 2.5 µm	Air	g	8,629E+01
457	Particulates, > 10 µm	Air	g	3,292E+02
458	Particulates, > 2.5 µm, and < 10µm	Air	g	2,379E+02
459	Pd, Pd 2.0E-4%, Pt 4.8E-4%, Rh 2.4E-5%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	Raw	µg	3,751E+01
460	Pd, Pd 7.3E-4%, Pt 2.5E-4%, Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground	Raw	µg	9,014E+01
461	Peat, in ground	Raw	mg	9,990E+02
462	Pentane	Air	g	3,138E+00
463	Phenol	Air	mg	4,465E+00
464	Phenol	Water	mg	1,525E+02
465	Phenol, 2,4-dichloro-	Air	ng	7,714E+00
466	Phenol, pentachloro-	Air	µg	1,820E+02
467	Phosphate	Water	g	1,180E+02
468	Phosphine	Air	ng	1,256E+01
469	Phosphorus	Air	mg	3,392E+00
470	Phosphorus	Water	mg	3,948E+01
471	Phosphorus	Soil	mg	4,517E+01
472	Phosphorus, 18% in apatite, 12% in crude ore, in ground	Raw	mg	3,490E+02
473	Phosphorus, 18% in apatite, 4% in crude ore, in ground	Raw	mg	7,513E+02
474	Pirimicarb	Soil	µg	1,534E+00
475	Platinum	Air	ng	1,836E+01
476	Plutonium-238	Air	nBq	6,155E+01
477	Plutonium-alpha	Air	nBq	1,411E+02
478	Polonium-210	Air	Bq	6,253E+00
479	Polonium-210	Water	Bq	4,899E+00
480	Polychlorinated biphenyls	Air	µg	1,874E+02
481	Potassium	Air	mg	1,598E+02
482	Potassium	Soil	mg	3,096E+02
483	Potassium-40	Air	Bq	1,154E+00
484	Potassium-40	Water	Bq	2,274E+00



485	Potassium, ion	Water	g	2,015E+02
486	Propanal	Air	µg	4,425E+00
487	Propanal	Water	ng	5,365E+01
488	Propane	Air	g	3,420E+00
489	Propene	Air	mg	1,251E+02
490	Propene	Water	mg	2,450E+01
491	Propionic acid	Air	mg	1,792E+01
492	Propionic acid	Water	ng	3,090E+01
493	Propylamine	Air	ng	8,943E+00
494	Propylamine	Water	ng	2,146E+01
495	Propylene oxide	Air	mg	5,997E+00
496	Propylene oxide	Water	mg	1,443E+01
497	Protactinium-234	Air	mBq	6,673E+01
498	Protactinium-234	Water	Bq	1,230E+00
499	Pt, Pt 2.5E-4%, Pd 7.3E-4%, Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground	Raw	µg	1,360E+00
500	Pt, Pt 4.8E-4%, Pd 2.0E-4%, Rh 2.4E-5%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	Raw	µg	4,876E+00
501	Radioactive species, alpha emitters	Water	mBq	6,572E+00
502	Radioactive species, Nuclides, unspecified	Water	Bq	4,401E+02
503	Radioactive species, other beta emitters	Air	Bq	6,583E+01
504	Radium-224	Water	Bq	7,928E+01
505	Radium-226	Air	Bq	3,050E+00
506	Radium-226	Water	Bq	8,953E+02
507	Radium-228	Air	mBq	9,197E+02
508	Radium-228	Water	Bq	1,586E+02
509	Radon-220	Air	Bq	3,259E+01
510	Radon-222	Air	kBq	8,816E+03
511	Rh, Rh 2.0E-5%, Pt 2.5E-4%, Pd 7.3E-4%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground	Raw	ng	7,308E+02
512	Rh, Rh 2.4E-5%, Pt 4.8E-4%, Pd 2.0E-4%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	Raw	µg	2,289E+00
513	Rhenium, in crude ore, in ground	Raw	ng	9,880E+02
514	Rubidium	Water	mg	1,586E+01
515	Ruthenium-103	Air	nBq	5,547E+02
516	Ruthenium-103	Water	µBq	5,389E+02
517	Sand, unspecified, in ground	Raw	mg	8,739E+01
518	Scandium	Air	µg	8,638E+02
519	Scandium	Water	mg	6,842E+01
520	Selenium	Air	mg	3,248E+00
521	Selenium	Water	mg	1,065E+02
522	Shale, in ground	Raw	mg	4,147E+00
523	Silicon	Air	mg	4,915E+02
524	Silicon	Water	g	8,383E+02
525	Silicon	Soil	mg	1,242E+02
526	Silicon tetrafluoride	Air	µg	5,655E+00
527	Silver	Air	µg	3,541E+01



528	Silver-110	Air	µBq	5,497E+00
529	Silver-110	Water	Bq	2,228E+00
530	Silver, 0.007% in sulfide, Ag 0.004%, Pb, Zn, Cd, In, in ground	Raw	mg	1,149E+00
531	Silver, 3.2ppm in sulfide, Ag 1.2ppm, Cu and Te, in crude ore, in ground	Raw	µg	8,196E+02
532	Silver, Ag 2.1E-4%, Au 2.1E-4%, in ore, in ground	Raw	µg	7,566E+01
533	Silver, Ag 4.2E-3%, Au 1.1E-4%, in ore, in ground	Raw	µg	1,728E+02
534	Silver, Ag 4.6E-5%, Au 1.3E-4%, in ore, in ground	Raw	µg	1,694E+02
535	Silver, Ag 9.7E-4%, Au 9.7E-4%, Zn 0.63%, Cu 0.38%, Pb 0.014%, in ore, in ground	Raw	µg	1,118E+02
536	Silver, ion	Water	mg	3,392E+00
537	Sodium	Air	mg	8,318E+01
538	Sodium	Soil	g	1,951E+00
539	Sodium-24	Water	mBq	1,932E+01
540	Sodium chlorate	Air	µg	4,317E+01
541	Sodium chloride, in ground	Raw	g	3,046E+02
542	Sodium dichromate	Air	µg	1,143E+02
543	Sodium formate	Air	µg	2,657E+00
544	Sodium formate	Water	µg	6,383E+00
545	Sodium hydroxide	Air	µg	1,458E+02
546	Sodium nitrate, in ground	Raw	ng	2,230E+02
547	Sodium sulphate, various forms, in ground	Raw	mg	7,083E+02
548	Sodium, ion	Water	g	8,641E+02
549	Solids, inorganic	Water	g	2,317E+01
550	Solved solids	Water	g	5,958E+00
551	Stibnite, in ground	Raw	µg	4,265E+00
552	Strontium	Air	mg	8,063E+00
553	Strontium	Water	g	1,282E+01
554	Strontium	Soil	mg	8,192E+00
555	Strontium-89	Water	mBq	4,692E+01
556	Strontium-90	Water	Bq	3,268E+02
557	Styrene	Air	µg	1,396E+02
558	Sulfate	Air	mg	7,261E+02
559	Sulfate	Water	oz	8,548E+01
560	Sulfide	Water	mg	6,127E+00
561	Sulfite	Water	mg	1,451E+02
562	Sulfur	Water	mg	2,542E+02
563	Sulfur	Soil	mg	4,939E+02
564	Sulfur dioxide	Air	oz	3,643E+02
565	Sulfur hexafluoride	Air	mg	5,598E+00
566	Sulfur trioxide	Air	ng	9,907E+02
567	Sulfur, in ground	Raw	mg	4,370E+01
568	Sulfuric acid	Air	µg	3,053E+01
569	Sulfuric acid	Soil	ng	1,884E+01
570	Suspended solids, unspecified	Water	g	3,929E+01



571	Sylvite, 25 % in sylvinite, in ground	Raw	mg	1,710E+02
572	t-Butyl methyl ether	Air	µg	7,663E+01
573	t-Butyl methyl ether	Water	mg	2,870E+00
574	t-Butylamine	Air	ng	1,740E+01
575	t-Butylamine	Water	ng	4,177E+01
576	Talc, in ground	Raw	mg	1,031E+02
577	Tantalum, 81.9% in tantalite, 1.6E-4% in crude ore, in ground	Raw	µg	9,055E+02
578	Tebutam	Soil	µg	5,246E+00
579	Technetium-99m	Water	mBq	5,872E+01
580	Teflubenzuron	Soil	µg	1,164E+00
581	Tellurium-123m	Water	mBq	1,366E+01
582	Tellurium-132	Water	µBq	1,479E+02
583	Tellurium, 0.5ppm in sulfide, Te 0.2ppm, Cu and Ag, in crude ore, in ground	Raw	µg	1,229E+02
584	Terpenes	Air	µg	3,518E+01
585	Thallium	Air	µg	4,255E+01
586	Thallium	Water	mg	4,855E+00
587	Thiram	Soil	ng	1,601E+02
588	Thorium	Air	µg	6,271E+01
589	Thorium-228	Air	mBq	2,200E+02
590	Thorium-228	Water	Bq	3,172E+02
591	Thorium-230	Air	mBq	2,568E+02
592	Thorium-230	Water	Bq	1,678E+02
593	Thorium-232	Air	mBq	2,969E+02
594	Thorium-232	Water	mBq	3,753E+02
595	Thorium-234	Air	mBq	6,674E+01
596	Thorium-234	Water	Bq	1,230E+00
597	Tin	Air	mg	3,406E+00
598	Tin	Soil	µg	3,044E+00
599	Tin, 79% in cassiterite, 0.1% in crude ore, in ground	Raw	mg	5,989E+01
600	Tin, ion	Water	mg	2,836E+01
601	TiO ₂ , 54% in ilmenite, 2.6% in crude ore, in ground	Raw	g	6,102E+00
602	TiO ₂ , 95% in rutile, 0.40% in crude ore, in ground	Raw	µg	6,147E+01
603	Titanium	Air	mg	2,661E+01
604	Titanium	Soil	µg	6,425E+02
605	Titanium, ion	Water	g	1,941E+00
606	TOC, Total Organic Carbon	Water	g	1,437E+02
607	Toluene	Air	mg	4,242E+02
608	Toluene	Water	mg	1,989E+02
609	Toluene, 2-chloro-	Air	ng	4,011E+01
610	Toluene, 2-chloro-	Water	ng	7,992E+01
611	Transformation, from arable	Raw	mm ²	4,417E+01
612	Transformation, from arable, non-irrigated	Raw	cm ²	1,710E+02
613	Transformation, from arable, non-irrigated, fallow	Raw	mm ²	5,220E+00
614	Transformation, from dump site, inert material landfill	Raw	mm ²	2,826E+02



615	Transformation, from dump site, residual material landfill	Raw	mm2	2,939E+02
616	Transformation, from dump site, sanitary landfill	Raw	mm2	6,905E+00
617	Transformation, from dump site, slag compartment	Raw	mm2	1,057E+00
618	Transformation, from forest	Raw	cm2	3,624E+02
619	Transformation, from forest, extensive	Raw	cm2	1,303E+02
620	Transformation, from forest, intensive, clear-cutting	Raw	mm2	3,883E+01
621	Transformation, from industrial area	Raw	mm2	1,838E+02
622	Transformation, from industrial area, benthos	Raw	mm2	8,001E-01
623	Transformation, from industrial area, built up	Raw	mm2	2,670E-01
624	Transformation, from industrial area, vegetation	Raw	mm2	4,555E-01
625	Transformation, from mineral extraction site	Raw	mm2	8,789E+02
626	Transformation, from pasture and meadow	Raw	cm2	1,341E+01
627	Transformation, from pasture and meadow, intensive	Raw	mm2	1,396E+01
628	Transformation, from sea and ocean	Raw	cm2	1,342E+02
629	Transformation, from shrub land, sclerophyllous	Raw	mm2	8,027E+02
630	Transformation, from tropical rain forest	Raw	mm2	3,883E+01
631	Transformation, from unknown	Raw	cm2	1,231E+02
632	Transformation, to arable	Raw	cm2	1,758E+01
633	Transformation, to arable, non-irrigated	Raw	cm2	1,712E+02
634	Transformation, to arable, non-irrigated, fallow	Raw	mm2	8,542E+00
635	Transformation, to dump site	Raw	cm2	1,398E+01
636	Transformation, to dump site, benthos	Raw	cm2	1,342E+02
637	Transformation, to dump site, inert material landfill	Raw	mm2	2,826E+02
638	Transformation, to dump site, residual material landfill	Raw	mm2	2,939E+02
639	Transformation, to dump site, sanitary landfill	Raw	mm2	6,905E+00
640	Transformation, to dump site, slag compartment	Raw	mm2	1,057E+00
641	Transformation, to forest	Raw	mm2	7,897E+02
642	Transformation, to forest, intensive	Raw	mm2	7,634E+02
643	Transformation, to forest, intensive, clear-cutting	Raw	mm2	3,883E+01
644	Transformation, to forest, intensive, normal	Raw	cm2	1,211E+02
645	Transformation, to forest, intensive, short-cycle	Raw	mm2	3,883E+01
646	Transformation, to heterogeneous, agricultural	Raw	cm2	1,731E+01
647	Transformation, to industrial area	Raw	cm2	2,247E+01
648	Transformation, to industrial area, benthos	Raw	mm2	7,464E+00
649	Transformation, to industrial area, built up	Raw	mm2	9,615E+02
650	Transformation, to industrial area, vegetation	Raw	mm2	4,210E+02
651	Transformation, to mineral extraction site	Raw	cm2	3,826E+02
652	Transformation, to pasture and meadow	Raw	mm2	1,472E+02
653	Transformation, to permanent crop, fruit, intensive	Raw	mm2	2,211E+01
654	Transformation, to sea and ocean	Raw	mm2	8,001E-01
655	Transformation, to shrub land, sclerophyllous	Raw	mm2	5,844E+02
656	Transformation, to traffic area, rail embankment	Raw	mm2	3,902E+01
657	Transformation, to traffic area, rail network	Raw	mm2	4,289E+01
658	Transformation, to traffic area, road embankment	Raw	mm2	3,474E+02
659	Transformation, to traffic area, road network	Raw	cm2	1,379E+01



660	Transformation, to unknown	Raw	mm2	3,995E+02
661	Transformation, to urban, discontinuously built	Raw	mm2	2,333E-01
662	Transformation, to water bodies, artificial	Raw	mm2	7,894E+02
663	Transformation, to water courses, artificial	Raw	mm2	6,635E+02
664	Tributyltin compounds	Water	mg	3,730E+00
665	Triethylene glycol	Water	mg	1,440E+01
666	Trimethylamine	Air	ng	1,514E+00
667	Trimethylamine	Water	ng	3,633E+00
668	Tungsten	Air	µg	9,121E+01
669	Tungsten	Water	mg	3,480E+01
670	Ulexite, in ground	Raw	mg	5,137E+00
671	Uranium	Air	µg	4,652E+01
672	Uranium-234	Air	mBq	7,859E+02
673	Uranium-234	Water	Bq	1,476E+00
674	Uranium-235	Air	mBq	3,764E+01
675	Uranium-235	Water	Bq	2,435E+00
676	Uranium-238	Air	Bq	1,439E+00
677	Uranium-238	Water	Bq	5,607E+00
678	Uranium alpha	Air	Bq	3,627E+00
679	Uranium alpha	Water	Bq	7,086E+01
680	Uranium, in ground	Raw	mg	2,741E+02
681	Urea	Water	ng	6,357E+01
682	Used air	Air	tn.lg	1,692E+01
683	Vanadium	Air	mg	1,160E+02
684	Vanadium	Soil	µg	1,839E+01
685	Vanadium, ion	Water	mg	3,993E+02
686	Vermiculite, in ground	Raw	mg	2,559E+00
687	VOC, volatile organic compounds, unspecified origin	Water	mg	5,580E+02
688	Volume occupied, final repository for low-active radioactive waste	Raw	mm3	5,589E+02
689	Volume occupied, final repository for radioactive waste	Raw	mm3	1,348E+02
690	Volume occupied, reservoir	Raw	m3day	5,449E+02
691	Volume occupied, underground deposit	Raw	cm3	4,396E+00
692	Water	Air	lb	3,911E+02
693	Water, cooling, unspecified natural origin/m3	Raw	gal*	3,756E+02
694	Water, lake	Raw	cu.in	1,639E+02
695	Water, river	Raw	dm3	2,067E+02
696	Water, salt, ocean	Raw	dm3	4,912E+01
697	Water, salt, sole	Raw	dm3	1,919E+01
698	Water, turbine use, unspecified natural origin	Raw	m3	3,605E+02
699	Water, unspecified natural origin/m3	Raw	dm3	4,626E+02
700	Water, well, in ground	Raw	dm3	6,126E+01
701	Wood, hard, standing	Raw	cm3	3,566E+02
702	Wood, primary forest, standing	Raw	mm3	4,020E+02
703	Wood, soft, standing	Raw	cm3	5,254E+02



704	Wood, unspecified, standing/m3	Raw	mm3	5,130E+00
705	Xenon-131m	Air	Bq	4,956E+01
706	Xenon-133	Air	Bq	1,779E+03
707	Xenon-133m	Air	Bq	2,534E+00
708	Xenon-135	Air	Bq	7,141E+02
709	Xenon-135m	Air	Bq	4,463E+02
710	Xenon-137	Air	Bq	1,338E+01
711	Xenon-138	Air	Bq	1,013E+02
712	Xylene	Air	mg	2,896E+02
713	Xylene	Water	mg	1,607E+02
714	Zinc	Air	mg	1,705E+02
715	Zinc	Soil	mg	2,875E+02
716	Zinc-65	Air	µBq	1,062E+02
717	Zinc-65	Water	mBq	2,620E+02
718	Zinc, 9.0% in sulfide, Zn 5.3%, Pb, Ag, Cd, In, in ground	Raw	g	7,669E+00
719	Zinc, ion	Water	g	6,950E+00
720	Zirconium	Air	µg	5,537E+02
721	Zirconium-95	Air	µBq	1,038E+02
722	Zirconium-95	Water	mBq	3,034E+00
723	Zirconium, 50% in zircon, 0.39% in crude ore, in ground	Raw	mg	1,239E+00



Inventario - Processo basato sull'utilizzo di minerali ferrosi estratti da miniera

N°	Sostanza	Compartimento	Unità di misura	Valore assoluto
1	1-Butanol	Air	ng	3,354E+01
2	1-Butanol	Water	µg	7,743E+02
3	1-Pentanol	Air	ng	1,119E+02
4	1-Pentanol	Water	ng	2,686E+02
5	1-Pentene	Air	ng	8,456E+01
6	1-Pentene	Water	ng	2,030E+02
7	1-Propanol	Air	µg	3,591E+00
8	1-Propanol	Water	ng	5,639E+02
9	1,4-Butanediol	Air	µg	2,558E+00
10	1,4-Butanediol	Water	µg	1,023E+00
11	2-Aminopropanol	Air	ng	1,738E+01
12	2-Aminopropanol	Water	ng	4,364E+01
13	2-Butene, 2-methyl-	Air	pg	1,876E+01
14	2-Methyl-1-propanol	Air	ng	2,148E+02
15	2-Methyl-1-propanol	Water	ng	5,156E+02
16	2-Methyl-2-butene	Water	pg	4,502E+01
17	2-Nitrobenzoic acid	Air	ng	3,016E+01
18	2-Propanol	Air	mg	4,596E+01
19	2-Propanol	Water	ng	1,748E+02
20	2,4-D	Soil	µg	7,946E+01
21	4-Methyl-2-pentanone	Water	ng	1,019E+02



22	Acenaphthene	Air	ng	3,545E+02
23	Acenaphthene	Water	µg	5,432E+01
24	Acenaphthylene	Water	µg	3,397E+00
25	Acetaldehyde	Air	mg	1,516E+02
26	Acetaldehyde	Water	mg	1,458E+00
27	Acetic acid	Air	mg	4,846E+02
28	Acetic acid	Water	mg	1,194E+01
29	Acetone	Air	mg	1,025E+02
30	Acetone	Water	µg	1,460E+01
31	Acetonitrile	Air	µg	2,363E+02
32	Acetonitrile	Water	ng	1,429E+02
33	Acetyl chloride	Water	ng	2,110E+02
34	Acidity, unspecified	Water	mg	6,862E+00
35	Aclonifen	Soil	µg	2,598E+02
36	Acrolein	Air	µg	7,501E+01
37	Acrylate, ion	Water	µg	2,814E+02
38	Acrylic acid	Air	µg	1,189E+02
39	Actinides, radioactive, unspecified	Air	mBq	2,871E+01
40	Actinides, radioactive, unspecified	Water	Bq	3,312E+00
41	Aerosols, radioactive, unspecified	Air	mBq	4,433E+02
42	Air	Raw	tn.lg	1,928E+01
43	Aldehydes, unspecified	Air	mg	2,418E+00
44	Aldrin	Soil	µg	3,058E+00
45	Aluminium	Air	g	9,777E+01
46	Aluminium	Water	g	1,371E+02
47	Aluminium	Soil	g	3,779E+00
48	Aluminium, 24% in bauxite, 11% in crude ore, in ground	Raw	g	3,079E+02
49	Ammonia	Air	g	5,010E+01
50	Ammonium carbonate	Air	µg	6,892E+01
51	Ammonium, ion	Water	g	1,246E+00
52	Anhydrite, in ground	Raw	mg	5,770E+00
53	Aniline	Air	ng	6,049E+02
54	Aniline	Water	µg	1,464E+00
55	Anthranilic acid	Air	ng	2,199E+01
56	Antimony	Air	mg	3,599E+00
57	Antimony	Water	mg	1,391E+02
58	Antimony	Soil	ng	2,326E+02
59	Antimony-122	Water	mBq	7,790E+00
60	Antimony-124	Air	µBq	1,932E+01
61	Antimony-124	Water	mBq	7,901E+02
62	Antimony-125	Air	µBq	2,016E+02
63	Antimony-125	Water	mBq	7,419E+02
64	AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl	Water	mg	1,086E+01
65	Argon-41	Air	Bq	1,747E+02
66	Arsenic	Air	mg	3,787E+01



67	Arsenic	Soil	mg	1,522E+00
68	Arsenic, ion	Water	mg	6,477E+02
69	Arsine	Air	ng	1,386E+00
70	Atrazine	Soil	ng	8,023E+02
71	Barite	Water	g	2,872E+01
72	Barite, 15% in crude ore, in ground	Raw	g	6,379E+02
73	Barium	Air	mg	1,782E+01
74	Barium	Water	g	1,013E+01
75	Barium	Soil	g	1,861E+00
76	Barium-140	Air	mBq	1,312E+01
77	Barium-140	Water	mBq	3,412E+01
78	Basalt, in ground	Raw	g	3,254E+01
79	Benomyl	Soil	ng	5,053E+02
80	Bentazone	Soil	µg	1,326E+02
81	Benzal chloride	Air	pg	1,716E+01
82	Benzaldehyde	Air	µg	3,292E+01
83	Benzene	Air	g	2,518E+00
84	Benzene	Water	mg	6,828E+02
85	Benzene, 1-methyl-2-nitro-	Air	ng	2,605E+01
86	Benzene, 1,2-dichloro-	Air	ng	7,109E+02
87	Benzene, 1,2-dichloro-	Water	µg	3,347E+02
88	Benzene, chloro-	Water	mg	6,878E+00
89	Benzene, ethyl-	Air	mg	2,092E+02
90	Benzene, ethyl-	Water	mg	2,096E+02
91	Benzene, hexachloro-	Air	µg	1,224E+02
92	Benzene, pentachloro-	Air	µg	1,773E+00
93	Benzo(a)pyrene	Air	mg	2,507E+00
94	Beryllium	Air	µg	1,983E+02
95	Beryllium	Water	mg	1,115E+02
96	BOD5, Biological Oxygen Demand	Water	oz	5,805E+01
97	Borate	Water	µg	2,209E+01
98	Borax, in ground	Raw	mg	2,057E+00
99	Boron	Air	mg	5,491E+02
100	Boron	Water	g	6,407E+00
101	Boron	Soil	mg	4,622E+01
102	Boron trifluoride	Air	pg	1,897E+01
103	Bromate	Water	mg	4,016E+01
104	Bromide	Water	mg	1,261E+00
105	Bromine	Air	mg	6,795E+01
106	Bromine	Water	g	6,275E+00
107	Bromine, 0.0023% in water	Raw	mg	1,467E+00
108	Butadiene	Air	µg	1,455E+00
109	Butane	Air	g	1,042E+01
110	Butene	Air	mg	2,084E+02
111	Butene	Water	µg	1,931E+02



112	Butyl acetate	Water	mg	1,007E+00
113	Butyrolactone	Air	ng	7,115E+02
114	Butyrolactone	Water	µg	1,708E+00
115	Cadmium	Air	mg	1,454E+01
116	Cadmium	Soil	µg	8,982E+02
117	Cadmium, 0.30% in sulfide, Cd 0.18%, Pb, Zn, Ag, In, in ground	Raw	mg	9,193E+02
118	Cadmium, ion	Water	mg	2,479E+02
119	Calcite, in ground	Raw	kg	1,274E+01
120	Calcium	Air	mg	4,818E+02
121	Calcium	Soil	g	1,549E+01
122	Calcium, ion	Water	oz	6,181E+01
123	Carbetamide	Soil	µg	4,971E+01
124	Carbofuran	Soil	µg	2,770E+02
125	Carbon	Soil	g	1,141E+01
126	Carbon-14	Air	Bq	2,363E+03
127	Carbon dioxide, biogenic	Air	oz	8,697E+01
128	Carbon dioxide, fossil	Air	kg	6,058E+02
129	Carbon dioxide, in air	Raw	oz	9,839E+01
130	Carbon dioxide, land transformation	Air	g	7,151E+00
131	Carbon disulfide	Air	mg	5,277E+02
132	Carbon disulfide	Water	µg	1,192E+01
133	Carbon monoxide, biogenic	Air	mg	7,562E+02
134	Carbon monoxide, fossil	Air	g	8,247E+02
135	Carbon, in organic matter, in soil	Raw	mg	3,499E+02
136	Carbonate	Water	mg	1,484E+02
137	Carboxylic acids, unspecified	Water	g	3,651E+01
138	Cerium-141	Air	mBq	3,180E+00
139	Cerium-141	Water	mBq	1,364E+01
140	Cerium-144	Water	mBq	4,153E+00
141	Cesium	Water	mg	8,733E+00
142	Cesium-134	Air	µBq	1,523E+02
143	Cesium-134	Water	mBq	4,500E+02
144	Cesium-136	Water	mBq	2,421E+00
145	Cesium-137	Air	mBq	2,699E+00
146	Cesium-137	Water	Bq	3,844E+02
147	Chloramine	Air	ng	4,278E+02
148	Chloramine	Water	µg	3,835E+00
149	Chlorate	Water	mg	3,163E+02
150	Chloride	Water	kg	4,923E+00
151	Chloride	Soil	g	8,432E+02
152	Chlorinated solvents, unspecified	Water	µg	2,310E+02
153	Chlorine	Air	mg	1,905E+02
154	Chlorine	Water	mg	4,117E+00
155	Chloroacetic acid	Air	µg	3,813E+01



156	Chloroacetic acid	Water	mg	2,963E+00
157	Chloroacetyl chloride	Water	ng	5,820E+01
158	Chloroform	Air	µg	1,369E+02
159	Chloroform	Water	µg	1,587E+01
160	Chlorosilane, trimethyl-	Air	µg	1,821E+01
161	Chlorosulfonic acid	Air	ng	2,084E+02
162	Chlorosulfonic acid	Water	ng	5,196E+02
163	Chlorothalonil	Soil	mg	2,736E+00
164	Chromium	Air	mg	2,008E+02
165	Chromium	Soil	mg	2,310E+01
166	Chromium-51	Air	µBq	2,037E+02
167	Chromium-51	Water	Bq	2,690E+00
168	Chromium VI	Air	mg	3,016E+00
169	Chromium VI	Water	g	2,759E+00
170	Chromium VI	Soil	mg	5,064E+01
171	Chromium, 25.5% in chromite, 11.6% in crude ore, in ground	Raw	g	2,799E+01
172	Chromium, ion	Water	mg	3,786E+01
173	Chrysotile, in ground	Raw	mg	7,930E+00
174	Cinnabar, in ground	Raw	µg	6,994E+02
175	Clay, bentonite, in ground	Raw	g	2,205E+02
176	Clay, unspecified, in ground	Raw	oz	1,233E+02
177	Coal, brown, in ground	Raw	kg	1,924E+01
178	Coal, hard, unspecified, in ground	Raw	kg	2,709E+01
179	Cobalt	Air	mg	1,419E+01
180	Cobalt	Water	g	1,742E+00
181	Cobalt	Soil	µg	4,251E+01
182	Cobalt-57	Water	mBq	7,686E+01
183	Cobalt-58	Air	µBq	2,837E+02
184	Cobalt-58	Water	Bq	1,287E+01
185	Cobalt-60	Air	mBq	2,506E+00
186	Cobalt-60	Water	Bq	1,114E+01
187	Cobalt, in ground	Raw	mg	3,140E+00
188	COD, Chemical Oxygen Demand	Water	oz	6,102E+01
189	Colemanite, in ground	Raw	mg	6,431E+02
190	Copper	Air	g	1,074E+00
191	Copper	Soil	mg	8,751E+01
192	Copper, 0.99% in sulfide, Cu 0.36% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground	Raw	g	4,950E+00
193	Copper, 1.18% in sulfide, Cu 0.39% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground	Raw	g	2,706E+01
194	Copper, 1.42% in sulfide, Cu 0.81% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground	Raw	g	7,179E+00
195	Copper, 2.19% in sulfide, Cu 1.83% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground	Raw	g	3,617E+01
196	Copper, ion	Water	g	2,551E+00
197	Cumene	Air	mg	4,382E+01
198	Cumene	Water	mg	1,053E+02



199	Cyanide	Air	mg	5,717E+00
200	Cyanide	Water	mg	8,630E+02
201	Cyanoacetic acid	Air	ng	1,706E+02
202	Cypermethrin	Soil	µg	4,028E+01
203	Diatomite, in ground	Raw	µg	3,418E+02
204	Dichromate	Water	mg	1,321E+00
205	Diethylamine	Air	ng	2,782E+02
206	Diethylamine	Water	ng	6,676E+02
207	Dimethyl malonate	Air	ng	2,140E+02
208	Dimethylamine	Water	µg	1,609E+00
209	Dinitrogen monoxide	Air	g	2,253E+01
210	Dioxin, 2,3,7,8 Tetrachlorodibenzo-p-	Air	ng	1,543E+02
211	Dipropylamine	Air	ng	1,674E+02
212	Dipropylamine	Water	ng	4,018E+02
213	DOC, Dissolved Organic Carbon	Water	g	5,109E+02
214	Dolomite, in ground	Raw	g	2,746E+01
215	Energy, gross calorific value, in biomass	Raw	MJ	2,425E+01
216	Energy, gross calorific value, in biomass, primary forest	Raw	kJ	2,426E+01
217	Energy, kinetic (in wind), converted	Raw	MJ	9,071E+00
218	Energy, potential (in hydropower reservoir), converted	Raw	MJ	1,541E+02
219	Energy, solar, converted	Raw	kJ	1,507E+02
220	Ethane	Air	g	1,029E+01
221	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	Air	µg	5,434E+01
222	Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	Air	ng	2,773E+02
223	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	Air	g	1,047E+00
224	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	Air	µg	5,644E+00
225	Ethane, 1,2-dichloro-	Air	mg	3,517E+00
226	Ethane, 1,2-dichloro-	Water	µg	2,244E+02
227	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	Air	mg	1,008E+00
228	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	Air	mg	7,700E+00
229	Ethanol	Air	mg	8,007E+01
230	Ethanol	Water	mg	1,820E+00
231	Ethene	Air	mg	7,189E+02
232	Ethene	Water	mg	3,818E+01
233	Ethene, chloro-	Air	mg	1,331E+00
234	Ethene, chloro-	Water	µg	1,291E+01
235	Ethene, tetrachloro-	Air	ng	6,612E+02
236	Ethyl acetate	Air	mg	2,134E+02
237	Ethyl acetate	Water	ng	8,085E+02
238	Ethyl cellulose	Air	µg	4,317E+02
239	Ethylamine	Air	ng	1,652E+02
240	Ethylamine	Water	ng	3,965E+02
241	Ethylene diamine	Air	µg	4,178E+00
242	Ethylene diamine	Water	µg	1,008E+01
243	Ethylene oxide	Air	µg	6,518E+02



244	Ethylene oxide	Water	µg	1,416E+02
245	Ethyne	Air	mg	1,233E+01
246	Feldspar, in ground	Raw	µg	2,212E+01
247	Fenpiclonil	Soil	µg	1,167E+02
248	Fluoride	Water	g	3,363E+01
249	Fluoride	Soil	mg	2,204E+02
250	Fluorine	Air	mg	6,745E+01
251	Fluorine, 4.5% in apatite, 1% in crude ore, in ground	Raw	mg	4,424E+02
252	Fluorine, 4.5% in apatite, 3% in crude ore, in ground	Raw	mg	2,164E+02
253	Fluorspar, 92%, in ground	Raw	g	1,321E+01
254	Fluosilicic acid	Air	mg	8,543E+00
255	Fluosilicic acid	Water	mg	1,538E+01
256	Formaldehyde	Air	mg	5,176E+02
257	Formaldehyde	Water	mg	6,694E+00
258	Formamide	Air	ng	2,047E+02
259	Formamide	Water	ng	4,912E+02
260	Formate	Water	µg	4,386E+01
261	Formic acid	Air	mg	1,848E+00
262	Formic acid	Water	ng	1,426E+02
263	Furan	Air	µg	4,488E+02
264	Gallium, 0.014% in bauxite, in ground	Raw	ng	4,191E+02
265	Gas, mine, off-gas, process, coal mining/m3	Raw	dm3	2,428E+02
266	Gas, natural, in ground	Raw	m3	4,946E+01
267	Glutaraldehyde	Water	mg	3,546E+00
268	Glyphosate	Soil	mg	2,209E+01
269	Gold, Au 1.1E-4%, Ag 4.2E-3%, in ore, in ground	Raw	µg	4,229E+02
270	Gold, Au 1.3E-4%, Ag 4.6E-5%, in ore, in ground	Raw	µg	7,755E+02
271	Gold, Au 1.4E-4%, in ore, in ground	Raw	µg	9,285E+02
272	Gold, Au 2.1E-4%, Ag 2.1E-4%, in ore, in ground	Raw	mg	1,418E+00
273	Gold, Au 4.3E-4%, in ore, in ground	Raw	µg	3,515E+02
274	Gold, Au 4.9E-5%, in ore, in ground	Raw	µg	8,418E+02
275	Gold, Au 6.7E-4%, in ore, in ground	Raw	mg	1,303E+00
276	Gold, Au 7.1E-4%, in ore, in ground	Raw	mg	1,470E+00
277	Gold, Au 9.7E-4%, Ag 9.7E-4%, Zn 0.63%, Cu 0.38%, Pb 0.014%, in ore, in ground	Raw	µg	8,806E+01
278	Granite, in ground	Raw	ng	5,656E+02
279	Gravel, in ground	Raw	kg	4,312E+02
280	Gypsum, in ground	Raw	mg	1,905E+01
281	Heat, waste	Air	GJ	9,205E+00
282	Heat, waste	Water	MJ	2,083E+02
283	Heat, waste	Soil	MJ	6,163E+00
284	Helium	Air	mg	7,613E+02
285	Heptane	Air	g	2,083E+00
286	Hexane	Air	g	4,831E+00
287	Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, cyclic	Air	µg	7,751E+02



288	Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified	Air	g	2,922E+00
289	Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified	Water	g	1,135E+00
290	Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated	Air	mg	1,574E+02
291	Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated	Water	mg	1,048E+02
292	Hydrocarbons, aromatic	Air	mg	7,717E+02
293	Hydrocarbons, aromatic	Water	g	4,658E+00
294	Hydrocarbons, chlorinated	Air	mg	4,769E+00
295	Hydrocarbons, unspecified	Water	mg	6,239E+02
296	Hydrogen	Air	mg	5,230E+02
297	Hydrogen-3, Tritium	Air	kBq	1,124E+01
298	Hydrogen-3, Tritium	Water	kBq	8,757E+02
299	Hydrogen chloride	Air	g	6,573E+00
300	Hydrogen fluoride	Air	g	1,364E+00
301	Hydrogen peroxide	Air	µg	3,199E+02
302	Hydrogen peroxide	Water	mg	2,848E+00
303	Hydrogen sulfide	Air	g	1,343E+00
304	Hydrogen sulfide	Water	mg	7,774E+01
305	Hydroxide	Water	mg	8,882E+00
306	Hypochlorite	Water	mg	9,575E+01
307	Indium, 0.005% in sulfide, In 0.003%, Pb, Zn, Ag, Cd, in ground	Raw	mg	1,534E+01
308	Iodide	Water	mg	8,768E+02
309	Iodine	Air	mg	3,531E+01
310	Iodine-129	Air	Bq	2,039E+00
311	Iodine-131	Air	Bq	6,683E+01
312	Iodine-131	Water	mBq	1,729E+02
313	Iodine-133	Air	mBq	1,881E+01
314	Iodine-133	Water	mBq	2,142E+01
315	Iodine-135	Air	mBq	6,783E+00
316	Iodine, 0.03% in water	Raw	µg	3,374E+02
317	Iron	Air	g	1,321E+00
318	Iron	Soil	g	1,105E+01
319	Iron-59	Water	mBq	5,889E+00
320	Iron dust	Air	g	1,267E+02
321	Iron, 46% in ore, 25% in crude ore, in ground	Raw	kg	1,035E+03
322	Iron, ion	Water	g	2,191E+02
323	Isocyanic acid	Air	µg	9,121E+02
324	Isoprene	Air	µg	2,082E+01
325	Isopropylamine	Air	ng	3,156E+01
326	Isopropylamine	Water	ng	7,575E+01
327	Kaolinite, 24% in crude ore, in ground	Raw	g	9,540E+00
328	Kieserite, 25% in crude ore, in ground	Raw	mg	9,787E+01
329	Krypton-85	Air	Bq	5,554E+02
330	Krypton-85m	Air	Bq	1,971E+02
331	Krypton-87	Air	Bq	4,828E+01



332	Krypton-88	Air	Bq	6,042E+01
333	Krypton-89	Air	Bq	2,403E+01
334	Lactic acid	Air	ng	1,312E+02
335	Lactic acid	Water	ng	3,148E+02
336	Lanthanum-140	Air	mBq	1,121E+00
337	Lanthanum-140	Water	mBq	3,634E+01
338	Lead	Air	mg	2,204E+02
339	Lead	Water	mg	5,542E+02
340	Lead	Soil	mg	3,381E+01
341	Lead-210	Air	Bq	1,050E+01
342	Lead-210	Water	Bq	9,806E+00
343	Lead, 5.0% in sulfide, Pb 3.0%, Zn, Ag, Cd, In, in ground	Raw	g	6,617E+01
344	Linuron	Soil	mg	2,002E+00
345	Lithium, 0.15% in brine, in ground	Raw	µg	5,921E+00
346	Lithium, ion	Water	mg	2,613E+01
347	m-Xylene	Air	mg	1,765E+00
348	m-Xylene	Water	µg	1,259E+00
349	Magnesite, 60% in crude ore, in ground	Raw	g	1,799E+02
350	Magnesium	Air	mg	1,697E+02
351	Magnesium	Water	g	7,732E+02
352	Magnesium	Soil	g	3,045E+00
353	Magnesium, 0.13% in water	Raw	mg	2,046E+00
354	Mancozeb	Soil	mg	3,554E+00
355	Manganese	Air	mg	3,598E+02
356	Manganese	Water	g	6,116E+01
357	Manganese	Soil	mg	1,874E+02
358	Manganese-54	Air	µBq	1,043E+02
359	Manganese-54	Water	mBq	7,794E+02
360	Manganese, 35.7% in sedimentary deposit, 14.2% in crude ore, in ground	Raw	g	1,097E+01
361	Mercury	Air	mg	1,965E+01
362	Mercury	Water	mg	2,812E+01
363	Mercury	Soil	µg	3,998E+00
364	Metaldehyde	Soil	µg	1,006E+01
365	Metamorphous rock, graphite containing, in ground	Raw	mg	4,545E+02
366	Methane, biogenic	Air	g	4,864E+00
367	Methane, bromo-, Halon 1001	Air	pg	3,926E+00
368	Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	Air	mg	1,978E+00
369	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	Air	mg	6,494E+00
370	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	Air	mg	7,364E+00
371	Methane, dichloro-, HCC-30	Air	µg	9,427E+00
372	Methane, dichloro-, HCC-30	Water	mg	9,424E+01
373	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	Air	µg	2,125E+01
374	Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	Air	ng	3,754E+01
375	Methane, fossil	Air	g	8,224E+02



376	Methane, monochloro-, R-40	Air	µg	7,660E+00
377	Methane, tetrachloro-, CFC-10	Air	µg	2,700E+02
378	Methane, tetrafluoro-, CFC-14	Air	mg	6,579E+01
379	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	Air	ng	6,094E+01
380	Methane, trifluoro-, HFC-23	Air	µg	1,194E+01
381	Methanesulfonic acid	Air	ng	1,724E+02
382	Methanol	Air	mg	1,930E+02
383	Methanol	Water	mg	3,014E+01
384	Methyl acetate	Air	ng	6,984E+00
385	Methyl acetate	Water	ng	1,676E+01
386	Methyl acrylate	Air	µg	1,349E+02
387	Methyl acrylate	Water	mg	2,636E+00
388	Methyl amine	Air	ng	3,376E+02
389	Methyl amine	Water	ng	8,103E+02
390	Methyl borate	Air	ng	4,274E+01
391	Methyl ethyl ketone	Air	mg	2,134E+02
392	Methyl formate	Air	ng	5,774E+02
393	Methyl formate	Water	ng	2,305E+02
394	Methyl lactate	Air	ng	1,440E+02
395	Metolachlor	Soil	mg	1,449E+01
396	Metribuzin	Soil	µg	1,251E+02
397	Molybdenum	Air	mg	5,858E+00
398	Molybdenum	Water	mg	4,451E+02
399	Molybdenum	Soil	µg	1,194E+01
400	Molybdenum-99	Water	mBq	1,253E+01
401	Molybdenum, 0.010% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 1.83% in crude ore, in ground	Raw	mg	6,722E+02
402	Molybdenum, 0.014% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 0.81% in crude ore, in ground	Raw	mg	9,430E+01
403	Molybdenum, 0.022% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 0.36% in crude ore, in ground	Raw	mg	1,231E+02
404	Molybdenum, 0.025% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 0.39% in crude ore, in ground	Raw	mg	3,455E+02
405	Molybdenum, 0.11% in sulfide, Mo 4.1E-2% and Cu 0.36% in crude ore, in ground	Raw	mg	2,456E+02
406	Monoethanolamine	Air	mg	6,172E+00
407	Napropamide	Soil	µg	1,780E+01
408	Nickel	Air	mg	5,543E+02
409	Nickel	Soil	mg	1,102E+01
410	Nickel, 1.13% in sulfide, Ni 0.76% and Cu 0.76% in crude ore, in ground	Raw	mg	1,434E+02
411	Nickel, 1.98% in silicates, 1.04% in crude ore, in ground	Raw	g	1,442E+02
412	Nickel, ion	Water	g	7,599E+00
413	Niobium-95	Air	µBq	1,239E+01
414	Niobium-95	Water	mBq	6,987E+01
415	Nitrate	Air	mg	1,645E+01
416	Nitrate	Water	g	6,771E+01
417	Nitrite	Water	mg	2,502E+01



418	Nitrobenzene	Air	ng	8,344E+02
419	Nitrobenzene	Water	µg	3,344E+00
420	Nitrogen	Water	g	1,513E+00
421	Nitrogen oxides	Air	oz	1,079E+02
422	Nitrogen, organic bound	Water	mg	9,532E+02
423	NMVOOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	Air	g	5,810E+02
424	Noble gases, radioactive, unspecified	Air	kBq	1,960E+04
425	o-Xylene	Water	ng	5,361E+02
426	Occupation, arable, non-irrigated	Raw	cm2a	7,447E+02
427	Occupation, construction site	Raw	cm2a	2,316E+02
428	Occupation, dump site	Raw	m2a	2,064E-01
429	Occupation, dump site, benthos	Raw	cm2a	4,610E+02
430	Occupation, forest, intensive	Raw	m2a	2,366E-01
431	Occupation, forest, intensive, normal	Raw	m2a	2,085E+00
432	Occupation, forest, intensive, short-cycle	Raw	cm2a	6,086E+01
433	Occupation, industrial area	Raw	m2a	5,571E-01
434	Occupation, industrial area, benthos	Raw	mm2a	4,109E+02
435	Occupation, industrial area, built up	Raw	cm2a	8,473E+02
436	Occupation, industrial area, vegetation	Raw	cm2a	7,264E+02
437	Occupation, mineral extraction site	Raw	m2a	5,017E-01
438	Occupation, permanent crop, fruit, intensive	Raw	cm2a	8,881E+01
439	Occupation, shrub land, sclerophyllous	Raw	cm2a	1,035E+02
440	Occupation, traffic area, rail embankment	Raw	cm2a	2,669E+02
441	Occupation, traffic area, rail network	Raw	cm2a	2,952E+02
442	Occupation, traffic area, road embankment	Raw	m2a	7,539E-01
443	Occupation, traffic area, road network	Raw	m2a	3,814E+00
444	Occupation, urban, discontinuously built	Raw	mm2a	8,246E+01
445	Occupation, water bodies, artificial	Raw	m2a	4,946E-01
446	Occupation, water courses, artificial	Raw	m2a	2,346E-01
447	Oil, crude, in ground	Raw	kg	1,551E+02
448	Oils, biogenic	Soil	mg	3,875E+01
449	Oils, unspecified	Water	g	4,765E+02
450	Oils, unspecified	Soil	g	4,745E+02
451	Olivine, in ground	Raw	mg	2,562E+00
452	Orbencarb	Soil	µg	6,758E+02
453	Ozone	Air	mg	9,377E+02
454	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	Air	mg	1,118E+02
455	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	Water	mg	4,949E+01
456	Particulates, < 2.5 µm	Air	g	4,607E+02
457	Particulates, > 10 µm	Air	oz	1,192E+02
458	Particulates, > 2.5 µm, and < 10µm	Air	oz	1,051E+02
459	Pd, Pd 2.0E-4%, Pt 4.8E-4%, Rh 2.4E-5%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	Raw	µg	2,240E+02
460	Pd, Pd 7.3E-4%, Pt 2.5E-4%, Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground	Raw	µg	5,382E+02



461	Peat, in ground	Raw	g	3,650E+00
462	Pentane	Air	g	1,301E+01
463	Phenol	Air	mg	9,175E+00
464	Phenol	Water	mg	8,170E+02
465	Phenol, 2,4-dichloro-	Air	ng	5,260E+01
466	Phenol, pentachloro-	Air	µg	5,124E+02
467	Phosphate	Water	g	2,342E+02
468	Phosphine	Air	ng	1,028E+02
469	Phosphorus	Air	mg	7,649E+00
470	Phosphorus	Water	mg	7,283E+01
471	Phosphorus	Soil	mg	2,047E+02
472	Phosphorus, 18% in apatite, 12% in crude ore, in ground	Raw	mg	9,331E+02
473	Phosphorus, 18% in apatite, 4% in crude ore, in ground	Raw	g	1,770E+00
474	Pirimicarb	Soil	µg	1,254E+01
475	Platinum	Air	ng	4,569E+01
476	Plutonium-238	Air	nBq	2,782E+02
477	Plutonium-alpha	Air	nBq	6,378E+02
478	Polonium-210	Air	Bq	1,841E+01
479	Polonium-210	Water	Bq	1,255E+01
480	Polychlorinated biphenyls	Air	µg	2,175E+02
481	Potassium	Air	mg	5,440E+02
482	Potassium	Soil	g	1,406E+00
483	Potassium-40	Air	Bq	2,677E+00
484	Potassium-40	Water	Bq	6,364E+00
485	Potassium, ion	Water	g	4,728E+02
486	Propanal	Air	µg	3,504E+01
487	Propanal	Water	ng	3,888E+02
488	Propane	Air	g	1,155E+01
489	Propene	Air	mg	5,025E+02
490	Propene	Water	mg	1,333E+02
491	Propionic acid	Air	mg	2,403E+01
492	Propionic acid	Water	ng	2,271E+02
493	Propylamine	Air	ng	6,481E+01
494	Propylamine	Water	ng	1,556E+02
495	Propylene oxide	Air	mg	5,000E+01
496	Propylene oxide	Water	mg	1,203E+02
497	Protactinium-234	Air	mBq	3,115E+02
498	Protactinium-234	Water	Bq	5,736E+00
499	Pt, Pt 2.5E-4%, Pd 7.3E-4%, Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground	Raw	µg	5,532E+00
500	Pt, Pt 4.8E-4%, Pd 2.0E-4%, Rh 2.4E-5%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	Raw	µg	1,983E+01
501	Radioactive species, alpha emitters	Water	mBq	1,604E+01
502	Radioactive species, Nuclides, unspecified	Water	Bq	1,991E+03
503	Radioactive species, other beta emitters	Air	Bq	5,482E+02
504	Radium-224	Water	Bq	4,366E+02



505	Radium-226	Air	Bq	1,268E+01
506	Radium-226	Water	Bq	4,275E+03
507	Radium-228	Air	Bq	1,338E+00
508	Radium-228	Water	Bq	8,733E+02
509	Radon-220	Air	Bq	9,940E+01
510	Radon-222	Air	kBq	4,111E+04
511	Rh, Rh 2.0E-5%, Pt 2.5E-4%, Pd 7.3E-4%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground	Raw	µg	3,435E+00
512	Rh, Rh 2.4E-5%, Pt 4.8E-4%, Pd 2.0E-4%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	Raw	µg	1,076E+01
513	Rhenium, in crude ore, in ground	Raw	µg	5,398E+00
514	Rubidium	Water	mg	8,733E+01
515	Ruthenium-103	Air	µBq	2,721E+00
516	Ruthenium-103	Water	mBq	2,644E+00
517	Sand, unspecified, in ground	Raw	mg	3,525E+02
518	Scandium	Air	mg	3,794E+00
519	Scandium	Water	mg	1,913E+02
520	Selenium	Air	mg	1,740E+01
521	Selenium	Water	mg	2,861E+02
522	Shale, in ground	Raw	mg	1,633E+01
523	Silicon	Air	mg	5,419E+02
524	Silicon	Water	oz	5,209E+01
525	Silicon	Soil	mg	5,610E+02
526	Silicon tetrafluoride	Air	µg	1,322E+01
527	Silver	Air	µg	1,659E+02
528	Silver-110	Air	µBq	2,697E+01
529	Silver-110	Water	Bq	1,076E+01
530	Silver, 0.007% in sulfide, Ag 0.004%, Pb, Zn, Cd, In, in ground	Raw	mg	9,376E+00
531	Silver, 3.2ppm in sulfide, Ag 1.2ppm, Cu and Te, in crude ore, in ground	Raw	mg	6,687E+00
532	Silver, Ag 2.1E-4%, Au 2.1E-4%, in ore, in ground	Raw	µg	6,174E+02
533	Silver, Ag 4.2E-3%, Au 1.1E-4%, in ore, in ground	Raw	mg	1,410E+00
534	Silver, Ag 4.6E-5%, Au 1.3E-4%, in ore, in ground	Raw	mg	1,382E+00
535	Silver, Ag 9.7E-4%, Au 9.7E-4%, Zn 0.63%, Cu 0.38%, Pb 0.014%, in ore, in ground	Raw	µg	9,119E+02
536	Silver, ion	Water	mg	1,730E+01
537	Sodium	Air	mg	2,529E+02
538	Sodium	Soil	g	1,018E+01
539	Sodium-24	Water	mBq	9,481E+01
540	Sodium chlorate	Air	µg	1,683E+02
541	Sodium chloride, in ground	Raw	oz	6,209E+01
542	Sodium dichromate	Air	µg	3,598E+02
543	Sodium formate	Air	µg	1,514E+01
544	Sodium formate	Water	µg	3,638E+01
545	Sodium hydroxide	Air	mg	1,193E+00
546	Sodium nitrate, in ground	Raw	ng	8,146E+02



547	Sodium sulphate, various forms, in ground	Raw	g	3,252E+00
548	Sodium, ion	Water	oz	1,377E+02
549	Solids, inorganic	Water	g	7,489E+01
550	Solved solids	Water	g	8,662E+00
551	Stibnite, in ground	Raw	µg	3,552E+01
552	Strontium	Air	mg	1,545E+01
553	Strontium	Water	g	3,849E+01
554	Strontium	Soil	mg	3,760E+01
555	Strontium-89	Water	mBq	2,312E+02
556	Strontium-90	Water	Bq	1,850E+03
557	Styrene	Air	µg	6,180E+02
558	Sulfate	Air	g	2,333E+00
559	Sulfate	Water	kg	5,767E+00
560	Sulfide	Water	mg	1,779E+01
561	Sulfite	Water	mg	2,541E+02
562	Sulfur	Water	g	1,255E+00
563	Sulfur	Soil	g	2,267E+00
564	Sulfur dioxide	Air	oz	5,526E+01
565	Sulfur hexafluoride	Air	mg	1,342E+01
566	Sulfur trioxide	Air	µg	6,845E+00
567	Sulfur, in ground	Raw	mg	2,005E+02
568	Sulfuric acid	Air	µg	2,497E+02
569	Sulfuric acid	Soil	ng	1,542E+02
570	Suspended solids, unspecified	Water	g	1,185E+02
571	Sylvite, 25 % in sylvinite, in ground	Raw	g	1,251E+00
572	t-Butyl methyl ether	Air	µg	4,249E+02
573	t-Butyl methyl ether	Water	mg	1,433E+01
574	t-Butylamine	Air	ng	1,423E+02
575	t-Butylamine	Water	ng	3,415E+02
576	Talc, in ground	Raw	mg	5,674E+02
577	Tantalum, 81.9% in tantalite, 1.6E-4% in crude ore, in ground	Raw	mg	7,393E+00
578	Tebutam	Soil	µg	4,217E+01
579	Technetium-99m	Water	mBq	2,881E+02
580	Teflubenzuron	Soil	µg	8,343E+00
581	Tellurium-123m	Water	mBq	6,269E+01
582	Tellurium-132	Water	µBq	7,255E+02
583	Tellurium, 0.5ppm in sulfide, Te 0.2ppm, Cu and Ag, in crude ore, in ground	Raw	mg	1,003E+00
584	Terpenes	Air	µg	1,969E+02
585	Thallium	Air	µg	9,825E+01
586	Thallium	Water	mg	1,727E+01
587	Thiram	Soil	ng	8,965E+02
588	Thorium	Air	µg	3,435E+01
589	Thorium-228	Air	mBq	5,118E+02
590	Thorium-228	Water	Bq	1,747E+03



591	Thorium-230	Air	Bq	1,174E+00
592	Thorium-230	Water	Bq	7,826E+02
593	Thorium-232	Air	mBq	7,664E+02
594	Thorium-232	Water	Bq	1,069E+00
595	Thorium-234	Air	mBq	3,115E+02
596	Thorium-234	Water	Bq	5,736E+00
597	Tin	Air	mg	5,026E+00
598	Tin	Soil	µg	2,121E+01
599	Tin, 79% in cassiterite, 0.1% in crude ore, in ground	Raw	mg	3,731E+02
600	Tin, ion	Water	mg	1,458E+02
601	TiO ₂ , 54% in ilmenite, 2.6% in crude ore, in ground	Raw	g	4,150E+01
602	TiO ₂ , 95% in rutile, 0.40% in crude ore, in ground	Raw	µg	5,103E+02
603	Titanium	Air	mg	8,257E+01
604	Titanium	Soil	mg	2,624E+00
605	Titanium, ion	Water	g	1,071E+01
606	TOC, Total Organic Carbon	Water	g	5,126E+02
607	Toluene	Air	g	1,940E+00
608	Toluene	Water	g	1,090E+00
609	Toluene, 2-chloro-	Air	ng	2,818E+02
610	Toluene, 2-chloro-	Water	ng	5,567E+02
611	Transformation, from arable	Raw	mm ²	1,925E+02
612	Transformation, from arable, non-irrigated	Raw	sq.in	2,131E+02
613	Transformation, from arable, non-irrigated, fallow	Raw	mm ²	3,737E+01
614	Transformation, from dump site, inert material landfill	Raw	cm ²	1,724E+01
615	Transformation, from dump site, residual material landfill	Raw	mm ²	3,336E+02
616	Transformation, from dump site, sanitary landfill	Raw	mm ²	5,474E+00
617	Transformation, from dump site, slag compartment	Raw	mm ²	6,971E+00
618	Transformation, from forest	Raw	sq.in	2,516E+02
619	Transformation, from forest, extensive	Raw	cm ²	1,718E+02
620	Transformation, from forest, intensive, clear-cutting	Raw	mm ²	2,173E+02
621	Transformation, from industrial area	Raw	mm ²	3,881E+02
622	Transformation, from industrial area, benthos	Raw	mm ²	1,090E+00
623	Transformation, from industrial area, built up	Raw	mm ²	6,242E-01
624	Transformation, from industrial area, vegetation	Raw	mm ²	1,065E+00
625	Transformation, from mineral extraction site	Raw	cm ²	6,256E+01
626	Transformation, from pasture and meadow	Raw	cm ²	4,277E+01
627	Transformation, from pasture and meadow, intensive	Raw	mm ²	1,122E+02
628	Transformation, from sea and ocean	Raw	cm ²	4,613E+02
629	Transformation, from shrub land, sclerophyllous	Raw	cm ²	2,681E+01
630	Transformation, from tropical rain forest	Raw	mm ²	2,173E+02
631	Transformation, from unknown	Raw	cm ²	4,579E+02
632	Transformation, to arable	Raw	cm ²	2,990E+01
633	Transformation, to arable, non-irrigated	Raw	sq.in	2,133E+02
634	Transformation, to arable, non-irrigated, fallow	Raw	mm ²	5,314E+01
635	Transformation, to dump site	Raw	cm ²	1,469E+01



636	Transformation, to dump site, benthos	Raw	cm2	4,610E+02
637	Transformation, to dump site, inert material landfill	Raw	cm2	1,724E+01
638	Transformation, to dump site, residual material landfill	Raw	mm2	3,336E+02
639	Transformation, to dump site, sanitary landfill	Raw	mm2	5,474E+00
640	Transformation, to dump site, slag compartment	Raw	mm2	6,971E+00
641	Transformation, to forest	Raw	cm2	3,067E+01
642	Transformation, to forest, intensive	Raw	cm2	1,577E+01
643	Transformation, to forest, intensive, clear-cutting	Raw	mm2	2,173E+02
644	Transformation, to forest, intensive, normal	Raw	cm2	1,527E+02
645	Transformation, to forest, intensive, short-cycle	Raw	mm2	2,173E+02
646	Transformation, to heterogeneous, agricultural	Raw	cm2	7,940E+01
647	Transformation, to industrial area	Raw	cm2	3,712E+01
648	Transformation, to industrial area, benthos	Raw	mm2	3,603E+01
649	Transformation, to industrial area, built up	Raw	cm2	1,919E+01
650	Transformation, to industrial area, vegetation	Raw	cm2	1,611E+01
651	Transformation, to mineral extraction site	Raw	sq.in	2,672E+02
652	Transformation, to pasture and meadow	Raw	mm2	2,038E+02
653	Transformation, to permanent crop, fruit, intensive	Raw	mm2	1,250E+02
654	Transformation, to sea and ocean	Raw	mm2	1,090E+00
655	Transformation, to shrub land, sclerophyllous	Raw	cm2	2,070E+01
656	Transformation, to traffic area, rail embankment	Raw	mm2	6,211E+01
657	Transformation, to traffic area, rail network	Raw	mm2	6,827E+01
658	Transformation, to traffic area, road embankment	Raw	cm2	1,985E+01
659	Transformation, to traffic area, road network	Raw	cm2	9,118E+01
660	Transformation, to unknown	Raw	cm2	4,413E+01
661	Transformation, to urban, discontinuously built	Raw	mm2	1,643E+00
662	Transformation, to water bodies, artificial	Raw	cm2	6,766E+01
663	Transformation, to water courses, artificial	Raw	cm2	2,371E+01
664	Tributyltin compounds	Water	mg	7,491E+01
665	Triethylene glycol	Water	mg	1,970E+01
666	Trimethylamine	Air	ng	1,237E+01
667	Trimethylamine	Water	ng	2,969E+01
668	Tungsten	Air	µg	4,254E+02
669	Tungsten	Water	mg	1,877E+02
670	Ulexite, in ground	Raw	mg	2,028E+01
671	Uranium	Air	µg	2,854E+01
672	Uranium-234	Air	Bq	3,642E+00
673	Uranium-234	Water	Bq	6,883E+00
674	Uranium-235	Air	mBq	1,755E+02
675	Uranium-235	Water	Bq	1,136E+01
676	Uranium-238	Air	Bq	5,425E+00
677	Uranium-238	Water	Bq	2,224E+01
678	Uranium alpha	Air	Bq	1,691E+01
679	Uranium alpha	Water	Bq	3,305E+02
680	Uranium, in ground	Raw	g	1,276E+00



681	Urea	Water	ng	4,625E+02
682	Used air	Air	tn.lg	1,928E+01
683	Vanadium	Air	mg	3,057E+02
684	Vanadium	Soil	µg	7,511E+01
685	Vanadium, ion	Water	g	1,163E+00
686	Vermiculite, in ground	Raw	mg	7,746E+00
687	VOC, volatile organic compounds, unspecified origin	Water	g	3,070E+00
688	Volume occupied, final repository for low-active radioactive waste	Raw	cm3	2,606E+00
689	Volume occupied, final repository for radioactive waste	Raw	mm3	6,201E+02
690	Volume occupied, reservoir	Raw	m3y	3,471E+00
691	Volume occupied, underground deposit	Raw	cm3	6,452E+00
692	Water	Air	g	1,484E+02
693	Water, cooling, unspecified natural origin/m3	Raw	cuft	1,345E+02
694	Water, lake	Raw	cu.in	4,930E+02
695	Water, river	Raw	dm3	7,208E+02
696	Water, salt, ocean	Raw	dm3	1,342E+02
697	Water, salt, sole	Raw	dm3	1,041E+02
698	Water, turbine use, unspecified natural origin	Raw	Nm3	1,013E+03
699	Water, unspecified natural origin/m3	Raw	gal*	8,499E+02
700	Water, well, in ground	Raw	dm3	1,828E+02
701	Wood, hard, standing	Raw	cm3	6,878E+02
702	Wood, primary forest, standing	Raw	cm3	2,250E+00
703	Wood, soft, standing	Raw	cu.in	9,554E+01
704	Wood, unspecified, standing/m3	Raw	mm3	2,081E+01
705	Xenon-131m	Air	Bq	2,469E+02
706	Xenon-133	Air	kBq	8,835E+00
707	Xenon-133m	Air	Bq	1,322E+01
708	Xenon-135	Air	Bq	3,547E+03
709	Xenon-135m	Air	Bq	2,214E+03
710	Xenon-137	Air	Bq	6,580E+01
711	Xenon-138	Air	Bq	4,996E+02
712	Xylene	Air	g	1,621E+00
713	Xylene	Water	mg	8,797E+02
714	Zinc	Air	mg	7,343E+02
715	Zinc	Soil	g	2,357E+00
716	Zinc-65	Air	µBq	5,210E+02
717	Zinc-65	Water	Bq	1,285E+00
718	Zinc, 9.0% in sulfide, Zn 5.3%, Pb, Ag, Cd, In, in ground	Raw	g	5,482E+01
719	Zinc, ion	Water	g	3,271E+01
720	Zirconium	Air	µg	2,575E+02
721	Zirconium-95	Air	µBq	5,092E+02
722	Zirconium-95	Water	mBq	1,489E+01
723	Zirconium, 50% in zircon, 0.39% in crude ore, in ground	Raw	mg	1,013E+01

