

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

FACOLTÀ DI CHIMICA INDUSTRIALE

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN CHIMICA INDUSTRIALE
CLASSE LM – 71 – SCIENZE E TECNOLOGIE DELLA CHIMICA INDUSTRIALE

DIPARTIMENTO DI CHIMICA INDUSTRIALE E DEI MATERIALI

**STUDIO SULL'EVOLUZIONE TEMPORALE DEGLI
IMPATTI DELL'INCENERITORE DI CORIANO (RIMINI)
MEDIANTE LIFE CYCLE ASSESSMENT**

TESI DI LAUREA SPERIMENTALE
in
Tecnologie e Certificazione Ambientale

PRESENTATA DA

Monica Nicoletti

RELATORE

Prof. Fabrizio Passarini

CORRELATORI

Dott. Luca Ciacci

Prof. Luciano Morselli

SESSIONE II

ANNO ACCADEMICO 2011-2012

**ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

FACOLTÀ DI CHIMICA INDUSTRIALE

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN CHIMICA INDUSTRIALE
CLASSE LM – 71 – SCIENZE E TECNOLOGIE DELLA CHIMICA INDUSTRIALE**

DIPARTIMENTO DI CHIMICA INDUSTRIALE E DEI MATERIALI

**STUDIO SULL'EVOLUZIONE TEMPORALE DEGLI
IMPATTI DELL'INCENERITORE DI CORIANO (RIMINI)
MEDIANTE LIFE CYCLE ASSESSMENT**

TESI DI LAUREA SPERIMENTALE
in
Tecnologie e Certificazione Ambientale

PRESENTATA DA

Monica Nicoletti

RELATORE

Prof. Fabrizio Passarini

CORRELATORI

Dott. Luca Ciacci

Prof. Luciano Morselli

SESSIONE II

ANNO ACCADEMICO 2011-2012

RIASSUNTO

Lo scopo del progetto di tesi è stato quello di indagare come è variato nel tempo l'impatto dell'impianto di incenerimento situato a Coriano, in provincia di Rimini, a seguito dell'introduzione di soluzioni tecnologiche sempre più evolute al fine di una maggiore tutela ambientale.

Lo studio è stata condotto utilizzando la tecnica del Valutazione del Ciclo di Vita (LCA, Life Cycle Assesment), che consente di quantificare gli impatti utilizzando indicatori precisi e di considerare il processo in tutti i suoi dettagli.

I risultati evidenziano una progressiva diminuzione dell'impatto complessivo dell'impianto, dovuto sia alle operazioni di adeguamento relative alle attività di incenerimento, sia all'introduzione di un sistema sempre più efficiente di recupero energetico.

I confini del sistema sono infatti stati ampliati per poter includere nello studio l'energia elettrica generata dal recupero del calore prodotto durante la combustione.

Sono stati valutati rapporti causa-effetto tra i risultati ottenuti ed alcune informazioni correlate al processo, quali composizione dei rifiuti e variazione temporale del mix energetico in Italia.

Sono infine state effettuate valutazioni relativamente alla comparazione dell'impianto studiato con altre realtà territoriali ed impiantistiche e sono state prese in esame alcune tra le tecnologie più innovative applicabili al processo, soprattutto per quel che riguarda la depurazione dei fumi.

ABSTRACT

The aim of this thesis project was to investigate how the impact of the incineration plant located in Coriano, near Rimini, is changed along the years. The purpose is to understand the effect of the introduction of advanced technological solutions in order to ensure greater environmental protection.

The study was performed using the technique of Life Cycle Assessment (LCA), which allows a quantification of environmental impacts using specific indicators, considering the process in all its details. The results show a progressive impact decrease, due to the revamping interventions implemented on the plant and to the introduction of a more effective energy recovery system. The system boundaries have been expanded to include the energy generated from the recovery of heat produced during the combustion of

wastes. Another goal is to evaluate the cause-effect relationships between the results obtained and some information related to the process, as waste composition and variation of the energy mix in Italy during the considered period. Finally, other assessments are performed comparing the studied system with other plants and examining innovative technologies applicable to the process, especially as regards flue gas treatments.

SOMMARIO

INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI	Pag. 13
--	---------

PARTE GENERALE

1. CAPITOLO 1

SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE E GESTIONE DEI RIFIUTI: approfondimento sullo scenario della termovalorizzazione e sulla normativa ambientale in materia.....	Pag. 15
--	---------

1.1 Sviluppo sostenibile.....	Pag. 15
1.2 Gestione dei rifiuti.....	Pag. 16
1.3 L'incenerimento.....	Pag. 17
1.4 L'accettabilità sociale.....	Pag. 17
1.5 Normativa di riferimento.....	Pag. 19
1.5.1 Direttiva 2000/76/CE.....	Pag. 21
1.5.2 D. Lgs. 133/05.....	Pag. 23
1.5.3 D. Lgs. 152/06.....	Pag. 27
1.5.4 IPCC.....	Pag. 28
1.5.5 Direttiva 96/61/CE (IPPC).....	Pag. 29
1.5.6 D. Lgs. 128/10 (IPPC).....	Pag. 30
1.5.7 Direttiva 2008/98/CE.....	Pag. 32

2. CAPITOLO 2

INCENERIMENTO: tecnologie disponibili e BAT.....	Pag. 35
--	---------

2.1 ApparatI per la combustione.....	Pag. 35
2.1.1 Forno a griglia.....	Pag. 35
2.1.2 Forno a letto fluido.....	Pag. 36
2.1.3 Forno a tamburo rotante.....	Pag. 36
2.2 ApparatI depurazione fumi.....	Pag. 37
2.2.1 Elettrofiltri.....	Pag. 38
2.2.2 Filtri a manica.....	Pag. 38
2.2.3 Carboni attivi.....	Pag. 39
2.2.4 Selective non-catalitic reduction (SNCR).....	Pag. 40
2.2.5 Selective non-catalitic reduction (SCR).....	Pag. 41
2.2.6 Processo NEUTREC ®.....	Pag. 41

2.3 Recupero energetico.....	Pag. 43
2.4 Best Available Techniques (BAT).....	Pag. 43

3. CAPITOLO 3

LA TERMOVALORIZZAZIONE IN EMILIA ROMAGNA: cenni sugli impianti in Regione.....	Pag. 45
--	---------

4. CAPITOLO 4

L'INCENERITORE DI CORIANO (RIMINI).....	Pag. 49
4.1 Storia.....	Pag. 49
4.2 Struttura.....	Pag. 52
4.2.1 Attività svolte.....	Pag. 52
4.2.2. Rifiuti in ingresso.....	Pag. 53
4.2.3 Combustione.....	Pag. 54
4.2.4 Post-Combustione.....	Pag. 54
4.2.5 Trattamento fumi.....	Pag. 54
4.2.6 Tipologie di emissioni.....	Pag. 56
4.2.7 Energia prodotta e consumata.....	Pag. 57
4.2.8 Gestione delle risorse idriche.....	Pag. 57
4.2.9 Gestione situazioni di emergenza.....	Pag. 58
4.3 Adesione alle BAT.....	Pag. 58

5. CAPITOLO 5

DEFINIZIONE ED IMPORTANZA DELLA METODOLOGIA LCA.....	Pag. 61
5.1 Definizione dell'LCA.....	Pag. 61
5.2 Vantaggi e limiti dell'LCA.....	Pag. 62
5.3 Origini storiche dell'LCA.....	Pag. 62
5.4 Norme ISO di riferimento.....	Pag. 64
5.5 Fasi di uno studio LCA.....	Pag. 65
5.5.1 Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione.....	Pag. 66
5.5.2 Analisi di inventario.....	Pag. 68
5.5.3 Valutazione degli impatti.....	Pag. 69
5.5.4 Metodi disponibili.....	Pag. 74
5.5.5 Interpretazione dei risultati.....	Pag. 75
5.6 Modalità di interpretazione e valutazione.....	Pag. 76

5.7 Tipologie di LCA.....	Pag. 77
5.8 LCA e smaltimento rifiuti.....	Pag. 77
5.9 Strumento di calcolo.....	Pag. 78

PARTE SPERIMENTALE

6. CAPITOLO 6

GOAL AND SCOPE DEFINITION.....	Pag. 80
6.1 Definizione obiettivo.....	Pag. 80
6.2 Definizione del campo di applicazione.....	Pag. 81

7. CAPITOLO 7

ANALISI DI INVENTARIO.....	Pag. 83
7.1 Flussi di massa e di energia.....	Pag. 83
7.2 Consumo e produzione di energia elettrica.....	Pag. 95
7.3 Mix energetico italiano per la produzione di energia elettrica.....	Pag. 97
7.4 Composizione merceologica dei rifiuti solidi urbani nel periodo considerato.....	Pag. 103
7.5 Emissioni dell'impianto.....	Pag. 104
7.5.1 Fumi.....	Pag. 104
7.5.2 Ceneri.....	Pag. 119
7.5.3 Scorie.....	Pag. 120
7.5.4 Scarichi idrici.....	Pag. 125
7.6 Confronto emissioni.....	Pag. 130
7.7 Qualità dei dati.....	Pag. 136
7.7.1 Tecnica di stima delle incertezze.....	Pag. 137
7.7.2 Stima delle incertezze.....	Pag. 138

8. CAPITOLO 8

CREAZIONE DEL MODELLO PER L'ANALISI.....	Pag. 140
8.1 Processo relativo all'incenerimento.....	Pag. 140
8.2 Processi relativi alla produzione di energia elettrica.....	Pag. 141
8.3 Dismissione dei residui solidi di combustione.....	Pag. 142
8.4 Modellazione.....	Pag. 142

9. CAPITOLO 9

RISULTATI E DISCUSSIONE.....	Pag. 146
9.1 Risultati caratterizzazione.....	Pag. 146
9.2 Normalizzazione.....	Pag. 157
9.3 Relazione fra impatto osservato e composizione dei rifiuti.....	Pag. 157
9.4 Relazione fra impatto osservato ed energia recuperata.....	Pag. 160
9.5 Categorie di danno.....	Pag. 162
9.6 Impatto complessivo.....	Pag. 165
9.7 Analisi di contributo.....	Pag. 166
9.8 Analisi per sostanza.....	Pag. 167
9.9 Analisi di sensibilità.....	Pag. 168
9.9.1 Confronto scenari 1996/2007.....	Pag. 169
9.9.2 Confronto scenari 2007/2011.....	Pag. 170

10.CAPITOLO 10

VALUTAZIONE RECUPERO ENERGETICO.....	Pag. 172
10.1 Formula per il calcolo dell'efficienza energetica secondo la Direttiva 2008/98/CE.....	Pag. 172
10.2 Calcolo dell'efficienza energetica dell'impianto secondo la Direttiva 2008/98/CE.....	Pag. 173

11. CAPITOLO 11

ESTENSIONE DEI CONFINI GEOGRAFICI E TEMPORALI.....	Pag. 175
11.1 Confronto con scenario Emiliano-Romagnolo.....	Pag. 175
11.1.1 Confronto relativo all'anno 2003.....	Pag. 175
11.1.2 Confronto relativo all'anno 2009.....	Pag. 177
11.2 Ulteriore estensione dei confini geografici. Impatto inceneritore di Milano (Italia) ed Aarhus (Danimarca).....	Pag. 178
11.3 Valutazione di differenti soluzioni tecnologiche (depurazione fumi wet/dry, presenza sistema di recupero energetico).....	Pag. 180
11.4 Gestione delle scorie.....	Pag. 183
11.5 Tecniche emergenti per l'utilizzo della CO ₂ emessa.....	Pag. 185
11.5.1 Utilizzo della CO ₂ per la produzione di carbonato di sodio.....	Pag. 186
11.5.2 Stabilizzazione dei residui di combustione.....	Pag. 186

12. CAPITOLO 12

CONCLUSIONI.....Pag. 188

ALLEGATI.....Pag. 191

Allegato I.....Pag. 191

Allegato II.....Pag. 193

Allegato III.....Pag. 200

Allegato IV.....Pag. 204

Allegato V.....Pag. 207

BIBLIOGRAFIA.....Pag. 211

RINGRAZIAMENTI.....Pag. 215

INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI

Lo scopo di questo studio è quello di valutare come sono variati gli impatti dell'impianto di incenerimento di Coriano a seguito dei diversi interventi di riqualificazione e manutenzione che si sono succeduti negli anni.

Per fare ciò si è scelto di utilizzare la metodologia della Valutazione del Ciclo di Vita (LCA).

Il vantaggio di effettuare tale studio utilizzando questa particolare tecnica, è quello di riuscire a considerare tutte le fasi del ciclo di vita dei diversi sotto-processi che sono stati considerati, dall'incenerimento vero e proprio, all'utilizzo di reagenti e combustibili ausiliari, al trasporto e smaltimento dei residui solidi, al recupero energetico.

In particolare, proprio per poter valutare l'impatto evitato dovuto alla produzione di energia elettrica, è stato necessario condurre parallelamente un approfondimento sulla variazione del mix energetico italiano nell'arco di tempo considerato.

Al fine della modellazione, sono quindi stati catalogati dati ed informazioni relativi ad entrambi i processi.

Preliminarmente, è stato necessario approfondire le nozioni relative a gestione dei rifiuti ed incenerimento, in maniera particolare quelle riguardanti la normativa ambientale che regola il settore e la sua evoluzione nel tempo.

È stato inoltre necessario un approfondito studio della tecnica LCA e delle sue fasi.

Si è rivelato utile un riesame delle tecnologie attualmente utilizzate negli impianti di incenerimento e del concetto di Best Available Techniques.

È stato infine indispensabile un'analisi approfondita relativa alla struttura ed all'evoluzione storica dell'impianto oggetto dello studio ed alle attività che vi si svolgono all'interno. Tali informazioni sono state inserite nell'ambito del contesto regionale di incenerimento.

Per quel che riguarda l'esecuzione della valutazione degli impatti, è stato deciso di prendere in esame un periodo che va dal 1994 al 2011, ed in particolare sono stati esaminati alcuni anni precisi (1994, 1995, 1996, 2003, 2007, 2008, 2009, 2010 e 2011), per cui erano disponibili esaurienti quantità di dati, derivanti da precedenti ricognizioni, nel corso dei quali si sono verificate profonde modifiche strutturali.

Nello specifico, ci si è posti l'obiettivo di valutare se, e quanto, l'introduzione del sistema di recupero energetico nel 1998, l'ammodernamento effettuato nel 2000, (sostituzione della caldaia, ristrutturazione della camera di combustione e sostituzione di

elementi filtranti), lo spegnimento delle linee più vecchie e l'installazione finale al loro posto di una linea tecnologicamente avanzata denominata Linea 4 (con l'installazione in coda alla linea depurazione fumi del sistema catalitico di riduzione degli ossidi di azoto, il collegamento ad un nuovo camino più alto ed un nuovo sistema di doppia filtrazione con filtro a manica) abbiano portato ad una diminuzione complessiva degli impatti.

La modellazione è stata effettuata con il programma di calcolo SimaPro, uno dei più diffusi software utilizzati per analisi LCA ed utilizzato in industrie, istituti di ricerca ed università.

Si è poi voluto indagare la coerenza dei risultati ottenuti con la composizione merceologica dei rifiuti in ingresso all'impianto, l'andamento dell'efficienza di recupero energetico negli anni e l'effetto di un mix nazionale di produzione di energia elettrica sempre più influenzato dal ricorso a fonti rinnovabili, sull'impatto evitato dell'impianto.

Ci si è posti inoltre l'obiettivo di distinguere quali fossero i sotto-processi che influiscono maggiormente sull'impatto complessivo e quanto la qualità dei dati e le approssimazioni fatte influissero sui risultati.

Si è infine voluto comparare lo scenario e le tecnologie analizzate con altre realtà territoriali e tecnologiche e con le soluzioni identificate nel Reference Document Europeo delle Migliori Tecniche Disponibili relative agli impianti di incenerimento dei rifiuti [EU IPPC, 2006].

PARTE GENERALE

CAPITOLO 1

SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE E GESTIONE DEI RIFIUTI:

approfondimento sullo scenario della termovalorizzazione e sulla normativa in materia.

1.1 SVILUPPO SOSTENIBILE

Il principio da tenere sempre a mente quando si compiono studi relativi all’impatto ambientale di un prodotto, un servizio od una attività, oppure quando si interpretano i risultati di uno studio di tale genere, è che l’ambiente è una risorsa finita, soltanto parzialmente rinnovabile, la sua capacità di carico è cioè limitata e quando un eventuale danno non riesce ad essere riassorbito in tempi utili, l’effetto è irreversibile.

Il concetto di “sostenibilità” usato attualmente va oltre le questioni prettamente ambientali ed ha ampliato i propri confini fino a comprendere tematiche che vanno dall’economia all’etica [Morselli L. et al., 2005].

La sostenibilità, dunque, è realizzabile solamente se è adottato un approccio multidisciplinare, comprendente:

-sostenibilità economica: intesa come possibilità di garantire il sostentamento a tutti gli abitanti della Terra;

-sostenibilità sociale: cioè assicurare sicurezza, salute ed istruzione ad ogni essere umano;

sostenibilità ambientale: vale a dire il mantenimento della qualità delle risorse naturali e dell’ambiente.

Naturalmente questi tre concetti sono imprescindibili uno dall’altro, e sono infatti solitamente rappresentati mediante una raffigurazione tanto semplice quanto immediata, riportata in Figura 1.1.

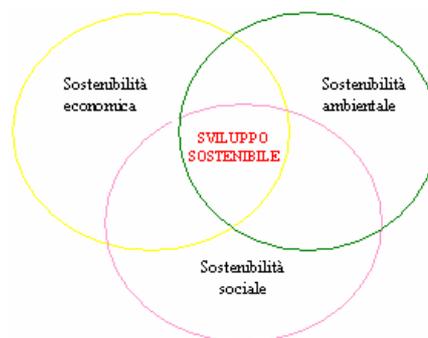


Figura 1.1 –Concettualizzazione sviluppo sostenibile

Solamente insieme, quindi, sostenibilità economica, ambientale e sociale possono dar luogo ad un modello di sviluppo sostenibile.

La definizione tuttora più condivisa e diffusa di sviluppo sostenibile è quella elaborata per il rapporto Brundtland, nel 1987, dalla Commissione mondiale sull'Ambiente e lo Sviluppo, e che afferma che lo sviluppo sostenibile, inteso come modello di sviluppo sociale ed economico, è quello che "soddisfa i bisogni delle generazioni presenti senza compromettere le capacità delle generazioni future di soddisfare i propri".

1.2 GESTIONE DEI RIFIUTI

Le problematiche inerenti la gestione dei rifiuti sono andate sempre crescendo nel tempo, complici il miglioramento delle condizioni economiche, l'aumento dei consumi e lo sviluppo industriale.

La quantità dei rifiuti generati, e, soprattutto, la loro composizione, rappresenta al contempo una misura dell'impoverimento delle risorse del pianeta ed un rischio legato alla presenza di sostanze pericolose.

La Direttiva 2008/98/CE ribadisce la necessità che la prevenzione della produzione dei rifiuti debba essere considerata la priorità assoluta.

Per sottolineare l'importanza di questo concetto, basta riportare un po' di cifre: nel 1995 ogni cittadino europeo ha prodotto in media 460 kg di rifiuti urbani; questa quantità è aumentata fino a 520 kg pro-capite nel 2004 ed è scesa poi a 512 Kg nel 2011 a causa della crisi economica; entro il 2020 si prevede tuttavia un ulteriore incremento a 680 kg pro-capite.

Nel 1995, in Europa, il 61,5% dei rifiuti veniva smaltito in discarica, il 13,5% tramite incenerimento, il 10,4% riciclato ed il rimanente inviato ad impianti di compostaggio od altro.

Nel 2009, il ricorso alla discarica è diminuito notevolmente a favore di incenerimento e riciclaggio: il 36,5% è inviato in discarica, il 20,2% all'incenerimento, il 22% al riciclaggio e la rimanente percentuale al compostaggio od altro.

In Italia, nel 2010, sono stati prodotti 532 kg pro-capite di rifiuti, in linea con la media Europea, il cui conferimento ai differenti sistemi di gestione è estremamente variabile da regione a regione [ISPRA, 2012].

In Emilia-Romagna, dall'ultimo rapporto del 2011, contenente i dati relativi all'anno 2010, emerge che la produzione di rifiuti si è attestata sui 698 kg pro-capite, la raccolta differenziata in 10 anni è raddoppiata, passando dal 25% del 2001 al 50,4% del 2010,

mentre è diminuito del 32,6% il conferimento in discarica (dal 51% al 18,4%). L'incenerimento, invece, è passato dal 16 al 25% [ARPA, *E. Romagna, 2011*].

A Rimini, nello stesso anno, su un totale di 27305321 ton di rifiuti prodotti, la raccolta differenziata ha raggiunto il 51%, mentre del restante 49%, il 71,6% è stato destinato all'incenerimento ed il 28,4% è stato inviato in discarica [Provincia di Rimini, 2010].

1.3 L'INCENERIMENTO

Per incenerimento si intende l'ossidazione del materiale combustibile presente nel rifiuto, operando ad alta temperatura ed in eccesso di ossigeno. Le principali tipologie di rifiuti a cui è applicato l'incenerimento, sono: RSU, rifiuti industriali non pericolosi, rifiuti pericolosi e rifiuti sanitari. Il settore dell'incenerimento ha vissuto una grande crescita negli ultimi 15 anni, grazie alla notevole riduzione di volume e di massa dei rifiuti che esso comporta (le scorie rappresentano circa il 10% del volume di rifiuti in ingresso ed il 30% in massa) ed alla possibilità di recupero dell'energia dai gas di combustione. I principali costituenti di tali gas, sono: vapore acqueo, azoto, anidride carbonica ed ossigeno. Sulla base della composizione del rifiuto in ingresso e delle condizioni operative, variano le quantità di inquinanti presenti, principalmente CO, HCl, HF, HBr, NO_x, SO₂, VOCs, PCDD/F, PCBs e metalli pesanti.

Proprio l'emissione di inquinanti in aria ed in acqua, unitamente alla produzione di residui e rumori, al bilancio energetico, al consumo di materie prime ed al rischio di incidenti e malfunzionamenti, sono gli aspetti più critici e sui cui è solito accendersi il dibattito in merito alla sostenibilità degli impianti [Cheremisinoff *et al.*, 2009]; [Laforgia *D. et al.*, 2004].

1.4 L'ACCETTABILITÀ SOCIALE

Come è noto, la diffidenza della popolazione nei confronti degli impianti di termovalorizzazione dei rifiuti è elevata; la preoccupazione che ne deriva è causata in gran parte da reali esperienze negative verificatesi in passato. Inoltre, l'incenerimento è spesso visto come una soluzione semplicistica nell'ambito della complessa questione dello smaltimento dei rifiuti, che disincentiva la raccolta differenziata [Chandler *et al.*].

Effettivamente, impianti senza selezione dei rifiuti in ingresso, con tecniche di combustione inadeguate o gestione inadatta, possono comportare l'emissione di tutta una serie di inquinanti dannosi per l'ambiente e che comportano rischi reali per la popolazione.

Oggi, tuttavia, il problema può essere superato mediante l'impiego di processi e tecnologie adeguate ed il recupero energetico è una valida opzione di recupero per le frazioni di RSU che non sono recuperabili in altro modo.

Una delle problematiche maggiormente sentite e che merita un particolare approfondimento, riguarda l'emissione di diossine nei fumi.

Dalla metà degli anni '80, il Ministero della Salute giapponese fece eseguire numerose ricerche sui meccanismi di generazione e controllo delle diossine. Nel Dicembre 1990, ebbe così origine "The Guidelines for the Prevention of dioxins generation from MSW incinerators", a cui seguì tutta una serie di altri studi sulle misure per ridurre le diossine.

Essendo il Giappone un paese caratterizzato da un'estensione territoriale non elevata, la pratica dell'incenerimento è molto più comune rispetto allo smaltimento in discarica, tanto che i $\frac{3}{4}$ dei rifiuti generati sono inviati all'incenerimento, per cui, per poter ottenere il consenso adeguato dalla popolazione, è essenziale effettuare le necessarie valutazioni in materia di emissioni e sicurezza.

Come già affermato, gli intenti delle diverse linee guida emesse non si limitavano a ridurre le emissioni, ma miravano a prevenire la formazione stessa di diossine. Ovviamente parametri differenti erano adottati per vecchi e nuovi impianti [Sanbongi T. et al.].

Nel 1991, si stimò che l'incenerimento nei Paesi Bassi sia stato responsabile di circa il 79% di tutte le emissioni atmosferiche di diossine, di cui circa il 53-82% nel Regno Unito (Pastorelli et al. 1999). Una ricognizione relativa a 15 Paesi, mostrò che nel 1995 circa il 50% delle emissioni atmosferiche di diossina si potessero ricondurre all'incenerimento dei rifiuti solidi urbani [Fielder H., 1999] [Pastorelli G, 1999].

Attualmente la densità standard di diossine consentita in emissione dagli impianti di incenerimento europei è 0,1 ng-TEQ/Nm³, raggiungibile solamente mediante omogeneizzazione del rifiuto, buona pratica di combustione, parametri di combustione stabili e trattamento dei gas esausti.

Per ridurre l'emissione di diossine dalle polveri sono incentivati metodi quali solidificazione o altre tipologie di trattamento.

La densità di diossine generata deve essere misurata ad intervalli temporali definiti (almeno una volta all'anno); i risultati delle misurazioni devono essere annunciati pubblicamente.

Ogni municipalità ha infatti la responsabilità per gli aspetti riguardanti gestione dei rifiuti, promozione del riciclaggio e sicurezza degli impianti di incenerimento e quindi

deve includere nei propri progetti studi su misure per minimizzare l'esposizione della popolazione alle diossine [2000/76/CE].

Tornando ad un discorso più generale, e valido a livello globale, quando si apre il dibattito riguardo alla tecnologia di termovalorizzazione, gli aspetti da considerare sono talmente tanti e complessi, che è indispensabile la maggior trasparenza possibile delle informazioni disponibili verso tutti i soggetti interessati (abitanti, investitori, impiegati, organizzazioni ambientaliste), per ridurre il più possibile la conflittualità sociale.

Un approccio di questo genere è utile anche alla gestione dell'impianto stesso: favorisce infatti la credibilità di chi lo gestisce e conferma la tesi che non ci sia nulla da nascondere.

Gli aspetti relativi a tutte le fasi del processo (preparazione del sito, costruzione, start-up, operazioni commerciali) è giusto siano rese disponibili, così come, quando si verifica una problematica, ne deve essere resa nota l'entità e le conseguenze.

Oggi è possibile un controllo accurato delle emissioni e l'impiego di processi e tecnologie tali da permettere un abbattimento degli inquinanti rilasciati fino a valori estremamente bassi. I sistemi di controllo sono divenuti molto efficienti e la sorveglianza dei parametri chiave di combustione deve essere condotta nel rispetto di normative che stanno divenendo sempre più stringenti, perché in ogni caso si tratta di una tipologia di impianto in cui avvengono fenomeni complessi e che non è ad emissioni nulle.

1.5 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Attualmente, le normative riguardanti gli impianti di termovalorizzazione sono le seguenti:

- D. Lgs. 133/05, che deriva dal recepimento della Direttiva Europea 2000/76/CE sull'incenerimento dei rifiuti;
- D. Lgs. 152/06 (più noto come Testo Unico Ambientale), che, alla parte V, contiene la regolamentazione riguardo a "Norme in materia di tutela dell'aria e di riduzione delle emissioni in atmosfera";
- D. Lgs. 59/09, che deriva dal recepimento della Direttiva Europea 96/61/CE relativa alla prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento modificato tramite il D. Lgs. 128/10.

Prima di addentrarsi nei principi fondamentali di quelle che sono oggi le prescrizioni normative, è dedicato un piccolo spazio a quelle che erano le normative passate.

Le prime direttive relative alla gestione dei rifiuti emesse a livello europeo, che si proponevano lo scopo di applicare un sistema di regolamentazione e controllo sullo smaltimento dei rifiuti, al fine di proteggere la salute e l'ambiente, furono le direttive 75/442/CE e 78/319/CE.

Esse comprendevano già il principio "*chi inquina, paga*" e furono recepite in Italia con il DPR 915/82, poi abrogato dal D. Lgs. 22/97.

Altri importanti strumenti legislativi ormai abrogati, sono riportati di seguito:

-D. Lgs. 22/97 (conosciuto anche come "*decreto Ronchi*"), contenente l'allora normativa nazionale e comunitaria nel settore della gestione dei rifiuti. Nasceva dal recepimento delle Direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi ed i rifiuti da imballaggio.

L'Articolo 44 del "*Decreto Ronchi*", invece, poneva l'accento sul riciclo e la diminuzione della produzione dei rifiuti ed ha portato all'istituzione del CONAI.

Esso incentivava il recupero ed il riciclaggio, il mercato dei rifiuti e l'utilizzo dei rifiuti come fonte di energia, dunque la termovalorizzazione.

Inoltre affidava alle regioni la gestione dei rifiuti sul proprio territorio attraverso le proprie leggi, il Piano Territoriale Regionale e quello Paesaggistico. La parte pratica di interventi è invece assegnata alle Province ed ai Comuni.

Il *decreto Ronchi* è stato nel tempo modificato da numerose norme, tra cui il D.Lgs. 8 Novembre 1997, n. 389 (noto come "*Ronchi bis*") e la legge 9 dicembre 1998, n. 426 relativa a "*Nuovi interventi in campo ambientale*" ("*Ronchi ter*");

-D.M. 19 Novembre 1997 n. 503, contenente il testo dell'attuazione delle direttive 89/369/CEE e 89/429/CEE riguardanti la prevenzione dell'inquinamento atmosferico provocato dagli impianti di incenerimento di rifiuti urbani, rifiuti speciali non pericolosi e sanitari contagiosi unitamente ai limiti di emissione ed alle condizioni di esercizio.

In particolare, questo decreto stabiliva valori limite di emissione al camino, metodi di campionamento, analisi e valutazione degli impatti, criteri tecnici ed, eventualmente, di adeguamento.

-D.M. 25 Febbraio 2000 n. 124: contenente il testo dell'attuazione della Direttiva 94/67/CE, riguardante aggiornamenti relativi ai valori limite di emissione ed alle norme tecniche relative a caratteristiche e condizioni di esercizio degli impianti.

Concluso questo breve excursus storico, verranno ora passati in rassegna i pilastri della normativa attuale.

1.5.1 DIRETTIVA 2000/76/CE

La Direttiva 2000/76/CE, relativa all'Incenerimento dei rifiuti è stata emessa dal Parlamento Europeo il 4/12/2000 e, come già affermato, contiene i principi su cui si basa il D.Lgs. italiano 133/05, che comprende, tra i suoi numerosi temi, gli attuali limiti di emissione per gli impianti di termovalorizzazione italiani.

Si tratta dunque di un testo indispensabile da analizzare per comprendere il quadro normativo nel quale è inserito attualmente il settore.

L'Articolo 1 testualmente riferisce *“La presente direttiva ha lo scopo di evitare o di limitare per quanto praticabile gli effetti negativi dell'incenerimento e del coincenerimento dei rifiuti sull'ambiente, in particolare l'inquinamento dovuto alle emissioni nell'atmosfera, nel suolo, nelle acque superficiali e sotterranee nonché i rischi per la salute umana che ne risultino”*.

Essa si apre ricordando che il Quinto Programma Politico e di Azione della Comunità Europea a favore dell'ambiente e dello sviluppo sostenibile indica come obiettivo l'evitare il superamento di livelli critici di emissioni di NO_x, SO_x, metalli pesanti e diossine, salvaguardando così la qualità dell'aria, si vuole infatti attuare una effettiva protezione della salute dei cittadini.

Altre sostanze per cui si richiede particolare attenzione sono gli IPA ed i rifiuti contenenti cloro.

Al punto (7) dell'introduzione è esplicitato chiaramente che, per mantenere un elevato livello di protezione della salute umana e dell'ambiente *“è necessario predisporre e mantenere condizioni di funzionamento, requisiti tecnici e valori limite di emissione rigorosi per gli impianti di incenerimento e di coincenerimento dei rifiuti nella Comunità”*.

Naturalmente, la massima priorità è assegnata alla prevenzione dei rifiuti, seguono riutilizzo e recupero e smaltimento in condizioni controllate.

È sottolineata l'importanza di avere criteri comunitari su questi temi ed istituire norme rigorose per gli impianti di incenerimento e co-incenerimento, è citata l'esperienza maturata in ambito industriale relativamente allo sviluppo di tecniche per l'abbassamento e l'abbattimento delle emissioni di composti inquinanti, la necessità di avere tecniche di misurazione degli inquinanti di qualità elevata, ed è inoltre ribadita l'importanza di recuperare il calore generato e ridurre al minimo e recuperare i residui, quali scorie e ceneri.

L'Articolo 3 comprende alcune importanti definizioni, tra cui quella di “*emissione*” (diffusione diretta o indiretta nell’aria, nell’acqua o nel suolo di sostanze vibrazioni, calore o rumore), di “*valore limite di emissione*” (massa, concentrazione e/o livello di emissione che non può essere superato in uno o più intervalli di tempo), di “*residuo*” (qualsiasi materiale liquido o solido, compreso scorie, ceneri pesanti, ceneri volanti, polveri di caldaia, prodotti solidi di reazione derivanti dal trattamento di gas, fanghi derivanti dal trattamento delle acque, catalizzatori esauriti e carbone attivo utilizzato).

L'Articolo 4 tratta invece più direttamente la questione delle Autorizzazioni.

Il funzionamento di un qualunque impianto di incenerimento è subordinato al rilascio di un’autorizzazione, per l’ottenimento della quale deve essere presentata una domanda contenente informazioni che mostrano come l’impianto è progettato, attrezzato e gestito, tenendo conto delle tipologie di rifiuti da incenerire; dettagli sul sistema di recupero energetico, sulle caratteristiche dei residui emessi e sul loro destino.

Punti chiave sono inoltre le quantità delle diverse categorie di rifiuti pericolosi che possono essere trattate, i loro poteri calorifici e il loro massimo contenuto di inquinanti ammissibile.

Prima dell’accettazione dei rifiuti nell’impianto, il gestore determina la massa di ciascuna categoria di rifiuti, verifica le caratteristiche fisiche ed i dati di carattere amministrativo contenuti nei documenti ufficiali e provvede al prelievo di campioni rappresentativi al fine di verificarne la conformità alla descrizione.

È inoltre stabilito che gli impianti debbano essere progettati, costruiti, attrezzati e fatti funzionare in maniera da impedire anche che le emissioni provochino un inquinamento atmosferico significativo a livello del suolo; diretta conseguenza di ciò è che l’altezza del camino deve essere adeguatamente elevata.

Altri punti importanti sono quelli relativi alla combustione di rifiuti ospedalieri infetti, che devono essere introdotti direttamente in forno, senza essere prima miscelati con altre categorie di rifiuti o manipolati direttamente ed all’affidamento dell’impianto ad una persona fisicamente presente che abbia le competenze per gestirlo.

I valori limite di emissione in atmosfera verranno affrontati direttamente nel capitolo sul D. Lgs. Italiano.

L’articolo 9 regola la gestione dei residui: le loro quantità e nocività devono essere ridotte al minimo, il trasporto e lo stoccaggio deve limitarne la dispersione nell’ambiente e, prima di procedere allo smaltimento od al riciclaggio, devono essere eseguite prove per stabilirne le caratteristiche chimico-fisiche.

Sono poi presenti linee guida riguardo a controllo e sorveglianza, prescrizioni per le misurazioni, accesso delle informazioni al pubblico e provvedimenti in caso di condizioni di malfunzionamento.

Le domande di nuova autorizzazione, così come le relazioni annuali degli impianti esistenti, devono quindi essere rese disponibili al pubblico.

Quanto ai malfunzionamenti, invece, l'autorità competente stabilisce un periodo massimo durante il quale le emissioni possono superare i limiti, in caso di guasto, tuttavia, il gestore deve intervenire il più velocemente possibile per arrestare l'attività o riportare l'impianto in condizioni nominali e, in ogni caso, i parametri non possono superare per più di 4 ore consecutive i valori limite di emissione.

Gli allegati alla direttiva, contengono poi le disposizioni per la determinazione dei valori limite per le emissioni in atmosfera, i valori limite di emissione nelle acque reflue ed in atmosfera [2000/76/CE].

1.5.2 D. LGS. 133/05

Il D. Lgs. 133/05 è stato pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale il 15/07/2005; è entrato in vigore il 30/07/2005 e stabilisce che gli impianti si sarebbero dovuti adeguare ai nuovi limiti imposti entro il 28/12/2005, rappresenta dunque il quadro normativo a cui oggi dobbiamo fare riferimento.

Esso è specificatamente dedicato agli impianti di incenerimento e co-incenerimento e contiene le misure e le procedure per ridurre l'impatto di queste attività sull'ambiente.

In particolare, disciplina i valori limite di emissione, i metodi di campionamento, di analisi e di valutazione degli inquinanti, le caratteristiche costruttive e funzionali ed i criteri di adeguamento dell'impianto.

L'articolo 2 contiene la definizione di impianto di incenerimento, cioè: *“qualsiasi unità e attrezzatura tecnica, fissa o mobile, destinata al trattamento termico di rifiuti ai fini dello smaltimento, con o senza recupero del calore prodotto dalla combustione. Sono compresi in questa definizione l'incenerimento mediante ossidazione dei rifiuti, nonché altri processi di trattamento termico, quali ad esempio la pirolisi, la gassificazione ed il processo al plasma, a condizione che le sostanze risultanti dal trattamento siano successivamente incenerite. La definizione include il sito e l'intero impianto di incenerimento, compresi le linee di incenerimento, la ricezione dei rifiuti in ingresso allo stabilimento e lo stoccaggio, le installazioni di pretrattamento in loco, i sistemi di alimentazione dei rifiuti, del combustibile ausiliario e dell'aria di combustione, i*

generatori di calore, le apparecchiature di trattamento, movimentazione e stoccaggio in loco delle acque reflue e dei rifiuti risultanti dal processo di incenerimento, le apparecchiature di trattamento degli effluenti gassosi, i camini, i dispositivi ed i sistemi di controllo delle varie operazioni e di registrazione e monitoraggio delle condizioni di incenerimento”.

Distingue inoltre tra “*impianto di incenerimento esistente*” (“*un impianto per il quale l’autorizzazione all’esercizio è stata rilasciata, ovvero la comunicazione è stata effettuata prima del 30/07/2005, ovvero per il quale la richiesta di autorizzazione all’esercizio sia stata presentata all’autorità competente entro il 28 dicembre 2002, purché in entrambi i casi l’impianto sia messo in funzione entro il 28 dicembre 2004*”) e “*nuovo impianto*” (se non ricade nella definizione di impianto esistente).

Oltre a contenere semplicemente limiti e caratteristiche, il decreto fa riferimento alle BAT ed impone di ottenere il più completo livello di incenerimento possibile, anche utilizzando tecniche di pre-trattamento al fine di non superare una quantità di incombusti totali espressi come TOC superiore al 3% in peso, di dotare ogni linea di un bruciatore ausiliario per il mantenimento della temperatura minima e, in caso di superamento dei limiti, di non poter continuare le operazioni di incenerimento per più di 4 ore successive e più di 60 ore totali in un anno.

Di seguito (Tabella 1.1), sono riportati i valori limite di emissione in atmosfera di alcuni metalli, gas e sostanze organiche contenuti nel decreto attuale:

PARAMETRO	UNITÀ DI MISURA	LIMITE DI LEGGE ATTUALE (D.Lgs133/05)
Polveri	mg/Nm ³	10
NOx	mg/Nm ³	200
SOx	mg/Nm ³	50
HCl	mg/Nm ³	10
HF	mg/Nm ³	1
TOC	mg/Nm ³	10
Mercurio	mg/Nm ³	0,05
Cadmio+Tallio	mg/Nm ³	0,05
Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V	mg/Nm ³	0,05
PCDD+PCDF	ng/Nm ³ (I-TEQ)	0,1
IPA		0,01

Tabella 1.1 –Emissioni in atmosfera, limiti normativi

Quanto alle condizioni in cui questi valori devono essere espressi essi sono sotto riportati:

- temperatura = 273K;
- Pressione = 101,3kPa;
- gas: secco;
- tenore di ossigeno = 11% V

Il punto 2 dell'Art. 11 stabilisce che negli impianti debbano essere registrate e misurate in continuo le concentrazioni di CO, NO_x, SO₂, polveri totali, TOC, HCl e HF negli effluenti gassosi, l'autorità competente può autorizzare l'effettuazione di misurazioni periodiche di HCl, HF ed SO₂ se il gestore dimostra che le emissioni di tali inquinanti non possono in alcun caso superare i valori limite.

I punti 3 e 4 del medesimo articolo stabiliscono inoltre che devono essere misurati e registrati in continuo il tenore volumetrico di ossigeno, la temperatura, la pressione, il tenore di vapore acqueo e la portata volumetrica dei fumi.

Deve essere inoltre misurata e registrata in continuo la temperatura dei gas vicino alla parete interna o in altro punto rappresentativo della camera di combustione.

Sono poi riportati i valori limite in acqua (Tabella 1.2):

PARAMETRO	UNITÀ MISURA	DI	LIMITE DI LEGGE ATTUALE (D.Lgs133/05)
Solidi sospesi totali	mg/l		100%:45 95%:30
Hg	mg/l		0,03
Cd	mg/l		0,05
Tl	mg/l		0,05
As	mg/l		0,15
Pb	mg/l		0,2
Cr	mg/l		0,5
Cu	mg/l		0,5
Ni	mg/l		0,5
Zn	mg/l		1,5
PCDD+PCDF	ng/l		0,3
IPA	mg/l		0,0002

Tabella 1.2 –Emissioni in acqua, limiti normativi

Tra le tante prescrizioni, è importante ricordare che è vietato lo scarico su suolo, sottosuolo e acque sotterranee e che i valori limite non possono essere raggiunti per diluizione.

Il calore generato dalla combustione deve essere recuperato, per quanto possibile, attraverso la produzione di calore e/o elettricità ed i residui prodotti devono essere minimizzati in quantità e pericolosità e se ne auspica un loro riciclaggio.

L'autorizzazione contiene i valori limite di emissione previsti dal presente decreto, i parametri di controllo per le acque reflue pH, temperatura e portata e prescrizioni relativamente ai controlli di sorveglianza, quali frequenza delle misurazioni, localizzazione dei punti di campionamento e tecniche da utilizzare.

I soggetti preposti ai controlli, inoltre, sono autorizzati in ogni tempo ad accedere presso gli impianti per effettuare ispezioni e controlli.

La dismissione degli impianti deve avvenire in condizioni di massima sicurezza ed il sito deve essere ripristinato e bonificato sulla base della normativa vigente.

Il gestore dell'impianto deve adottare le misure possibili per limitare l'impatto sull'ambiente delle proprie attività sin dall'atto dell'accettazione dei rifiuti, contestualmente alla quale deve essere informato della massa di ciascuna categoria di rifiuti, possibilmente in base ai codici CER, delle caratteristiche chimiche, fisiche quando possibile, e di pericolosità.

Gli impianti devono essere dotati di un meccanismo automatico che blocchi l'alimentazione dei rifiuti se le temperature minime non sono raggiunte o le emissioni in atmosfera sono superiori ai limiti consentiti.

Gli impianti devono essere gestiti in maniera tale che venga ottenuto il più elevato livello di incenerimento possibile, eventualmente anche adottando tecniche di pre-trattamento dei rifiuti.

Dopo l'ultima immissione di aria di combustione i gas devono essere portati, anche nelle condizioni più sfavorevoli, alla temperatura di 850°C per almeno due minuti; per rendere possibile ciò ciascuna linea deve essere dotata di almeno un bruciatore ausiliario.

L'articolo 19 è relativo alle sanzioni che vengono adottate in caso di inadempienza alla normativa, mentre l'articolo 20 è relativo al danno ambientale, e sancisce che *“chi con il proprio comportamento omissivo o commissivo, in violazione delle disposizioni del presente decreto, provoca un danno alle acque, al suolo, al sottosuolo ed alle altre risorse ambientali, ovvero determina un pericolo concreto ed attuale di inquinamento ambientale, è tenuto a procedere a proprie spese agli interventi di messa in sicurezza, di bonifica e di ripristino ambientale delle aree inquinate e degli impianti dai quali è derivato il danno...”* [D. LGS. 133/05].

1.5.3 D. LGS. 152/06

Questo decreto è spesso denominato *“Testo Unico Ambientale”*, in quanto è il testo unico di riferimento in materia di valutazione di impatto ambientale.

Esso contiene al suo interno la normativa italiana riguardo alla difesa del suolo, alla tutela delle acque, alla riduzione dell'inquinamento, al risarcimento dei danni ambientali ed alla gestione dei rifiuti. Riformulando l'intera normativa del paese, esso abroga il D. Lgs. 22/1997. Dalla data di entrata in vigore, è stato soggetto a numerose modifiche.

La parte V, relativa alle norme in materia di tutela dell'aria e di riduzione delle emissioni in atmosfera è quella che più interessa il comparto dell'incenerimento; in particolare, il Titolo I è relativo a *“Prevenzione e limitazione delle emissioni in atmosfera di impianti ed attività”*.

Ciò che riferisce si applica agli impianti che producono emissioni in atmosfera, e si tratta principalmente di prescrizioni, metodi di campionamento e criteri per la valutazione della conformità dei valori misurati ai valori limite.

L'Articolo 267 recita *“sono esclusi dal campo di applicazione della parte V del presente decreto gli impianti disciplinati dal D. Lgs. 11 maggio 2005, n. 133”*, dunque gli impianti di incenerimento, per cui si applica direttamente quanto previsto dal D. Lgs. 133/05.

L'articolo 268 comprende tuttavia una serie di utili definizioni per quanto riguarda questo studio.

Vengono infatti, tra gli altri, definiti:

-inquinamento atmosferico (“ogni modificazione dell'aria atmosferica, dovuta all'introduzione nella stessa di una o più sostanze in quantità e con caratteristiche tali da ledere o da costituire un pericolo per la salute umana o per la qualità dell'ambiente oppure tale da ledere i beni materiali o compromettere gli usi legittimi dell'ambiente”);

-impianto (“il macchinario o il sistema o l'insieme di macchinari o di sistemi costituiti da una struttura fissa e dotato di autonomia funzionale in quanto destinato ad una specifica attività...);

-fattore di emissione (“rapporto tra massa di sostanza inquinante emessa e unità di misura specifica di prodotto o di servizio”);

-concentrazione (“rapporto tra massa di sostanza inquinante emessa e volume dell'effluente gassoso; per gli impianti di combustione i valori di emissione espressi come concentrazione in mg/Nm^3 sono calcolati considerando, se non direttamente stabilito dalla parte quinta del presente decreto, un tenore volumetrico di ossigeno di riferimento del 3% in volume dell'effluente gassoso per i combustibili liquidi e solidi, del 6% in volume per i combustibili solidi e del 15% in volume per le turbine a gas”);

-flusso di massa (“massa di sostanza inquinante emessa per unità di tempo”) [D. LGS. 152/06].

1.5.4 IPPC

L'IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control) può essere considerata una strategia, i cui principi pratici sono stati innanzitutto esplicitati nella Direttiva 96/61/CE e recepiti successivamente dai vari Stati (in Italia tramite il D. Lgs. 59/2005, modificato dal D. Lgs. 128/2010). La Direttiva 96/61/CE è stata poi ripresa dalla Direttiva 2008/1/CE. Tale strategia ha come obiettivo la riduzione integrata dell'inquinamento di alcuni settori produttivi, per la messa in funzione dei quali è richiesta un'autorizzazione denominata "Autorizzazione Integrata Ambientale". Essa è necessaria per la messa in funzione di nuovi impianti, ma anche per le modifiche e gli adeguamenti degli impianti esistenti.

Tale documento richiede l'adozione di tutte le misure possibili tese a evitare, o almeno ridurre, le emissioni in tutti i comparti ambientali.

Attraverso un'analisi integrata si ritiene infatti possibile individuare un insieme di soluzioni tecniche (impiantistiche, gestionali e di controllo) ed economicamente praticabili che riducano l'impatto ambientale delle attività considerate.

Attualmente, l'attuazione del principio IPPC è richiesto solamente ai "grandi potenziali inquinatori", ossia ad una serie di categorie di attività industriali e agricole individuate negli Allegati dei documenti citati, e che comprendono:

- attività energetiche;
- attività di produzione e trasformazione dei metalli;
- industria dei prodotti minerari;
- industria chimica;
- gestione dei rifiuti;
- altre (cartiere, allevamenti, macelli, industrie alimentari, concerie...)

Per poter ottenere l'Autorizzazione, esiste una serie di obblighi fondamentali che queste categorie devono rispettare: ricorso alle BAT per abbattere l'inquinamento, prevenzione di fenomeni gravi di inquinamento e di creazione di rifiuti, prevenzione degli incidenti, utilizzo efficiente dell'energia e bonifica dei siti al termine delle attività.

Il rilascio o meno dell'Autorizzazione è subordinato quindi alla soddisfazione di una serie di requisiti, tra cui il rispetto di valori limite di emissione delle sostanze inquinanti (esclusi i gas serra se viene applicato il sistema di scambio delle quote di emissione), l'adozione di misure per la tutela dei vari comparti ambientali e per la gestione dei rifiuti, monitoraggio delle emissioni e dei reflui e minimizzazione dell'inquinamento transfrontaliero. Vengono inoltre tenuti in considerazione i fattori geografici ed ambientali locali.

Le richieste di autorizzazione devono essere presentate all'autorità competente dello Stato; l'eventuale concessione dell'Autorizzazione deve essere comunicata al pubblico e agli altri Stati interessati, ad entrambi i quali deve essere concessa la possibilità di fare ricorso.

Gli Stati membri sono responsabili del controllo della conformità degli impianti e devono promuovere periodicamente uno scambio di informazioni sulle BAT.

Il regolamento (CE) n. 166/2006, istituisce inoltre un registro europeo delle emissioni e dei trasferimenti di sostanze inquinanti (PRTR).

Tra gli altri vantaggi, l'attuazione dell'IPPC comporta un notevole snellimento amministrativo e favorisce lo sviluppo tecnologico, sia riguardo allo sviluppo di tecnologie pulite, sia dal punto di vista di una concorrenza equa e garantisce un approccio multidisciplinare [96/61/CE].

1.5.5 DIRETTIVA 96/61/CE (IPPC)

La Direttiva 96/61/CE considera i risultati del Quinto programma d'azione Ambientale ed in particolare il fatto che la riduzione dell'inquinamento richiede un approccio integrato a livello comunitario e considera gli impianti aventi un grande potenziale di inquinamento a livello locale o transfrontaliero (l'Allegato 1 comprende le categorie di attività industriali a cui si applica la Direttiva).

Ciò parte dalla consapevolezza che approcci distinti nel controllo delle emissioni in aria, acqua o terreno spostano l'inquinamento da un comparto ambientale ad un altro anziché intervenire sul problema; l'approccio integrato, invece, vuole garantire un elevato livello di protezione dell'ambiente nel suo complesso.

Esso presuppone che tutti gli Stati Membri debbano prendere le disposizioni ed essere a conoscenza dei principi per essere conformi agli obblighi fondamentali, considerando il fatto che le Migliori Tecniche Disponibili evolvono nel tempo, che una qualsiasi modifica apportata all'impianto può essere fonte di inquinamento, e, dunque, ogni modifica che può avere ripercussioni significative deve essere segnalata all'autorità competente.

A tale proposito l'Articolo 2 differenzia una "*modifica dell'impianto*" (cioè una modifica delle caratteristiche, del funzionamento od un potenziamento dell'impianto che possa produrre conseguenze sull'ambiente) da una "*modifica sostanziale*" (cioè una modifica dell'impianto che, secondo l'autorità competente, potrebbe avere effetti significativi negativi per gli esseri umani o l'ambiente) [96/61/CE].

1.5.6 D. LGS. 128/2010 (IPPC)

Tale Decreto, come recita il titolo, ha come oggetto “*Modifiche ed integrazioni al decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152*”, ed è ciò che attualmente regola l’IPPC in Italia.

La commissione istruttoria per l’IPPC svolge l’attività di supporto scientifico per il Ministero dell’Ambiente; l’AIA, per gli impianti rientranti nelle attività dell’allegato VIII, è rilasciata tenendo conto dei documenti BREF pubblicata dalla Commissione Europea.

La domanda deve contenere informazioni relativamente a tipo di impianto ed attività condotta, materie prime ed additivi utilizzati, energia richiesta e generata dal processo, emissioni, ubicazione dell’impianto, tecnologie in uso, misure di prevenzione e di recupero dei rifiuti, modalità di monitoraggio e controllo ed eventuali alternative esaminate.

Deve inoltre comprendere una sintesi non tecnica e l’indicazione di eventuali informazioni che non devono essere diffuse per ragioni di riservatezza industriale; in tale caso il richiedente deve fornire all’autorità competente anche una versione della domanda priva delle informazioni riservate da poter mettere a disposizione del pubblico. Entro 30 giorni dalla presentazione della domanda, l’Autorità competente verifica la sua completezza e, qualora le ritenga necessarie, richiede integrazioni entro un lasso di tempo non inferiore a 30 giorni. Se tali integrazioni non vengono presentate, la richiesta si considera ritirata.

L’autorità competente, entro 30 giorni dal ricevimento della domanda, comunica altrimenti al gestore la data di avvio del procedimento. Il gestore, a questo punto, ha a disposizione un lasso di tempo di 15 giorni per pubblicare, su un quotidiano locale, regionale o nazionale, in base all’ambito di competenza a cui fa riferimento il progetto, su notizia della richiesta inoltrata.

Entro 30 giorni dalla data di pubblicazione dell’annuncio, gli interessati possono presentare, in forma scritta, osservazioni sulla domanda all’Autorità Competente.

Al rilascio dell’autorizzazione sono invitati tutti gli organismi eventualmente collegati all’ambito del progetto (quindi appartenenti al Ministero dell’Ambiente, dell’Interno, del Lavoro ecc.).

In presenza di circostanze intervenute successivamente al rilascio dell’Autorizzazione, il sindaco, qualora lo ritenga necessario, può chiedere un riesame dell’Autorizzazione

rilasciata all'autorità competente. Copia dell'Autorizzazione deve sempre essere messa a disposizione del pubblico.

L'Autorizzazione deve innanzitutto contenere tutte le misure al fine di ottenere un elevato livello di protezione nel suo complesso ma deve includere anche i valori limite di emissione per le sostanze inquinanti, che possono essere emesse dall'impianto in quantità significativa, unitamente ai requisiti di controllo quali metodologia e frequenza di misurazione e procedura di valutazione.

L'Autorizzazione contiene inoltre anche le misure relative alle condizioni diverse dal regime normale, quali ad esempio le fasi di avvio e di arresto dell'impianto, i malfunzionamenti e l'arresto definito dell'impianto.

Se sussistono valutazioni che lasciano supporre che, a seguito ad esempio di una conformazione geografica particolare del sito, sarebbero necessarie misure più rigorose di quelle ottenibili con le BAT attuali, l'autorità può prescrivere misure supplementari più rigorose.

L'autorizzazione deve essere rinnovata ogni 5 anni, che diventano 8 se l'impianto è certificato EMAS o 6 se è certificato ISO 14001.

Il riesame viene effettuato dall'Autorità Competente anche se l'inquinamento prodotto dall'impianto è tale da rendere necessaria la revisione dei valori limite di emissione fissati nell'autorizzazione, se le BAT sono completamente mutate, se la sicurezza di esercizio del processo o dell'attività richiede l'impiego di altre tecniche o se nuove disposizioni legislative o comunitarie lo impongono.

In caso di modifiche apportate all'impianto, l'Autorità Competente, qualora lo ritenga necessario, può chiedere un aggiornamento dell'AIA e delle relative condizioni.

Nel caso in cui le modifiche, a seguito dell'Autorizzazione o della valutazione del gestore, risultino sostanziali, il gestore deve inviare all'autorità competente una nuova domanda di AIA, correlata da una relazione contenente gli aggiornamenti.

Se invece intervengono variazioni nella titolarità della gestione dell'impianto, vecchio e nuovo gestore devono darne comunicazione entro 30 giorni all'Autorità competente.

Il gestore deve trasmettere all'autorità competente ed ai Comuni i dati relativi ai controlli delle emissioni richiesti dall'AIA.

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale o le Agenzie Regionali di Protezione dell'Ambiente, in base alla competenza statale o regionale dell'impianto, devono garantire il rispetto delle condizioni dell'Autorizzazione Integrata Ambientale e la regolarità dei controlli.

Devono inoltre supervisionare che il gestore ottemperi i propri obblighi di comunicazione e che, in caso di incidenti, vengano prese le misure previste ed adeguate alla situazione in tempi celeri.

L'Autorità Competente può disporre ispezioni straordinarie, in ogni caso il gestore deve fornire tutta l'assistenza necessaria per lo svolgimento di qualsiasi verifica, gli esiti di tutti i controlli sono comunicati sia al gestore che all'autorità competente e devono essere messi a disposizione del pubblico.

In caso di inosservanza delle prescrizioni od esercizio senza autorizzazione, l'Autorità Competente provvede a seconda della gravità della situazione con differenti sanzioni, qualora l'inosservanza continui ne viene data notizia al Sindaco.

Le Autorità Competenti comunicano al Ministero dell'Ambiente, annualmente, i dati relativi alle domande ricevute, alle autorizzazioni concesse ed agli aggiornamenti.

È il Ministero dell'Ambiente, inoltre, che deve provvedere ad assicurare la partecipazione dell'Italia allo scambio di informazioni organizzato dalla Commissione Europea relativamente alle Migliori Tecniche Disponibili ed a rendere disponibili i dati derivanti da questo scambio di informazioni [D. LGS. 128/2010].

1.5.7 DIRETTIVA 98/2008/CE

La direttiva 2008/98/CE, recepita in Italia per mezzo del D. Lgs. 3 Dicembre 2010 n. 205 (che sostituisce il D.M. 5 Febbraio 1998 che si occupava di recupero di rifiuti non pericolosi), trae origine dagli obiettivi di ridurre gli impatti per l'ambiente e la salute della produzione e della gestione dei rifiuti, migliorare l'efficacia dell'utilizzo delle risorse al fine di abbattere gli impatti ad esso legati ed orientare i Paesi verso una società europea del riciclaggio.

Essa individua l'ordine europeo delle priorità relativo alle scelte di gestione dei rifiuti da preferirsi, promuove la progettazione ecologica e tutte le misure che possono incidere a favore di un minore danno ambientale durante le fasi di consumo ed utilizzo.

Linee guida per l'attuazione di tali misure di prevenzione dei rifiuti sono riportate nell'Allegato 3.

La Direttiva, inoltre, prevede che si debbano distinguere le situazioni in cui l'incenerimento dei RSU è efficiente dal punto di vista energetico (e quindi l'impianto può essere considerato di recupero) da quelle in cui l'efficienza di recupero energetico è minima.

È previsto che la concessione di autorizzazioni sia subordinata alla condizione che il recupero avvenga con elevata efficienza energetica.

La differenziazione tra queste due situazioni viene effettuata secondo quanto previsto nell'Allegato 2 relativo alle Operazioni di Recupero.

Il testo contiene infatti una ben precisa formula per il calcolo dell'efficienza energetica, che verrà descritta nel Capitolo 10, quando verrà effettuato il calcolo per l'inceneritore di Coriano, ed i valori limite per considerare l'impianto come un impianto di recupero energetico.

Tale calcolo conduce dunque alla distinzione tra due categorie di impianto: impianti di nuova generazione che recuperano un'elevata quantità di energia prodotta ed i classici vecchi impianti di incenerimento.

Nell'introduzione alla Direttiva si legge la necessità di distinguere tra diverse terminologie di significato differente: "prevenzione", "riutilizzo", "preparazione per il riutilizzo", "trattamento" e "riciclaggio", tali termini vengono poi definiti nell'Articolo 3. Occorre soprattutto distinguere tra le operazioni di "recupero" e "smaltimento" per definire una distinzione chiara tra i due concetti, al fine di chiarire anche la questione del recupero energetico di cui si parlava sopra.

Si continua a considerare il principio "chi inquina, paga" come un principio guida a livello europeo ed internazionale e si introduce la responsabilità estesa del produttore ed il principio di precauzione.

Per favorire prevenzione, riutilizzo, riciclaggio e recupero, gli Stati Membri possono adottare misure affinché chiunque fabbrichi, venda o anche solamente importi prodotti, sia soggetto alla responsabilità estesa del produttore, tutto ciò al fine di portare alla progettazione di prodotti a minore impatto ambientale tanto nella fase di uso che in quella di smaltimento, e favorire la realizzazione di beni durevoli e riutilizzabili.

Infatti, l'altro principio chiave della Direttiva, a fianco di quello del Recupero Energetico, è la cosiddetta "Gerarchia dei Rifiuti", che stabilisce l'ordine di preferenza ambientale di diverse operazioni di trattamento dei rifiuti.

La gerarchia prevede, in ordine di preferenza:

- 1) prevenzione;
- 2) preparazione per il riutilizzo;
- 3) riciclaggio;
- 4) recupero;
- 5) smaltimento.

L'Allegato I contiene le principali opzioni operative ed i relativi codici di identificazione. È comunque prevista la possibilità di riconsiderare le varie opzioni al fine di ottenere il migliore risultato.

Spesso tale gerarchia è espressa come una piramide rovesciata (Figura 1.2), la cui base è rappresentata dalla prevenzione ed il cui vertice dallo smaltimento in discarica, da effettuarsi soltanto nelle situazioni in cui non sono praticabili le altre opzioni, in quanto si tratta della tecnica di smaltimento meno eco-compatibile [98/2008/CE].



Figura 1.2 –Gerarchia dei rifiuti secondo la Direttiva 98/2008/CE

CAPITOLO 2

INCENERIMENTO:

Tecnologie disponibili e BAT

2.1 APPARATI DI COMBUSTIONE

Per quanto riguarda la combustione dei rifiuti, le tecnologie principalmente adottate negli impianti di termovalorizzazione sono tre: forno a griglia, forno a letto fluido e forno a tamburo rotante. La scelta dell'una o dell'altra struttura è legata principalmente alla tipologia di rifiuto trattato.

Verranno ora brevemente illustrate queste tre tecnologie ed il loro impiego [Morselli L. *et al.*, 2005].

2.1.1 FORNO A GRIGLIA

È ritenuta la tecnologia più adatta per la combustione dei RSU e costituisce approssimativamente il 90% delle installazioni negli impianti di termovalorizzazione Europei. Si tratta inoltre di una tecnologia appropriata anche per altre tipologie di rifiuti, tra cui quelli industriali non pericolosi e quelli sanitari. I forni a griglia sono infatti in grado di bruciare anche sovralli, CDR e piccole quantità di fanghi mescolati con gli RSU.

L'elemento determinante è per l'appunto una griglia, alla quale è affidato il compito di fare avanzare, miscelandolo, il rifiuto, in modo da favorirne una combustione completa.

La griglia è costituita da un insieme di elementi, detti bardotti, disposti in modo da consentire il passaggio dell'aria comburente e la sua ripartizione su tutto il letto di rifiuto. I bardotti, esposti al fuoco, sono realizzati di una speciale lega di acciaio al nichel-cromo e possono in genere sopportare temperature di esercizio di 1100°C.

A seconda del sistema di avanzamento del rifiuto utilizzato nei forni a griglia si distinguono sistemi a griglia fissa e sistemi a griglia mobile di tipologia differente.

La maggior parte degli impianti è dotata di griglie mobili, in alcuni casi oscillanti, in altri a gradini o rotanti, realizzate comunque in modo che siano soddisfatte le esigenze di supporto, avanzamento e rimescolamento del rifiuto ed il passaggio dell'aria di combustione primaria introdotta dalla zona sottostante alla griglia.

L'incenerimento avviene sopra le griglie, all'interno della camera di combustione, il dimensionamento della quale è strettamente connesso alle griglie presenti, alla loro

tipologia e dimensione ed alle condizioni di turbolenza, oltre al fatto che deve garantire un tempo di permanenza dei rifiuti adeguato ed una temperatura di combustione ottimale. Le griglie vengono raffreddate tramite il passaggio dell'aria di combustione o di un fluido refrigerante che viene fatto scorrere al loro interno [HERAMBIENTE Dich. Amb., 2010].

2.1.2 FORNO A LETTO FLUIDO

Si tratta di una tecnologia utilizzata prevalentemente per l'incenerimento di CDR o comunque di rifiuti omogeneizzati ad una pezzatura idonea (per molti impianti il limite è 50 mm).

La combustione è ottenuta inviando dal basso un forte getto di aria attraverso un letto di sabbia. Il letto quindi si solleva, mentre le particelle si mescolano e si genera agitazione. A questo punto possono essere introdotti i rifiuti. La necessità di alimentazione di un materiale di una precisa granulometria, implica una fase di pre-trattamento dei rifiuti. Inoltre, la fusione dei residui solidi e dell'inerte in agglomerati può causare la defluidizzazione del letto. È comunque vero che la quantità di residui incombusti non è elevata.

Al di là di questi convenienti, si tratta comunque di una tecnologia che presenta numerosi vantaggi, quali una maggiore semplicità di accensione e spegnimento, la presenza di un minor numero di apparati meccanici in movimento e di una temperatura più omogenea in camera di combustione. Tra l'altro, essendo gli scambi di materia ed energia più efficienti, è possibile operare a temperature inferiori rispetto ad altri sistemi, ciò permette una riduzione della quantità di NO_x emessi.

Quanto all'abbattimento di composti acidi quali SO₂ ed HCl, esso viene solitamente attuato mediante l'aggiunta di assorbenti quali calce, ma è necessario tenere in considerazione la possibile formazione di cloruri, che sono soliti causare fenomeni di corrosione.

2.1.3 FORNO A TAMBURO ROTANTE

Si tratta di forni in cui la combustione avviene in una camera costituita da un cilindro metallico, leggermente inclinato per permettere l'avanzamento dei rifiuti (che vengono caricati sul lato frontale del forno) ed in rotazione a circa 0,5-1,5 giri/min.

Essa è internamente rivestita con materiali refrattari, in quanto le temperature di esercizio possono variare fra i 950 ed i 1300°C.

Anche l'aria è insufflata dal lato frontale del forno, e, poiché essa non attraversa mai lo strato dei rifiuti, che si deposita sulla parte inferiore del forno, formando un vero e proprio strato (caratterizzato da un contatto per niente efficace tra combustibile ed aria), i residui solidi sono prodotti in quantità superiore rispetto alle tecnologie sopra citate.

Si tratta però di un sistema in grado di procedere all'incenerimento di qualsiasi tipologia di rifiuto, senza particolari pre-trattamenti e viene spesso utilizzato per lo smaltimento di rifiuti industriali, anche di tipo pericoloso.

È infatti una tecnologia particolarmente idonea allo smaltimento di materiali ad elevato P.C.I., difficoltoso nei forni a griglia, ed allo smaltimento di rifiuti tossici e nocivi.

Presenta inoltre i vantaggi di poter smaltire materiali con diversa consistenza (rifiuti liquidi, solidi, fangosi ecc.), di non necessitare di pre-trattamenti e di trattarsi di una tecnologia semplice ed affidabile, nonostante l'elevata quantità di residui generati e gli elevati costi di impianto.

I volumi trattabili sono comunque solitamente ridotti, e, in caso si tratti di rifiuti pericolosi, essi possono essere introdotti direttamente dal contenitore di trasporto alla camera di combustione, tramite un sistema ad iniezione diretta o apposite pompe [Tukker A.].

2.2 APPARATI DI DEPURAZIONE FUMI

Il sistema di abbattimento degli inquinanti presenti nei fumi è una delle parti fondamentali di ogni impianto di termovalorizzazione, una sua corretta configurazione e gestione è fondamentale per il raggiungimento dei limiti delle normative vigenti.

Per la selezione dei sistemi di trattamento fumi, oltre naturalmente ai limiti di legge, devono essere tenuti in considerazione differenti fattori, tra cui carico, tipologia e distribuzione granulometrica del particolato, portata, temperatura ed umidità dei fumi, presenza di composti corrosivi, disponibilità di acqua, costo dei reagenti, delle condizioni di esercizio e di installazione.

I principali composti solitamente presenti nei fumi, e che necessitano di abbattimento, sono rappresentati da polveri, NOx, gas acidi, metalli e composti organici.

Per ottimizzare il sistema di abbattimento, è importante considerarlo come un apparato unico, in quanto i sistemi che lo compongono interagiscono, abbattendo principalmente la classe di inquinanti per cui sono progettati, ma esercitando spesso un effetto anche su altre tipologie di sostanze.

2.2.1 ELETTROFILTRI

Gli elettrofiltri sono apparecchiature utilizzate per la depolverazione che si basano sul fenomeno fisico della precipitazione elettrostatica che si ottiene facendo passare corrente attraverso due elettrodi, uno di carica negativa e l'altro di carica positiva.

Le particelle di polveri vengono caricate dagli ioni prodotti per effetto corona dall'elettrodo emittente, e, grazie all'effetto del campo elettrico che si viene a formare tra i due elettrodi, le particelle caricate sono attratte dall'elettrodo ricettore e fatte cadere in una zona di raccolta mediante scuotimento.

Il sistema può essere formato da più campi di captazione disposti in serie e solitamente sono utilizzati tra i 2 ed i 5 campi, l'efficienza ovviamente aumenta all'aumentare del loro numero, ma parallelamente aumentano anche i costi.

La temperatura di esercizio si attesta solitamente intorno ai 200-300°C, sebbene gli elettrofiltri, costituiti da materiale metallico, possono sopportare temperature dei gas superiori ai 400°C.

L'efficienza di un elettrofiltro è inversamente proporzionale al tenore di polveri presenti ed alla portata trattata. Rilevanti sono anche dimensioni e resistività del particolato.

Per quel che riguarda le dimensioni, essi sono in grado di captare particelle dal diametro inferiore a 25µm.

Quanto alla resistività, invece, le condizioni ottimali prevedono una resistività compresa fra 108 e 1011 ohm/cm, tipica della gran parte delle polveri.

2.2.2 FILTRI A MANICA

Sono costituiti da un tessuto sostenuto da una struttura interna di forma tubolare in acciaio. È tale tessuto filtrante che trattiene le particelle di polvere, e la sua efficienza dipende da numerosi e differenti fattori, tra cui inerzia, diffusione, forze elettrostatiche ed adesione.

Il sistema presenta generalmente un'elevata efficienza di abbattimento ed è adatto per polveri fini. La filtrazione avviene per effetto combinato di differenti meccanismi: impatto inerziale (particelle > 1 µm), intercettazione (particelle 0,2-1 µm e diffusione (particelle < 0,2 µm).

La separazione è influenzata anche dallo spessore dello strato filtrante e dal diametro delle fibre. Paradossalmente, all'aumentare del tempo di funzionamento dell'apparecchiatura, quando già una discreta quantità di polveri si è depositata sulla

manica, l'efficienza di abbattimento diventa più alta. Ciò perché diminuiscono gli spazi liberi tra una fibra e l'altra.

Tuttavia, la perdita di carico attraverso la superficie filtrante aumenta con il depositarsi del solido trattenuto e, quando raggiunge un valore critico, la manica deve essere ripulita. La pulizia può essere attuata attraverso meccanismi differenti, meccanici (per scuotimento o vibrazione), a corrente inversa (facendo passare il gas depolverato in senso inverso) o sparando all'interno della manica un getto di aria a 6-7 bar.

La scelta del materiale di cui sono fatte le maniche deve tenere conto di diversi fattori, tra i quali temperatura e composizione chimica dei gas, solitamente sono utilizzate maniche di tessuto o di teflon.

Il teflon, a differenza del tessuto, presenta il vantaggio che trattiene la particelle non solo in superficie, ma anche all'interno dello strato filtrante, tuttavia presenta perdite di carico superiori ed una pulizia più difficoltosa.

Solitamente gli impianti di incenerimento utilizzano teflon, che presenta elevata inerzia chimica fino a 250°C.

In presenza di elevata umidità, possono verificarsi però fenomeni di intasamento.

Un vantaggio non indifferente dei filtri a manica, è la possibilità di iniettare reagenti alcalini e carboni attivi, per effettuare la depurazione dai gas acidi, dai composti organici e dal mercurio.

2.2.3 CARBONI ATTIVI

Il carbone attivo è un solido poroso in grado di trattenere inquinanti di diversa natura, ed ampiamente utilizzato per la depurazione dei fumi in impianti industriali.

Il carbone attivo viene prodotto mediante una attivazione eseguita con vapor d'acqua o sostanze chimiche, ad alta temperatura.

Come effetto dell'attivazione si ha la formazione di una serie innumerevole di pori all'interno di tutta la massa di carbone, che gli conferiscono un'elevata area superficiale, da 500 a 1500 m³ per grammo.

La corrente gassosa si fa passare attraverso un filtro contenente carboni attivi, ed il meccanismo di depurazione è principalmente fisico, in cui le molecole delle sostanze adsorbite vengono trattenute sul carbone dalle forze di Van der Waals.

Il carbone attivo è ampiamente utilizzato per la rimozione di particelle volatili contenenti diossine, furani e metalli pesanti.

I carboni attivi esausti sono poi smaltiti in discarica come rifiuti speciali pericolosi.

2.2.4 SELECTIVE NON-CATALITIC REDUCTION (SNCR)

Si tratta di un sistema non catalitico per l'abbattimento degli ossidi di azoto, i quali vengono rimossi tramite una riduzione selettiva non catalitica da parte dell'ammoniaca o dell'urea, che agiscono come agente riducente e vengono iniettati direttamente nella camera di post-combustione.

Si genera in questo modo N₂, che può essere tranquillamente emesso in atmosfera unitamente a CO₂ e H₂O.

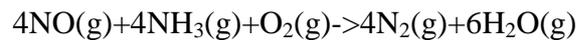
Le reazioni che avvengono sono riportate sotto.



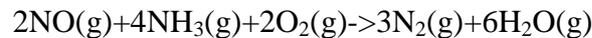
Reazione 1

Innanzitutto, qualora venga utilizzata urea, avviene la decomposizione dell'urea ad ammoniaca (Reazione 1), che per avere luogo, necessita di temperature superiori ai 300°C.

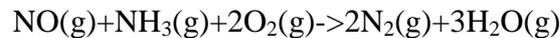
Successivamente avvengono le reazioni di riduzione, analoghe in caso di utilizzo dell'urea o dell'ammoniaca.



Reazione 2

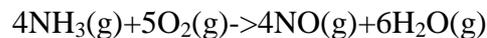


Reazione 3



Reazione 4

La reazione avviene a temperature comprese fra 850 e 1000°C, a temperatura inferiore la reazione non avviene, e si corre il rischio di avere l'NH₃ in emissione nei fumi, mentre a temperatura superiore i reattivi si ossidano generando ulteriori NO_x, secondo la reazione riportata sotto (Reazione 5):



Reazione 5

L'efficienza di abbattimento varia tra il 35 ed il 60%, ed è più elevata qualora sia mantenuta una buona regolazione della combustione e del sistema di iniezione dei reattivi, una buona miscelazione ed un tempo di contatto sufficiente. Rilevanti vantaggi di questa tecnica sono la sua semplicità ed i bassi costi di investimento. Il principale svantaggio riguarda invece la possibilità di emissione dell'NH₃ in atmosfera, per prevenire la quale il dosaggio di reagente è mantenuto inferiore allo stechiometrico e viene valutato sulla base di misure in continuo della concentrazione degli NO_x.

2.2.5 SELECTIVE CATALITIC REDUCTION (SCR)

Si tratta anche in questo caso di reazioni di riduzione degli NO_x ad N₂, che avvengono però in presenza di un catalizzatore che abbassa l'energia di attivazione, permettendo di condurre il processo a temperature inferiori ed aumentando le rese di abbattimento, che variano dal 90 al 97%.

Tale catalizzatore è solitamente costituito da ossidi di tungsteno, vanadio o platino ed è supportato su materiali sintetici in forma di piastre sovrapposte od a nido d'ape.

I catalizzatori sono molto sensibili alla presenza di particolato ed alla eventuale precipitazione di (NH₄)HSO₄, per cui il sistema SCR è solitamente installato in coda alla linea di depurazione fumi.

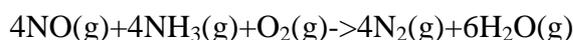
Sono state osservate numerose e differenti tipologie di degradazione del catalizzatore, che vanno dall'avvelenamento, quando il sito attivo del catalizzatore viene bloccato da un altro composto, alla deposizione di piccole particelle o sali condensati, alla sinterizzazione quando soggetti ad elevata temperatura, alla erosione fisica.

Come conseguenza di quanto scritto, la vita media del catalizzatore risulta compresa fra i 3 ed i 5 anni.

Altre criticità sono rappresentate dall'elevata complessità tecnologica e gestionale, dal maggior spazio occorrente per l'installazione e dalla periodica necessità di rimozione e sostituzione del catalizzatore.

Si tratta tuttavia di un sistema di abbattimento molto efficiente, e che per questo ha trovato un'amplia diffusione nelle industrie.

Le reazioni che avvengono sono principalmente quattro, e sono riportate sotto (Reazioni 6-9) [EU IPPC, 2006] :



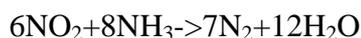
Reazione 6



Reazione 7



Reazione 8



Reazione 9

2.2.6 PROCESSO NEUTREC®

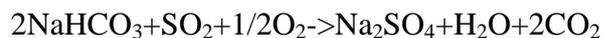
La tecnologia NEUTREC®, sviluppata dall'azienda Solvay ed oggi largamente diffusa, utilizza bicarbonato di sodio opportunamente macinato grazie alla sua elevata reattività

nei confronti dei composti acidi gassosi ed alla sua capacità di adsorbire metalli pesanti, diossine e furani.

Quanto alla neutralizzazione dei composti acidi, le reazioni che solitamente avvengono sono le seguenti (Reazioni 10-12):



Reazione 10



Reazione 11



Reazione 12

Il bicarbonato di sodio è particolarmente efficace perchè, quando viene a contatto con i fumi ad alta temperature, subisce uno stadio di attivazione termica, in cui passa a carbonato di sodio (Reazione 13), ad alta superficie specifica ed a porosità elevata.



Reazione 13

Ciò garantisce, oltre ad elevate prestazioni di neutralizzazione degli acidi, un elevato potere adsorbente nei confronti dei metalli pesanti, delle diossine e dei furani.

Il sistema è efficace in un vasto range di temperature dei fumi, da 140 a 300°C ed è totalmente a secco.

La configurazione impiantistica prevede, dopo l'iniezione del bicarbonato ed eventualmente carbone attivo, in un apposito reattore di contatto se il tempo di contatto del bicarbonato con i fumi è inferiore ad 1 s tra l'ingresso del reagente ed il filtro a manica, uno stadio di filtrazione per la captazione delle polveri e dei prodotti di reazione fra il bicarbonato ed i composti acidi (PSR, prodotti Sodici Residui). Tale operazione viene effettuata mediante filtro a manica.

Nel caso la depolverazione avvenga anche in un filtro a manica posto precedentemente all'introduzione del carbonato di sodio, si parla di processo NEUTREC® in doppia filtrazione, altrimenti in semplice filtrazione.

Oltre alla fase di depurazione fumi sopra descritta, il processo NEUTREC® è però globalmente costituito anche da una seconda fase di trattamento dei PSR derivanti dalla depurazione.

In tale fase, che avviene presso un impianto separato, i PSR vengono sciolti in acqua con appositi reattivi e la soluzione che si forma viene fatta transitare attraverso una fitopressa,

che separa le sostanze non solubili, quali idrossidi di metalli pesanti, carboni attivi e ceneri. La salamoia grezza viene poi trattata con carbone attivo così da assorbire gli eventuali composti organici residui e con resine a scambio ionico per eliminare i metalli pesanti.

Dalla salamoia viene recuperato il carbonato di sodio, mentre il pannello di filtrazione viene smaltito in una discarica autorizzata.

L'utilizzo del processo NEUTREC® non è esclusivo per la termovalorizzazione dei rifiuti, ma avviene in numerosi altri processi industriali, quali la produzione del vetro.

Si tratta infatti di un processo efficace, di notevole semplicità impiantistica (e quindi con costi di investimento e manutenzione limitati) e che utilizza un reagente non corrosivo e non irritante, quale il carbonato di sodio [*SOLVAY, NEUTREC®*].

2.3 RECUPERO ENERGETICO

Negli impianti di termovalorizzazione, il calore derivante dalla combustione dei rifiuti viene impiegato per la produzione di energia elettrica o come vettore di calore in impianti di teleriscaldamento.

Il primo caso è il più comune, infatti attualmente la maggioranza degli impianti attua recupero energetico attraverso la produzione di elettricità; solo un numero più esiguo è collegato a sistemi di teleriscaldamento.

Solitamente, quindi, si trova un sistema in cui i fumi caldi vengono convogliati in una caldaia a recupero, dove vengono utilizzati per produrre vapore, inviato ad una turbina, il cui alternatore accoppiato all'albero produce energia elettrica.

L'energia prodotta viene poi trasformata in corrente ad alta tensione ed immessa nella rete elettrica nazionale.

L'efficienza energetica ottenuta con il solo recupero dell'energia elettrica oscilla in genere fra il 19 ed il 27%: come si può notare, si tratta di un rendimento inferiore a quello delle centrali termoelettriche (circa il 40%), a causa del minore PCI dei rifiuti rispetto ai combustibili tradizionali e quindi delle minori temperature raggiunte nella camera di combustione [*HERAMBIENTE, 2008*].

2.4 BAT AVAILABLE TECHNIQUES (BAT)

Come è già stato precedentemente citato, le misure di prevenzione dell'inquinamento devono fa riferimento al concetto di Best Available Techniques (BAT), fondamentale,

nella filosofia IPPC, nel determinare gli obblighi dei gestori degli impianti in relazione alla prevenzione ed al controllo dell'inquinamento.

Tale concetto ha un significato ben preciso e deducibile dal significato stesso dei termini utilizzati:

-per BEST si intende la tecnica più efficace per ottenere un elevato livello di protezione dell'ambiente nel suo complesso;

-per AVAILABLE si intendono le tecniche sviluppate su una scala che consenta l'applicazione in condizioni economicamente e tecnicamente valide, indipendentemente dal fatto che siano o no applicate o prodotte nello Stato membro in cui ci si trova, purché il gestore possa avervi accesso a condizioni ragionevoli;

-per TECHNIQUE si intendono sia le tecnologie impiegate, sia le modalità di progettazione, costruzione, manutenzione esercizio e chiusura dell'impianto, quindi le tecniche di gestione della struttura.

Le BAT comprendono quindi procedure, tecnologie e verifiche e riguardano tutti gli aspetti del funzionamento di un impianto che hanno ricadute sull'ambiente (emissione inquinanti, produzione di residui, consumo di energia, di materie prime ecc.).

Per quel che riguarda l'incenerimento dei rifiuti, nel 2003 è stata terminata la prima bozza del documento BREF, ultimato poi ad Agosto del 2006, e pubblicato dalla Commissione Europea, il cui scopo è promuovere lo scambio di informazioni tra gli Stati Membri ed il cui contenuto è rappresentato da un riassunto di informazioni e dati raccolti negli Stati UE.

I capitoli 1 e 2 contengono informazioni relative al settore industriale considerato, il capitolo 3 descrive la situazione reale e le emissioni osservate, mentre, a partire dal capitolo 4, sono descritti i parametri da considerare per l'individuazione delle BAT, le BAT, le tecniche emergenti e le raccomandazioni.

Delle diverse tecniche trattate è data una breve descrizione teorica, sono descritti i possibili benefici e svantaggi, sono riportati dati operativi su performances (emissioni, consumi, frequenza di manutenzione ecc.), applicabilità, costi di investimento ed operativi e motivazioni che hanno indotto a svilupparle.

È importante considerare che, nello scegliere quali tecniche rappresentano la migliore soluzione tecnologica per un dato impianto, è necessario tenere in considerazione anche situazioni specifiche locali che nel documento ufficiale non possono essere considerate, ma sono da valutare volta per volta [EU IPPC, 2006].

CAPITOLO 3

LA TERMOVALORIZZAZIONE IN EMILIA ROMAGNA:

cenni sugli impianti presenti in Regione

In Emilia Romagna sono attualmente attivi otto impianti di termovalorizzazione, sette dei quali smaltiscono complessivamente circa il 33% dei rifiuti urbani indifferenziati prodotti in Regione, l'ottavo impianto è invece dedicato al trattamento di rifiuti sanitari ed è localizzato a Forlì.

Fino a Maggio 2012 è stato inoltre attivo un nono impianto localizzato in provincia di Reggio Emilia, sebbene le sue attività sono cessate quest'anno, ne sarà comunque fornita una breve descrizione in quanto sarà incluso in successive considerazioni.

Informazioni specifiche riguardo l'impianto di incenerimento situato presso la Provincia di Rimini ed oggetto di questo studio saranno fornite nel Capitolo 4.

Lo scopo di questo capitolo è invece una breve descrizione delle altre strutture impiantistiche presenti sul Territorio Regionale.

Innanzitutto, è importante sottolineare che, degli impianti citati, cinque, quelli di Modena, Ravenna, Ferrara, Forlì e Rimini sono gestiti dalla società HERAmbiente (ed anche quello di Reggio Emilia quando era attivo), uno è gestito dalla società Frullo Energia Ambiente (FEA), società al 51% HERAmbiente ed al 49% Falck Renewables (per l'appunto l'impianto situato in via del Frullo presso il Comune di Granarolo dell'Emilia, in provincia di Bologna), un altro, quello di Piacenza, è gestito dalla società Tecnoborgo e l'ultimo è l'impianto di trattamento dei rifiuti sanitari gestito dalla Mengozzi Rifiuti Sanitari.

Verrà ora illustrata una breve panoramica degli impianti citati.

L'impianto di Reggio Emilia è stato realizzato nel 1968 con configurazione a tre linee, poi ridotta a due. Esso si inseriva in un contesto provinciale di gestione dei rifiuti caratterizzato anche dall'impiego di discarica e compostaggio, e rivolto principalmente a rifiuti urbani e speciali ad essi assimilati. Era autorizzato per lo smaltimento di 70000 t/anno di rifiuti, di cui massimo 9200 t di rifiuti speciali. Durante gli anni 2003 e 2004, l'inceneritore è rimasto inattivo per operazioni di ristrutturazione, successivamente è stato autorizzato dalla Provincia secondo la normativa IPPC e gli è stata concessa l'AIA nel 2007, le sue attività sono poi cessate a Maggio 2012.

L'impianto di Modena fa anch'esso parte di un sistema di gestione dei rifiuti articolato ed è entrato in funzione nel 1980 con configurazione a due linee.

Nello stesso sito sono infatti localizzati un impianto di trattamento chimico-fisico di rifiuti liquidi ed un impianto di depurazione di rifiuti liquidi e reflui civili.

L'impianto tratta rifiuti urbani, rifiuti speciali non pericolosi, rifiuti sanitari non pericolosi e pericolosi a solo rischio infettivo ed è autorizzato per trattare, nella sua configurazione finale, 240000 t/anno di rifiuti.

Una terza linea è stata avviata a fianco delle prime due nel 1995 ed una quarta nel 2008, sono in seguito state fermate le prime tre linee, le prime due delle quali saranno dimesse, mentre la terza sarà ristrutturata.

A partire dal 2003, sono stato attivi, su tutte le linee, i sistemi di depurazione SNCR e NEUTREC®.

Per quel che riguarda il recupero energetico, nella configurazione finale è previsto, a fianco del recupero di energia elettrica, anche l'installazione anche di uno scambiatore di calore per la cessione di energia elettrica alla rete di teleriscaldamento cittadina.

L'impianto è certificato per la qualità (ISO 9001) e per l'ambiente (ISO 14001) dal 2006. L'*impianto di Ferrara* attualmente attivo è situato in prossimità del polo chimico della città all'interno di un compartimento denominato "geotermia" ed è in funzione dal 1993, anno in cui è stata attivata la prima linea.

È stato successivamente oggetto di una serie di interventi di riqualificazione e ristrutturazione che ha condotto all'attivazione di due nuove linee a novembre 2007 ed a febbraio 2008 ed alla disattivazione della vecchia linea 1 a gennaio 2009.

L'impianto tratta rifiuti urbani e rifiuti speciali non pericolosi ed attualmente è autorizzato allo smaltimento di 130000 ton/anno di rifiuti, di cui al massimo 3000 t possono essere rifiuti speciali.

All'interno del sito "geotermia" è localizzata anche la centrale di teleriscaldamento della centrale di Ferrara ed il calore prodotto dalla combustione viene utilizzato per la generazione combinata di energia elettrica e termica.

L'impianto è certificato per l'Ambiente (ISO 14001) dal 2001, per la qualità (ISO 9001) dal 2003, e nel 2004 ha ottenuto la certificazione EMAS.

Precedentemente, sul territorio di Ferrara erano presenti altri due inceneritori attivi dal 1976 e che sono stati dimessi nel 2005. Uno di essi era di proprietà del gruppo HERA e trattava rifiuti urbani e speciali, l'altro, localizzato nei pressi del polo chimico, trattava invece unicamente rifiuti speciali.

In provincia di *Ravenna* sono localizzati differenti strutture impiantistiche di incenerimento dei rifiuti. A nord della città è localizzato un impianto che ha iniziato la

sua attività nel 1999 ed è situato all'interno di un comparto più ampio di trattamento dei rifiuti gestito da HERA.

La configurazione comprende, oltre al sistema di termovalorizzazione, un impianto di selezione automatica dei rifiuti e produzione di CDR.

Il termovalorizzatore è alimentato con il CDR prodotto dai RSU da tale impianto, oltre a rifiuti solidi assimilabili agli urbani non pericolosi e rifiuti sanitari a rischio infettivo.

Poco distante è anche presente il *forno inceneritore F3*, che fu realizzato dalla società Ambiente del gruppo ENI e che è stato acquistato successivamente da HERA attraverso la società Ecologia Ambiente srl nell'ottobre 2004.

L'impianto è stato realizzato nel 1997, funziona ad una linea e smaltisce rifiuti sia liquidi che solidi.

In particolare, è in grado di trattare rifiuti urbani e speciali di diverse categorie: solidi sfusi, solidi e liquidi in fusti e scatole, fanghi pompabili e rifiuti liquidi (organici ed inorganici).

L'impianto effettua il recupero del calore dei fumi di combustione attraverso la generazione di energia elettrica da cedere alla rete nazionale.

Dal 2006 gli impianti sono certificati per la qualità (ISO 9001) e per l'Ambiente (ISO 14001), hanno inoltre ottenuto la certificazione EMAS.

La provincia di *Forlì* comprende sul suo territorio due impianti di incenerimento, uno gestito da HERAmbiente dedicato al trattamento dei RSU ed entrato in funzione nel 1976, l'altro (il Mengozzi Rifiuti Sanitari s.p.a.) adibito allo smaltimento dei rifiuti sanitari ed in funzione dal 1976.

L'impianto HERA è attualmente costituito da una sola linea di incenerimento, denominata Linea 3, avviata nel mese di Luglio 2008 e autorizzata per una potenzialità di 120000t/anno, le due vecchie linee sono state dimesse ad ottobre 2009.

Nel complesso sono inoltre presenti un impianto di preselezione meccanica dei rifiuti ed una piattaforma ecologica, cioè un deposito provvisorio di rifiuti raccolti in forma differenziata il cui scopo è raggrupparli prima di inviarli a recupero.

Esso tratta rifiuti urbani e rifiuti speciali provenienti dall'impianto di pre-selezione.

L'impianto è predisposto per la cogenerazione di energia elettrica e termica, la prima viene ceduta alla rete elettrica nazionale, mentre la seconda è utilizzata per alimentare una rete di teleriscaldamento.

La struttura è certificata per la qualità secondo la norma ISO 9001.

Il termovalorizzatore Mengozzi attualmente attivo è stato costruito nel 2001 in seguito alla dismissione di un impianto più vecchio attivo dal 1990 ed è costituito da due linee di incenerimento che funzionano alternativamente, così da permettere un'attività continua con una linea in esercizio e l'altra ferma per controlli e manutenzione.

Esso è dotato di un sistema di recupero dell'energia termica ed elettrica; una particolare sezione di recupero del calore contenuto nei fumi consente l'alimentazione di una pompa di calore per produrre freddo d'estate e caldo d'inverno.

L'impianto è certificato per la qualità (ISO 9001), per l'ambiente (ISO 14001) e per la sicurezza (ISO 18001), ha inoltre ottenuto la certificazione EMAS e l'EPD per l'intero sistema di gestione dei rifiuti sanitari, raccolta, trasporto, trattamento e smaltimento [ARPA, MONITER, 2011], [ARPA, E. Romagna, 2011].

Il termovalorizzatore di Bologna è stato costruito nel 1971 con configurazione a tre linee, le prime due sono entrate in funzione nel 1973, la terza l'anno successivo.

Nel 2001 sono state effettuate operazioni di ristrutturazione ed adeguamento dell'impianto, e delle tre linee precedentemente presenti ne sono state riavviate solamente due.

Esse possono trattare 22000t/anno di rifiuti, di cui massimo 3500 kg di rifiuti sanitari. Tatta rifiuti urbani, rifiuti speciali non pericolosi e rifiuti speciali pericolosi (ovvero sanitari a rischio infettivo e chemioterapici).

Il calore prodotto è sfruttato per la produzione di energia elettrica e termica.

L'impianto è certificato per la qualità (ISO 9001) e per l'ambiente (ISO 14001) dal 2002 e nel 2009 ha anche ottenuta la certificazione EMAS [ARPA, FRULLO, 2011].

L'inceneritore di Piacenza, gestito dalla società Tecnoborgo, è entrato in funzione nel 2003 e smaltisce rifiuti urbani, rifiuti speciali assimilabili agli urbani, rifiuti sanitari trattati e fanghi biologici provenienti da un vicino impianto di depurazione delle acque.

L'impianto attua recupero energetico e termico e nel 2003 ha ottenuto la certificazione del Sistema integrato Qualità – Ambiente - Sicurezza - Responsabilità Sociale per l'impianto di termovalorizzazione dei rifiuti, in conformità con le norme ISO 9001, ISO 14001 ed OHAS 18001 [ARPA, MONITER, 2011].

CAPITOLO 4

L'INCENERITORE DI CORIANO (RIMINI)

4.1 STORIA

L'impianto di termovalorizzazione preso in esame (Figura 4.1) è situato in Via Raibano n°32, presso il Comune di Coriano, Provincia di Rimini.

La costruzione dell'allora impianto di incenerimento, sotto la dirigenza di AMIA S.p.A., risale al 1973, con la realizzazione delle prime due linee, le linee 1 e 2, che entrarono in funzione nel 1976.



Figura 4.1 Inceneritore di Coriano
[*HERAMBIENTE, 2011]

Negli anni 1988-1992, esse sono state ristrutturate per adeguare l'impianto alla normativa che richiedeva l'installazione di sistemi di abbattimento degli inquinanti nei fumi.

Nello stesso periodo è stata realizzata una terza linea di incenerimento, la linea 3, che è entrata in funzione nel 1992.

In tale configurazione l'impianto si componeva di tre linee destinate all'incenerimento dei rifiuti urbani, e, in parte, di rifiuti speciali, di provenienza sanitaria, con le potenzialità riportate in Tabella 4.1 e per un quantitativo autorizzato pari a 127.600 t/a di cui al massimo il 10% di rifiuti speciali pericolosi (rifiuti sanitari).

	LINEA 1 (t/g)	LINEA 2 (t/g)	LINEA 3 (t/g)
Potenzialità nominale	120	120	200
Stima potenzialità effettiva	100	100	200

Tabella 4.1 –Potenzialità Linee 1, 2 e 3

Successivamente, negli anni 1996 e 1997, è stata realizzata la sezione di impianto dedicata al recupero energetico, mediante la produzione di energia elettrica dal recupero del calore prodotto durante la combustione, che è entrata in funzione nel 1998.

Nel 1997 l'impianto è stato anche dotato di un sistema per l'analisi in continuo delle emissioni al camino; contemporaneamente, è stato implementato un sistema di monitoraggio delle ricadute al suolo degli inquinanti.

Al fine di proteggere ulteriormente l'ambiente, è stata realizzata, nel 1999, la copertura della zona di avanfossa, così da limitare gli impatti dovuti alle polveri e agli odori.

Nel 2000 è stato avviato un importante programma di ristrutturazione dell'impianto, proprio uno degli scopi di questo lavoro è valutare il potere impattante dell'impianto prima e dopo tale manutenzione.

I principali interventi attuati sono stati rivolti alla linea 3, con la sostituzione della caldaia, la ristrutturazione della camera di combustione e la sostituzione degli elementi filtranti situati all'interno del filtro a manica.

L'impianto è passato sotto la gestione del Gruppo Hera nel novembre del 2002, data in cui AMIA S.p.A. è stata accorpata da HERA; tuttavia, già dal 1° luglio 2009, con il processo di societizzazione di Hera Spa – Divisione Ambiente, la gestione era affidata a Herambiente Srl, società controllata dal Gruppo Hera.

A partire dal 2005 si è dato avvio alle domande necessarie per un ampliamento che prevedeva la realizzazione di una quarta linea in un terreno adiacente alla struttura; l'approvazione ha permesso di procedere alla realizzazione della nuova linea ed alla dismissione delle due vecchie linee 1 e 2.

Poiché è stato osservato che lo smantellamento di queste ultime avrebbe comportato la liberazione di uno spazio sufficiente da consentire l'inserimento della nuova linea nel luogo dove esse erano precedentemente ubicate, è stata presentata una nuova procedura di verifica della compatibilità ambientale per questa eventuale configurazione, e, non comportando il nuovo progetto variazioni rilevanti degli impatti ambientali, è stata concessa l'autorizzazione.

Così, nel 2009, è stata rilasciata la nuova, definitiva, Autorizzazione Integrata Ambientale, (AIA n. 13 del 28/01/2009) relativa all'esercizio della linea 3 e della futura linea 4.

Inoltre, dal 2009, il sito è autorizzato allo smaltimento di un quantitativo massimo di rifiuti pari a 150000t/anno, di cui 1000t/anno di rifiuti sanitari, con, in caso di particolari necessità, la possibilità di smaltire fino ad ulteriori 10000 t/anno di rifiuti con parere favorevole della Provincia, capacità di smaltimento che può essere ulteriormente estesa a 175.000 t/anno in caso di emergenza, con atto amministrativo della Provincia.

Ne risulta una capacità di smaltimento di rifiuti (stimati con PCI di 2500 Kcal/kg) fino a 560 t/g, un funzionamento all'anno di circa 7.920 h e compatibilità ambientale rispetto alla normativa vigente (D.Lgs. 133/05, D.Lgs. 152/06, D.Lgs. 59/05).

Così, a partire da febbraio 2008, le attività in impianto sono state fermate per le operazioni legate alla costruzione della linea 4.

A marzo 2008 sono iniziati i lavori di demolizione delle linee 1 e 2, terminati a luglio, e di costruzione della linea 4.

Nello stesso periodo sono stati realizzati una serie di interventi di manutenzione straordinaria sulla linea 3 e di revamping delle apparecchiature.

A partire dalla seconda metà del mese di luglio è stata riavviata la sola linea 3.

Più nello specifico, la termovalorizzazione dei rifiuti è avvenuta nelle linee 1, 2 e 3 fino al 31/01/2008 ed è ripresa nella sola linea 3 il 27/07/2008.

Questo, ovviamente, si riscontra nei dati relativi alla quantità annua di rifiuti inceneriti in questo lasso di tempo.

Quello che si vorrebbe valutare, attraverso la modellazione di dati relativi al 2007 (impianto ancora operativo con la vecchia configurazione), 2008 (transitorio con smantellamento delle linee 1 e 2) e 2009 (sola linea 3 attiva con l'introduzione di nuove soluzioni tecnologiche), 2010 (disattivazione Linea 3 per operazioni di manutenzione ed attivazione della nuova Linea 4) è anche vedere come queste modifiche hanno influito sull'impatto complessivo.

Contemporaneamente alla costruzione della Linea 4, è stato effettuato l'ammodernamento della linea 3, sulla base delle soluzioni tecnologiche che era stato previsto di inserire sulla nuova linea; secondo le Migliori Tecniche Disponibili a livello Europeo, che hanno portato all'introduzione in coda alla linea depurazione fumi del sistema catalitico di riduzione degli ossidi di azoto (SCR) ed al collegamento al nuovo camino costruito, alto 80 m al posto del precedente alto 40 m.

Si è inoltre proceduto all'installazione di un nuovo sistema di immissione dei carboni attivi ed alla configurazione del sistema NEUTREC con una doppia filtrazione in filtro a manica al posto dell'impiego di elettrofiltri. Infine è stata effettuata l'installazione del sistema di analisi di back-up e del portale di radioattività all'ingresso della pesa.

L'inserimento del sistema catalitico di abbattimento SCR permetterà una riduzione degli NO_x molto più efficiente del solo SNCR, tanto che è stimata la possibilità che, da 150-180mg/Nm³, si possa passare a 50-100 mg/Nm³.

Relativamente alle emissioni, il monitoraggio deve rispondere a quanto previsto dalla normativa in materia di controlli: monitoraggio in continuo della concentrazione dei macroinquinanti e dei parametri di processo, campionatore automatico in continuo per diossine e furani e monitoraggio periodico dei microinquinanti organici e dei metalli pesanti.

Il sistema di produzione di energia è predisposto per la cogenerazione di energia elettrica e termica, tuttavia attualmente avviene la sola produzione di energia elettrica. Il progetto prevede infatti la realizzazione di uno scambiatore a cui si prevede di collegare, in una

seconda fase, una rete di teleriscaldamento, a servizio del comparto produttivo del Comune di Coriano.

La linea 4 è entrata in funzione, a fianco della Linea 3, partire dal mese di Giugno 2010 e da Settembre 2010 è in funzione il sistema di recupero energetico, il periodo di avviamento si è esteso per circa 4 mesi, dunque l'entrata in funzione a regime è stata indicata nel mese di ottobre 2010.

La linea 3 dell'impianto è stata invece fermata a settembre 2010 per operazioni di revamping; proprio in seguito a ciò è stato possibile connettere la linea 4 al sistema di recupero energetico esistente.

A partire dal mese di marzo 2011 è in funzione una nuova linea di recupero energetico con una turbina con potenza pari a 10,3 MW, quasi doppia rispetto a quella utilizzata precedentemente, che era di 5,4 MW.

Attualmente l'impianto è certificato per la qualità (ISO 9001) e per l'ambiente (ISO 14001) dal 2004 e nel 2007 ha ottenuto la registrazione EMAS, secondo il Regolamento (CE) 761/2001, n. IT-000723.

In ultimo una nota sulle particolari scelte architettoniche ed estetiche dell'impianto: si è voluto che esteticamente la struttura richiamasse la forma delle rocche e delle torri malatestiane che dominano il paesaggio circostante, attraverso la costruzione di una sorta di palazzo-torre che racchiude parte del forno caldaia e la torre camino.

4.2 STRUTTURA

Sono ora descritte le varie fasi di attività relative al funzionamento dell'impianto.

4.2.1 ATTIVITÀ SVOLTE

Innanzitutto sono presentate le diverse tipologie di attività svolte all'interno del sito.

Le principali operazioni svolte presso il complesso sono: accettazione e pesatura dei rifiuti in entrata, deposito e immissione dei rifiuti in fossa, termovalorizzazione, depurazione fumi, demineralizzazione delle acque, produzione di elettricità ed attività di manutenzione delle parti elettriche e meccaniche dell'impianto, oltre, naturalmente, alle normali mansioni di ufficio.

Inoltre, è presente un impianto di essiccamento fanghi, che, però, non è attivo.

4.2.2 RIFIUTI IN INGRESSO

I rifiuti in ingresso, gestiti dal Servizio Accettazione, dopo essere stati sottoposti ad un controllo preliminare sulla radioattività, sono inviati nell'area di deposito preliminare, costituita dalla fossa annessa al termovalorizzatore.

I capitoli CER per i quali l'impianto è autorizzato, sono riportati sotto in Tabella 4.2, anche se i rifiuti in ingresso al sito sono principalmente appartenenti al Codice 20 (rifiuti urbani indifferenziati) provenienti dalla Provincia di Rimini.

Il 2% circa di ingressi è invece derivante da industrie edili e l'1% da depuratori e impianti di compostaggio, una percentuale ancora minore deriva dal settore sanitario.

Capitoli CER autorizzati	Tipologia	Percentuale media in ingresso (%)
02	Rifiuti prodotti da agricoltura, orticoltura, acquicoltura, selvicoltura, caccia e pesca, trattamento e preparazione di alimenti	0,0564
03	Rifiuti della lavorazione del legno e della produzione di pannelli, mobili, polpa, carta e cartone	0,0066
04	Rifiuti della lavorazione di pelli e pellicce, nonché dell'industria tessile	0,0175
07	Rifiuti dei processi chimici organici	0
09	Rifiuti dell'industria fotografica	0,0000814
12	Rifiuti prodotti dalla lavorazione e dal trattamento fisico e meccanico superficiale di metalli e plastica	0,00088
15	Rifiuti di imballaggio, assorbenti, stracci, materiali filtranti e indumenti protettivi (non specificati altrimenti)	0,41
16	Rifiuti non specificati altrimenti nell'elenco	0,13
17	Rifiuti delle operazioni di costruzione e demolizione (compreso il terreno proveniente da siti contaminati)	2,11
18	Rifiuti prodotti dal settore sanitario e veterinario o da attività di ricerca collegate (tranne i rifiuti di cucina e di ristorazione non direttamente provenienti dal trattamento terapeutico)	0,386
19	Rifiuti prodotti da impianti di trattamento rifiuti, impianti di trattamento delle acque reflue fuori sito, nonché dalla potabilizzazione dell'acqua e dalla sua preparazione per uso industriale	1,170
20	Rifiuti urbani (rifiuti domestici e assimilabili prodotti da attività commerciali e industriali nonché dalle istituzioni) inclusi i rifiuti della raccolta Differenziata	95,7

Tabella 4.2 –Rifiuti in ingresso autorizzati

I rifiuti sono poi prelevati dall'area di deposito preliminare, per essere immessi nei forni, tramite benna idraulica.

Fossa e avanfossa, utilizzata per il transito degli automezzi, sono collocate in un fabbricato chiuso realizzato in cemento armato, impermeabilizzato e mantenuto in depressione, per evitare la diffusione di odori e polveri.

4.2.3 COMBUSTIONE

Ogni linea è provvista di una camera di combustione a griglia mobile con volume pari a 120 m³. L'avanzamento dei rifiuti all'interno del forno è ottenuto tramite movimentazione delle griglie, su cui si realizzano le tre fasi dell'incenerimento (essiccazione, combustione e scarificazione). L'aria comburente viene inviata sia sottogriglia che nella parte sovrastante la zona di combustione.

Le scorie sono raccolte e spente in una vasca sottostante, mentre, i gas, sviluppati dalla combustione, sono aspirati da un ventilatore di tiraggio ed inviati alla camera di post-combustione.

4.2.4 POST COMBUSTIONE

I fumi in ingresso hanno una temperatura di circa 1000-1100 °C e vengono inviati nei canali di post-combustione, dove, come per legge, devono essere soggetti ad un tempo di contatto maggiore di 2 secondi, ad una temperatura minima di 850°C ed ad una velocità media della corrente gassosa nella sezione di ingresso minore di 10 m/sec.

La camera è dotata di combustori a metano che entrano in funzione se la temperatura scende a valori inferiori di 870°C, temperatura necessaria per lo svolgimento del processo NCSR.

4.2.5 TRATTAMENTO FUMI

Tutti gli apparati di trattamento fumi sono sistemi totalmente a secco.

La prima operazione sui fumi è l'abbattimento degli NOx, che è attuata già nella camera di post-combustione, tramite metodo SNCR, che utilizza urea per trasformare gli ossidi di azoto in acqua ed azoto gassoso, opera tra 850 e 1100°C ed è in grado di ridurre la concentrazione del 50-70%.

I sistemi di depurazione fumi collegati alle linee 3 e 4 mostrano alcune differenze, e per questo sono descritti separatamente.

La configurazione legata alla linea 3 consiste in un elettrofiltro, seguito da un reattore a secco in cui avviene contatto fra prodotti di reazione, calce e carbone attivo in polvere (al

fine di rimuovere i metalli pesanti ed i composti organici e neutralizzare i composti acidi), filtro a maniche, sistema SCR e camino.

La linea 4 ha un sistema leggermente più articolato, costituito da un primo reattore a secco, nel quale, tramite l'introduzione di calce e di carboni attivi, sono assorbiti i metalli pesanti, i composti organici e parzialmente neutralizzati quelli acidi, successivamente è presente un primo stadio di filtrazione con filtro a manica e un secondo reattore a secco, nel quale è immesso solo bicarbonato di sodio per la neutralizzazione dei composti acidi. I gas, raffreddati fino a 180°C, sono infatti sottoposti al processo NEUTREC®, che avviene in un reattore apposito e si basa sull'elevata reattività del bicarbonato di sodio nei confronti degli acidi e sul il potere adsorbente dei carboni attivi nei confronti dei microinquinanti.

La fase successiva consiste nella filtrazione con maniche in Gore-Tex, che trattengono i prodotti di reazione e le polveri fini.

Infine, segue il sistema SCR ed il camino.

Una rappresentazione schematica della linea di depurazione fumi attualmente operativa collegata alla Linea 4 è riportata in Figura 4.2.

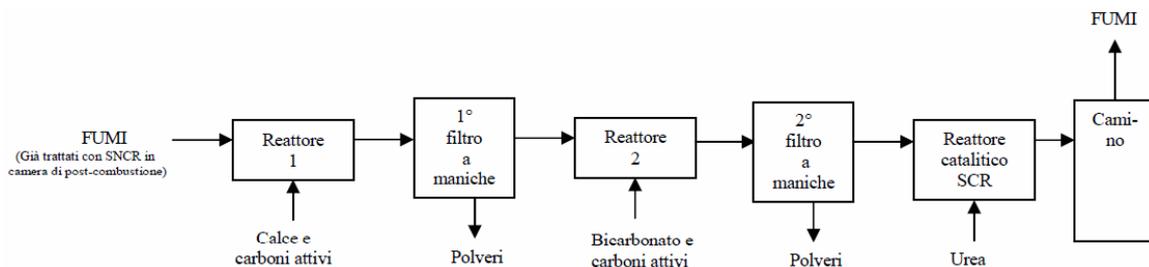


Figura 4.2 –Schematizzazione linea depurazione fumi

I punti di emissione sono monitorati, per quel che riguarda la concentrazione dei macroinquinanti, delle polveri, la portata, la temperatura, il tenore di ossigeno ed umidità dei fumi, mediante monitoraggio continuo in sala quadro, con preallarmi che si attivano quando il parametro in oggetto raggiunge l'80% del valore massimo.

I macroinquinanti considerati sono polveri, SO_x, NO_x, CO, HCl e HF.

È inoltre presente un analizzatore in continuo per rilevare la concentrazione di Hg.

Una schematizzazione grafica del sistema di monitoraggio è riportata in Figura 4.3.

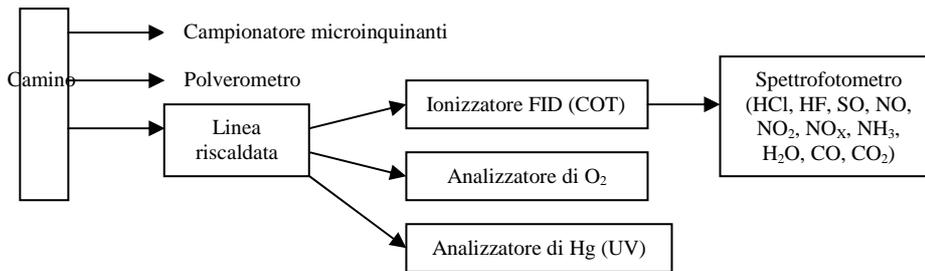


Figura 4.3 –Schematizzazione sistema di monitoraggio al camino

In caso di malfunzionamento del sistema, dal 2005 è stato installato un secondo analizzatore di back up.

I dati sono memorizzati secondo le Direttive Nazionali, trasmessi agli enti di controllo e pubblicati sul sito web di Hera.

Quanto ai microinquinanti organici (PCDD, PCDF, IPA e COV) ed ai metalli pesanti, la loro presenza è monitorata tramite analisi chimiche periodiche.

Infatti, ad alcuni laboratori autorizzati vengono commissionate ulteriori analisi con campionamento diretto in ciminiera.

A partire dal mese di luglio 2008, il camino precedentemente alto 40 m è stato sostituito con una nuova struttura alta 80 m [HERAMBIENTE, 2011].

4.2.6 TIPOLOGIE DI EMISSIONI

Le emissioni dell'impianto, ovviamente, derivano principalmente dalla combustione dei rifiuti, anche se quantitativi minori hanno anche altre origini, quali la cappa di saldatura e lo sfiato del serbatoio olio della turbina.

L'impatto maggiore è comunque derivante dall'attività di incenerimento e per questo, in uscita dalle camere di combustione, è installato il sistema di depurazione dei fumi di cui si è parlato sopra.

Altra tipologia di emissione è quella odorigena generata dallo stoccaggio dei rifiuti e dei reagenti; essendo però poco significative, non sono soggette ad un monitoraggio dedicato.

Quanto all'anidride carbonica emessa, poiché i rifiuti sono costituiti anche da carbonio di origine non fossile derivante dal materiale organico, oltre che da gomme e plastiche, il contributo di questa tipologia di trattamento sull'effetto serra risulta attenuato e fa sì che l'impianto sia escluso dalla direttiva sull'Emission Trading.

4.2.7 ENERGIA PRODOTTA E CONSUMATA

A partire dal 1998 nell'impianto è attiva la sezione dedicata alla produzione di energia elettrica.

Il vapore surriscaldato è inviato in una caldaia a recupero che produce vapore surriscaldato alla temperatura di 400°C ed alla pressione di 47 bar, così da poter essere inviato in turbina.

All'uscita da essa, il vapore è poi convogliato ad un condensatore ad aria per essere ricondensato, passa attraverso un degasatore e viene reimpresso in caldaia. Parte del vapore può eventualmente essere utilizzato per l'essiccamento dei fanghi.

L'energia prodotta, avente una tensione di 15000 Volt, viene inviata alla centrale Enel di Riccione, dove viene trasformata in corrente ad alta tensione, a 230000 Volt, e immessa in rete.

Essa è in grado di ricoprire il fabbisogno dell'impianto, ed è stato osservato, durante il funzionamento a regime, che circa il 75-80% è eccedente, e viene ceduta alla rete.

Ogni anno, in media, la potenza ceduta all'Enel è di 38000MWh, ed è stato stimato possa garantire i fabbisogni di 32000 persone.

Durante il 2008, naturalmente, a causa del fermo impianto, questi numeri erano più bassi, ma comunque il 60% dell'energia prodotta è stata ceduta.

Oltre che di energia elettrica, il termovalorizzatore necessita, per il proprio funzionamento, di gasolio e metano [*HERAMBIENTE, 2008*].

4.2.8 GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE

L'acqua utilizzata proviene dall'acquedotto ed è principalmente impiegata per la produzione del vapore e lo spegnimento delle scorie.

Per evitare fenomeni di incrostazione o di corrosione della parte di impianto destinato alla generazione di energia, è necessario però utilizzare acqua demineralizzata e trattata.

Il trattamento eseguito, consiste innanzitutto in una clorazione dell'acqua per abbatterne la carica batterica; l'acqua passa poi attraverso un filtro a sabbia che ne trattiene le particelle sospese, ed è additivata di prodotti che regolano il pH e il potenziale redox.

Successivamente, subisce una prima dissalazione tramite impianto ad osmosi inversa e eliminazione dell'anidride carbonica tramite colonna di strippaggio con aria.

In ultimo, l'acqua subisce il trattamento di demineralizzazione attraverso il passaggio all'interno di resine.

I reagenti utilizzati sono dunque quelli tipici di un normale impianto di demineralizzazione, e cioè HCl al 33%, NaOH al 33%, bisolfito di sodio, condizionante, anti-algale, antiincrostante, condizionatore acqua di processo e deossigenante, peraltro utilizzati in quantità molto piccole.

Poiché sono installati sistemi a secco per la depurazione dei fumi, il consumo di risorse idriche non è elevato.

Inoltre dal 2005 è stato installato un sistema che ricicla acqua di scarto proveniente dall'impianto di demineralizzazione e dal circuito termico per lo spegnimento delle scorie, che ha permesso così di abbassare la quantità di acqua prelevata dalla rete idrica.

Le acque reflue sono destinate alla fognatura, tranne le acque di lavaggio che sono invece raccolte e smaltite come rifiuti.

4.2.9 GESTIONE SITUAZIONI DI EMERGENZA

Il sistema di gestione per la Qualità, la Sicurezza e l'Ambiente di Hera prevede definite prassi da seguire per ogni sito in caso di possibili emergenze.

Le situazioni di rischio considerate per l'impianto di Coriano sono:

- malfunzionamenti sulla linea fumi, quali problemi al sistema di monitoraggio degli inquinanti, al sistema di additivazione dei reagenti, ecc.;
- problematiche di gestione dell'avanfossa;
- allagamento della zona di spegnimento delle scorie;
- fuoriuscite di prodotti chimici di ogni tipo, urea, gasolio, rifiuti ecc. [*HERAMBIENTE Dich. Amb., 2009*]; [*HERAMBIENTE Dich. Amb., 2010*]; [*HERAMBIENTE Rapporto, 2011*].

4.3 ADESIONE ALLE BAT

Si vuole ora analizzare la corrispondenza tra la tecnologia utilizzata in impianto e quella oggetto delle BAT.

Una delle più importanti decisioni da considerare è il tipo forno utilizzato, che deve essere adeguato al tipo di rifiuto alimentato.

I sistemi di combustione previsti dalle BAT comprendono forno a griglia, forno rotante, forno a letto fluido, pirolisi o gassificazione.

È stato utilizzato il forno a griglia, perché si tratta di una tecnica consolidata, affidabile ed appropriata per lo smaltimento dei RSU. Si tratta infatti di una tecnologia che permette di smaltire il rifiuto proveniente dalla raccolta indifferenziata in maniera

relativamente semplice e continua, garantendo un funzionamento costante nel tempo ed una buona gestione del sistema di depurazione fumi.

Il raffreddamento della griglia avviene con acqua, secondo una delle possibilità dettate dalle BAT, che propongono aria od acqua.

Le griglie raffreddate ad acqua contengono un circuito nel quale il liquido viene fatto circolare e, a causa dell'elevata capacità di trasferimento del calore nei liquidi, sono maggiormente efficienti anche ad alta temperatura.

Una volta che tale scelta è effettuata, sono molto importanti le operazioni di gestione dell'impianto e di configurazione del sistema di depurazione fumi.

Come avviene in impianto, le BAT prescrivono che il rifiuto in ingresso alla struttura sia identificato e campionato, inoltre, viene attualmente eseguito il controllo della radioattività secondo quanto descritto nel documento sulle BAT. Sebbene i materiali radioattivi non sono infatti specificamente regolati dall'IPPC, il loro trattamento comporta problemi di sicurezza. Alcune tipologie di rifiuto, soprattutto quelle che derivano da attività in cui sono utilizzate sostanze radioattive, come quelle ospedaliere, possono contenere elevate quantità di elementi radioattivi.

In impianto, come prescritto dalle BAT, sono localizzati bruciatori ausiliari il cui funzionamento è indispensabile durante l'avviamento dell'impianto, od in particolari condizioni di funzionamento per raggiungere la temperatura di esercizio ed assicurare una buona combustione. Lo svantaggio evidente è il consumo di combustibili fossili; tuttavia, una fase di avviamento senza bruciatori ausiliari, che pure sarebbe possibile, significherebbe probabile emissione di elevate quantità di sostanze organiche in atmosfera e problemi di corrosione dell'impianto in caso di un elevato contenuto di sostanze clorurate nei rifiuti. L'utilizzo di combustibili ausiliari consente invece un discreto controllo dell'emissione degli inquinanti anche durante le fasi non a regime, quali avviamento e spegnimento.

Per quel che riguarda il recupero energetico, le BAT prevedono l'utilizzo di un generatore di vapore in differenti configurazioni e di una turbina a contropressione, condensazione, condensazione con spillamento o condensazione a doppio stadio.

La scelta è ricaduta su un generatore di vapore a sviluppo orizzontale, per la sua migliore facilità di pulizia e manutenzione e su una turbina a condensazione e spillamento che permette la produzione di energia elettrica ed al contempo di poter in un futuro utilizzare parte del vapore per la produzione di energia termica, così da raggiungere un rendimento totale del 70-80%.

L'applicazione di una tecnologia per rimuovere le polveri dai gas di scarico è essenziale, e le BAT suggeriscono l'impiego di elettrofiltri, cicloni o filtri a maniche, che hanno generalmente un'efficienza maggiore e sono quelle utilizzate.

Una delle possibili configurazioni prevede l'applicazione della doppia filtrazione in filtro a manica di cui si è parlato nel capitolo 2 e che rappresenta la soluzione tecnologica impiegata.

Contestualmente possono essere iniettati reagenti quali carboni attivi, per ridurre anche la presenza di sostanze quali diossine e metalli pesanti e reagenti alcalini, per proteggere le maniche dai gas acidi, abbattendoli contemporaneamente, come avviene anche a Coriano.

Per quel che riguarda la riduzione degli NOx, le BAT prevedono l'impiego dei sistemi SNCR ed SCR, entrambi installati nell'impianto oggetto dello studio.

L'applicazione dell'SCR permette, come già citato, un maggiore abbattimento degli NOx e si è notato che riduce anche l'emissione di PCDD/F.

Quanto al controllo dell'emissione delle diossine, i primi provvedimenti da adottare riguardano il controllo del processo combustione, per limitarne la formazione.

Poiché tali misure non consentono solitamente però di raggiungere valori inferiori ai limiti di emissione, è necessaria anche l'adozione di altre tecniche.

Le BAT sottolineano il fatto che, durante l'incenerimento dei rifiuti, la maggioranza di PCDD/F aderiscono alla polvere e sono rimossi con essa.

Le efficienze di abbattimento di PCDD/F all'interno dei filtri a manica raggiungono efficienze superiori al 99%. Le diossine vengono anche essere rimosse attraverso l'iniezione di carboni attivi, che al contempo è anche la tecnica suggerita dalle BAT per l'abbattimento del mercurio e degli altri metalli pesanti.

Una nota importante che viene anche ripresa nel BAT Reference Document riguarda il rischio incendio significativo quando si utilizzano carboni attivi.

Un'altra tecnica ripresa dalle BAT per l'abbattimento dei metalli, ma non presente in impianto, riguarda l'utilizzo di resine, che hanno però lo svantaggio di dover essere poi rigenerate.

Quindi, alla luce di quanto descritto sopra, si può tranquillamente affermare che l'impianto opera in adempimento con le prescrizioni europee contenute nelle BAT [EU IPPC, 2006].

CAPITOLO 5

DEFINIZIONE E IMPORTANZA DELLA METODOLOGIA LCA

5.1 DEFINIZIONE DELL’LCA

In seguito all’affermarsi della concezione di un modello di sviluppo sostenibile, sta acquisendo sempre più importanza l’idea di pensare ad un prodotto o processo in termini del suo ciclo di vita, considerando i flussi in ingresso ed in uscita di materiali ed energia relativi alle varie fasi di costruzione, uso e smaltimento; uno strumento indispensabile per mettere in atto questo approccio è la metodologia LCA (Life Cycle Assessment), uno strumento molto utile in diversi ambiti, primo tra tutti in quello ambientale, per cui è stato sviluppato e implementato.

Quanto descritto è infatti pienamente in linea con la definizione stessa di LCA contenuta nella norma ISO 14040, di cui si parlerà in seguito, che la definisce come segue: *“compilazione e valutazione dei flussi in entrata e in uscita, nonché dei potenziali impatti ambientali di un sistema prodotto, attraverso tutto il suo ciclo di vita”*.

Importante è la definizione di un “sistema prodotto”, separato ma interagente con il sistema ambientale, attraverso scambi di input ed output. Ne consegue che se si considera una sola categoria di impatto ambientale, relativamente all’oggetto di uno studio, senza adottare una visione complessiva, ogni intervento sul sistema può rischiare di trasferire semplicemente l’inquinamento da una tipologia di impatto ad un’altra, o da un comparto ambientale ad un altro.

L’LCA ha invece come obiettivo proprio la valutazione dei carichi ambientali di prodotti processi e servizi analizzandoli “dalla culla alla tomba”, ovvero considerando tutto il ciclo di vita, o, perlomeno le parti del ciclo di vita che interessano maggiormente per lo studio. La nascita di una sensibilità ambientale tra la popolazione, che porta alla preferenza di prodotti eco-sostenibili, unitamente all’entrata in vigore di nuove normative, sta facendo divenire sempre più importante la questione ambientale anche in ambito industriale, dove, fino a pochi anni fa le problematiche ambientali erano molto meno considerate, a causa di normative meno stringenti che portavano le aziende a considerare quasi esclusivamente gli aspetti economici delle proprie attività.

Attualmente, e probabilmente ancora di più in futuro, visto che si tratta in definitiva di una tecnica relativamente recente, l’LCA sta invece diventando uno strumento chiave per il settore industriale e quello della ricerca, sia in ambito pubblico che privato.

Le sue numerose applicazioni si riferiscono infatti ad una serie di svariati ambiti:

- analisi degli impatti ambientali di un prodotto o servizio;
- confronto tra sistemi alternativi che abbiano lo stesso scopo;
- identificazione degli stadi del ciclo di vita di un prodotto che presentano gli impatti maggiori e degli impatti più rilevanti da considerare per eventuali modifiche e miglioramenti;
- progettazione di prodotti e servizi meno impattanti;
- studi su cui basare comunicazioni pubbliche; richieste di etichettatura ecologica, dichiarazioni ambientali.

5.2 VANTAGGI E LIMITI DELL’LCA

Al di là dei numerosi già citati vantaggi (quantificazione completa degli impatti, delle emissioni evitate, delle criticità e dei benefici ambientali), questa tecnica possiede anche criticità; le principali sono riportate sotto:

- i modelli utilizzati sono semplificazioni della realtà;
- l’accuratezza è limitata dalla disponibilità di dati attendibili, dal punto di vista impiantistico, storico e geografico.

Per questo, le informazioni ottenute attraverso uno studio LCA dovrebbero essere usate soltanto come parte di un processo decisionale più articolato.

Per le stesse ragioni, confrontare i risultati di differenti studi ha senso esclusivamente se le approssimazioni, che dovrebbero essere dichiarate, sono simili.

A ciò si aggiunge, inoltre, l’assenza di una metodologia unica, internazionalmente accettata per la valutazione degli impatti ambientali e la scarsità di conoscenze sui sistemi ambientali considerati.

5.3 ORIGINI STORICHE DELL’LCA

Le origini della filosofia di pensiero che prende il nome di “Life cycle Thinking”, risalgono alla fine degli anni ’60.

Fino a quel momento, infatti, eventuali modifiche e miglioramenti venivano basati su studi che si limitavano a prendere in considerazione singoli aspetti di una questione.

I primi studi che consideravano una visione globale dei problemi, in realtà, non furono indicati con la denominazione LCA, ma con appellativi quali “cradle to grave analysis” o “ecobalance”.

Un primo studio dalle caratteristiche simili agli odierni LCA è stato presentato nel 1963 e consisteva in una relazione realizzata da Harold Smith presentata alla World Energy

Conference, relativa alle richieste di energia per la produzione di intermedi chimici, che conteneva anche, sebbene in maniera non esclusiva, valutazioni ambientali.

All'inizio degli anni '70 diverse ricerche vennero condotte negli USA sotto il nome di REPA (Resource and Environmental Profile Analysis).

Ad esempio, nel 1969, un gruppo di ricercatori del *Midwest Research Institute* condusse uno studio per conto della Coca-Cola confrontando i carichi ambientali di diversi tipi di contenitori per bevande costituiti da materiali differenti (plastica, vetro o alluminio), relativamente tanto alla fase di produzione quanto a quella di fine vita, considerando l'aspetto ambientale generale e quello più specifico del consumo energetico.

Il calcolo fu dunque realizzato basandosi su dati relativi alle materie prime, al combustibile ed ai reflui nell'ambiente.

Un altro studio di questo genere fu realizzato per la Mobil Chemical Company per confrontare polistirene e carta utilizzati per incartare cibo.

Contemporaneamente, molti ricercatori, resosi conto della velocità con cui si stavano cominciando a sfruttare le risorse esauribili della Terra, prime tra tutte quelle energetiche, si rivolsero verso la problematica dello sfruttamento delle risorse del pianeta e furono svolte comparazioni sui costi e le conseguenze ambientali di risorse energetiche alternative.

Ciò portò anche alla pubblicazione di alcuni studi di modelli in cui si cercava di prevedere gli effetti della crescita della popolazione globale sui consumi di materie prime ed energia.

Particolarmente importante relativamente alla crescita ed all'affermazione della metodologia LCA è stata la pubblicazione, in Europa (dove venivano svolti studi di analoga tipologia, ma denominati "Ecobalance"), del manuale di Analisi Energetica di Boustead e Hancock (1979), all'interno del quale sono descritte procedure molto simili a quelle tuttora in uso.

A partire da questi primi studi, la metodologia LCA iniziò a svilupparsi come strumento di supporto per le produzioni industriali ad essere ulteriormente affinata.

Contemporaneamente, gli studi divennero sempre più noti e disponibili tra il pubblico non direttamente coinvolto in tali attività, quali i consumatori, ma che tuttavia avevano interesse a conoscere le conseguenze ambientali dei prodotti scelti.

Alla fine degli anni Ottanta ci si rese conto di essere in una situazione assai disomogenea, e si notò che spesso relazioni riguardanti studi eseguiti per gli stessi prodotti contenevano risultati non coerenti.

Ciò avveniva a causa di differenti tecniche di valutazione, con l'utilizzo di dati e metodologie differenti.

Fu quindi evidente il bisogno di definire una metodologia standard.

La conseguenza fu lo sviluppo di un quadro di riferimento riconosciuto valido a livello internazionale da parte della SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) nel 1993.

Attualmente, la tecnica LCA è considerata alla stregua di tecnica ufficiale per la valutazione degli impatti ambientali [Morselli L. et al., 2005]; [Rigamonti L. et al., 2009].

5.4 NORME ISO DI RIFERIMENTO

Le norme di standardizzazione per gli studi LCA fanno parte della serie delle ISO 14000 ed, in particolare, sono attualmente la UNI EN ISO 14040 (Principles and framework) e UNI EN ISO 14044 (Requirements and guidelines).

La prima è di carattere generale e descrive in maniera teorica principi e strutture di un LCA; la seconda, invece, fornisce maggiori dettagli sulle applicazioni pratiche.

Oltre alla definizione già riportata sopra, essa contiene la definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione dell'LCA, una descrizione della fase di inventario, di quella di valutazione e di interpretazione, le limitazioni, il modo di riportare i risultati ottenuti ed i punti critici, le correlazioni tra le diverse fasi e gli eventuali elementi opzionali. La norma tratta gli studi sia di valutazione del ciclo di vita (LCA), sia di inventario del ciclo di vita (LCI).

Sono ora riportati gli aspetti fondamentali di uno studio LCA riportati nella norma ISO 14040:

-prospettiva del ciclo di vita: si considera l'intero ciclo di vita del prodotto;

-attenzione focalizzata all'ambiente: uno studio LCA deve essere prevalentemente rivolto agli impatti ambientali e solo in secondo luogo a quelli economici;

-approccio relativo e unità funzionale: l'LCA deve essere riferito ad un'unità funzionale definita in modo chiaro;

-approccio iterativo: l'LCA è una tecnica iterativa, in quanto ciascuna fase utilizza i risultati della precedente e, avanzando nello studio, si capisce quali aspetti è necessario approfondire o è possibile sorvolare;

-trasparenza: è un aspetto molto importante, soprattutto per garantire una corretta interpretazione e diffusione dei risultati;

-*completezza*: considerare tutti gli aspetti fondamentali dell'ambiente naturale, della salute umana e delle risorse;

-*priorità dell'approccio scientifico*: le assunzioni fatte si devono basare principalmente su dati scientifici e contenuti di convenzioni internazionali.

La norma ISO 14040, dunque, evidenzia tutta una serie di caratteristiche dell'LCA che ne fanno un valido strumento per migliorare le performance ambientali, informare politici e amministratori del settore pubblico e privato riguardo a decisioni da prendere, selezionare gli indicatori rilevanti e influire sulle decisioni che riguardano il mercato [ISO 14040].

La norma ISO 14044, invece, fornisce i dettagli pratici su come condurre le varie fasi di un LCA che sono citate già nella sezione introduzione della ISO 14040 e di cui si parlerà più in dettaglio in seguito:

-definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione (*Goal and scope Definition*);

-fase di inventario (*Life Cycle Inventory, LCI*);

-fase di valutazione dell'impatto (*Life Cycle Impact Assessment, LCIA*);

-fase di interpretazione dei risultati (*Life Cycle Interpretation*) [ISO 14044].

5.5 FASI DI UNO STUDIO LCA

Come spiegato sopra, dunque, in base alle norme ISO 14040 e ISO 14044, la metodologia LCA si compone di quattro fasi (Figura 5.1) interagenti fra di loro e di carattere iterativo:

1) *Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione*: è la fase preliminare nella quale sono definite le finalità dello studio, l'unità funzionale, i confini del sistema, i dati richiesti per lo studio, la loro affidabilità, le approssimazioni ed i limiti.

2) *Analisi di inventario*: significa ricercare e raccogliere i dati relativi ai flussi in input ed output di materia ed energia e rielaborarli rendendoli funzionali all'uso che se ne deve fare.

È necessario prima costruirsi il modello del sistema che si vuole studiare.

3) *Valutazione degli impatti*: è lo studio dell'impatto ed è costituito da quattro momenti: classificazione, caratterizzazione, normalizzazione e pesatura, di cui i primi due obbligatori ed oggettivi e gli altri più soggettivi e, per questo, reputati facoltativi.

È durante questo stadio che il dato oggettivo ottenuto durante la fase di inventario e rielaborato, dà luogo ad una stima di pericolosità ambientale.

4) *Interpretazione dei risultati*: è la parte finale dello studio, nella quale vengono analizzati i risultati ottenuti nel corso dello studio ed identificati eventuali possibili cambiamenti.

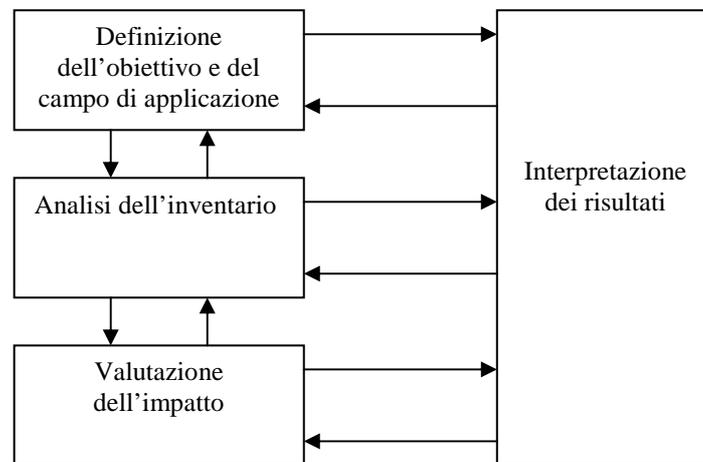


Figura 5.1 –Rappresentazione schematica delle quattro fasi di un LCA

Verranno ora passati in rassegna i dettagli di ciascuna di esse.

5.5.1 DEFINIZIONE DELL'OBBIETTIVO E DEL CAMPO DI APPLICAZIONE

È la prima fase di ciascun studio LCA ed è fondamentale in quanto è durante questa fase che si delineano i confini dello studio che ci si intende porre.

Definizione dell'obiettivo significa delineare l'applicazione prevista, le ragioni che hanno spinto ad eseguire l'analisi, la tipologia di pubblico a cui è eventualmente destinata e se i risultati sono destinati o meno ad essere usati a scopo di confronto.

Nella sezione di *definizione del campo di applicazione* viene solitamente data una definizione dei seguenti aspetti:

-*sistema di prodotti allo studio*: significa rendere conto dei diversi processi che si vogliono considerare, e che hanno come input flussi di materia ed energia, che generano analoghi flussi in output, i quali possono tornare in ambiente od essere i flussi di alimentazione di eventuali flussi successivi;

-*funzioni del sistema*: la funzione dell'oggetto dello studio;

-*unità funzionale*: è il riferimento sul quale basare i dati di input ed output, deve essere coerente con il sistema studiato ed i dati a disposizione (può trattarsi ad esempio di 1 Kg di prodotto, 1 Ton di rifiuti, 1 KWh di energia...) in quanto tutti i dati saranno normalizzati sulla base di essa, ed, inoltre, è bene che rappresenti la funzione del sistema.

Questa unità viene richiesta anche perché, a volte, le unità di misura effettive, quali la massa ed il volume, possono essere non adatte a rappresentare l'oggetto in questione; ad esempio, se si considera l'imballaggio, un'unità conveniente a cui riferirsi può essere la quantità di imballaggio necessario per contenere una certa quantità di prodotto al posto di prendere semplicemente 1 Kg di carta o plastica;

-confini del sistema: è necessario decidere quali tipologie di flussi in ingresso ed in uscita considerare e quali tralasciare, derivano da una preliminare descrizione del sistema dal punto di vista soprattutto tecnologico, ma anche geografico e territoriale;

-procedure di allocazione;

-metodologia dell'LCIA (Life Cycle Impact Assessment): determinare quali categorie di impatto utilizzare;

-interpretazione;

-requisiti dei dati: i dati prodotti possono essere primari, secondari o terziari.

I dati primari provengono da fonti dirette relative al processo esaminato, e possono essere raccolti mediante interviste, questionari, lettura di dichiarazioni ambientali ed altre pubblicazioni emesse da parte dei responsabili del processo.

I dati secondari, invece, sono quelli ricavati da letteratura, database di software, manuali tecnici, altri studi o calcoli ingegneristici.

I dati terziari derivano da esperimenti di laboratorio, da statistiche o medie appositamente effettate.

Quando si raccolgono i dati è importante verificarne la coerenza: un metodo di valutazione semplice consiste nell'effettuare un bilancio di massa o energia.

Poiché l'attendibilità dei dati è estremamente importante per uno studio LCA, i dati, se possibile, dovrebbero essere raccolti presso le aziende di cui ci si occupa.

Nel caso ciò non sia possibile, ci si basa solitamente sui dati contenuti nei databases; se neppure essi fossero disponibili, si può far riferimento a manuali od ad altro che si trova in letteratura (dati secondari); in questo caso, però, è consigliabile confrontare il contenuto di più pubblicazioni, al fine di verificarne l'attendibilità.

Eventualmente, ci si può servire di informazioni derivanti da altri studi LCA, avendone però chiari obiettivi e campo di applicazione.

Oltre agli impatti immediatamente individuabili, è bene reperire informazioni relativamente a impatti e consumi relativi all'energia elettrica utilizzata e, prima di tutto, è bene procedere alla valutazione del mix energetico utilizzato per la produzione del kWh elettrico consumato.

Inoltre, vanno considerati gli impatti relativi al sistema di trasporto.

Spesso i dati si esprimono in tonnellata x chilometro, cioè fanno riferimento al trasporto di 1 tonnellata per 1 chilometro;

-le ipotesi;

-le scelte di eventuali elementi opzionali;

-le limitazioni;

-i requisiti di qualità dei dati: la qualità dei dati è solitamente principalmente valutata in base a copertura geografica, temporale e tecnologica, completezza, riproducibilità, grado di incertezza;

-un eventuale riesame critico: si descrive ciò che si vorrebbe andare a rivalutare o riapprofondire;

-il formato in cui si intende presentare i dati.

Il campo di applicazione dello studio deve quindi essere definito in maniera consona a far sì che l'esecuzione dell'elaborazione sia appropriata all'obiettivo.

5.5.2 ANALISI DI INVENTARIO

La fase dell'Analisi di Inventario, più conosciuta con la sigla LCI (Life Cycle Inventory), consiste nella raccolta di dati e informazioni che consentano di quantificare i flussi in entrata ed in uscita dal sistema.

Si tratta di una procedura iterativa, in quanto, mano a mano che si raccolgono informazioni, la conoscenza del sistema aumenta e quindi diventa possibile porre l'attenzione su nuovi punti chiave.

Solitamente, le informazioni che vengono raccolte riguardano:

-materie prime, energia e materiali ausiliari in ingresso:

-prodotti, coprodotti, energia prodotta, rifiuti;

-rilasci in aria, acqua e suolo.

Un aspetto fondamentale quando vengono raccolti i dati, è, oltre che conoscerne l'affidabilità, l'accortezza di raccogliarli in maniera tale che sia poi possibile un immediato riscontro dell'attendibilità dei risultati che verranno ottenuti.

Prima di passare alla vera e propria fase di raccolta dati, è utile costruire un diagramma di flusso delle unità di processo.

Particolare attenzione va prestata quando si trattano sistemi che hanno più di una funzione: in queste situazioni i flussi di input ed output devono essere associati ai

prodotti in maniera stabilita e sempre uguale; questo modo di ragionare si chiama “allocazione”.

Quando possibile, si cerca di evitare l’allocazione dividendo ulteriormente in sottoprocessi il processo studiato o espandendo i confini del sistema.

Se non è possibile evitare l’allocazione, è preferibile basarla su principi fisici e, solo come ultima possibilità, su quelli economici.

I dati raccolti, opportunamente rielaborati e riferiti all’unità funzionale, sono poi raccolti nella vera e propria “Tabella di Inventario”.

5.5.3 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI

Deriva dalle informazioni raccolte nell’Analisi di Inventario ed è il cuore di un LCA, avendo come scopo la valutazione degli impatti ambientali.

È solitamente identificata dalla sigla LCIA (Life Cycle Impact Assessment) e viene effettuata sulla base di un “Metodo” che comprende i criteri da utilizzare per passare dai dati dell’Analisi di Inventario alla valutazione degli impatti ed una precisa metodologia di valutazione di questi ultimi.

Tale fase è costituita da alcuni passaggi obbligatori, altri alternativi.

Tra quelli obbligatori vi sono innanzitutto la *scelta delle categorie di impatto* (cioè degli effetti ambientali considerati, di cui si parlerà in seguito) e degli *indicatori di categoria*.

Indispensabili sono anche le fasi di *caratterizzazione* e *classificazione*.

Lo scopo della prima è quantificare gli impatti ambientali delle sostanze elencate nella Tabella di Inventario all’interno delle categorie di impatto che si è deciso di utilizzare, mentre quello della seconda è individuare i legami tra i risultati dell’LCI e quelli delle categorie di impatto.

Concretamente, significa organizzare i risultati dell’inventario in maniera tale che sia evidente il legame tra i dati raccolti ed i risultati ottenuti.

Le Categorie di impatto considerate variano in base al metodo utilizzato, tuttavia, gli effetti ambientali considerati sono spesso i medesimi, e vanno da parametri relativi alla tossicità umana, all’emissione di particolato, al cambiamento climatico, al consumo di combustibili fossili e sostanze minerali.

È ora riportata una breve rassegna delle categorie di impatto solitamente più utilizzate.

Non tutte le categorie devono infatti essere necessariamente utilizzate in ogni studio, ma spesso si sceglie quali categorie utilizzare in base all’obiettivo ed ai risultati.

L'importante, infatti è garantire completezza, ma, al contempo, praticità di lettura e valutazione degli effetti e degli impatti.

L'effetto dell'emissione di sostanze cancerogene e di composti organici ed inorganici che causano problemi respiratori sono categorie di impatto legate alla salute umana che vengono quasi sempre considerate. E' considerata l'emissione di sostanze cancerogene in aria, acqua e suolo, così come l'effetto, sull'apparato respiratorio, di smog, polveri, ossidi di azoto, di zolfo ecc.

L'effetto serra, come è noto, è invece causato dalla presenza in atmosfera di gas in grado di assorbire la radiazione infrarossa emessa dalla Terra non permettendo che essa ritorni a dissiparsi nello spazio. Il cambiamento climatico è una conseguenza dell'aumento della concentrazione in atmosfera di questa tipologia di gas. Il gas ad effetto serra che normalmente desta maggiore preoccupazione è la CO₂, per la quantità che ne è emessa durante i processi di combustione, tuttavia, esistono altri gas ad effetto serra molto maggiore della CO₂, quali metano, protossido di azoto e CFC. I quantitativi di gas serra sono riferiti alla CO₂ ed espressi in kg di CO₂ equivalenti, l'unità di misura è il GWP (Global Warming Potential), che descrive il "potere effetto serra" di una sostanza rispetto a quella dell'anidride carbonica. Sono solitamente considerati periodi di 20, 100 o 500 anni come prospettiva. In maniera operativa, la quantità in massa di ciascuna sostanza, nell'intero ciclo di vita, viene moltiplicata per un differente coefficiente in peso, standard e definito in base alla potenzialità di causare effetto serra rispetto all'anidride carbonica, i contributi di tutte le sostanze si sommano poi per ottenere il valore finale.

Lo smog fotochimico è causato principalmente da idrocarburi incombusti e ossidi di azoto emessi nel corso di processi di combustione. In presenza di radiazione solare, essi danno origine a ozono troposferico, dannoso per gli esseri viventi. Il parametro di riferimento è Potenziale di Creazione di Ozono Fotochimico per i composti organici (Photochemical Ozone Creation Potential), espresso in termini di equivalenza con l'etilene.

L'assottigliamento dello strato di ozono stratosferico è solitamente dovuto all'emissione di CFC e HCFC; la distruzione dell'ozono aumenta l'esposizione degli esseri viventi ai raggi UV, responsabili di gravi patologie. Come unità di misura viene utilizzato il parametro ODP (Ozone Depletion Potential), calcolato utilizzando fattori di conversione che fanno riferimento a Kg di CFC-11 equivalenti.

Per l'effetto di eco-tossicità, i parametri a cui si fa riferimento sono ECA (Aquatic Ecotoxicity) per quanto riguarda l'acqua e ECT (Terrestrial Ecotoxicity) per quanto riguarda il terreno.

Acidificazione significa abbassamento del pH ambientale, prevalentemente dovuto a emissioni derivanti da combustione, come unità di misura si utilizza il "Potenziale di Acidificazione", stimato in termini di SO₂ equivalenti.

Per l'eutrofizzazione, cioè un rilascio massiccio nell'ambiente di composti di azoto e fosforo che provocano una crescita repentina ed incontrollata soprattutto degli organismi acquatici ed un calo della concentrazione di O₂, si utilizza invece come indice il potenziale di Eutrofizzazione, espresso come EP (Eutrophication Potential) in termini di aumento di fosfato equivalente (PO₄³⁻) o impoverimento di ossigeno. Le principali attività che contribuiscono a questo fenomeno sono lo spandimento di fertilizzanti e gli scarichi industriali.

Per la categoria risorse si utilizza solitamente il rapporto consumo globale / riserva, mentre "land use" fa riferimento all'occupazione del territorio [*Manaham, 1995*]; [*Baird C., 2001*].

Gli impatti sopra riportati sono descritti in termini di Categoria di Impatto.

Essi possono venire poi "sommati" in base all'effetto, per poter compilare le Categorie di Danno, che si propongono di descrivere l'effetto complessivo di più Categorie di Impatto che incidono sull'ambiente provocando un danno analogo.

Ciascuna categoria di impatto può rientrare ed essere considerata in diverse categorie di danno.

Solitamente, vengono considerati tre tipi di danno ambientale, correlati a Salute Umana (Human Health), Qualità dell'Ecosistema (Ecosystem Quality) e Risorse (Resources).

Vista la grande quantità di dati e di categorie di impatto, l'utilità di raggruppare, al fine di rendere i risultati dello studio più immediati da valutare e comprendere, le categorie di impatto in categorie di danno, calcolando per ognuna di esse un punteggio globale, è assai evidente.

Per comprendere in maniera più chiara il significato di Categorie di Impatto e Categorie di Danno, in Figura 5.2 è riportata la schematizzazione di come dall'Analisi di Inventario sia possibile passare a quantificare le Categorie di Impatto e come esse possano venire raggruppate per delineare le Categorie di Danno, ed eventualmente un Punteggio Singolo finale complessivo.

Il Grafico è costruito per il metodo Ecoindicator 99, scelto per effettuare questo studio (vedere Paragrafo 5.5.4), ma grafici analoghi, seppur con differenti categorie di impatto, sono costruibili per la maggior parte dei metodi utilizzabili.

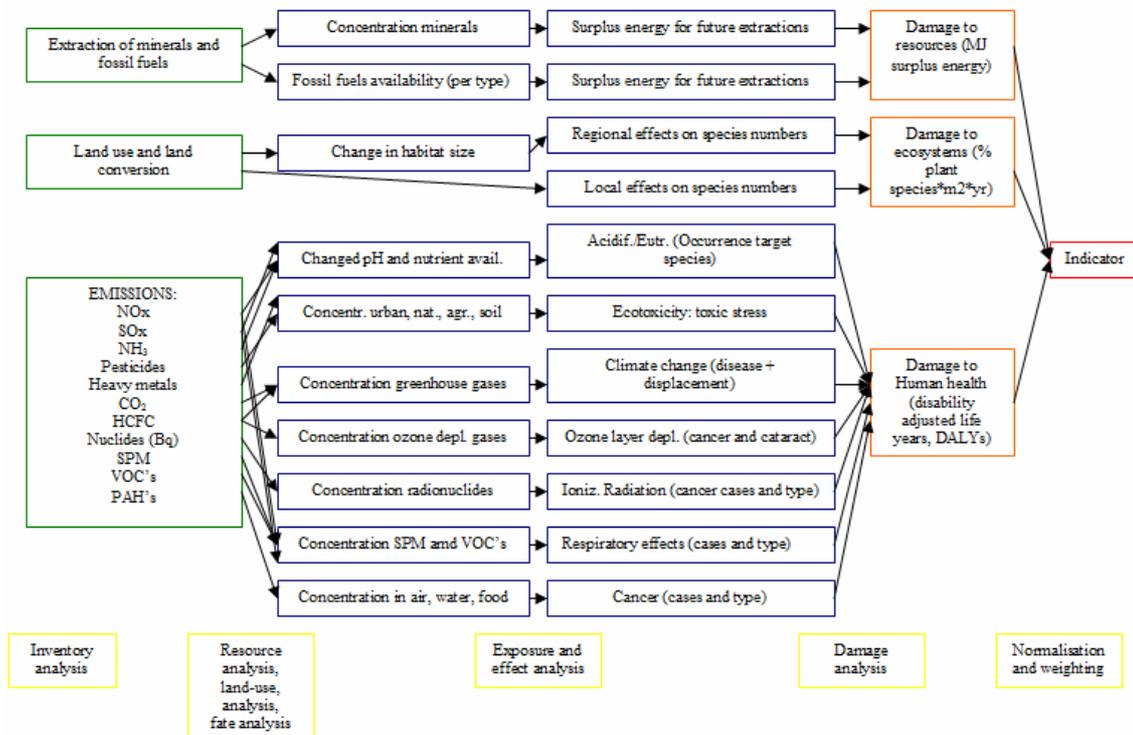


Figura 5.2 –Correlazione fra le categorie di impatto e le Categorie di Danno, metodo Ecoindicator99 [Ecoindicator99, 2011]

Segue una descrizione delle Categorie di Danno citate.

Per quantificare il danno legato alla Salute Umana arrecato dalla situazione ambientale circostante, è stata ideata una scala che di fatto misura la salute della popolazione. È evidente il livello di approssimazione necessario nell'imporsi un proposito di questo tipo, tuttavia si deduce anche che questa scala deve essere in grado di considerare almeno il numero di individui interessati da un dato problema ed il tempo di vita sana sottratto a ciascuno come infermità o morte prematura.

Un indicatore di questo genere è quello creato da Murray nel “Global Burden of Disease Study”.

Esso è costituito dal numero di DALY, cioè “Disability-Adjusted Life Years”, che “misura” un’infermità, invalidità o morte prematura a causa di una patologia.

Viene effettuata distinzione tra gli anni trascorsi da ammalato (YLD, Years Lived Disabled) e quelli di vita persi (YLL, Years of Life Lost).

Numerosi trattati hanno invece cercato di stabilire quali possano essere le condizioni che definiscono il benessere di un ecosistema, tuttavia, proprio per la loro complessità, essi restano e resteranno sistemi estremamente difficili da valutare.

Solitamente, il benessere di un ecosistema significa che animali e vegetali presenti non alterino la loro presenza in una determinata area, per cui è tale fattore che viene preso in considerazione.

Normalmente si distingue un'estinzione irreversibile da una scomparsa momentanea determinata da un certo stress ambientale. Ovviamente la prima situazione è quella più grave, ma è veramente difficile da modellare nel corso di un'analisi LCA, in quanto l'estinzione di una specie è frutto di numerosi parametri causati da un insieme di processi e quasi mai da uno soltanto. È invece plausibile che un singolo processo possa causare un impatto sufficiente a modificazioni temporanee della flora e della fauna. La misura del danno in un eco-sistema è espressa come: diminuzione relativa del Numero di Specie (espressa come frazione)* Area * Tempo.

Con il termine risorse si indicano infine le risorse minerali, ambientali e, soprattutto, quelle energetiche.

Il danno relativo a tale categoria viene quantificato mediante il concetto di "surplus energy", che è definito come la differenza fra l'energia necessaria oggi giorno all'estrazione di una certa risorsa e quella necessaria in futuro. Concretamente, ciò che si fa è calcolare il surplus di energia, valutato in MJ, che sarà necessario per estrarre 1 kg di materiale nel momento in cui il consumo di quel materiale sarà cinque volte superiore a quello estratto dall'umanità prima del 1990.

Il calo della qualità di una risorsa e l'aumento dello sforzo futuro necessario alla sua estrazione sono dunque considerati proporzionali.

Da questa filosofia di pensiero, emergono vantaggi e svantaggi: tutte le risorse sono considerate di pari importanza quando spesso ciò non è vero, e, non è prevista la loro possibile sostituzione una con l'altra, tuttavia si fa riferimento ad un problema reale, quello della sempre maggiore difficoltà di estrazione delle risorse e non si è eccessivamente legati alla situazione economica e alle eventuali circostanze particolari di un dato anno.

La fase di caratterizzazione può essere inoltre composta da alcuni stadi opzionali, quali normalizzazione, ponderazione ed aggregazione.

Normalizzazione significa che i valori ottenuti durante la fase di caratterizzazione vengono normalizzati, divisi cioè per un valore di riferimento, in modo da poter stabilire l'importanza relativa di ciascun effetto ambientale.

Ponderazione significa invece attuare operazioni di pesatura tra diverse categorie di impatto. I risultati della normalizzazione sono cioè moltiplicati per dei valori "peso", sulla base della criticità che si attribuisce a ciascuna categoria di impatto.

L'*aggregazione* è infine rappresentata dal raggruppamento di più categorie di impatto.

Un problema che può sorgere è quando una certa emissione, può contribuire a più fenomeni di impatto; la soluzione più semplice, in queste situazioni, è procedere all'aggregazione.

Per una maggior precisione nelle valutazioni, infatti, si devono identificare le parti del sistema che più contribuiscono all'impatto globale. Il processo di aggregazione favorisce l'espressione di giudizi più oggettivi, ad esempio, di comparazione tra due differenti processi.

5.5.4 METODI DISPONIBILI

Il vero e proprio calcolo viene effettuato utilizzando indicatori differenti in base al metodo scelto.

Uno dei metodi caratterizzati da un'amplia diffusione è l'Ecoindicator99, utilizzato per l'esecuzione di questo studio.

Esso è stato sviluppato dalla società Olandese Prè Consultant e deriva dall'aggiornamento e dallo sviluppo di un precedente metodo, l' Ecoindicator 95.

E' possibile impostarlo in 3 versioni, che verranno approfondite in seguito nel Paragrafo 5.6: ugualitaria (considera una prospettiva di medio termine); individualista (prospettiva di breve termine) e gerarchica (prospettiva di lungo termine).

Considera 3 categorie di danno (Salute umana, Qualità dell'ecosistema e Risorse) che a loro volta fanno riferimento a 11 categorie di impatto (Carcinogens, Respiratory organics, Respiratory inorganics, Climate Change, Ozone layer, Radiation, Acidification/eutrophication, Ecotoxicity, Land use, Minerals e Fossil fuels).

Uno dei grandi vantaggi del metodo Eco-Indicator99, è fornire anche a progettisti che non sono particolarmente esperti di materie ambientali, la possibilità di un approccio rapido ed intuitivo a questi problemi.

Il metodo Ecoindicator95 da cui trae origine, invece, fondava i propri criteri su una morte in eccesso per milione, per anno, % di degrado dell'ecosistema ed i periodi di smog evitati [*Ecoindicator99, 2011*].

Un altro metodo, successivo allo sviluppo dell'Ecoindicator99, è il ReCiPe.

Esso non è stato utilizzato per l'esecuzione di questo studio, in quanto essendo caratterizzato da differenti Categorie di impatto e differenti criteri di normalizzazione e ponderazione delle stesse, si è ritenuto più opportuno utilizzare il precedente.

Tuttavia, per la sua diffusione e le innovazioni che esso introduce, si ritiene interessante citarlo.

Esso è stato creato seguito della Conferenza SETAC tenutasi nel 2000 a Brighton, giuntisi alla conclusione che sarebbe stato utile avere un modello che comprendesse le strutture di midpoint (cioè le categorie di impatto) e quelle di endpoint (cioè le categorie di danno) in maniera tale che potessero essere unificati i progressi fatti con due metodi sviluppati precedentemente e molto diffusi, l'Eco-Indicator99 ed il CML.

Il metodo ReCiPe contiene 18 Categorie di impatto e 3 categorie di danno, le classiche "Salute umana", "Qualità dell'Ecosistema" e "Risorse".

È possibile impostarlo nelle 3 versioni, ugualitaria, individualista e gerarchica.

Segue ora una breve rassegna dei principali metodi sviluppati precedentemente.

Sono stati sviluppati numerosi altri metodi, tra cui il *CML method*, uno dei primi metodi elaborati, fu implementato in Olanda nel 1992.

Considera principalmente categorie legate al consumo di risorse e di energia ed all'inquinamento (effetto serra, ozono, tossicità umana, ecotossicità, smog, acidificazione, eutrofizzazione).

Il *CML 2 method* ne costituisce un aggiornamento ed ha la particolarità di contenere alcune categorie di impatto obbligatorie, altre addizionali ma dotate comunque di indicatori operativi ed altre ancora prive di indicatori, quindi di difficile inclusione in uno studio LCA [*ReCiPe, 2008*].

5.5.5 INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

È l'ultima fase di uno studio LCA, in cui si ragiona sui risultati ottenuti nelle fasi di Inventario e di Valutazione degli Impatti, al fine di trarne dei nessi da utilizzare come conclusioni e raccomandazioni.

Possono dunque essere valutate differenti tipologie di azioni per ridurre gli impatti del processo allo studio, focalizzandosi solitamente sul risparmio energetico e di materie

prime e sulla riduzione delle emissioni; è comunque sempre bene tenere a mente che i risultati di un LCA non si propongono di dare essi stessi una soluzione, ma vanno utilizzati come strumento, insieme a tanti altri di natura sociale, economica ecc., per prendere decisioni.

Non esistono inoltre schemi ufficiali, molto è quindi influenzato dalla soggettività dell'operatore.

I risultati, ovviamente, inoltre, non varranno su scala globale, ma saranno fortemente legati al contesto geografico ed impiantistico esaminato.

È importante identificare i fattori significativi di impatto, effettuare un controllo di completezza dei dati utilizzati, discutere i risultati di una eventuale analisi di sensibilità e valutare la coerenza tra i dati raccolti, le ipotesi effettuate ed i risultati dello studio.

Oltre a raccomandazioni e conclusioni, è infatti bene dare notizia delle limitazioni dello studio.

5.6 MODALITÀ DI VALUTAZIONE ED INTERPRETAZIONE

Lo sviluppo di un'analisi LCA deve tenere conto di tre settori della conoscenza umana, tre sfere di conoscenza separate, ma con forti legami una con l'altra: tecnosfera, ecosfera e sfera dei valori:

-la tecnosfera riguarda in maniera diretta l'esecuzione dell'LCA, la fase di inventario e la modellazione del processo e delle emissioni;

-l'ecosfera riguarda i danni ambientali e, più complessivamente, le modificazioni ambientali dovute ai processi, ad essa appartengono la maggioranza dei parametri che consentono di passare dalla tabella di inventario alla valutazione degli impatti;

-la sfera dei valori è una valutazione soggettiva della gravità delle modificazioni avvenute.

Le prime due sfere, quindi, si basano su una valutazione scientifica, mentre la terza è caratterizzata da un approccio più affine alle scienze sociali.

La tecnosfera è quella con percentuali di incertezza più basse, l'ecosfera, proprio per la sua complessità, è caratterizzata da maggiore incertezza, e dati in ingresso caratterizzati da maggiori incertezze, mentre la sfera dei valori è quella per definizione più soggettiva.

Quest'ultima è, però, indispensabile da considerare per costruire un unico indicatore a partire dalle tre categorie di danno, e decidere quindi quale peso attribuire a Salute Umana, Qualità dell'Ecosistema e Risorse.

Per rendere schematizzabile questo grado di soggettività, si è fatto ricorso al modello della Cultural Theory di Thompson.

Essa prevede tre differenti tipologie di approccio che gli individui possono avere con l'ambiente che li circonda: ugualitaria (prospettiva di medio termine); individualista (prospettiva di breve termine) e gerarchica (prospettiva di lungo termine), ciascuna di queste tre prospettive attribuisce pesi differenti a ciascuna categoria di danno.

I pesi sono riportati in Tabella 5.1:

Prospettiva	Salute Umana	Qualità Ecosistema	Risorse
Gerarchica	40	40	20
Ugualitaria	30	50	20
Individualista	55	25	20

Tabella 5.1 –Possibili prospettive culturali

Questi pesi derivano da mediazione di dati raccolti mediante questionari sottoposti ad individui-tipo delle varia categorie culturali.

È anche possibile calcolare le categorie di impatto secondo le varie visioni culturali [Pré, 2008].

5.7 TIPOLOGIE DI LCA

Un LCA può essere eseguito in maniera più o meno dettagliata in base all'obiettivo dello studio, al campo di applicazione, al suo utilizzo ecc. .

In particolare, sono state definite tre tipologie di LCA:

- 1) Simplified LCA (LCA semplificato): si tratta di uno studio breve, solitamente dura da alcune settimane ad un paio di mesi; spesso viene usato per delineare a grandi linee il carico ambientale di nuovi prodotti e servizi.
- 2) Screening LCA (LCA di selezione): è una tipologia di studio usato perlopiù per rispondere a domande specifiche sorte all'interno dell'azienda, ad esempio, relativamente all'individuazione di misure di miglioramento; in genere dura almeno un mese.
- 3) Detailed LCA (LCA dettagliato): viene effettuato quando è richiesta una valutazione completa dell'oggetto dello studio. Può durare fino ad un anno, in quanto molto tempo è richiesto anche per reperire i dati necessari ad uno studio completo.

5.8 LCA E SMALTIMENTO RIFIUTI

Come si sarà sicuramente capito, la metodologia LCA è stata sviluppata per valutare gli impatti ambientali di prodotti e processi e solo recentemente è stata applicata ai sistemi di smaltimento dei rifiuti, quale è la termovalorizzazione in questo studio.

Il rifiuto viene solitamente studiato da quando diventa tale, o eventualmente giunge all'impianto di trattamento di cui si vuole valutare l'impatto, come in questo caso, a quando cessa di essere rifiuto per divenire una nuova risorsa o semplicemente emissioni. All'interno della valutazione del ciclo di vita, vanno compresi i processi che interagiscono, sia quelli tipici di smaltimento (incenerimento, compostaggio, discarica...), che quelli connessi (produzione di energia elettrica, biogas ecc.) [Rigamonti L. et al., 2009].

5.9 STRUMENTO DI CALCOLO

Come strumento di calcolo è stato utilizzato il software SimaPro (7.3.3), prodotto dalla società olandese Prè Consultant e compatibile con il sistema operativo Windows.

Tale codice è stato sviluppato appositamente per la valutazione del ciclo di vita di prodotti e processi.

Si tratta di uno dei programmi attualmente più diffusi, utilizzato sia dalle grandi industrie che dai centri di ricerca.

Tra i suoi punti di forza, ci sono la possibilità di condurre un'analisi interattiva dei risultati, il grande database con cui viene fornito ed il fatto che segue le linee guida dettate dalle norme ISO 14040 e ISO 14044.

L'interfaccia è piuttosto intuitiva ed anche la fase di modellazione segue criteri logici.

Il software consente di modellare vari parametri, eseguire analisi di sensibilità, analisi di incertezza tramite il metodo di Monte Carlo, esportare su file Excel grafici e tabelle di dati, modificare le modalità di visualizzazione dei dati e presentare risultati raggruppati e rielaborati in maniera personalizzata.

È inoltre possibile costruire un albero di processo ed eseguire analisi relativamente al trattamento dei rifiuti.

All'interno del programma, i dati ed i metodi disponibili sono archiviati in files denominati "Libraries".

Il software fornisce infatti dati che possono essere eventualmente utilizzati tali quali o modificati.

La possibilità di creare nuovi processi o di modificare quelli esistenti adattandoli alla proprio caso è un altro notevole pregio di questo sistema di calcolo.

I diversi databases contenuti comprendono una vasta serie di categorie utili: materiali, combustibili, sistemi di trasporto e di smaltimento....

La creazione del modello del sistema avviene attraverso la costruzione di "Processes".

È poi possibile la costruzione di “Assemblies”, che non contengono dati, ma servono ad aggregare insieme differenti Processes per modellare processi di produzione, smaltimento o altro [Pré, 2007].

Come già accennato, oltre al vero e proprio codice di calcolo, il software contiene differenti databases sviluppati in epoche diverse e per situazioni geografiche differenti.

Il riferimento da noi utilizzato per i processi che abbiamo inserito derivano dalla banca dati “Ecoinvent”. Da tale banca dati sono anche stati presi in esame dei processi di cui non avevamo dati disponibili.

Ecoinvent è una banca dati di origine svizzera, ma attinente sia a processi esistenti in Svizzera che nell’Europa Occidentale.

I settori per i quali sono disponibili informazioni sono numerosi: energia, trasporti, materiali da costruzione, prodotti chimici, prodotti per il lavaggio, carta, agricoltura, trattamenti inquinanti, smaltimento [Ecoinvent, 2007].

PARTE SPERIMENTALE

CAPITOLO 6

GOAL AND SCOPE DEFINITION

Verranno ora fornite informazioni riguardo all'obiettivo dello studio ed al campo di applicazione.

6.1 DEFINIZIONE OBIETTIVO

Come già dichiarato nella sezione introduttiva, lo studio si propone di procedere ad una valutazione quanto più sistematica e completa dell'entità delle differenti tipologie di impatto ambientale relative all'attività dell'impianto di termovalorizzazione di Coriano in un arco di tempo definito.

La comparazione dei risultati ottenuti per i differenti anni considerati permette di raggiungere l'obiettivo dello studio, e cioè comprendere come sono variati gli impatti ambientali dell'impianto nel tempo a seguito delle operazioni di manutenzione e ristrutturazione.

Le motivazioni che hanno indotto a realizzare tale studio sono molteplici: innanzitutto, essendo notevolmente cambiata nel tempo la configurazione dell'impianto oggetto di studio, ed in particolare essendo state introdotte nel tempo tecnologie sempre più innovative per l'abbattimento degli inquinanti al camino, misure più efficaci per adeguare le attività con la buona pratica di combustione ed una sezione di recupero energetico sempre più efficiente, si è voluto comprendere quanto queste operazioni abbiano influito sull'impatto complessivo e quale effetto abbiano comportato sulle singole categorie di impatto.

Inoltre, poiché il settore dell'incenerimento è stato oggetto in passato, ed è tutt'ora oggetto di una vasta serie di studi di impatto ambientale, alcuni dei quali sono stati eseguiti in passato anche per lo stesso impianto esaminato, si è voluto verificare come le attività della struttura si inserivano nell'ambito di un contesto più ampio.

Infine si è voluto testare la possibilità di applicazione della metodologia LCA alla valutazione di un impianto di trattamento dei rifiuti, settore a cui è stata applicata solo recentemente, essendo stata inizialmente sviluppata ed impiegata per la valutazione di prodotti e servizi, creando un modello a partire dai processi pre-esistenti del software, ma modificandoli per poterli adattare ad una configurazione impiantistica differente.

6.2 DEFINIZIONE DEL CAMPO DI APPLICAZIONE

Si è scelto quindi di eseguire l'analisi LCA per un certo numero di anni, nel corso dei quali è noto si siano verificate mutazioni dell'impianto; gli anni considerati sono stati, come già citato nella Sezione "Introduzione e scopo della tesi", i seguenti: 1994, 1995, 1996, 2003, 2007, 2008, 2009, 2010 e 2011.

Per ciascuno di essi è stato considerato il rifiuto dal momento in cui giunge all'impianto a quello in cui lo abbandona come fumi al camino, refluvo in acqua e residuo solido.

A partire dal momento della sua installazione, è stato considerato anche il recupero energetico; per farlo è stato necessario estendere i confini del sistema alla produzione di energia elettrica in Italia, per comprendere quale fosse l'impatto evitato legato alla produzione di energia elettrica da parte dell'impianto rispetto a quello che si sarebbe avuto se la stessa quantità di energia fosse stata prodotta per via tradizionale.

Come verrà in seguito spiegato nel Capitolo 9 "Risultati e discussione" sono stati considerati per il medesimo anno, scenari con o senza recupero energetico per riuscire a valutare separatamente l'impatto delle operazioni di combustione e quello evitato dovuto al recupero energetico; inoltre sono stati analizzati in maniera isolata l'impatto evitato e l'impatto legato alla produzione di elettricità da mix nazionale.

La funzione principale del sistema che è stato studiato è quindi legata alle operazioni di combustione del rifiuto, abbinata al recupero energetico quando esistente.

Per quel che riguarda le operazioni di incenerimento, sono stati inclusi i processi legati alla generazione dei reattivi utilizzati, all'impiego di combustibili ausiliari, al trasporto dei residui solidi in discarica, al loro trattamento e dismissione, oltre come già detto, alle emissioni di differente natura.

Per quel che concerne la produzione di energia elettrica in Italia, essa è correlata principalmente al mix di produzione nazionale ed è sulla base di esso che gli impatti sono stati modellizzati.

Come unità funzionale è stata scelta 1 ton di RSU in ingresso all'impianto. Si tratta infatti di un'unità funzionale adeguata in quanto rappresentativa di ciò che è studiato e semplice da gestire, in quanto è possibile riferirvi in maniera diretta l'emissione di inquinanti mediante il Fattore di Emissione, così come ha senso riferire ad una certa quantità di rifiuto trattato il combustibile ausiliario, i reattivi utilizzati e l'energia prodotta.

La maggioranza dei dati utilizzati sono dati primari derivanti dalle Dichiarazioni Ambientali rilasciate dal Gestore al pubblico o questionari somministrati per studi precedenti; si tratta dunque di dati primari di elevata attendibilità.

Per altre informazioni di cui non erano noti i dettagli per l'impianto specifico inerenti prevalentemente l'effetto delle operazioni sulle risorse idriche negli anni più lontani sono stati assunti validi i dati contenuti nei databases del software; si è dunque fatto ricorso a dati secondari.

Per un minimo numero di informazioni relativo quasi esclusivamente al consumo di risorse quali aria ed acqua è stato necessario ricorrere ad approssimazioni per alcuni degli anni esaminati; sono stati dunque impiegati dati terziari.

Ciascun dato è stato associato ad un'incertezza specifica che lo descrive, la trattazione è possibile trovarla nel Paragrafo 7.7 del Capitolo 7, alla voce "Qualità dei dati".

È stato scelto di presentare i risultati ottenuti prevalentemente sotto forma di Grafici, in quanto particolarmente esplicativi nei confronti di ciò che ci si è proposto di analizzare e cioè la variazione delle diverse categorie di impatto negli anni, di immediata comprensione e leggibilità.

Ciascun Grafico è naturalmente corredato da una breve spiegazione ed interpretazione.

CAPITOLO 7

ANALISI DI INVENTARIO

Vengono ora riportati i dati utilizzati per la modellazione dell'impianto oggetto dello studio e dei processi ad esso correlati che sono stati inclusi nei confini del sistema.

Dall'attività di raccolta e riorganizzazione dei dati, è stato possibile delineare alcuni andamenti nei valori dei vari parametri presi in esame e valutare la loro correlazione con le diverse attività di ristrutturazione e rimodernamento dell'impianto che si sono succedute negli anni.

7.1. FLUSSI DI MASSA E DI ENERGIA

Innanzitutto sono riportate le tabelle con i flussi di massa ed energia (Tabelle 1-7) in entrata ed in uscita dall'impianto, da cui è già possibile trarre alcune considerazioni.

IN INGRESSO ALL'IMPIANTO						
	ANNO		ANNO			
	1994	1995	1994		1995	
	FLUSSI DI MASSA		FLUSSI DI ENERGIA			
Tipologia	Quantità (t)	Energia (MJ)	Rendimenti (%)	Energia (MJ)	Rendimenti (%)	
Rifiuti	81.778	98.222	821.181.965	-	1.027.402.120	-
Aria	746.347	831.564	65.948.151	-	73.478.051	-
Gasolio	150	190	6.276.000	-	7.949.600	-
Metano	-	-	-	-	-	-
Carbone attivo	15	19	-	-	-	-
Carbonato di sodio	1.600	1.850	-	-	-	-
Urea	-	-	-	-	-	-
Acqua	7.191	10.317	-	-	-	-
TOTALE	837.081	942.162	893.406.116	-	1.108.829.771	
IN USCITA DALL'IMPIANTO						
	ANNO		ANNO			
	1994	1995	1994		1995	
	FLUSSI DI MASSA		FLUSSI DI ENERGIA			
Tipologia	Quantità (t)	Energia (MJ)	Rendimenti (%)	Energia (MJ)	Rendimenti (%)	
Fumi umidi	809.598	903.965	234.454.214	26	261.851.893	24
Polveri	2.628	2.827	-	-	-	-
Scorie spente	22.080	31.239	9.238.272	1	13.103.074	1
Acqua dalla fossa scorie	0	198	-	-	-	-
Evaporazione	2.775	3.934	42.426.775	5	165.859.263	15
TOTALE	837.081	942.163	286.119.261	32	440.814.230	40
			Rendimento di caldaia (%)		Rendimento di caldaia (%)	

	-	-	-	68	-	60
ENERGIA TRASFORMATA IN CALDAIA	-	-	607.286.855	-	668.015.540	-
Impianto di recupero energetico non attivo						
<i>Flussi all'interno dell'impianto</i>						
Scorie accese	17.664	25.054	-	-	-	-

Tabella 7.1 – Bilanci di massa ed energia, 1994-1995

IN INGRESSO ALL'IMPIANTO						
	ANNO		ANNO			
	1996	Media periodo 1994-1996	1996		Media periodo 1994-1996	
	FLUSSI DI MASSA		FLUSSI DI ENERGIA			
Tipologia	Quantità (t)		Energia (MJ)	Rendimenti (%)	Energia (MJ)	Rendimenti (%)
Rifiuti	103.197	103.197	1.079.440.620	-	976.008.235	-
Aria	879.528	879.528	77.716.167	-	72.380.789	-
Gasolio	226	226	9.455.840	-	7.893.813	-
Metano	-	-	-	-	-	-
Carbone attivo	19	19	-	-	-	-
Carbonato di sodio	1.800	1.800	-	-	-	-
Urea	-	-	-	-	-	-
Acqua	10.091	10.091	-	-	-	-
TOTALE	994.861	994.861	1.166.612.627	-	1.056.282.838	-
IN USCITA DALL'IMPIANTO						
	ANNO		ANNO			

	1996	Media periodo 1994-1996	1996	Media periodo 1994-1996		
	FLUSSI DI MASSA		FLUSSI DI ENERGIA			
Tipologia	Quantità (t)		Energia (MJ)	Rendimenti (%)	Energia (MJ)	Rendimenti (%)
Fumi umidi	957.849	957.849	275.752.639	24	257.352.916	24
Polveri	2.682	2.682	-	-		
Scorie spente	30.299	30.299	12.677.102	1	11.672.816	1
Acqua dalla fossa scorie	228	228	-	-		
Evaporazione	3.804	3.804	119.074.317	10	109.120.118	10
TOTALE	994.862	994.862	407.504.058	35	378.145.850	36
				Rendimento di caldaia (%)		
	-	-		65		64
ENERGIA TRASFORMATA IN CALDAIA	-	-	759.108.569	-	678.136.988	-
Impianto di recupero energetico non attivo						
<i>Flussi all'interno dell'impianto</i>						
Scorie accese	24.239	24.239	-	-		

Tabella 7.2 – Bilanci di massa ed energia, 1996, media 1994-1996

IN INGRESSO ALL'IMPIANTO			
	2003		2003
	FLUSSI DI MASSA		FLUSSI DI ENERGIA
	Tipologia	Quantità (t)	Energia (MJ) Rendimenti (%)
Rifiuti	116.600	1.268.421.440	-
Aria	1.014.420	89.688.224	-
Gasolio	48	2.048.486	-
Metano	67	16.568.640	-
Carbone attivo	52	-	-
Carbonato di sodio	1.640	-	-
Urea	784	-	-
Acqua	14.500	-	-
TOTALE	1.148.111	1.376.726.790	
IN USCITA DALL'IMPIANTO			
	2003		2003
	FLUSSI DI MASSA		FLUSSI DI ENERGIA
	Tipologia	Quantità (t)	Energia (MJ) Rendimenti (%)
Fumi umidi	1.107.700	320.201.520	23
Polveri	2.450	-	-
Scorie spente	35.700	14.949.432	1
Acqua dalla fossa scorie	-	-	-
Evaporazione	3.800	112.419.896	8
TOTALE	1.149.650	447.570.848	33
			Rendimento di caldaia (%)
	-	-	67
ENERGIA TRASFORMATA IN CALDAIA	-	929.155.942	-
			Rendimento produzione elettricità (%)
	-		12
<i>Flussi all'interno dell'impianto</i>			
Scorie accese	-	-	-

Tabella 7.3 – Bilanci di massa ed energia, 2003

IN INGRESSO ALL'IMPIANTO						
	ANNO		ANNO			
	2007	2008	2007		2008	
	FLUSSI DI MASSA		FLUSSI DI ENERGIA			
Tipologia	Quantità (t)	Energia (MJ)	Rendimenti (%)	Energia (MJ)	Rendimenti (%)	
Rifiuti	121.334	37.729	1.269.153.640	-	394.645.340	-
Aria	1.055.606	328.242	93.288.580	-	29.008.232	-
Gasolio	48	46	2.067.691	-	1.984.258	-
Metano	66	90	16.180.140	-	22.091.520	-
Carbone attivo	60	24	-	-	-	-
Carbonato di sodio	1.766	516	-	-	-	-
Urea	893	247	-	-	-	-
Acqua	31.914	21.491	-	-	-	-
TOTALE	1.211.687	388.386	1.380.690.051	-	447.729.350	-
IN USCITA DALL'IMPIANTO						
	ANNO		ANNO			
	2007	2008	2007		2008	
	FLUSSI DI MASSA		FLUSSI DI ENERGIA			
Tipologia	Quantità (t)	Energia (MJ)	Rendimenti (%)	Energia (MJ)	Rendimenti (%)	
Fumi umidi	1.147.820	356.916	331.779.149	26	103.167.253	26
Polveri	3.276	1.019	-	-	-	-
Scorie spente	36.036	11.206	15.090.060	1	4.692.278	1
Acqua dalla fossa scorie	255	79	-	-	-	-
Evaporazione	4.368	1.358	129.223.573	10	40.182.275	10
TOTALE	1.191.755	370.578	476.092.782	38	148.041.807	38
				Rendimento di caldaia (%)		Rendimento di caldaia (%)
			-	62	-	62

ENERGIA TRASFORMATA IN CALDAIA (controllo)			904.597.269	-	299.687.543	-
				Rendimento produzione elettricità (%)		Rendimento produzione elettricità (%)
				16		15
<i>Flussi all'interno dell'impianto</i>						
Scorie accese	25.946	8.068	-	-	-	-

Tabella 7.4 – Bilanci di massa ed energia, 2007-2008

IN INGRESSO ALL'IMPIANTO						
	ANNO		ANNO			
	2009	Media periodo 2007-2009	2009		Media periodo 2007-2009	
	FLUSSI DI MASSA		FLUSSI DI ENERGIA			
Tipologia	Quantità (t)		Energia (MJ)	Rendimenti (%)	Energia (MJ)	Rendimenti (%)
Rifiuti	69.793	69.793	730.034.780	-	797.944.587	-
Aria	607.199	607.199	53.660.885	-	58.652.566	-
Gasolio	33	33	1.414.736	-	1.822.228	-
Metano	32	32	7.976.419	-	15.416.026	-
Carbone attivo	36	36	-	-	-	-
Carbonato di sodio	745	745	-	-	-	-
Urea	634	634	-	-	-	-
Acqua	32.240	32.240	-	-	-	-
TOTALE	710.712	710.712	793.086.821	-	873.835.407	-
IN USCITA DALL'IMPIANTO						
	ANNO		ANNO			

	2009	Media periodo 2007-2009	2009		Media periodo 2007-2009	
	FLUSSI DI MASSA		FLUSSI DI ENERGIA			
Tipologia	Quantità (t)		Energia (MJ)	Rendimenti (%)	Energia (MJ)	Rendimenti (%)
Fumi umidi	660.242	660.242	190.843.969	26	208.596.791	26
Polveri	1.884	1.884	-	-		
Scorie spente	20.729	20.729	8.680.012	1	9.487.450	1
Acqua dalla fossa scorie	147	147	-			
Evaporazione	2.513	2.513	74.331.192	10	81.245.680	10
TOTALE	685.514	685.514	273.855.173	38	299.329.920	38
				Rendimento di caldaia (%)		Rendimento di caldaia (%)
				62		62
ENERGIA TRASFORMATA IN CALDAIA (controllo)			519.231.648	-	574.505.487	-
				Rendimento produzione elettricità (%)		Rendimento produzione elettricità (%)
				15		15
<i>Flussi all'interno dell'impianto</i>						
Scorie accese	14.925	14.925	-	-	-	-

Tabella 7.5 – Bilanci di massa ed energia, 2009, media 2007-2009

IN INGRESSO ALL'IMPIANTO						
	ANNO		ANNO			
	2010	OTTOBRE-DICEMBRE 2010 (Linea 4 a regime)	2010		OTTOBRE-DICEMBRE 2010 (Linea 4 a regime)	
	FLUSSI DI MASSA		FLUSSI DI ENERGIA			
Tipologia	Quantità (t)	Quantità (t)	Energia (MJ)	Rendimenti (%)	Energia (MJ)	Rendimenti (%)
Rifiuti	109.583	28.004	933.496.374	-	238.554.752	-
Aria	953.372	243.634	84.253.733	-	21.531.019	-
Gasolio	23	6	961.295	-	245.659	-
Metano	1.399	358	67.070.392	-	17.145.170	-
Carbone attivo	67	17	-	-	-	-
Carbonato di sodio	923	236	-	-	-	-
Urea	355	91	-	-	-	-
Acqua	81.765	20.895	-	-	-	-
TOTALE	1.147.486	293.240	1.085.781.793	-	277.476.601	-
IN USCITA DALL'IMPIANTO						
	ANNO		ANNO			
	2010	OTTOBRE-DICEMBRE 2010 (Linea 4 a regime)	2010		OTTOBRE-DICEMBRE 2010 (Linea 4 a regime)	
	FLUSSI DI MASSA		FLUSSI DI ENERGIA			
Tipologia	Quantità (t)	Quantità (t)	Energia (MJ)	Rendimenti (%)	Energia (MJ)	Rendimenti (%)
Fumi umidi	1.036.655	264.917	299.646.880	32	76.574.681	32
Polveri	1.450	370	-	-	-	-
Scorie spente	26.345	6.732	11.031.897	1	2.819.198	1
Acqua dalla fossa scorie	231	59	-	-	-	-

Evaporazione	3.945	1.008	116.708.480	13	29.824.821	13
TOTALE	1.068.625	273.087	427.387.257	46	109.218.701	46
				Rendimento di caldaia (%)		Rendimento di caldaia (%)
			-	54		54
ENERGIA TRASFORMATA IN CALDAIA			658.394.536	-	168.257.900	-
				Rendimento produzione elettricità (%)		Rendimento produzione elettricità (%)
				13		23
<i>Flussi all'interno dell'impianto</i>						
Scorie accese	18.968	4.847	-	-		

Tabella 7.6 – Bilanci di massa ed energia, 2010, 2010 solo Linea 4 a regime

IN INGRESSO ALL'IMPIANTO			
	ANNO		ANNO
	2011		2011
	FLUSSI DI MASSA		FLUSSI DI ENERGIA
Tipologia	Quantità (t)	Energia (MJ)	Rendimenti (%)
Rifiuti	114.378	974.339.351	-
Aria	995.085	87.940.061	-
Gasolio	2	70.843	-
Metano	720	34.518.000	-
Carbone attivo	52	-	-
Carbonato di sodio	795	-	-
Urea	350	-	-
Acqua	28.683	-	-
TOTALE	1.140.064	1.096.868.255	-
IN USCITA DALL'IMPIANTO			
	ANNO		ANNO
	2011		2011
	FLUSSI DI MASSA		FLUSSI DI ENERGIA
Tipologia	Quantità (t)	Energia (MJ)	Rendimenti (%)
Fumi umidi	1.082.012	312.757.237	32
Polveri	5.319	-	-
Scorie spente	26.773	11.211.121	1
Acqua dalla fossa scorie	241	-	-
Evaporazione	4.118	121.814.790	13
TOTALE	1.118.462	445.783.148	46
			Rendimento di caldaia (%)
			54
ENERGIA TRASFORMATA IN CALDAIA		651.085.107	-
			Rendimento produzione elettricità (%)
			24
<i>Flussi all'interno dell'impianto</i>			
Scorie accese	19.277	-	-

Tabella 7.7 – Bilanci di massa ed energia, 2011

Innanzitutto si nota che il bilancio di massa è soddisfatto in maniera molto soddisfacente per il periodo 1994-1996 e 2003 (Tabelle 7.1-7.3), mentre, per quel che riguarda gli anni 2007-2009, 2010 e 2011 (Tabelle 7.4-7.7) si osservano leggeri scostamenti tra i valori di massa in ingresso ed in uscita. Questa discrepanza è dovuta al fatto che mentre per i primi anni i dati furono ottenuti analiticamente sottoponendo appositi questionari ai gestori dell'impianto, negli anni successivi i dati sono stati ricavati perlopiù dalle

dichiarazioni ambientali rese pubbliche da HERA, mancanti di alcuni parametri meno significativi dal punto di vista della divulgazione al pubblico; ciò ha comportato una maggiore incertezza di alcune variabili, i cui valori sono stati stimati da quelli degli anni precedenti, avendo registrato in molti casi un rapporto costante che si manteneva negli anni.

Al di là di questo, risulta evidente che la quantità di rifiuti inceneriti è andata crescendo via via nel tempo; considerando il periodo durante il quale l'impianto ha funzionato con tre linee a regime, si è passati dalle 81778 ton/anno del 1994 (Tabella 7.1) alle 121334 ton/anno del 2007 (Tabella 7.5); una leggera flessione è stata osservata negli anni più recenti, ad esempio emerge per il 2011, con 114378 ton di rifiuti trattate con impianto a regime e Linea 4 attiva, dovuta verosimilmente ad una complessiva minore produzione dei rifiuti causata dalla crisi economica ed ad un miglioramento del recupero derivante dalla raccolta differenziata.

Il crollo della quantità di rifiuti inceneriti nel 2008 (Tabella 7.4) è naturalmente da attribuirsi al fermo impianto ed al riavvio di una sola linea, così come nel 2009 (Tabella 7.5), una sola linea, la 3, ha incenerito 69793 ton di rifiuti.

Per quel che riguarda l'anno 2010 (Tabella 7.6), sono state riportate due serie di dati, in quanto, poiché l'impianto ha funzionato in condizioni di non-regime durante tutto il periodo di avviamento della Linea 4 e spegnimento della Linea 3, da Giugno ad Ottobre 2010, ed i monitoraggi durante i periodi di avviamento o fermo impianto non sono effettuati poiché non previsti dalla legge, la modellazione è stata effettuata considerando il solo periodo di funzionamento della Linea 4 a regime (Ottobre-Novembre 2010), per i quali erano noti i dati di emissione al camino.

Tutta la modellazione relativa al 2010, dunque è calcolata basandosi sui dati di tale periodo e da questo punto in poi vi si farà riferimento semplicemente come 2010, salvo ulteriori specifiche.

Naturalmente il trend descritto sopra si riscontra anche nel quantitativo di reattivi utilizzati per la depurazione dei fumi (carbone attivo, carbonato di sodio ed urea), la cui quantità è necessariamente proporzionale alla quantità di fumi prodotti e quindi di rifiuti bruciati.

Nel 2010 (tabella 7.6) si osserva una flessione del consumo di urea, dovuta probabilmente all'attivazione del nuovo sistema di depurazione fumi della nuova linea 4 (Tabella 7); tale diminuzione si è mantenuta anche per il 2011.

Il maggior quantitativo di metano utilizzato nel 2008 (Tabella 7.4) e soprattutto nel 2010 (Tabella 7.6) è attribuito ai numerosi fermo-impianto e riavviamenti che si sono verificati in quei due anni.

Anche l'utilizzo di acqua è proporzionale alla quantità di rifiuti trattati, mentre, per quel che riguarda polveri e scorie spente, sebbene resta questa inevitabile correlazione, tuttavia risulta meno evidente ed immediata, in quanto si riscontrano fluttuazioni dovute anche alla composizione dei rifiuti trattati ed alle condizioni di combustione.

Per quel che riguarda i bilanci di energia, un dato di primaria importanza da prendere in considerazione è quello relativo al PCI del rifiuto.

Sempre dai dati riportati nelle Tabelle 1-7, si denota che nel 1994 è stato considerato un PCI pari a 2400Kcal/kg, mentre nel 1995 e 1996 tale valore è stato considerato pari a 2500 Kcal/Kg. Nel 2003 è stato assunto un PCI dei rifiuti trattati pari a 2600Kcal/kg, nel periodo 2007-2009, tale valore è stato ancora attestato essere 2500 kcal/kg; tali valori comunque non troppo dissimili tra di loro, sono probabilmente imputabili alla differente composizione merceologica dei rifiuti. Nel 2010 è stato reso noto un PCI = 2036Kcal/Kg, valore a cui sono stati approssimati anche i calcoli per l'anno successivo.

Dai bilanci di energia si vede che il rendimento di caldaia si è mantenuto più o meno stabile tra il 60 ed il 67%, mentre, per quel che riguarda la produzione di energia elettrica, si è passati dal rendimento del 12,38% del 2003, al 15% circa del periodo 2007-2009 al 24% del 2011.

Il minor rendimento dell'anno 2010 considerato complessivamente (13%) è causato dal fatto che nella messa in funzione della Linea 4 nel 2010, durante il periodo di avviamento, non è stata recuperata l'energia dei fumi della suddetta linea. Se si considera solamente il periodo in cui la Linea 4 ha funzionato a regime, invece, l'efficienza è elevata e si attesta al 23%. Nel 2011 viene confermata l'elevata efficienza energetica raggiunta con un valore di rendimento pari al 24%.

7.2 CONSUMO E PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA

Sono sotto riportati a titolo informativo, i dati relativi all'energia elettrica prodotta dall'impianto sulla base dei quali è stato effettuato il calcolo dell'efficienza energetica relativamente ai cui valori, per i diversi anni, si è parlato nel paragrafo 7.1 (Tabella 7.8).

	2003	2007	2008	2009	2010	RENDIMENTO LINEA 4 VECCHIA TURBINA (Dati Gennaio-Febbraio 2011)	2011
Energia elettrica							
	Energia (MWh)	Energia (MWh)	Energia (MWh)	Energia (MWh)	Energia (MWh)	Energia (MWh)	Energia (MWh)
Prodotta	43645	55593	16983	31310	34301	7547	66011
Autoconsumi	10078	12101	3748	7727	11391	3412	15489
Netta	33567	43492	13235	23583	22910	4135	50522
MWh/tonnellata incenerita	0,288	0,358	0,351	0,338	0,209	0,298	0,442
Rendimento energetico							
pci (cal/Kg)	2600000	2500000	2500000	2500000	2036000	2036000	2036000
Quantità rifiuti (t)	116600	121334	37729	69793	109.583	13887	114377
Energia (Kcal)	3,0316E+11	3,03335E+11	94322500000	1,74483E+11	2,23111E+11	2,82739E+10	2,32872E+11
Conversione	0,001163	0,001163	0,001163	0,001163	0,001163	0,001163	0,001163
Tot. Energia teorica (MW/h)	352575	352779	109697	202923	259478	32883	270830
Tot. Energia prodotta (MW/h)	43645	55593	16983	31310	34301	7547	66011
Tot. Energia venduta (MW/h)	33567	43492	13235	23583	22910	4135	50522
Rendimento totale (%)	0,12	0,16	0,15	0,15	0,13	0,23	0,24
Rendimento netto (%)	0,10	0,12	0,12	0,12	0,09	0,13	0,19

Tabella 7.8- Energia elettrica prodotta e calcolo dell'efficienza, 1994-1996, 2003, 2007-2011

7.3 MIX ENERGETICO ITALIANO PER LA PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA

Per poter valutare l'impatto evitato, dovuto alla produzione di energia elettrica da parte dell'impianto, oltre a sapere la quantità di energia prodotta dal termovalorizzatore, è necessario conoscere come il mix energetico italiano è cambiato nel tempo; a tale scopo, rielaborando i dati resi noti da Terna, è stata calcolata la percentuale di energia prodotta dalle principali fonti energetiche per gli anni considerati.

I risultati sono riportati sotto (Tabelle 7.9-7.19).

ANNO	1994		
TIPOLOGIA	POTENZA (GWh)	%	QUANTITA' COMBUSTIBILE (t*10 ⁹) o (m ³ *10 ⁶)
Idroelettrica	47731	20,59	
Termoelettrica	180648	77,93	
<i>Sottocategorie term.</i>			
Carbone e lignina	19856	8,57	7346
Gas naturale	40404	17,43	9774
Gas derivati	3027	1,31	6969
Prodotti petroliferi	114804	49,53	24884
Altro -Petrolifero	2245	0,97	1026
Geotermica	3417	1,47	
Eolica e fotovoltaica	8	0,0035	
Totale	231804	100,00	

Tabella 7.9 -Mix energetico italiano, 1994

ANNO	1995		
TIPOLOGIA	POTENZA (GWh)	%	QUANTITA' COMBUSTIBILE (t*10 ⁹) o (m ³ *10 ⁶)
Idroelettrica	41907	17,35	
Termoelettrica	196123	81,22	
<i>Sottocategorie term.</i>			
Carbone e lignina	24122	9,99	8596
Gas naturale	46442	19,23	11277
Gas derivati	3443	1,43	7601
Prodotti petroliferi	119078	49,31	26112
Altro -Petrolifero	2669	1,11	1503
Geotermica	3436	1,42	
Eolica e fotovoltaica	14	0,0058	
Totale	241480	100,00	

Tabella 7.10 -Mix energetico italiano, 1995

ANNO	1996		
TIPOLOGIA	POTENZA (GWh)	%	QUANTITA' COMBUSTIBILE (t*10 ⁹) o (m ³ *10 ⁶)
Idroelettrica	47072	19,26	
Termoelettrica	193551	79,19	
<i>Sottocategorie term.</i>			
Carbone e lignina	22088	9,04	7881
Gas naturale	49725	20,34	11861
Gas derivati	3243	1,33	6866
Prodotti petroliferi	115373	47,20	25216
Altro -Petrolifero	2785	1,14	1424
Geotermica	3762	1,54	
Eolica e fotovoltaica	39	0,016	
Totale	244424	100,00	

Tabella 7.11 -Mix energetico italiano, 1996

ANNO	MEDIA ANNI '90		
TIPOLOGIA	POTENZA (GWh)	%	QUANTITA' COMBUSTIBILE (t*10 ⁹) o (m ³ *10 ⁶)
Idroelettrica	45570	19,04	
Termoelettrica	190107	79,46	
<i>Sottocategorie term.</i>			
Carbone e lignina	22022	9,20	7941
Gas naturale	45524	19,02	10971
Gas derivati	3238	1,35	7145
Prodotti petroliferi	116418	48,66	25404
Altro -Petrolifero	2566	1,07	1317
Geotermica	3538	1,47	
Eolica e fotovoltaica	20	0,0085	
Totale	239236	100	

Tabella 7.12 -Mix energetico italiano, media 1994-1996

ANNO	2003		
TIPOLOGIA	POTENZA (GWh)	%	QUANTITA' COMBUSTIBILE (t*10 ⁹) o (m ³ *10 ⁶)
Idroelettrica	44277	15,07	
Termoelettrica	242784	82,62	
<i>Sottocategorie term.</i>			
Carbone e lignina	38813	13,21	14252
Gas naturale	117301	39,92	25534
Gas derivati	5304	1,80	10479
Prodotti petroliferi	65771	22,38	14993
Altro -Petrolifero	14707	5,00	12588

Geotermica	5340	1,82	
Eolica e fotovoltaica	1463	0,50	
Totale	293864	100,00	

Tabella 7.13 -Mix energetico italiano, 2003

ANNO	2007		
TIPOLOGIA	POTENZA (GWh)	%	QUANTITA' COMBUSTIBILE (t*10⁹) o (m³*10⁶)
Idroelettrica	38481	12,26	
Termoelettrica	265764	84,67	
<i>Sottocategorie term.</i>			
Carbone e lignina	44112	14,05	16886
Gas naturale	172646	55,00	33957
Gas derivati	5645	1,80	11353
Prodotti petroliferi	22865	7,28	5292
Altro -Petrolifero	19474	6,20	17490
Geotermica	5569	1,77	
Eolica e fotovoltaica	4073	1,30	
Totale	313887	100,00	

Tabella 7.14 -Mix energetico italiano, 2007

ANNO	2008		
TIPOLOGIA	POTENZA (GWh)	%	QUANTITA' COMBUSTIBILE (t*10⁹) o (m³*10⁶)
Idroelettrica	47227	14,80	
Termoelettrica	261328	81,89	
<i>Sottocategorie term.</i>			
Carbone e lignina	43074	13,50	16878
Gas naturale	172697	54,12	33706
Gas derivati	5543	1,74	10648
Prodotti petroliferi	19195	6,01	4366
Altro -Petrolifero	19903	6,24	16520
Geotermica	5520	1,73	
Eolica e fotovoltaica	5054	1,58	
Totale	319129	100,00	

Tabella 7.15 -Mix energetico italiano, 2008

ANNO	2009		
TIPOLOGIA	POTENZA (GWh)	%	QUANTITA' COMBUSTIBILE (t*10⁹) o (m³*10⁶)
Idroelettrica	53443	18,26	
Termoelettrica	226638	77,45	

<i>Sottocategorie term.</i>			
Carbone e lignina	39745	13,58	15218
Gas naturale	147270	50,32	28634
Gas derivati	3701	1,26	6661
Prodotti petroliferi	15878	5,43	3715
Altro -Petrolifero	19442	6,64	14789
Geotermica	5342	1,83	
Eolica e fotovoltaica	7219	2,47	
Totale	292642	100,00	

Tabella 7.16 -Mix energetico italiano, 2009

ANNO	MEDIA ANNI 2007-2008-2009		
TIPOLOGIA	POTENZA (GWh)	%	QUANTITA' COMBUSTIBILE (t*10 ⁹) o (m ³ *10 ⁶)
Idroelettrica	46384	15,03	
Termoelettrica	251243	81,42	
<i>Sottocategorie term.</i>			
Carbone e lignina	42310	13,71	16327
Gas naturale	164204	53,21	32099
Gas derivati	4963	1,60	9554
Prodotti petroliferi	19313	6,25	4457
Altro -Petrolifero	19606	6,35	16266
Geotermica	5477	1,77	
Eolica e fotovoltaica	5449	1,76	
Totale	308553	100	

Tabella 7.17 -Mix energetico italiano, media 2007-2009

ANNO	2010		
TIPOLOGIA	POTENZA (GWh)	%	QUANTITA' COMBUSTIBILE (t*10 ⁹) o (m ³ *10 ⁶)
Idroelettrica	54407	18,06	
Termoelettrica	230471	76,50	
<i>Sottocategorie term.</i>			
Carbone e lignina	39734	13,19	14998
Gas naturale	152737	50,70	29630
Gas derivati	4731	1,57	8822
Prodotti petroliferi	9908	3,29	2152
Altro -Petrolifero	23361	7,75	18160
Geotermica	5376	1,78	
Eolica e fotovoltaica	11032	3,66	
Totale	301286	100,00	

Tabella 7.18 -Mix energetico italiano, 2010

ANNO	2011		
TIPOLOGIA	POTENZA (GWh)	%	QUANTITA' COMBUSTIBILE (t*10 ⁹) o (m ³ *10 ⁶)
Idroelettrica	47672	16,49	
Termoelettrica	217369	75,17	
<i>Sottocategorie term.</i>			
Carbone e lignina	36953	12,78	-
Gas naturale	143463	49,61	-
Gas derivati	4347	1,50	-
Prodotti petroliferi	13042	4,51	-
Altro -Petrolifero	19563	6,77	-
Geotermica	5307	1,84	
Eolica e fotovoltaica	18818	6,51	
Totale	289166	100,00	

Tabella 7.19 -Mix energetico italiano, 2011

È comunque sempre importante tenere a mente che circa il 15% dell'energia di cui l'Italia necessita è direttamente importata dall'estero, soprattutto da Francia, Svizzera, Slovacchia e Slovenia, dove viene prevalentemente prodotta per via nucleare.

In ogni caso, nei riguardi della produzione italiana, per una valutazione più immediata sulle variazioni nel tempo, è stato utile costruire diagrammi con la % di energia prodotta con una data risorsa in ordinata ed in ascissa la scala temporale.

I risultati sono riportati sotto (Figura 7.1).

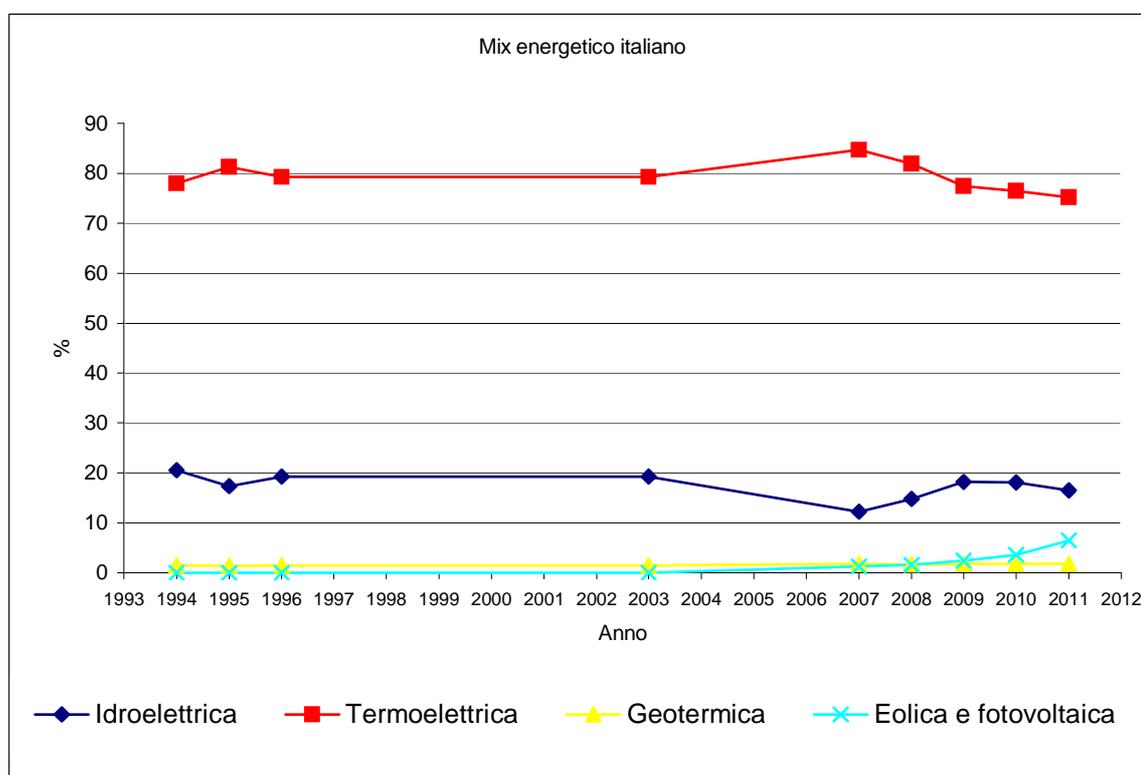


Figura 7.1 – Mix energetico italiano, 1994-2011

La prima cosa che risulta evidente è che la maggior parte dell'energia elettrica prodotta in Italia è di origine termoelettrica: il quantitativo di energia prodotta con questa tecnologia è aumentato nel tempo, fino alla leggera flessione visibile nel 2008 e la flessione più evidente registrata negli anni successivi, a causa della sempre maggiore diffusione delle tecnologie rinnovabili.

In netta crescita è infatti la quantità di energia prodotta per via eolica e fotovoltaica, mentre, per quanto riguarda la geotermia, la quantità di energia prodotta negli anni '90 è stata pressoché stabile e molto bassa, forse per le difficoltà tecnologiche di tale metodologia, mentre, a partire dal 2003, si è notata una debole progressiva crescita.

Complessivamente stabile nel tempo è anche la quantità di energia prodotta tramite centrali idroelettriche, la cui saturazione del territorio è oramai molto elevata.

Volendo analizzare più nel dettaglio la situazione, si può andare a considerare la quantità di energia prodotta con le varie tecnologie termoelettriche sul totale di energia prodotta in Italia (Figura 7.2).

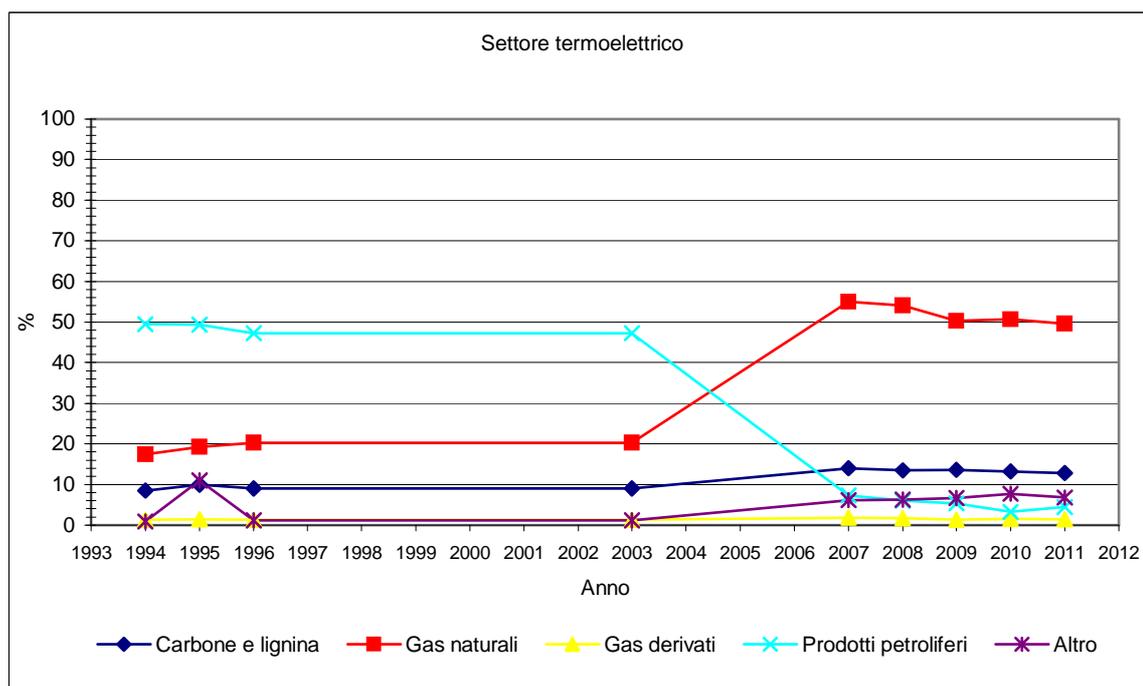


Figura 7.2 –Italia, settore termoelettrico, 1994-2011

Dalla Figura 7.2 si riscontra un fenomeno interessante: il crollo, successivamente al 2003, della produzione di energia elettrica a partire da petrolio e l'aumento vertiginoso dell'utilizzo di gas naturale.

Ciò è, effettivamente, in linea con la decisione di Enel di dismettere le vecchie centrali a olio combustibile e attivarne di nuove a gas, sia per una riduzione degli impatti ambientali, associata alle minori emissioni di particolato, che per un aumento

dell'efficienza e, non ultima, per una questione di carattere economico, infatti il gas è disponibile ad un prezzo inferiore rispetto all'olio combustibile.

In leggera crescita è anche l'utilizzo di lignina ed altri combustibili, mentre è pressoché stabile quella dei gas derivati.

Dai dati riportati nelle Tabelle 9-19 e messi in grafico (Figura 7.3), si riscontra chiaramente un aumento della quantità complessiva di energia prodotta, dai 231804 GWh del 1994 ai 292642 GWh del 2009, ai 289166GWh del 2011, con l'andamento riportato nel grafico sotto. [TERNA, 2011]; [IEA, 2011]. La debole diminuzione degli ultimi anni può essere dovuta sia all'utilizzo di apparecchiature più efficienti che richiedono meno energia, sia alla minor richiesta industriale dovuta alla crisi economica.

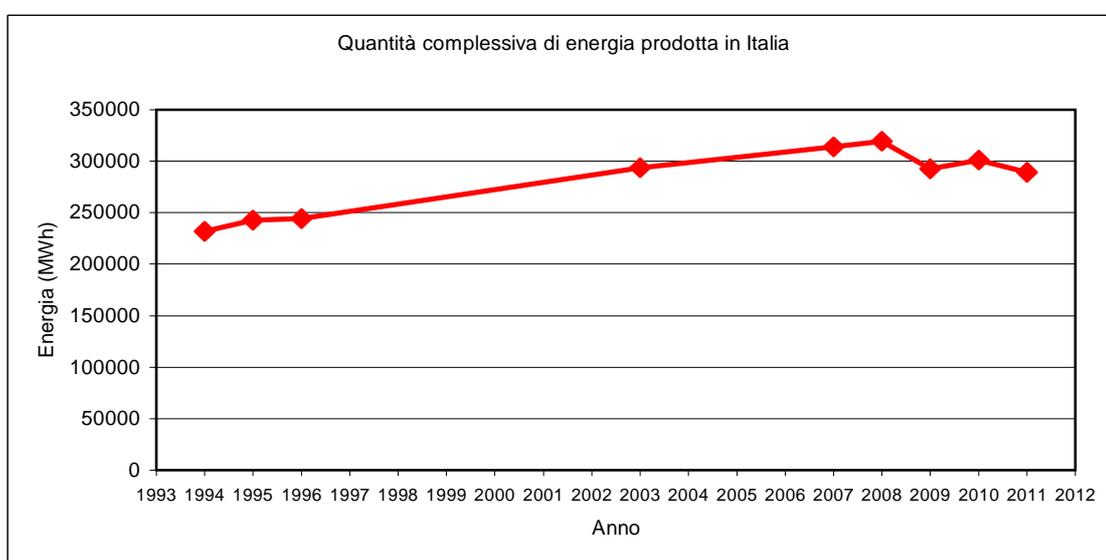


Figura 7.3 –Energia elettrica prodotta in Italia, 1996-2011

7.4 COMPOSIZIONE MERCEOLOGICA DEI RIFIUTI SOLIDI URBANI NEL PERIODO CONSIDERATO

Per valutare le emissioni dell'impianto e la tipologia di inquinanti presenti in fumi, ceneri e scorie è utile essere a conoscenza della composizione degli RSU in Provincia di Rimini nel periodo considerato.

Da dati HERA, ARPA e CNR risultano i seguenti valori (Tabella 7.20):

	ANNO					
	1996*	2004	2007	2008	2009	2010
Frazione merceologica	%	%	%	%	%	%
Cellulosica	35,7	29,0	34,2	15,9	41,5	30,0
Metalli	3,8	2,5	4,2	2,7	1,9	2,0
Plastica	14	8,0	19,2	17,0	17,0	25,4
Organico	26	31,8	30,4	47,5	26,9	35,0

Inerti	8	4,6	1,1	4,4	3,3	2,2
Sottovaglio	12,5	24,2	10,9	8,3	9,5	6,5

*=nazionale, dati CNR

Tabella 7.20 –Rimini, composizione merceologica rifiuti, 1996, 2004, 2007-2009, 2010

Ciò che è evidente è una diminuzione generale della presenza di metalli e inerti (tra cui il vetro) nei RSU, a causa del forte incremento della raccolta differenziata che è stato attuato in Provincia negli ultimi anni; per quanto riguarda carta, plastica e organico i risultati sono più oscillanti [*Provincia di Rimini, 2004*]; [*Provincia di Rimini, 2010*].

7.5 EMSSIONI DELL'IMPIANTO

7.5.1 FUMI

Sono riportate innanzitutto le caratteristiche chimico-fisiche dei fumi in uscita dal camino (Tabella 7.21):

Caratteristiche chimico-fisiche	
Temperatura (°C)	150
Umidità (%)	14
Pressione (bar)	1,00E+00

Tabella 7.21 –Caratteristiche chimico-fisiche fumi

Seguono i dati relativi a concentrazione, fattore di emissione e flusso di massa degli inquinanti considerati, ossia metalli pesanti, gas, polveri e inquinanti organici per i periodi presi in esame.

Di tutti questi parametri sono stati calcolati i valori medi per il periodo '94-'96 e 2007-2009.

Seguono i valori trovati (Tabelle 7.22-7.27).

ANNO	1994			1995			1996		
Quantità di rifiuti inceneriti (ton)	81778			98222			103197		
Volume fumi/quantità rifiuti (Nm³/ton)	7070			6545			6646		
Periodo di attività (h/anno)	-			-			-		
Portata volumetrica fumi (Nm³/h)	28045			31183			33268		
METALLI PESANTI									
Composto chimico	Concentrazione (mg/Nm ³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)	Concentrazione (mg/Nm ³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)	Concentrazione (mg/Nm ³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)
Cd	-	-	-	2,35E-03	1,54E-05	1,51E+00	7,51E-04	4,99E-06	5,15E-01
Tl	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hg	1,92E-02	1,36E-04	1,11E+01	6,15E-02	4,03E-04	3,96E+01	8,48E-02	5,64E-04	5,82E+01
As	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	2,90E-02	2,05E-04	1,68E+01	5,50E-02	3,60E-04	3,54E+01	5,61E-03	3,73E-05	3,85E+00
Cr	6,55E-02	4,63E-04	3,79E+01	-	-	-	-	-	-
Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ni	4,09E-02	2,89E-04	2,36E+01	-	-	-	-	-	-
Va	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sn	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb+Cr+Ni+Hg	-	-	-	1,33E-01	8,70E-04	8,55E+01	9,93E-02	6,60E-04	6,81E+01
Metalli pesanti	1,55E-01	1,09E-03	8,94E+01	1,19E-01	7,78E-04	7,64E+01	9,12E-02	6,06E-04	6,25E+01
GAS									
Composto chimico	Concentrazione (mg/Nm³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)	Concentrazione (mg/Nm³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)	Concentrazione (mg/Nm³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)
CO ₂	8,73E+04	6,17E+02	5,05E+07	9,62E+04	6,30E+02	5,15E+07	9,25E+04	6,15E+02	6,34E+07
O ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CO	-	-	-	2,82E+01	1,85E-01	1,51E+04	3,04E+01	2,02E-01	2,08E+04
HCl	6,96E+01	4,92E-01	4,02E+04	3,08E+01	2,02E-01	1,65E+04	8,26E+01	5,49E-01	5,67E+04
NO _x	3,06E+02	2,16E+00	1,77E+05	4,55E+02	2,98E+00	2,44E+05	5,19E+02	3,45E+00	3,56E+05
HF	3,22E+00	2,28E-02	1,86E+03	6,92E-01	4,53E-03	3,70E+02	3,43E-01	2,28E-03	2,35E+02
HBr	1,06E+00	7,52E-03	6,15E+02	-	-	-	-	-	-
SO _x	3,28E+01	2,32E-01	1,90E+04	1,82E+01	1,19E-01	9,76E+03	4,74E+00	3,15E-02	3,25E+03
SOV	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NH ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-
POLVERI									
Sostanza	Concentrazione (mg/Nm³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)	Concentrazione (mg/Nm³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)	Concentrazione (mg/Nm³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)
Polveri totali (analisi continue)	1,68E+01	1,19E-01	9,73E+03	3,71E+01	2,43E-01	1,99E+04	3,89E+00	2,59E-02	2,67E+03

Tabella 7.22 –Emissioni fumi, 1994-1996

ANNO	Media anni '90		
Quantità di rifiuti inceneriti (ton)	94399		
Volume fumi/quantità rifiuti (Nm³/ton)	6774		
Periodo di attività (h/anno)	-		
Portata volumetrica fumi (Nm³/h)	31018		
METALLI PESANTI			
Composto chimico	Concentrazione (mg/Nm ³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)
Cd	1,55E-03	1,02E-05	1,01E+00
Tl	-	-	-
Hg	5,52E-02	3,67E-04	3,63E+01
As	-	-	-
Pb	2,99E-02	2,01E-04	1,87E+01
Cr	-	-	-
Co	-	-	-
Cu	-	-	-
Mn	-	-	-
Ni	4,09E-02	2,89E-04	2,36E+01
Va	-	-	-
Sb	-	-	-
Sn	-	-	-
Pb+Cr+Ni+Hg	1,96E-01	1,35E-03	1,20E+02
Metalli pesanti	1,27E-01	8,67E-04	7,96E+01
GAS			
Composto chimico	Concentrazione (mg/Nm ³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)
CO ₂	9,20E+04	6,21E+02	5,51E+07
O ₂	-	-	-
CO	2,93E+01	1,93E-01	1,80E+04
HCl	6,10E+01	4,14E-01	3,78E+04
NO _x	4,27E+02	2,86E+00	2,59E+05
HF	1,42E+00	9,87E-03	8,23E+02
HBr	-	-	-
SO _x	1,86E+01	1,28E-01	1,07E+04
SOV	-	-	-
NH ₃	-	-	-
POLVERI			

Sostanza	Concentrazione (mg/Nm³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)
Polveri totali (analisi continue)	1,93E+01	1,29E-01	1,08E+04

Tabella 7.23 –Emissioni fumi, media 1994-1996

ANNO	2003		
Quantità di rifiuti inceneriti (ton)	116600		
Volume fumi/quantità rifiuti (Nm³/ton)	6703		
Periodo di attività (h/anno)	-		
Portata volumetrica fumi (Nm³/h)	37911		
METALLI PESANTI			
Elemento chimico	Concentrazione (mg/Nm³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flussi di massa (kg)
Cd	5,05E-04	3,42E-06	4,03E-01
Tl	5,96E-04	4,04E-06	4,76E-01
Hg	5,72E-03	3,87E-05	4,57E+00
As	6,63E-03	4,49E-05	5,30E+00
Pb	5,98E-03	4,05E-05	4,78E+00
Cr	9,86E-03	6,67E-05	7,87E+00
Co	4,40E-04	2,98E-06	3,51E-01
Cu	3,23E-03	2,18E-05	2,58E+00
Mn	3,15E-03	2,13E-05	2,51E+00
Ni	3,33E-02	2,25E-04	2,66E+01
Va	2,66E-04	1,80E-06	2,13E-01
Sb	-	-	-
Sn	1,14E-03	7,72E-06	9,12E-01
Pb+Cd+Cr+Ni+Hg	5,50E-02	3,74E-04	4,42E+01
Metalli pesanti	1,26E-01	4,79E-04	5,66E+01
Cd + Tl	1,10E-03	7,45E-06	8,79E-01
GAS			
Elemento chimico	Concentrazione (mg/Nm³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flussi di massa (kg)
CO ₂	-	5,83E+02	6,80E+07
O ₂	-	8,87E+02	1,03E+08
CO	4,30E+00	2,94E-02	3,43E+03
HCl	7,29E+00	4,99E-02	5,82E+03
NO _x	1,55E+02	1,04E+00	1,23E+05
SO _x	4,10E+00	2,81E-02	3,27E+03

HF	2,00E-02	1,37E-04	1,60E+01
HBr	-	-	-
SOV	5,96E+00	4,08E-02	4,76E+03
NH ₃	7,03E+00	4,82E-02	5,62E+03
POLVERI			
Sostanza	Concentrazione (mg/Nm³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flussi di massa (kg)
Polveri totali (analisi continue)	1,28E+00	8,74E-03	1,02E+03
ORGANICI			
Sostanza	Concentrazione (mg/Nm³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flussi di massa (kg)
PCDD+PCDF	1,30E-05	8,94E-08	1,04E-02
IPA	1,29E-02	8,85E-05	1,03E+01
PCB	3,60E-09	2,47E-11	2,88E-06

Tabella 7.24 –Emissioni fumi, media, 2003

ANNO	2007			2008			2009		
Quantità di rifiuti inceneriti (ton)	121334			37729			69793		
Volume fumi/quantità rifiuti (Nm ³ /ton)	20660			260232			5165		
Periodo di attività (h/anno)	23258			8674			7115		
Portata volumetrica fumi (Nm ³ /h)	107780			111875			50662		
METALLI PESANTI									
Composto chimico	Concentrazione (mg/Nm ³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)	Concentrazione (mg/Nm ³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)	Concentrazione (mg/Nm ³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)
Cd	2,00E-04	8,24E-07	1,00E-01	2,00E-04	1,06E-06	4,00E-02	5,00E-04	2,35E-06	1,64E-01
Tl	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hg	7,00E-04	2,80E-06	3,40E-01	5,20E-03	9,01E-06	9,17E-01	3,60E-03	1,69E-05	1,18E+01
As	2,30E-03	8,24E-06	1,00E+00	1,00E-02	5,30E-05	2,00E+00	8,00E-03	3,77E-05	2,63E+00
Pb	2,30E-03	8,24E-06	1,00E+00	2,60E-03	1,06E-05	4,00E-01	4,00E-03	1,88E-05	1,31E+00
Cr	3,30E-03	1,65E-05	2,00E+00	8,60E-03	2,12E-05	8,00E-01	3,00E-02	1,41E-04	9,86E+00
Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cu	3,00E-03	1,65E-05	2,00E+00	5,20E-03	2,12E-05	8,00E-01	8,00E-03	3,77E-05	2,63E+00
Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ni	6,60E-03	4,12E-05	5,00E+00	4,00E-03	5,30E-05	2,00E+00	2,00E-02	9,41E-05	6,57E+00
Va	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zn	2,60E-02	1,15E-04	1,40E+01	2,60E-02	7,95E-05	3,00E+00	4,00E-02	1,88E-04	1,31E+01
Sn	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb+Cd+Cr+Ni+Hg	1,31E-02	6,96E-05	8,44E+00	2,06E-02	9,49E-05	4,16E+00	5,81E-02	2,73E-04	2,97E+01
Metalli pesanti	4,16E-02	3,41E-04	4,13E+01	4,31E-02	1,10E-04	4,14E+00	9,99E-02	4,70E-04	3,28E+01

Cd+Tl	5,00E-04	4,09E-06	4,97E-01	5,50E-04	1,40E-06	5,28E-02	2,20E-03	1,04E-05	7,23E-01
GAS									
Composto chimico	Concentrazione (mg/Nm³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)	Concentrazione (mg/Nm³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)	Concentrazione (mg/Nm³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)
CO ₂	1,38E+05	8,24E+02	1,00E+08	2,27E+05	8,37E+02	3,16E+07	1,60E+05	7,55E+02	5,27E+07
O ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CO	2,00E+00	1,24E-02	1,50E+03	3,41E+00	1,72E-02	6,48E+02	4,00E+00	1,88E-02	1,31E+03
HCl	6,20E+00	2,19E-02	2,66E+03	3,96E+00	1,86E-02	7,02E+02	1,70E+00	8,01E-03	5,59E+02
NO _x	1,54E+02	6,90E-01	8,37E+04	1,51E+02	7,34E-01	2,77E+04	1,54E+02	7,25E-01	5,06E+04
HF	1,80E-02	1,15E-04	1,40E+01	1,30E-02	4,69E-05	1,77E+00	8,00E-02	3,77E-04	2,63E+01
HBr	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SO _x	3,00E+00	1,84E-02	2,23E+03	4,32E+00	2,07E-02	7,80E+02	1,20E+00	5,65E-03	3,94E+02
SOV	8,76E-01	7,17E-03	8,70E+02	2,26E+00	5,75E-03	2,17E+02	-	-	-
NH ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-
POLVERI									
Sostanza	Concentrazione (mg/Nm³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)	Concentrazione (mg/Nm³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)	Concentrazione (mg/Nm³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)
Polveri totali (analisi continue)	2,10E+00	8,83E-03	1,07E+03	1,93E+00	9,28E-03	3,50E+02	1,00E+00	4,71E-03	3,29E+02
ORGANICI									
Composto chimico	Concentrazione (mg/Nm³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)	Concentrazione (mg/Nm³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)	Concentrazione (mg/Nm³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)
PCDD+PCDF	7,05E-09	5,77E-11	7,00E-06	4,08E-11	1,04E-13	3,94E-09	-	-	-
IPA	3,00E-03	1,17E-05	1,42E+00	7,00E-04	3,21E-06	1,21E-01	5,00E-05	2,35E-07	1,64E-02
PCB	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabella 7.25 –Emissioni fumi, media, 2007-2009

ANNO	Media 2007-2008-2009		
Quantità di rifiuti inceneriti (ton)	76285		
Volume fumi/quantità rifiuti (Nm³/ton)	95352		
Periodo di attività (h/anno)	13016		
Portata volumetrica fumi (Nm³/h)	90106		
METALLI PESANTI			
Composto chimico	Concentrazione (mg/Nm ³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)
Cd	3,00E-04	1,41E-06	1,01E-01
Tl	-	-	-
Hg	3,17E-03	9,57E-06	4,35E+00
As	6,77E-03	3,30E-05	1,88E+00
Pb	2,97E-03	1,26E-05	9,05E-01
Cr	1,40E-02	5,96E-05	4,22E+00
Co	-	-	-
Cu	5,40E-03	2,51E-05	1,81E+00
Mn	-	-	-
Ni	1,02E-02	6,28E-05	4,52E+00
Va	-	-	-
Sb	-	-	-
Zn	3,07E-02	1,28E-04	1,00E+01
Sn	-	-	-
Pb+Cd+Cr+Ni+Hg	-	-	-
Metalli pesanti	6,15E-02	3,07E-04	2,61E+01
Cd+Tl	1,08E-03	5,28E-06	4,24E-01
GAS			
Composto chimico	Concentrazione (mg/Nm ³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)
CO ₂	1,75E+05	8,05E+02	6,14E+07
O ₂	-	-	-
CO	3,14E+00	1,61E-02	1,15E+03
HCl	3,95E+00	1,62E-02	1,31E+03
NO _x	1,53E+02	7,16E-01	5,40E+04
HF	3,70E-02	1,80E-04	1,40E+01
HBr	-	-	-
SO _x	2,84E+00	1,49E-02	1,13E+03
SOV	1,57E+00	6,46E-03	5,44E+02
NH ₃	-	-	-
POLVERI			

Sostanza	Concentrazione (mg/Nm³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)
Polveri totali (analisi continue)	1,68E+00	7,60E-03	5,83E+02
ORGANICI			
Composto chimico	Concentrazione (mg/Nm³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)
PCDD+PCDF	3,55E-09	2,89E-11	3,50E-06
IPA	1,25E-03	5,05E-06	5,19E-01
PCB	-	-	-

Tabella 7.26–Emissioni fumi, media, media 2007-2009

ANNO	OTTOBRE-DICEMBRE 2010 (Linea 4 a regime)			2011		
Quantità di rifiuti inceneriti (ton)	28004			114378		
Volume fumi/quantità rifiuti (Nm³/ton)	4735			4796		
Periodo di attività (h/anno)	1835			7154		
Portata volumetrica fumi (Nm³/h)	72265			76673		
METALLI PESANTI						
Composto chimico	Concentrazione (mg/Nm ³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)	Concentrazione (mg/Nm ³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)
Cd	-	-	-	-	-	-
Tl	-	-	-	-	-	-
Hg	1,00E-04	5,50E-06	1,54E-01	6,00E-04	3,00E-06	4,00E-01
Zn	5,00E-03	2,46E-06	6,90E-02	7,00E-03	3,76E-05	4,30E+00
As	-	-	-	-	-	-
Pb	-	-	-	-	-	-
Cr	-	-	-	-	-	-
Co	-	-	-	-	-	-
Cu	-	-	-	-	-	-
Mn	-	-	-	-	-	-
Ni	-	-	-	-	-	-
Va	-	-	-	-	-	-
Sb	-	-	-	-	-	-
Sn	-	-	-	-	-	-
Sb+Pb+Cu+Mn+V+As+Cr+Co+Ni	5,70E-04	3,57E-05	1,00E+00	4,50E-03	2,45E-05	2,80E+00
Cd+Tl	5,00E-04	2,50E-06	7,00E-02	4,00E-04	1,75E-06	2,00E-01

GAS						
Composto chimico	Concentrazione (mg/Nm ³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)	Concentrazione (mg/Nm ³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)
CO ₂	1,80E+05	8,54E+02	2,39E+07	2,19E+05	9,27E+02	1,06E+08
O ₂	-	-	-	-	-	-
CO	1,30E+01	6,49E-02	1,82E+03	9,20E+00	6,03E-02	6,90E+03
HCl	3,40E-01	1,75E-03	4,90E+01	1,30E+00	5,86E-03	6,70E+02
NO _x	3,51E+01	1,72E-01	4,81E+03	2,28E+01	1,71E-01	1,95E+04
HF	1,40E-03	3,00E-05	8,40E-01	1,00E-02	-	1,50E+00
HBr	-	-	-	-	-	-
SO _x	1,40E+00	7,61E-03	2,13E+02	6,80E-01	3,37E-03	3,85E+02
SOV	-	-	-	-	-	-
NH ₃	3,00E-01	1,49E-03	4,18E+01	6,00E-01	3,50E-04	4,00E+01
POLVERI						
Sostanza	Concentrazione (mg/Nm ³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)	Concentrazione (mg/Nm ³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)
Polveri totali (analisi continue)	5,10E-01	2,42E-03	6,79E+01	5,00E-01	3,92E-03	4,48E+02
ORGANICI						
Composto chimico	Concentrazione (mg/Nm ³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)	Concentrazione (mg/Nm ³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flusso di massa (Kg)
PCDD+PCDF	1,16E-09	1,04E-13	2,90E-09	2,20E-09	1,05E-11	1,20E-06
IPA	4,00E-03	1,79E-08	5,00E-04	2,00E-05	8,74E-08	1,00E-02
PCB	-	-	-	-	-	-

Tabella 7.27 –Emissioni fumi, media, 2010, 2011

Si passa ora ad analizzare più nel dettaglio i vari parametri. Al fine di una migliore comprensione dei dati, sono stati costruiti grafici che riportano come sono variati i Fattori di Emissione (F.E.) dei vari inquinanti nel tempo, ovvero la quantità assoluta degli inquinanti emessi, normalizzata per unità di rifiuto in ingresso.

È stato deciso di utilizzare come unità di misura i F.E., che saranno anche i valori utilizzati per le modellazioni LCA.

Sono stati riportati in grafico soltanto i parametri per cui era noto il valore per un numero di anni sufficiente a delineare un andamento nel tempo.

Innanzitutto viene riportato l'andamento dei F.E. dei metalli nei fumi (Figura 7.4).

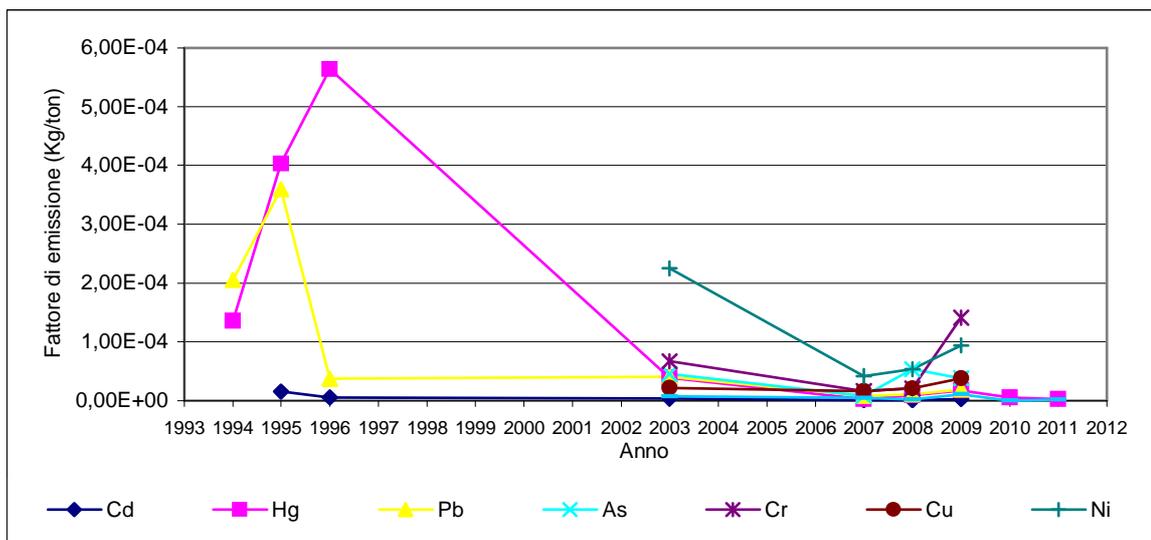


Figura 7.4 –F.E. metalli nei fumi, 1994-2011

Come auspicabile, è riscontrata una generale diminuzione della quantità di metalli emessi, salvo alcune discontinuità di lieve entità relative a 1995 e 2009. Tale diminuzione è più marcata tra gli anni '90 ed il 2003.

Per quel che riguarda i composti gassosi, sono stati separati il valore di F.E. della CO₂ da quella degli altri gas, in quanto, presentando ordini di grandezza molto differenti a causa del fatto che la CO₂ è il principale prodotto della combustione, la scala delle ordinate sarebbe risultata troppo schiacciata e quindi poco leggibile.

È riportato innanzitutto proprio l'andamento della CO₂ (Figura 7.5).

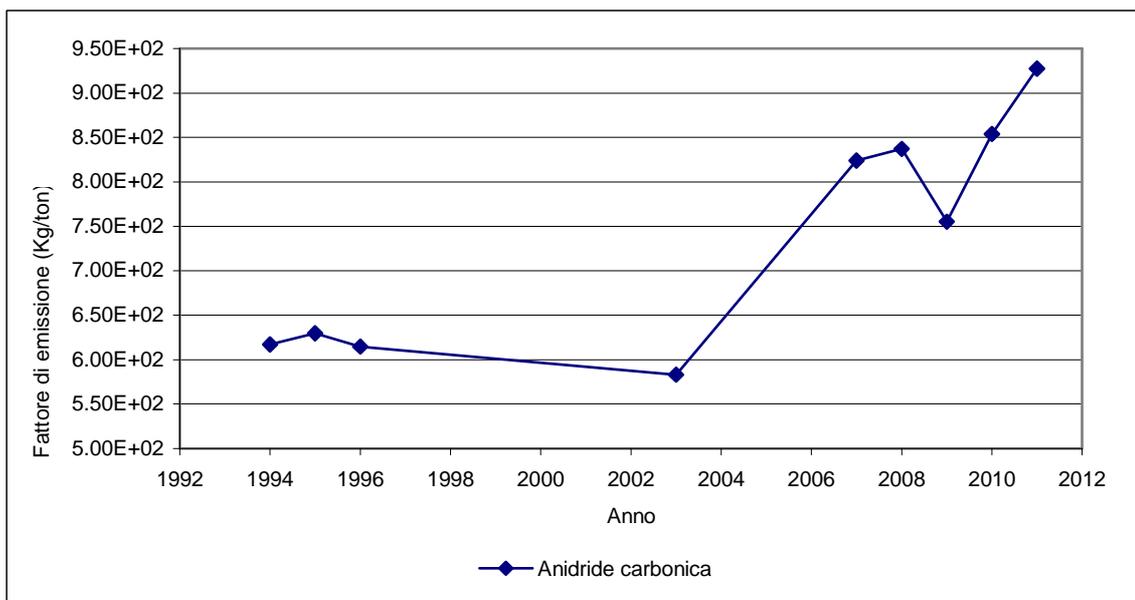


Figura 7.5 –F.E. CO₂, 1994-2011

Salvo una lieve discontinuità relativa all'anno 2009, la quantità di CO₂ emessa dall'impianto mostra un trend di crescita nel tempo, dovuto ad una sempre maggiore efficienza di combustione. Ciò è confermato dal fatto che la quantità di residui solidi tende invece a diminuire.

Viene ora riportato l'andamento relativo agli altri gas in emissione (Figura 7.6):

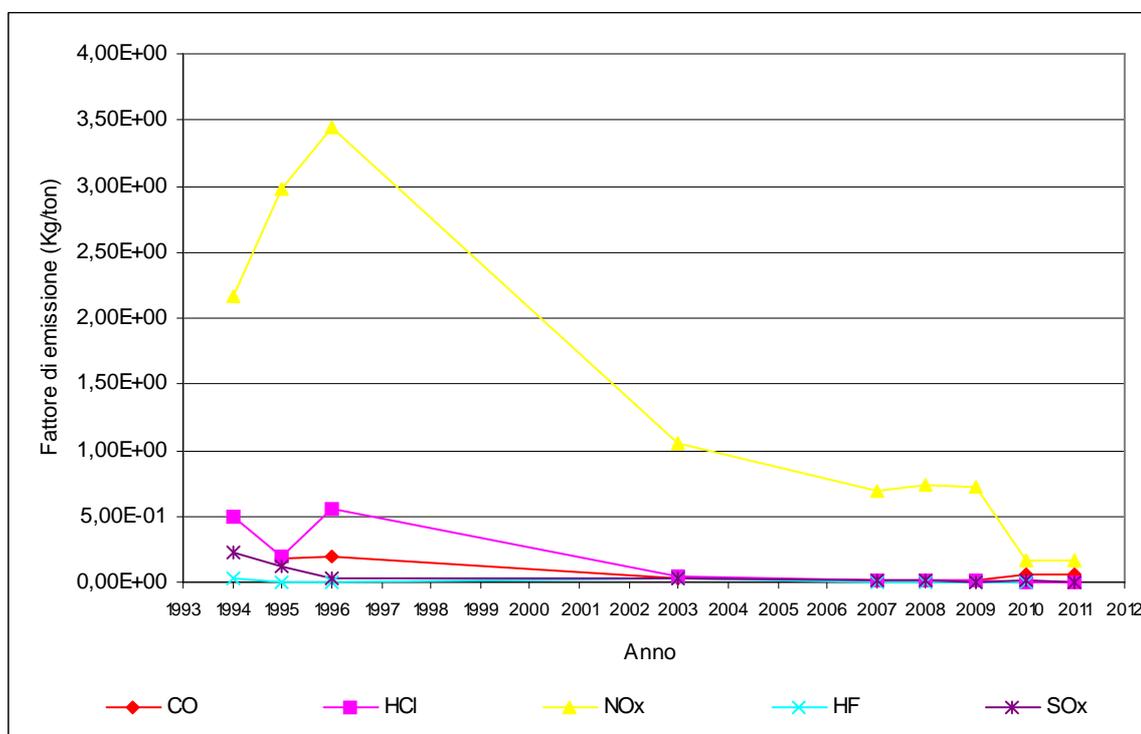


Figura 7.7 –F.E. composti gassosi, 1994-2011

Anche per quel che riguarda i gas, si nota un trend di generale diminuzione dei principali composti campionati; in particolare, in seguito al 1996 ed agli interventi sul sistema di

depurazione fumi, sono nettamente calate le emissioni di NO_x e HCl , mentre più incerto è l'andamento della CO_2 .

Un'ulteriore crollo degli NO_x si nota in seguito all'introduzione dell'SCR, a partire dal 2010.

Quanto alle polveri, i dati a disposizione sono riportati nel grafico 7.8:

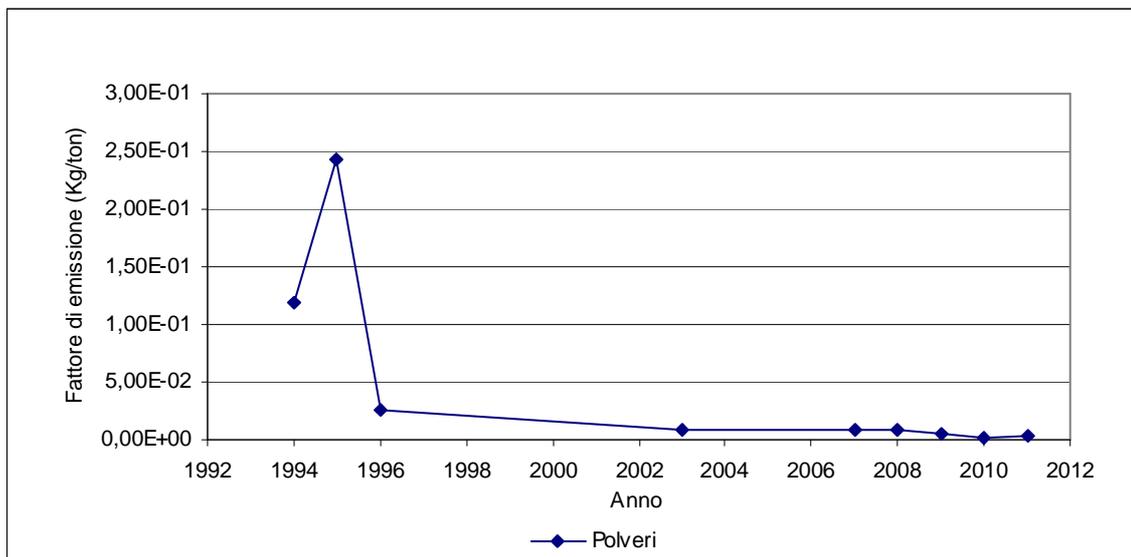


Figura 7.8 –F.E. polveri, 1994-2011

È evidente un crollo nella quantità delle polveri emesse nel 1996 ed una diminuzione più graduale negli anni successivi.

Sono infine riportati i risultati relativamente all'emissione di composti organici (Figura 7.9):

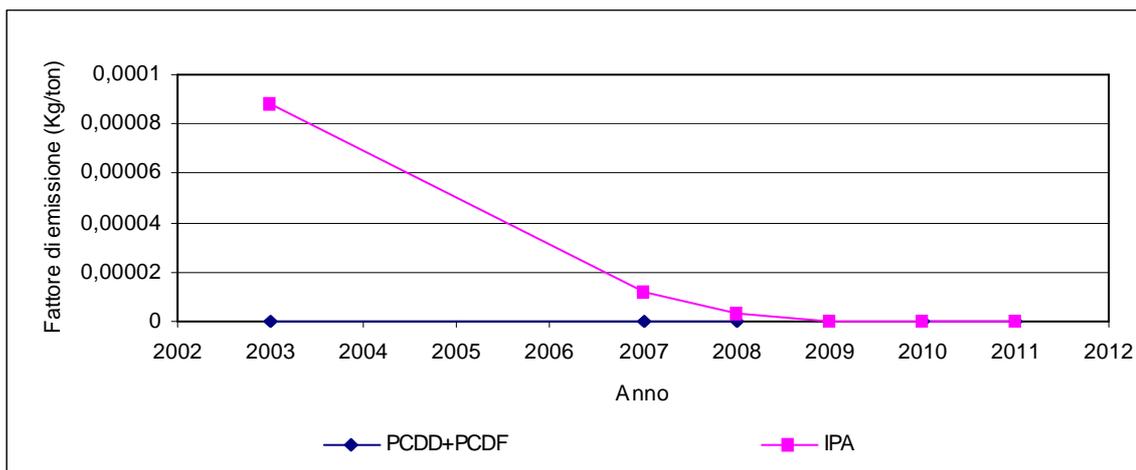


Figura 7.9 –F.E. composti organici, 1994-2011

L'andamento osservato denota un continuo calo nel tempo della emissioni di IPA, mentre le emissioni di diossine e furani si sono sempre mantenute ad un livello estremamente basso.

7.5.2 CENERI

Sono ora riportati i dati relativi ai principali inquinanti contenuti nelle ceneri. L'unico periodo di cui si hanno a disposizione dati primari è relativo agli anni 1994-1996 (Tabella 7.28).

ANNO	1994			1995		
	Quantità rifiuti (ton)	8,18E+04		Quantità rifiuti (ton)	9,82E+04	
	Quantità ceneri (ton)	2,63E+03		Quantità ceneri (ton)	2,83E+03	
Parametro	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flussi di massa (kg)	Kg di composto/ton di ceneri	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flussi di massa (kg)	Kg di composto/ton di ceneri
Cd	6,49E-03	5,31E+02	2,02E-01	5,81E-03	5,71E+02	2,02E-01
Cr tot	7,00E-03	5,72E+02	2,18E-01	-	-	-
Cu tot	2,24E-02	1,83E+03	6,98E-01	2,01E-02	1,97E+03	6,98E-01
Pb	1,55E-01	1,27E+04	4,82E+00	1,39E-01	1,36E+04	4,82E+00
Ar	9,00E-05	7,36E+00	2,80E-03	-	-	-
As	-	-	-	8,00E-05	7,86E+00	2,78E-03
Be	-	-	-	-	-	-
Cu sol	5,78E-05	4,73E+00	1,80E-03	-	-	-
Hg	1,29E-04	1,05E+01	4,00E-03	1,20E-04	1,18E+01	4,17E-03
Se	-	-	-	-	-	-
Ti	9,96E-04	8,15E+01	3,10E-02	-	-	-
PCB	7,30E-07	5,97E-02	2,27E-05	-	-	-
PCDD	1,17E-06	9,57E-02	3,64E-05	-	-	-
PCDF	5,40E-07	4,42E-02	1,68E-05	-	-	-
IPA	2,58E-05	2,11E+00	8,04E-04	-	-	-
ANNO	1996			MEDIA		
	Quantità rifiuti (ton)	1,03E+05		Quantità rifiuti (ton)	9,44E+04	
	Quantità ceneri (ton)	2,68E+03		Quantità ceneri (ton)	2,71E+03	
Parametro	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flussi di massa (kg)	Kg di composto/ton di ceneri	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flussi di massa (kg)	Kg di composto/ton di ceneri
Cd	2,93E-03	3,02E+02	1,13E-01	5,08E-03	467,9254	0,172186
Cr tot	-	-	-	7,00E-03	572,446	0,217826
Cu tot	9,54E-03	9,84E+02	3,67E-01	1,74E-02	1597,353	0,587688
Pb	8,23E-02	8,50E+03	3,17E+00	1,25E-01	11595,84	4,269057
Ar	-	-	-	9,00E-05	7,356749	0,002799
As	1,60E-04	1,65E+01	6,16E-03	1,20E-04	12,18464	0,004468

Be	1,00E-05	1,03E+00	3,85E-04	1,00E-05	1,03197	0,000385
Cu sol	-	-	-	5,78E-05	4,729222	0,0018
Hg	-	-	-	1,24E-04	11,14837	0,004084
Se	1,50E-04	1,55E+01	5,77E-03	1,50E-04	15,47955	0,005772
Ti	-	-	-	9,96E-04	81,45334	0,030994
PCB	-	-	-	7,30E-07	0,059698	2,27E-05
PCDD	-	-	-	1,17E-06	0,09568	3,64E-05
PCDF	-	-	-	5,40E-07	0,04416	1,68E-05
IPA	-	-	-	2,58E-05	2,112326	0,000804

Tabella 7.28 –Composizione ceneri, 1994-1996

Graficamente (per le sostanze per le quali è possibile delineare un trend nel tempo) si ottengono i risultati riportati in Figura 7.10.

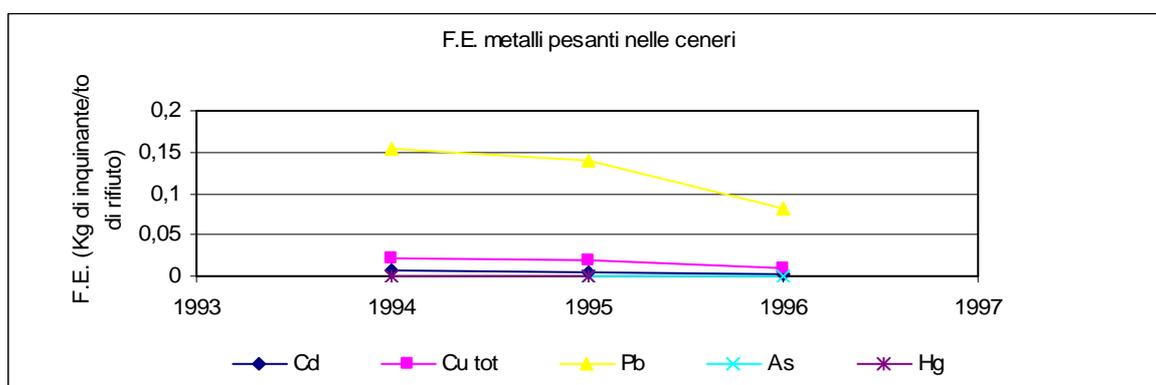


Figura 7.10 –Inquinanti presenti nelle ceneri, 1994-1996

Anche per questi parametri appare un trend di diminuzione nel tempo.

L'elemento di cui si riscontra principalmente la presenza è il Pb, seguito dal Cu, molto minore è la presenza di Cd e Hg, quasi nulla quella di As.

Non avendo a disposizione dati per il periodo successivo, si è pensato di approssimare i valori a quelli del 1996.

Un altro aspetto necessario da considerare è la distanza dell'impianto dalla discarica a cui conferire le ceneri, stimato attorno a 270 km.

7.5.3 SCORIE

Sono infine riportati i dati relativi alla presenza di inquinanti nelle scorie, per il periodo 1994-1996 (Tabella 7.29).

ANNO	1994		1995	
	Quantità rifiuti (ton)	8,18E+04	Quantità rifiuti (ton)	9,82E+04
	Quantità ceneri (ton)	2,63E+03	Quantità ceneri (ton)	2,83E+03

Parametro	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flussi di massa (kg)	Kg di composto/ton di ceneri	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flussi di massa (kg)	Kg di composto/ton di ceneri
Cd	6,49E-03	5,31E+02	2,02E-01	5,81E-03	5,71E+02	2,02E-01
Cr tot	7,00E-03	5,72E+02	2,18E-01	-	-	-
Cu tot	2,24E-02	1,83E+03	6,98E-01	2,01E-02	1,97E+03	6,98E-01
Pb	1,55E-01	1,27E+04	4,82E+00	1,39E-01	1,36E+04	4,82E+00
Ar	9,00E-05	7,36E+00	2,80E-03	-	-	-
As	-	-	-	8,00E-05	7,86E+00	2,78E-03
Be	-	-	-	-	-	-
Cu sol	5,78E-05	4,73E+00	1,80E-03	-	-	-
Hg	1,29E-04	1,05E+01	4,00E-03	1,20E-04	1,18E+01	4,17E-03
Se	-	-	-	-	-	-
Ti	9,96E-04	8,15E+01	3,10E-02	-	-	-
PCB	7,30E-07	5,97E-02	2,27E-05	-	-	-
PCDD	1,17E-06	9,57E-02	3,64E-05	-	-	-
PCDF	5,40E-07	4,42E-02	1,68E-05	-	-	-
IPA	2,58E-05	2,11E+00	8,04E-04	-	-	-
ANNO	1996			MEDIA		
	Quantità rifiuti (ton)	1,03E+05		Quantità rifiuti (ton)	9,44E+04	
	Quantità ceneri (ton)	2,68E+03		Quantità ceneri (ton)	2,71E+03	
Parametro	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flussi di massa (kg)	Kg di composto/ton di ceneri	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flussi di massa (kg)	Kg di composto/ton di ceneri
Cd	2,93E-03	3,02E+02	1,13E-01	5,08E-03	4,68E+02	1,72E-01
Cr tot	-	-	-	7,00E-03	5,72E+02	2,18E-01
Cu tot	9,54E-03	9,84E+02	3,67E-01	1,74E-02	1,60E+03	5,88E-01
Pb	8,23E-02	8,50E+03	3,17E+00	1,25E-01	1,16E+04	4,27E+00
Ar	-	-	-	9,00E-05	7,36E+00	2,80E-03
As	1,60E-04	1,65E+01	6,16E-03	1,20E-04	1,22E+01	4,47E-03
Be	1,00E-05	1,03E+00	3,85E-04	1,00E-05	1,03E+00	3,85E-04
Cu sol	-	-	-	5,78E-05	4,73E+00	1,80E-03
Hg	-	-	-	1,24E-04	1,11E+01	4,08E-03
Se	1,50E-04	1,55E+01	5,77E-03	1,50E-04	1,55E+01	5,77E-03
Ti	-	-	-	9,96E-04	8,15E+01	3,10E-02
PCB	-	-	-	7,30E-07	5,97E-02	2,27E-05
PCDD	-	-	-	1,17E-06	9,57E-02	3,64E-05
PCDF	-	-	-	5,40E-07	4,42E-02	1,68E-05
IPA	-	-	-	2,58E-05	2,11E+00	8,04E-04

Tabella 7.29 –Composizione scorie, 1994-1996

Sono sotto riportati dati analoghi relativi all'anno 2010. In Tabella 7.30 sono riportati i parametri chimico-fisici più significativi, mentre la Tabella 7.31 contiene i dati di composizione delle scorie in uscita dalla Linea 4 nel 2010.

Stato fisico	Solido
Colore	Grigio
Odore	Inodore
pH	12
Peso specifico apparente (Kg/dm ³)	8,00E-01
Residuo secco a 105°C (%)	7,38E+01
Residuo secco a 550°C (%)	7,21E+01

Tabella 7.30 –Caratteristiche chimico-fisiche delle scorie, 2010

PERIODO	MONITORAGGIO EFFETTUATO IN DATA 17/12/2010 (Linea 4 a regime)						
Quantità di rifiuti (ton)	28004						
Quantità di scorie (ton)	6732						
Parametro	Kg di composto/ton di scorie	Flusso di massa (Kg)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Parametro	Kg di composto/ton di scorie	Flusso di massa (Kg)	Fattori di emissione (Kg/ton)
METALLI				IPA			
Ag	< 4,00E-03	< 2,69E+01	< 9,62E-04	Naftalene	< 5,00E-05	< 3,37E-01	< 1,20E-05
As	< 4,00E-03	< 2,69E+01	< 9,62E-04	Acenaftene	< 5,00E-05	< 3,37E-01	< 1,20E-05
Ba	4,50E-01	3,03E+03	1,08E-01	Fluorene	< 5,00E-05	< 3,37E-01	< 1,20E-05
Be	< 4,00E-03	< 2,69E+01	< 9,62E-04	Fenantrene	< 5,00E-05	< 3,37E-01	< 1,20E-05
B	< 3,39E-02	< 2,28E+02	< 8,15E-03	Antracene	< 5,00E-05	< 3,37E-01	< 1,20E-05

Cd	< 4,00E-03	< 2,69E+01	< 9,62E-04	Fluorantene	< 5,00E-05	< 3,37E-01	< 1,20E-05				
Ca	1,60E+02	1,08E+06	3,85E+01	Pirene	< 5,00E-05	< 3,37E-01	< 1,20E-05				
Cr tot	9,00E-02	6,06E+02	2,16E-02	Benzo(a)antracene	< 5,00E-05	< 3,37E-01	< 1,20E-05				
Cr VI	< 5,00E-03	< 3,37E+01	< 1,20E-03	Crisene	< 5,00E-05	< 3,37E-01	< 1,20E-05				
Ni	2,09E-01	1,41E+03	5,02E-02	Benzo(b)fluorantene	< 5,00E-05	< 3,37E-01	< 1,20E-05				
Hg	< 1,00E-04	< 6,73E-01	2,40E-05	Benzo(k)fluorantene	< 5,00E-05	< 3,37E-01	< 1,20E-05				
Pb	4,40E-01	2,96E+03	1,06E-01	Benzo(a)pirene	< 5,00E-05	< 3,37E-01	< 1,20E-05				
K	1,01E+00	6,80E+03	2,43E-01	Indeno(1,2,3-cd)pirene	< 5,00E-05	< 3,37E-01	< 1,20E-05				
Cu	7,40E-01	4,98E+03	1,78E-01	Dibenzo(a,h)antracene	< 5,00E-05	< 3,37E-01	< 1,20E-05				
Cu sol.	< 4,00E-03	< 2,69E+01	< 9,62E-04	Benzo(g,h,i)perilene	< 5,00E-05	< 3,37E-01	< 1,20E-05				
Se	< 1,00E-03	< 6,73E+00	< 2,40E-04	ORGANICI							
Na	2,65E+00	1,78E+04	< 6,37E-01	TOC	4,90E+00	3,30E+04	1,18E+00				
Sn	< 4,00E-03	< 2,69E+01	< 9,62E-04	Idrocarburi totali	< 1,00E-02	< 6,73E+01	< 2,40E-03				
Te	< 1,00E-02	< 6,73E+01	< 2,40E-03	PCB	< 1,00E-05	< 6,73E-02	< 2,40E-06				
V	9,10E-03	6,13E+01	2,19E-03	PCDD+PCDF	< 4,60E-10	< 3,10E-06	< 1,11E-10				
Zn	1,28E+00	8,62E+03	3,08E-01								
BTEX											
Benzene	< 5,00E-03	< 3,37E+01	< 1,20E-03								
Toluene	< 5,00E-03	< 3,37E+01	< 1,20E-03								
Etilbenzene	< 5,00E-03	< 3,37E+01	< 1,20E-03								
Xileni	< 5,00E-03	< 3,37E+01	< 1,20E-03								
Stirene	< 5,00E-03	< 3,37E+01	< 1,20E-03								

Tabella 7.31 –Composizione scorie, 2010

L'andamento espresso come grafico, per i parametri noti con una certa continuità, sono riportati in Figura 7.11.

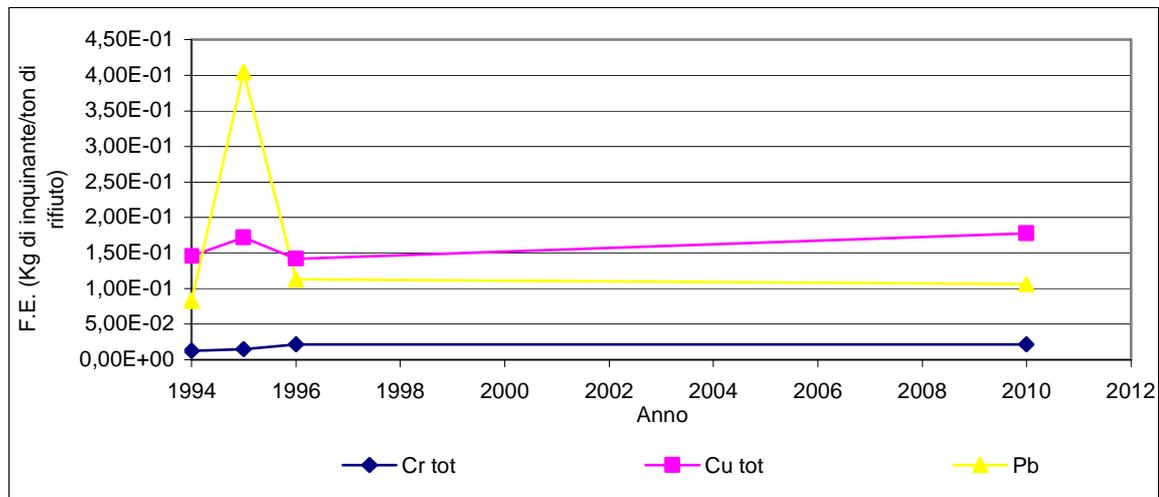


Figura 7.11 –Inquinanti presenti nelle scorie, 1994-1996, 2010

Per quel che riguarda le scorie (Figura 7.11), i valori non seguono un andamento definito, ma sembra apparire, per l'anno 1995, un picco di concentrazione di Pb e Cu, la cui presenza è anche, nelle scorie, come nelle ceneri, la più marcata.

Segue l'emissione di Cr, mentre anche in questo caso, le emissioni di Hg e Cd risultano molto basse.

Anche per le scorie, come per le ceneri, non avendo dati relativi al periodo successivo al 1996 fino al 2010, si può pensare di effettuare approssimazioni. (Assumendo per il 2003 i valori del 1996 e per il periodo 2007-2009 i valori dell'anno 2010).

La distanza dalla discarica a cui conferire le scorie è stata stimata attorno ai 200 km, sulla base di informazioni relativa al periodo 1994-1996.

Per quel che riguarda infine il rilascio di metalli pesanti da parte delle scorie nell'ambiente una volta smaltite in discarica, sulla base dei dati di composizione sono stati stimati i valori di rilascio per gli anni di cui erano disponibili i dati, per gli altri i valori sono stati stimati attraverso un'interpolazione.

I risultati sono stimati in Tabella 7.32.

	COMPOSTO								
ANNO	As	Cr	Cu	Hg	Pb	Sn	V	Ca	Na
1994	3,40E-03	2,77E-03	3,47E-05	1,58E-08	2,64E-06	4,21E-08	5,68E-05	2,76E-02	1,54E+00
1995	3,41E-03	2,77E-03	3,47E-05	9,47E-09	1,11E-05	5,42E-08	5,19E-05	2,71E-02	1,46E+00
1996	3,41E-03	4,46E-03	3,12E-05	2,37E-08	3,33E-03	6,64E-08	4,70E-05	2,66E-02	1,38E+00
2003	3,41E-03	4,65E-03	3,45E-05	2,05E-08	2,66E-03	7,85E-08	4,21E-05	2,61E-02	1,31E+00
2007	3,42E-03	4,85E-03	3,77E-05	1,74E-08	2,00E-03	9,06E-08	3,71E-05	2,56E-02	1,23E+00
2008	3,42E-03	5,04E-03	4,10E-05	1,42E-08	1,33E-03	1,03E-07	3,22E-05	2,51E-02	1,15E+00
2009	3,43E-03	5,24E-03	4,42E-05	1,11E-08	6,69E-04	1,15E-07	2,73E-05	2,46E-02	1,07E+00
2010	3,43E-03	5,43E-03	4,75E-05	7,89E-09	3,80E-06	1,27E-07	2,24E-05	2,41E-02	9,94E-01
2011	3,43E-03	5,43E-03	4,75E-05	7,89E-09	3,80E-06	1,27E-07	2,24E-05	2,41E-02	9,94E-01

	: dato Simapro
	: dato impianto
	: da interpolazione
	: approssimato

Tabella 7.32 –Emissioni scorie, 1994-1996, 2003, 2007-2011

7.5.4 SCARICHI IDRICI

Per quanto riguarda gli scarichi idrici, sono a disposizione i parametri relativi agli anni 2010 e 2011, riportati rispettivamente nelle Tabelle 7.33 e 7.34.

È bene precisare che le acque reflue dell'impianto, hanno destinazioni differenti in base alla tipologia.

Le acque dei servizi civili sono inviate in fognatura insieme alle acque di processo spurgate dal circuito termico che non vengono riciclate per le operazioni di spegnimento scorie.

L'operazione avviene attraverso uno scarico denominato S1.

Le acque di dilavamento piazzale sono inviate allo scarico S2.

Poiché non sono disponibili i dati della quantità totale di acqua scaricata, essa si è assunta uguale alla quantità di acque richiesta alla rete idrica in un anno e si è assunto che la quantità di acqua scaricata si potesse ripartire in modo uguale nei due scarichi.

Come si può dedurre dai dati riportati nelle Tabelle, la qualità delle acque scaricate è rimasta circa uguale nel tempo.

ANNO	2010 (solo Linea 4)						
Quantità di rifiuti (Kg)	28004						
Quantità di acqua di scarico (l)	20895000						
CARATTERISTICHE GENERALI				Parametro	Conc. (mg/l)	Flusso di massa (Kg)	Fattori di emissione (Kg/ton)
Parametro				ANIONI			
pH	8,0			CN ⁻	8,90E-03	1,86E-01	6,64E-06
Colore	Non percettibile con diluizione 1:40			Cl ⁻ liberi	2,90E-02	6,06E-01	2,16E-05
Odore	-			S ⁻	5,85E-01	1,22E+01	4,36E-04
Materiali grossolani	Assenti			SO ₃ ⁼	3,25E-01	6,79E+00	2,42E-04
Parametro	Conc. (mg/l)	Flusso di massa (Kg)	Fattori di emissione (Kg/ton)	SO ₄ ⁼	9,17E+01	1,92E+03	6,84E-02
Solidi sospesi totali	8,55E+01	1,79E+03	6,38E-02	Cl ⁻ liberi	1,47E+02	3,08E+03	1,10E-01
COD	2,29E+01	4,78E+02	1,71E-02	F ⁻	2,15E-01	4,49E+00	1,60E-04
BOD	6,50E+00	1,36E+02	4,85E-03	NUTRIENTI			
METALLI				P tot	3,55E-01	7,42E+00	2,65E-04
Al	3,50E-01	7,31E+00	2,61E-04	Azoto ammoniacale	1,31E+00	2,74E+01	9,79E-04
As	1,15E-03	2,40E-02	8,58E-07	Azoto nitroso	1,95E-01	4,07E+00	1,45E-04

Ba	9,00E-02	1,88E+00	6,72E-05	Azoto nitrico	1,45E+00	3,02E+01	1,08E-03
B	2,06E-01	4,29E+00	1,53E-04	Azoto Totale	2,95E+00	6,16E+01	2,20E-03
Cd	2,50E-03	5,22E-02	1,87E-06	ORGANICI			
Cr tot	2,90E-03	6,06E-02	2,16E-06	Grassi ed oli	2,50E-01	5,22E+00	1,87E-04
Cr VI	-	-	-	Idrocarburi totali	2,50E-01	5,22E+00	1,87E-04
Fe	3,25E-01	6,79E+00	2,42E-04	Fenoli totali	2,50E-03	5,22E-02	1,87E-06
Mn	6,60E-02	1,38E+00	4,92E-05	Aldeidi	1,09E-01	2,28E+00	8,13E-05
Hg	7,00E-05	1,46E-03	5,22E-08	Solventi organici aromatici	5,00E-03	1,04E-01	3,73E-06
Ni	4,50E-03	9,40E-02	3,36E-06	Solventi organici azotati	1,20E-02	2,51E-01	8,95E-06
Pb	2,50E-03	5,22E-02	1,87E-06	Tensioattivi totali	6,80E-01	1,42E+01	5,07E-04
Cu	7,25E-03	1,51E-01	5,41E-06	Pesticidi fosforati	1,45E-03	3,03E-02	1,08E-06
Se	1,19E-03	2,49E-02	8,88E-07	Pesticidi totali (esclusi fosforati)	2,10E-03	4,39E-02	1,57E-06
Sn	5,00E-02	1,04E+00	3,73E-05	Solventi organici clorurati	5,00E-03	1,04E-01	3,73E-06
Zn	1,12E-01	2,34E+00	8,36E-05	IPA	2,50E-03	5,22E-02	1,87E-06

Tabella 7.33 -Emissioni scarichi, 2010

ANNO	2011						
Quantità di rifiuti (Kg)	114377						
Quantità di acqua di scarico (l)	28683000						
CARATTERISTICHE GENERALI				Parametro	Conc. (mg/l)	Flusso di massa (Kg)	Fattori di emissione (Kg/ton)
Parametro				ANIONI			
pH	7,9			CN ⁻	< 2,00E-02	< 5,74E-01	< 5,02E-06
Colore	-			Cl ⁻ liberi	1,89E+02	< 5,42E+03	< 4,74E-02
Odore	-			S ⁼	< 6,40E-01	< 1,84E+01	< 1,60E-04
Materiali grossolani	Assenti			SO ₃ ⁼	< 5,60E-01	< 1,61E+01	< 1,40E-04
Parametro	Conc. (mg/l)	Flusso di massa (Kg)	Fattori di emissione (Kg/ton)	SO ₄ ⁼	9,79E+01	2,81E+03	2,46E-02
Solidi sospesi totali	1,80E+01	5,16E+02	4,51E-03	Cl ⁻ liberi	1,89E+02	5,42E+03	4,74E-02
COD	1,60E+01	4,59E+02	4,01E-03	F ⁻	5,00E-01	1,43E+01	1,25E-04
BOD	< 1,04E+01	< 2,98E+02	< 2,61E-03	NUTRIENTI			
METALLI				P tot	6,90E-01	1,98E+01	1,73E-04
Al	2,78E-01	7,97E+00	6,97E-05	Azoto ammoniacale	1,41E+00	4,04E+01	3,54E-04
As	< 1,15E-03	< 3,30E-02	< 2,88E-07	Azoto nitroso	1,40E-01	4,02E+00	3,51E-05
Ba	< 7,93E-02	< 2,27E+00	< 1,99E-05	Azoto nitrico	4,08E+00	1,17E+02	1,02E-03

B	2,04E-01	5,85E+00	5,12E-05	Azoto Totale	5,63E+00	1,61E+02	1,41E-03
Cd	< 5,00E-03	< 1,43E-01	< 1,25E-06	ORGANICI			
Cr tot	< 5,75E-03	< 1,65E-01	< 1,44E-06	Grassi ed oli	< 5,00E-01	< 1,43E+01	< 1,25E-04
Cr VI	-	-	-	Idrocarburi totali	< 5,00E-01	< 1,43E+01	< 1,25E-04
Fe	< 2,42E-01	< 6,94E+00	< 6,07E-05	Fenoli totali	< 5,00E-02	< 1,43E+00	< 1,25E-05
Mn	< 5,74E-02	< 1,65E+00	< 1,44E-05	Aldeidi	< 6,60E-02	< 1,89E+00	< 1,66E-05
Hg	< 1,00E-04	< 2,87E-03	< 2,51E-08	Solventi organici aromatici	< 1,00E-02	< 2,87E-01	< 2,51E-06
Ni	< 5,00E-03	< 1,43E-01	< 1,25E-06	Solventi organici azotati	< 5,00E-02	< 1,43E+00	< 1,25E-05
Pb	8,80E-03	2,52E-01	2,21E-06	Tensioattivi totali	7,00E-01	2,01E+01	1,76E-04
Cu	< 1,00E-02	< 2,87E-01	< 2,51E-06	Pesticidi fosforati	< 1,00E-03	< 2,87E-02	< 2,51E-07
Se	2,13E-03	6,10E-02	5,33E-07	Pesticidi totali (esclusi fosforati)	< 1,00E-03	< 2,87E-02	< 2,51E-07
Sn	< 1,00E-01	< 2,87E+00	< 2,51E-05	Solventi organici clorurati	< 5,00E-03	< 1,43E-01	< 1,25E-06
Zn	5,30E-02	1,52E+00	1,33E-05	IPA	-	-	-

Tabella 7.34 -Emissioni scarichi, 2011

7.6 CONFRONTO EMISSIONI

Si vuole infine dedurre se l'impatto dell'impianto di Coriano è in linea con quello degli altri impianti di termovalorizzazione presenti in regione; per fare ciò si procederà ad un raffronto con uno studio LCA fatto relativamente agli inceneritori Emiliano-Romagnoli [Morselli L. et al., 2008].

I dati principali relativi alle emissioni in atmosfera utilizzati in tale studio al fine della modellazione dello scenario di incenerimento Emiliano-Romagnolo sono sotto riportati (Tabella 7.35), e, messi in grafico assieme ai valori dell'impianto studiato, danno una prima indicazione circa la contestualizzazione dell'impianto di Coriano in Regione.

MEDIA IMPIANTI EMILIA ROMAGNA			
ANNO	2003		
Quantità di rifiuti inceneriti (ton)	80500		
Volume fumi/quantità rifiuti (Nm³/ton)	7760		
Periodo di attività (h/anno)	-		
Portata volumetrica fumi (Nm³/h)	30301		
METALLI PESANTI			
Elemento chimico	Concentrazione (mg/Nm ³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flussi di massa (kg)
Cd	3,22E-03	2,58E-05	1,96E+00
Tl	2,10E-03	1,98E-05	7,77E-02
Hg	1,41E-02	1,13E-04	9,64E+00
As	5,61E-03	4,43E-05	2,97E+00
Pb	4,77E-02	2,79E-04	3,89E+01
Cr	7,09E-03	5,87E-05	3,49E+00
Co	4,60E-03	3,65E-05	2,77E+00
Cu	1,36E-02	9,36E-05	9,18E+00
Mn	8,13E-03	5,73E-05	5,49E+00
Ni	1,61E-02	1,16E-04	1,00E+01
Va	1,85E-03	1,82E-05	7,77E-01
Sb	5,55E-03	4,75E-05	4,85E+00
Sn	6,06E-03	4,27E-05	4,19E+00
Pb+Cd+Cr+Ni+Hg	8,82E-02	5,93E-04	6,40E+01
Metalli pesanti	1,36E-01	9,52E-04	9,43E+01
Cd + Tl	5,32E-03	4,56E-05	2,57E+00
GAS			

Elemento chimico	Concentrazione (mg/Nm³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flussi di massa (kg)
CO ₂	-	1,24E+03	5,94E+07
O ₂	-	1,01E+03	5,80E+07
CO	1,09E+01	1,04E-01	6,13E+03
HCl	3,82E+00	3,36E-02	2,28E+03
NO _x	1,71E+02	1,29E+00	9,57E+04
SO _x	9,81E+00	9,89E-02	5,35E+03
HF	2,33E-02	6,85E-05	7,92E+00
HBr	-	-	-
SOV	3,09E+00	2,12E-02	1,97E+03
NH ₃	9,81E+00	8,74E-02	5,35E+03
POLVERI			
Sostanza	Concentrazione (mg/Nm³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flussi di massa (kg)
Polveri totali (analisi continue)	2,65E+00	2,10E-02	1,57E+03
ORGANICI			
Sostanza	Concentrazione (mg/Nm³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flussi di massa (kg)
PCDD+PCDF	3,23E-03	2,52E-05	2,29E+00
IPA	1,80E-02	1,27E-04	1,93E+01
PCB	-	-	-

Tabella 7.35–Emissioni fumi, Emilia Romagna, 2003

I risultati delle comparazioni grafiche sono riportati sotto (Grafici 7.11-7.15) e confermano il fatto che l'inceneritore di Coriano rientrava nel trend degli altri impianti, con F.E. minori per molti parametri.

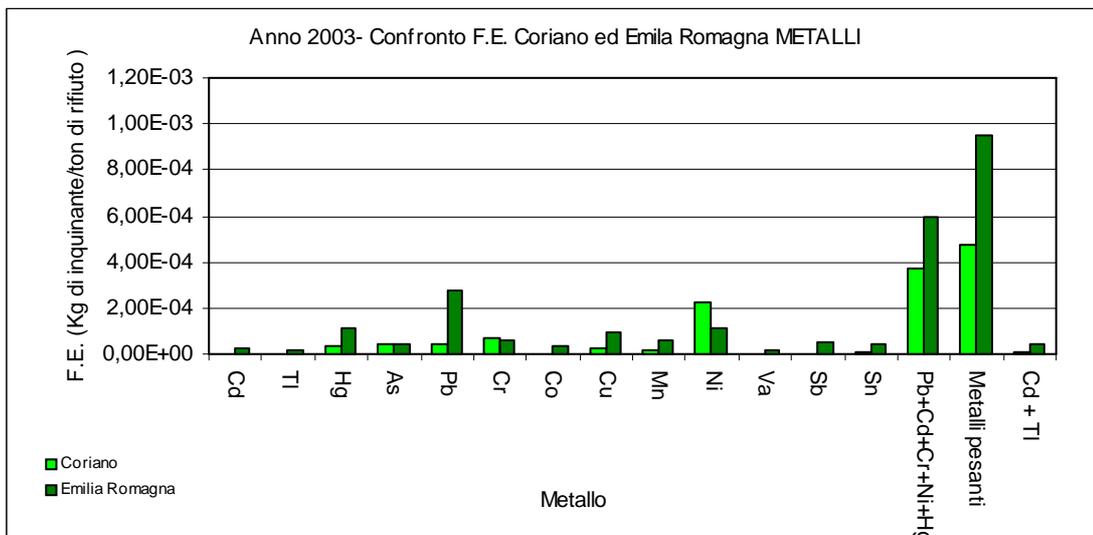


Figura 7.11 –Confronto Coriano/E. Romagna emissione metalli pesanti in atmosfera, anno 2003

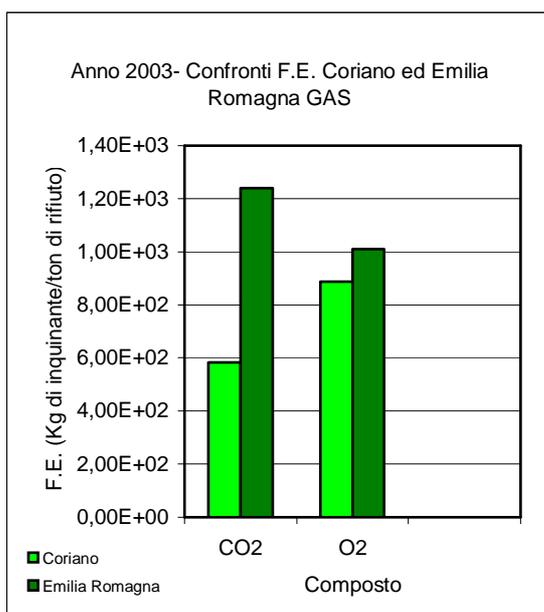


Figura 7.12 –Confronto Coriano/E. Romagna CO₂ e O₂, anno 2003

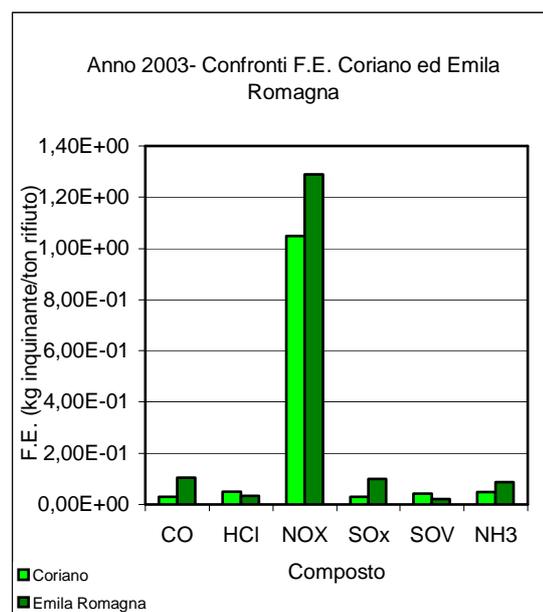


Figura 7.13 –Confronto Coriano/E. Romagna gas emessi, anno 2003

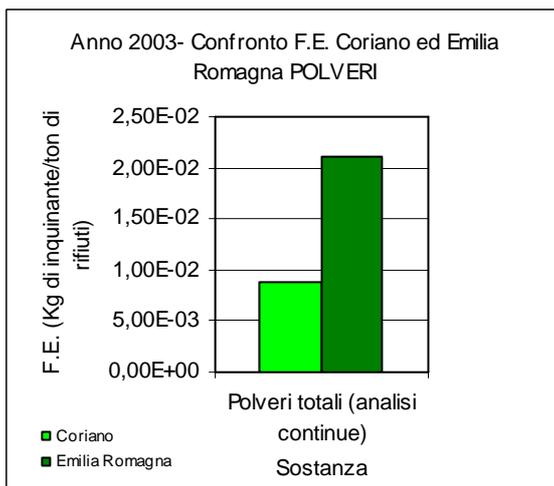


Figura 7.14 –Confronto Coriano/E. Romagna polveri, anno 2003

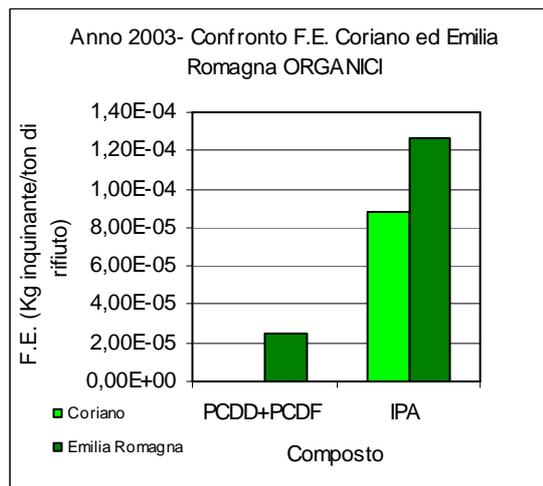


Figura 7.15 –Confronto Coriano/E. Romagna PCDD/F e IPA, anno 2003

Al fine di poter effettuare valutazioni relativamente ad una situazione più recente, sono stati raccolti alcuni dati fondamentali dei 7 inceneritori presenti in Regione relativamente all'anno 2009.

È stato scelto il 2009 perché rappresenta un anno recente in cui l'impianto esaminato ha funzionato in maniera continua a regime e per cui è stato possibile raccogliere il maggior numero di dati attendibili sugli altri stabilimenti.

Nel 2009, in Emilia Romagna, sono state termovalorizzate circa 734000 ton di rifiuti, che hanno portato alla produzione complessiva di 413 GWh di energia elettrica.

È stato assunto il medesimo valore relativamente al rapporto VOLUME FUMI (Nm^3) / QUANTITÀ DI RIFIUTI INCENERITI (ton) dell'anno 2003, cioè $7760 \text{ Nm}^3/\text{ton}$.

I dati raccolti sono riportati nella Tabella 7.36.

ANNO 2009										
EMILIA ROMAGNA										
	Provincia							MEDIA		
	BO*	PC	RA	FE	FO	RN	MO			
	Conc. (mg/Nm ³)	Fattori di emissione (Kg/ton)	Flussi di massa (kg)							
GAS										
CO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	1,01E+00	
HCl	3,09E-01	5,50E-01	-	1,72E-01	1,42E+00	1,70E+00	2,31E+00	1,08E+00	8,36E-03	6,13E+03
CO	1,38E+01	4,38E+00	1,09E+01	1,27E+01	8,66E+00	4,00E+00	1,26E+01	9,58E+00	7,43E-02	5,45E+04
NO _x	8,18E+01	1,37E+02	1,42E+02	3,93E+01	3,77E+01	1,54E+02	7,85E+01	9,58E+01	7,43E-01	5,46E+05
SO _x	8,34E-01	1,20E+00	8,55E-02	4,18E-02	2,70E-01	1,20E+00	3,10E-01	5,63E-01	4,37E-03	3,21E+03
HF	2,74E-03	4,75E-01	1,21E-01	4,35E-02	-	8,00E-02	1,20E-01	1,40E-01	1,09E-03	8,00E+02
POLVERI										
Polveri	5,71E-01	2,85E-02	1,55E+00	4,74E-01	5,20E-01	1,00E+00	9,19E-01	7,23E-01	5,61E-03	4,12E+03
METALLI										
Hg	2,50E-02	1,09E-02	1,50E-03	1,12E-03	-	3,60E-03	-	8,43E-03	6,54E-05	4,80E+01
Cd+Tl	1,80E-01	6,03E-03	1,73E-03	1,55E-04	-	2,20E-03	-	3,80E-02	2,95E-04	2,17E+02
ORGANICI										
IPA	5,45E-05	2,64E-04	3,49E-04	9,00E-05	-	5,00E-05	-	1,61E-04	1,25E-06	9,20E-01
PCDD/F	6,09E-08	5,83E-09	7,40E-08	2,30E-10	-	-	-	3,52E-08	2,73E-10	2,01E-04

Tabella 7.36–Emissioni fumi, Emilia Romagna, 2009

Sono ora riportati i risultati della comparazione espressi graficamente (Tabelle 7.16-7.19).

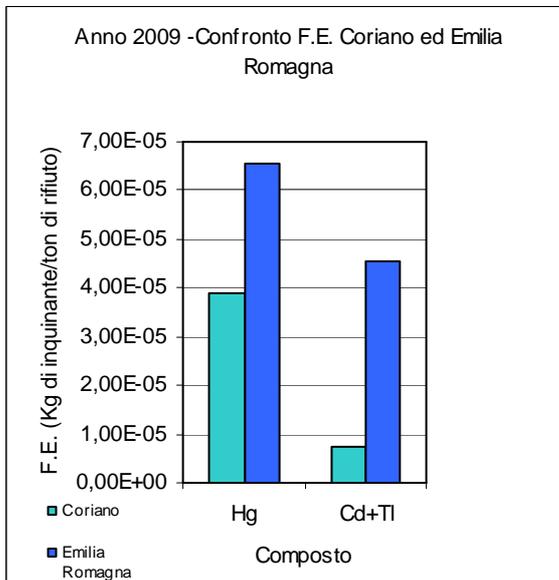


Figura 7.16 –Confronto Coriano/E. Romagna gas, 2009

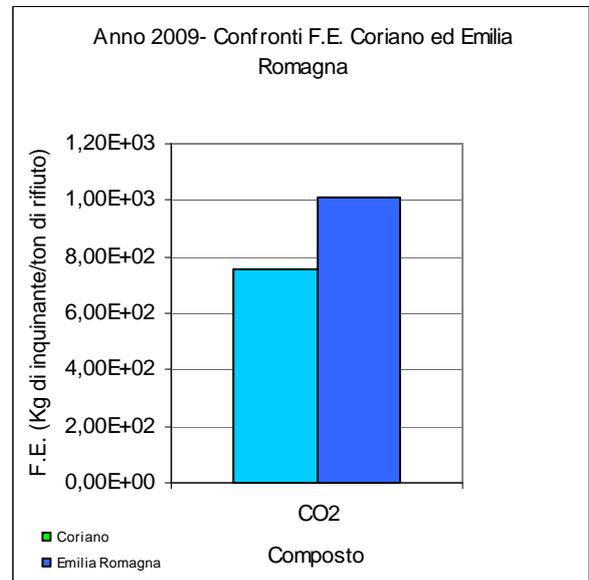


Figura 7.17 –Confronto Coriano/E. Romagna CO₂, 2009

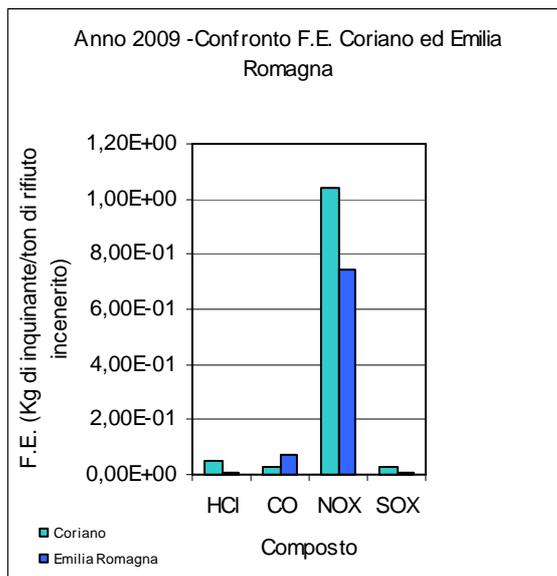


Figura 7.18 –Confronto Coriano/E. Romagna gas, 2009

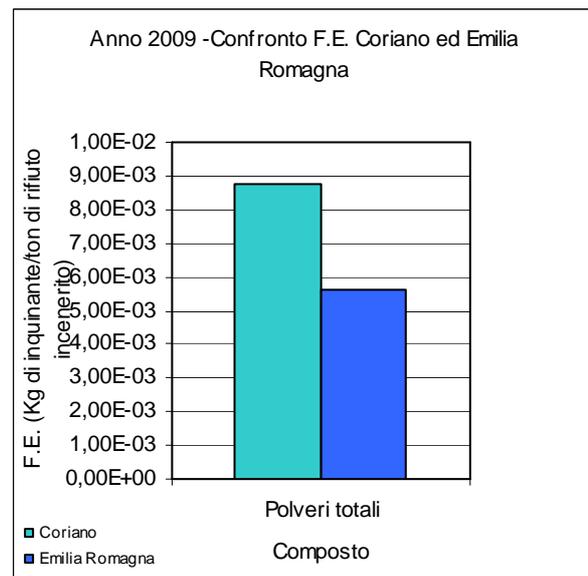


Figura 7.19 –Confronto Coriano/E. Romagna polveri, 2009

Si nota che la maggioranza dei parametri dell'inceneritore riminese è in linea con quelli degli altri impianti emiliano-romagnoli, con performance leggermente peggiori per quel che riguarda alcune tipologie di gas e le polveri e migliori per quel che riguarda i composti organici (diossine e IPA, per i quali è riportato il solo dato numerico) ed i

metalli [*HERAMBIENTE Dich. Amb., 2009*]; [*HERAMBIENTE, Dich. Amb., 2010*]; [*HERAMBIENTE Rapporto, 2011*]; [*HERAMBIENTE, 2011*].

Una valutazione più accurata sarà poi effettuata in seguito, quando si discuteranno i risultati ottenuti mediante metodologia LCA.

7.7 QUALITÀ DEI DATI

Tutti i dati inseriti in una modellazione LCA presentano incertezze.

Si distinguono principalmente tre tipologie di incertezze: l'incertezza dei dati considerati, l'incertezza legata alla rappresentatività del modello e quella legata alla sua completezza. Per quanto riguarda i dati, l'incertezza ha normalmente origine differente: infatti, per i dati primari deriva principalmente dall'incertezza della misura, mentre per altri dati, presi da letteratura o derivanti da approssimazioni, è evidente il problema di comprendere quanto essi siano attendibili e rappresentativi della realtà studiata.

L'incertezza relativa alla rappresentatività di un modello deriva dal fatto che molto spesso non esiste un'unica maniera in cui la realtà sia modellizzabile, ad esempio non c'è un'unica maniera per scegliere una tecnica di allocazione, spesso inoltre si usano dati di realtà territoriali più ampie, ad esempio si utilizzano dati relativi alla situazione Europea per descrivere la realtà dei singoli paesi; inoltre notevoli problemi emergono quando si vogliono andare a considerare prodotti con un lungo tempo di vita, in questi casi emerge infatti il dilemma dei risvolti futuri, in quanto è ad esempio difficile prevedere con esattezza come una certa tipologia di rifiuto sarà trattata.

Quanto alla completezza del modello, può accadere che non tutte le sue fasi siano note, per cui esiste il rischio di tralasciare fasi significative del ciclo di vita.

È inevitabile che queste incertezze possano influire sui risultati di uno studio, e la loro significatività diventa importante da comprendere soprattutto quando si confrontano dati.

L'incertezza legata alla qualità dei dati è quella relativamente più semplice da gestire, può essere espressa come deviazione standard ed esistono metodi statistici quali il metodo Monte Carlo, utilizzato in questo studio, che permettono di gestirla e stabilire un range di incertezza per i risultati di un calcolo, in questo caso relativo alla valutazione degli impatti.

7.7.1 TECNICA DI STIMA DELLE INCERTEZZE

Il Database Ecoinvent, nella sua versione “Unit process”, che contiene i processi base da cui si è partiti per l’esecuzione dello studio, comprende, oltre ai dati veri e propri, anche una stima della loro incertezza. Il valore vero e proprio può essere interpretato come il “miglior valore”, è determinato effettuando numerose misure e solitamente rappresenta il valore medio di esse. La distribuzione dei valori misurati viene espressa ordinariamente come una distribuzione lognormale, caratterizzata appunto da un valore medio ed una deviazione standard.

Esistono anche altre distribuzioni utilizzabili, ed il software Simapro effettivamente, oltre a quella sopra citata, supporta anche le distribuzioni “Uniforme”, “Triangolare” e “Normale”. Una proprietà tipica della distribuzione lognormale, solitamente impiegata e scelta anche per questo studio, è che il quadrato della deviazione standard geometrica copre il 95% di intervallo di fiducia.

Il problema che sorge più immediato, però, è come fare a stimare questa deviazione standard quando, come spesso accade, i dati a disposizione sono dati singoli, e non medie che derivano da un certo numero di misurazioni.

In tali situazioni, Ecoinvent utilizza una matrice chiamata “Pedigree matrix”, per stimare la deviazione standard a partire da alcuni parametri di incertezza a cui vengono attribuiti dei punteggi, tali punteggi vengono poi inseriti in una formula per stimare il quadrato della deviazione standard geometrica (SD^2), che è il dato di interesse.

Il tutto viene effettuato secondo una metodologia sviluppata da P.B. Weidema nel 1996 e che sarà brevemente descritta sotto.

La matrice sopra citata prende in considerazione 6 specifiche caratteristiche dei dati considerati: affidabilità, completezza, correlazione temporale, correlazione geografica, correlazione tecnologica e numero di misurazioni effettuate, per ognuna di esse si considera un indicatore a cui è attribuito un valore che costituisce un fattore di calcolo nella formula di Weidema.

L’affidabilità è legata proprio alla qualità dei dati originali e correlata ai requisiti che ci si è imposti per l’esecuzione dall’analisi di inventario. L’indicatore di riferimento valuta fonti e procedure di verifica utilizzate per ottenere i dati ed è indipendente dallo scopo dello studio, così che il suo punteggio è il medesimo se lo stesso dato viene utilizzato per un altro studio.

La completezza è collegata alla rappresentatività dei dati ed alla loro disponibilità e l’indicatore ad essa relativo è attribuito sulla base di proprietà statistiche, mentre

L'indicatore di correlazione temporale rappresenta la differenza fra l'anno oggetto dello studio e l'anno per cui sono stati ottenuti i dati. L'influenza di questo fattore è collegato fortemente all'oggetto dello studio: in alcuni casi, 10 anni di differenza comportano parametri, ad esempio per quel che riguarda l'emissione di sostanze nocive o l'efficienza di recupero energetico, totalmente differenti.

La correlazione geografica è importante in quanto, ad esempio, un sistema di produzione di uno stesso oggetto può essere differente se realizzato in parti del mondo diverse.

L'indicatore di correlazione temporale tiene conto che alcuni dati possono non essere rappresentativi di specifici materiali o processi esaminati. Spesso è infatti necessario utilizzare dati di processi correlati, che talvolta risultano addirittura preferibili a dati di località geografiche troppo differenti o troppo lontani su scala temporale.

Un ulteriore fattore denominato U_b fa riferimento alla tipologia di input od output considerato in base all'affidabilità con cui è possibile determinare i dati relativamente a ciò che è considerato.

Ad esempio il fattore U_b è elevato per le emissioni di metalli pesanti in atmosfera e basso per le emissioni di SO_x ed NO_x , in quanto i primi sono di più difficile determinazione [Pré 2008] ; [Ecoinvent, 2007].

7.7.2 STIMA DELLE INCERTEZZE

La Tabella con l'indicazione dei valori attribuibili ai differenti indicatori sulla base delle proprietà sopra descritte (Tabella 1), quella contenente i parametri per l'attribuzione del fattore U_b (Tabella 2) e l'equazione per il calcolo, a partire dalla deviazione standard, del quadrato della deviazione standard che è richiesto come dato di input (Equazione 1), sono riportate in Allegato I.

In Allegato II sono invece riportati i valori di incertezza per i differenti anni calcolati con la tecnica sopra descritta relativamente ai dati raccolti per lo svolgimento dello studio specifico oggetto della tesi.

Sono stati riportati in Tabelle differenti i valori attribuiti a ciascun indicatore per anni differenti.

I parametri relativi agli anni 1994, 1995 e 1996 sono riportati in Tabella 1. È evidente che l'incertezza è variabile in base al parametro considerato; emerge chiaramente il fatto che essa è minima per i dati relativi ai reagenti e combustibili ausiliari utilizzati (SD^2 attorno all'1,5), che sono dati noti, mentre è molto più elevata per i parametri di

emissione in atmosfera, specialmente relativi ai metalli pesanti (SD^2 attorno al 5), che invece sono noti con maggiore incertezza.

Incertezza intermedie, con un valore di SD^2 attorno a 2, si registrano invece per trasporto e smaltimento di scorie e ceneri.

Questo andamento si riscontra anche per quel che riguarda tutti gli anni successivi (Tabelle 2-5), sebbene siano evidenti alcune differenze causate da approssimazioni e fonti differenti. Ad esempio valori di incertezza leggermente superiori sono riscontrabili per l'utilizzo di aria ed acqua in quanto questi dati derivano da assunzioni effettuate sulla base degli anni precedenti. Per quel che riguarda l'energia prodotta, si tratta di un dato noto con chiarezza, perciò caratterizzato da un basso valore di incertezza.

Valori di incertezza più elevati, sia per quanto riguarda le risorse utilizzate, che l'energia prodotta e lo smaltimento dei residui solidi sono evidenti per l'anno 2010 (Tabella 4) e sono conseguenza delle approssimazioni effettuate per modellare tale anno escludendo il periodo di transitorio.

Per quel che riguarda i dati relativi al mix energetico italiano per i diversi anni (Tabelle 6-7) il valore di incertezza è piuttosto basso, generalmente il valore di SD^2 è infatti inferiore a 2, tranne per l'energia geotermica, per cui è di poco superiore.

Relativamente alle emissioni di metalli pesanti da parte delle scorie, in seguito a fenomeni di lisciviazione, le incertezze sono invece molto elevate come è evidente nella Tabella 8 (SD^2 superiore a 6), l'incertezza naturalmente aumenta per quei dati che non sono noti direttamente, ma derivano da interpolazione (SD^2 uguale a 6,45).

Quanto invece ai parametri relativi agli scarichi idrici, i dati sono caratterizzati da incertezze variabili, quelle maggiori si riscontrano per quanto riguarda i metalli (SD^2 uguale a 5,36) ed i composti organici (SD^2 attorno a 3,3 per la maggior parte di essi).

CAPITOLO 8

CREAZIONE DEL MODELLO PER L'ANALISI

Come è stato già accennato nei capitoli precedenti, la modellazione del processo di termovalorizzazione è stata basata su alcuni processi appartenenti alla banca dati Ecoinvent del software SimaPro; partendo da essi e modificandone opportunamente i dati e le interconnessioni, è stato possibile creare il modello delle attività dell'impianto studiato.

Per questo motivo è utile conoscere le caratteristiche dei processi di partenza e comprendere come essi siano legati a molti altri processi contenuti all'interno delle banche dati.

I processi principali che sono stati utilizzati nella maniera descritta sopra sono principalmente tre: il primo, denominato "disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration/kg/CH" delinea l'operazione di incenerimento vera e propria, il secondo, denominato "electricity, production mix IT/kWh/IT" descrive invece il mix di produzione dell'energia elettrica italiano, il terzo, "disposal, cement, hydrated, 0% water, to residual material landfill/kg/CH" contiene infine le informazioni necessarie a descrivere la modellazione della dismissione di scorie e ceneri in discarica.

Esistono almeno altri due processi importanti da considerare, relativi alla produzione di energia elettrica e che permettono di passare dal mix di fonti energetiche all'energia prodotta vera e propria: "electricity, high voltage, production IT, at grid/kWh/IT" e "electricity, medium voltage, production IT, at grid/kWh/IT".

Verrà sotto fornita una descrizione più accurata per ciascuno di essi.

8.1 PROCESSO RELATIVO ALL'INCENERIMENTO

Per quel che riguarda il processo rappresentativo delle operazioni di incenerimento, "disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration/kg/CH" è innanzitutto importante considerare i parametri ed i processi che esso include.

Innanzitutto esso contiene le risorse consumate, in particolare i composti utilizzati per la depurazione dei fumi ed i combustibili ausiliari. Comprende poi un lungo inventario relativo alle emissioni in acqua ed aria ed include trasporto e dismissione di scorie e polveri in discarica.

Considerando però la sola operazione di incenerimento, non comprende il recupero energetico, che è possibile comunque inserire alla voce "impatti evitati".

La composizione del rifiuto per il quale è stato compilato il processo è tipica dei RSU e non è molto diversa dalle composizioni della Provincia di Rimini; a titolo informativo è sotto riportata: 21% carta; 8% cartoni misti; 15% plastica; 3% laminati; 2%, imballaggi multistrato; 3% misto; 3% vetro; 2% tessili; 8% minerali; 9% prodotti naturali; 22% materiali compostabili; 3.65% metalli; 0.0065% batterie; 0.34% beni elettronici.

È assunto che 1 ton di rifiuto produca 0,19 ton di scorie, un poco inferiore alla quantità prodotta dall'impianto considerato, che oscilla fra 0,32 ton del 1995 e 0,23 ton del 2011 (valori sostituiti nel nuovo modello realizzato), che vengono dimesse in discarica.

Le emissioni in aria ed acqua del processo-base sono rappresentative di uno scenario costruito considerando i dati di 2000 impianti europei dotati di differenti tecnologie di depurazione dei fumi di combustione, i dati sono stati aggiornati sulla base dei parametri noti per l'impianto di Coriano.

Tale scenario è basato sulla realtà svizzera dell'anno 2000, ma è applicabile a tutti i moderni impianti di incenerimento europei, nordamericani e giapponesi.

8.2 PROCESSI RELATIVI ALLA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA

Per quel che riguarda la produzione di energia elettrica, il processo di maggiore importanza da considerare è "electricity, production mix IT/kWh/IT".

Esso include le percentuali di energia prodotta tramite le differenti fonti energetiche sfruttate in Italia, ma non include trasformazione, trasporto e perdite di distribuzione.

I dati derivano quasi interamente dal settore energetico italiano salvo quelli relativi agli impianti fotovoltaici, modellati sulla base di dati svizzeri, e si riferiscono all'anno 2004.

I processi "electricity, high voltage, production IT, at grid/kWh/IT" e "electricity, medium voltage, production IT, at grid/kWh/IT" sono invece quelli che permettono di considerare produzione e trasformazione, in particolare il secondo è quello che permette di identificare l'impatto evitato.

Il modello prevede infatti la generazione di elettricità ad alto voltaggio che viene poi trasformata a basso voltaggio e quantifica le dispersioni.

La produzione è basata sul mix energetico italiano, mentre trasformazione e dispersione sono basati su dati svizzeri.

Entrambi i processi considerano le emissioni dirette in aria, in particolare per quel che concerne N₂O e ozono, i fattori di emissione derivano da misurazioni effettuate in diversi paesi.

Come tecnologia, è presa in esame quella media per la distribuzione dell'elettricità, che comprende alcune linee interrato ed altre montate su palo.

8.3 DISMISSIONE DEI RESIDUI SOLIDI DI COMBUSTIONE

Per quel che riguarda la dismissione di scorie e polveri, è stata modellizzata sulla base del processo "disposal, cement, hydrated, 0% water, to residual material landfill/kg/CH".

Il rilascio di sostanze inquinanti in discarica è stato modellizzato sulla base di concentrazioni di lisciviato note da studi di letteratura. Il 100% dei residui è considerato solidificato con cemento ed acqua ed avente questa composizione: H₂O = 5969,2 ppm; O = 672760 ppm; H = 66667 ppm; S = 4938,4 ppm; P = 231,96 ppm; As = 3,3957 ppm; Cd = 0,60687 ppm; Co = 1,7555 ppm; Cr = 21,386 ppm; Cu = 3,8614 ppm; Hg = 0,017115 ppm; Mn = 189,76 ppm; Ni = 16,464 ppm; Pb = 29,371 ppm; Sb = 0,0881 ppm; Sn = 1,3293 ppm; V = 23,132 ppm; Zn = 80,532 ppm; Tl = 0,19256 ppm; Si = 38427 ppm; Fe = 10046 ppm; Ca = 183060 ppm; Al = 13408 ppm; Na = 4115,3 ppm.

È considerata la tecnologia svizzera impiegata nell'anno 2000, rappresentativa comunque della realtà dei paesi industrializzati, e che prevede la presenza di un telo impermeabile alla base della discarica, di sistemi di raccolta del lisciviato e la riqualificazione dopo la chiusura [Ecoinvent, 2007].

8.4 MODELLAZIONE

La modellazione vera e propria deriva dunque dall'interconnessione di questi ed altri scenari, adattati per la realtà locale e l'anno considerato. In particolare, in molte parti dello studio, sono stati considerati separatamente i processi di incenerimento tale quale, di incenerimento con recupero energetico e di produzione di energia elettrica in Italia, così da poter cogliere in maniera più precisa l'influenza di ciascuno di essi.

Il software SimaPro consente di visualizzare la maniera in cui i vari processi sono correlati tra loro e con altri processi contenuti nel database attraverso una rappresentazione grafica a rete. A titolo esemplificativo sono riportati sotto i Grafici ottenuti impostando la modellazione relativa all'anno 1996 contenente il solo processo di incenerimento (Figura 8.1) e quella relativa al 2011 dell'incenerimento con recupero energetico (Figura 8.2), così da visualizzare come variano i processi considerati con una configurazione senza e con recupero energetico analizzando due scenari reali. È inoltre riportato (Figura 8.3) il Grafico rappresentativo della modellazione di 1 MWh di energia elettrica in Italia.

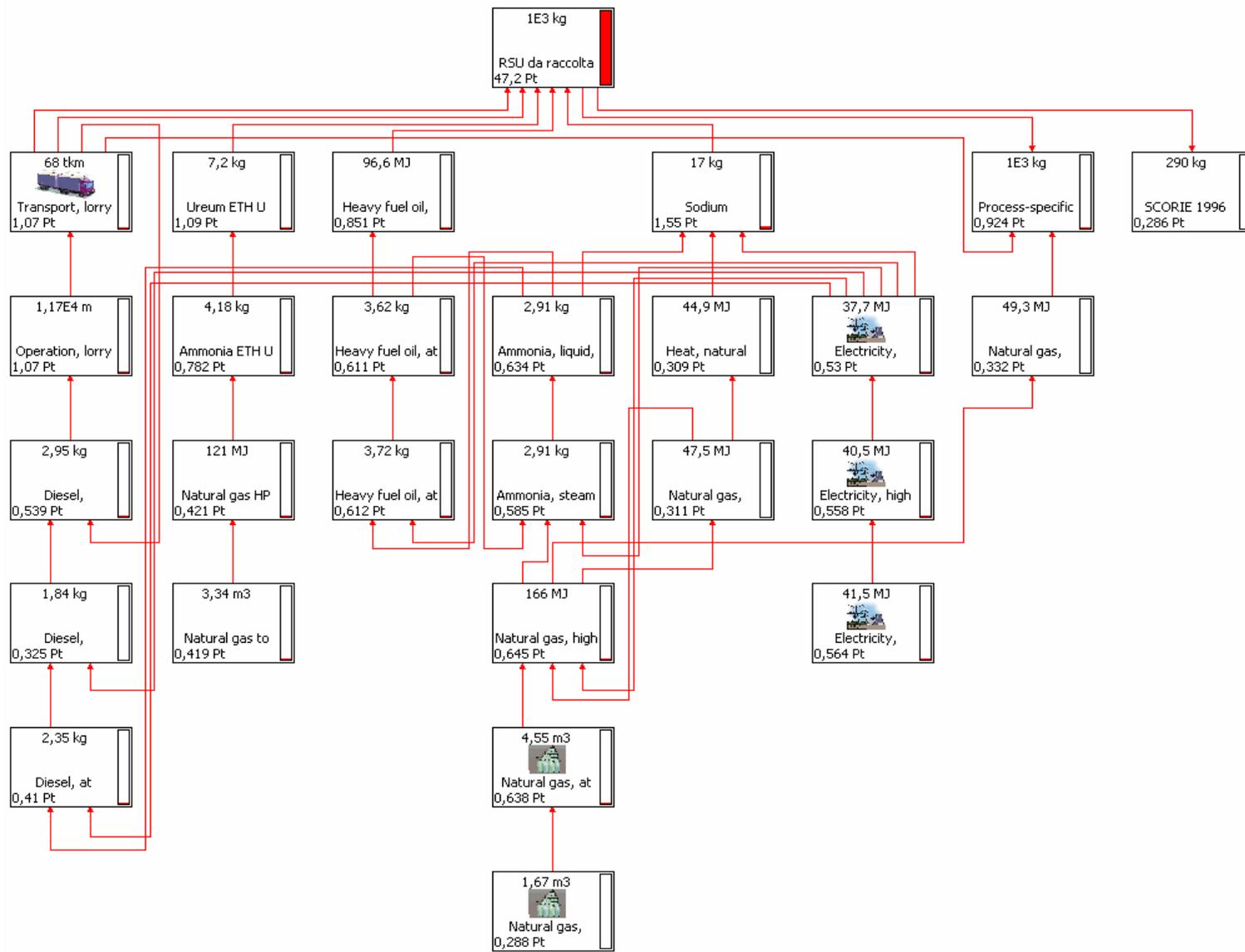


Figura 8.1 –Modellazione attività impianto senza recupero energetico, anno 1996

RISULTATI E DISCUSSIONE

Come introdotto nel Capitolo 5, Paragrafo 5.5.3, si è scelto di utilizzare il metodo Eco-indicator 99 per la valutazione degli impatti ambientali, in particolare l'approccio Eco-indicator 99 con prospettiva "gerarchica" (H, V2.08) e impostazioni medie europee (Europe EI 99 H/A). Le categorie di impatto analizzate sono state le seguenti: *carcinogens, respiratory organics, respiratory inorganics, ozone layer, climate change, acidification / eutrophication, ecotoxicity, minerals e fossil fuels*. Il metodo comprende anche le categorie *radiation e land use*, che sono state trascurate in quanto, avendo scarsa attinenza col processo considerato, si è verificato rappresentavano un contributo minimo all'impatto complessivo.

Le Categorie di danno sono normalizzate anch'esse sulla base dello scenario medio Europeo, e comprendono *human health, ecosystem e resources*.

Sono ora passati in rassegna i risultati delle diverse prove considerate.

9.1 RISULTATI CARATTERIZZAZIONE

In questa parte dello studio sono stati presi in esame i seguenti sistemi:

-Scenario 1: rappresenta lo scenario reale, cioè l'effettivo funzionamento dell'impianto.

Per quel che riguarda il periodo 1994-1996, dunque, è preso in esame il solo incenerimento, mentre, a partire dal 2003, è stato considerato il recupero di energia elettrica effettivo ottenuto ogni anno, che genera un impatto evitato che viene sottratto all'impatto delle operazioni di incenerimento.

-Scenario 2: rappresenta, per tutti gli anni considerati, il solo impatto legato all'incenerimento dei rifiuti, senza tenere conto degli impatti evitati dovuti alla produzione di energia elettrica; neppure per gli anni in cui il sistema di recupero energetico è stato attivo. Rappresenta, dunque, gli impatti direttamente legati soltanto alle operazioni di incenerimento.

-Scenario 3: rappresenta, per i soli anni in cui il sistema di recupero energetico è stato in funzione, dunque a partire dal 2003, l'impatto equivalente per produrre la stessa quantità di energia elettrica prodotta dall'impianto, ma da mix energetico italiano. Costituisce dunque la stima dell'impatto evitato e, per questo motivo, viene riportato come valore

negativo. Si tratta di un valore piuttosto importante per comprendere i risultati dei grafici precedenti.

Di seguito si riporta la discussione dei risultati per le singole categorie di impatto considerate.

Carcinogens

La produzione di sostanze cancerogene è una categoria rilevante per l'entità dell'impatto associata alle operazioni di incenerimento: infatti, analizzando il grafico relativo allo scenario 1 (Figura 9.1) e quello relativo allo scenario 2 (Figura 9.2), si nota che l'andamento degli impatti è molto simile; l'entità è solo lievemente inferiore considerando il recupero energetico.

In entrambi i casi, si nota però una decisa diminuzione dell'impatto per gli anni 2010 e 2011 conseguentemente alla diminuzione di metalli pesanti e sostanze organiche rilasciate, e unitamente alla riduzione della quantità di scorie prodotte, che conduce al rilascio di una minore quantità di inquinanti in seguito alla dismissione in discarica.

L'impatto equivalente evitato associato alla categoria rappresentato mediante lo scenario 3 (Figura 9.3) dimostra di essere abbastanza costante nel tempo.

Respiratory inorganics

L'impatto di tale categoria, che descrive gli effetti negativi sull'apparato respiratorio correlati alla presenza in atmosfera di particolato, ossidi di azoto, di zolfo, ammoniaca ecc., mostra una progressiva diminuzione nel tempo dovuta al decremento dell'emissione di tali sostanze grazie all'installazione di più efficienti sistemi di abbattimento.

La conseguenza è una diminuzione significativa dell'impatto osservato considerando lo scenario 2 (Figura 9.2) tra il 1996 ed il 2003, in seguito alle operazioni di ristrutturazione messe in atto attorno al 2000. Un'ulteriore diminuzione è riscontrata per gli anni 2010 e 2011, ed è principalmente conseguenza dell'abbattimento delle emissioni di NO_x grazie all'installazione dell'SCR e della diminuzione della quantità di polveri emesse.

Considerando lo scenario 1 (Figura 9.1), l'impatto relativo agli anni 2010 e 2011 diminuisce fino a divenire negativo: ciò è l'effetto sommato della diminuzione dell'impatto di cui si è parlato sopra, unitamente all'incremento dell'impatto evitato e correlato alla maggiore efficienza di recupero energetico (Figura 9.3).

Climate change

L'impatto associato al cambiamento climatico è direttamente proporzionale alla quantità di gas climalteranti emessi dall'impianto (espressi in unità di massa CO₂ equivalenti).

Si nota che, considerando lo scenario 2 (Figura 9.2), che descrive in maniera esclusiva le operazioni di incenerimento, l'impatto complessivo è lievemente crescente, in accordo con le emissioni di CO₂ riscontrate, così come per gli anni 2010 e 2011 si riscontra un incremento più marcato in seguito ad una maggiore quantità di CO₂ emessa. Considerando invece lo scenario 1 (Figura 9.1), gli impatti sono riportati verso un trend di diminuzione nel tempo proprio grazie all'impatto evitato dovuto al recupero energetico (Figura 9.3). L'andamento mostrato e le eccezioni relativi agli anni 2010 e, soprattutto, 2011 inerenti lo scenario 1 sono da attribuirsi al fatto che l'elevata efficienza di recupero energetico e l'entità superiore dell'impatto evitato che ne consegue (Figura 9.3) è stata però compensata dall'impatto causato dalla maggiore quantità di CO₂ emessa dall'impianto, a seguito della maggiore efficienza di combustione.

Quanto invece all'impatto evitato (scenario 3), esso è decrescente fra il 2003 ed il 2009 a causa del mix energetico italiano sempre più distribuito verso fonti rinnovabili, che rendono il beneficio lievemente penalizzato, mentre è più elevato per gli anni 2010 e 2011 conseguentemente all'aumentata efficienza di recupero energetico.

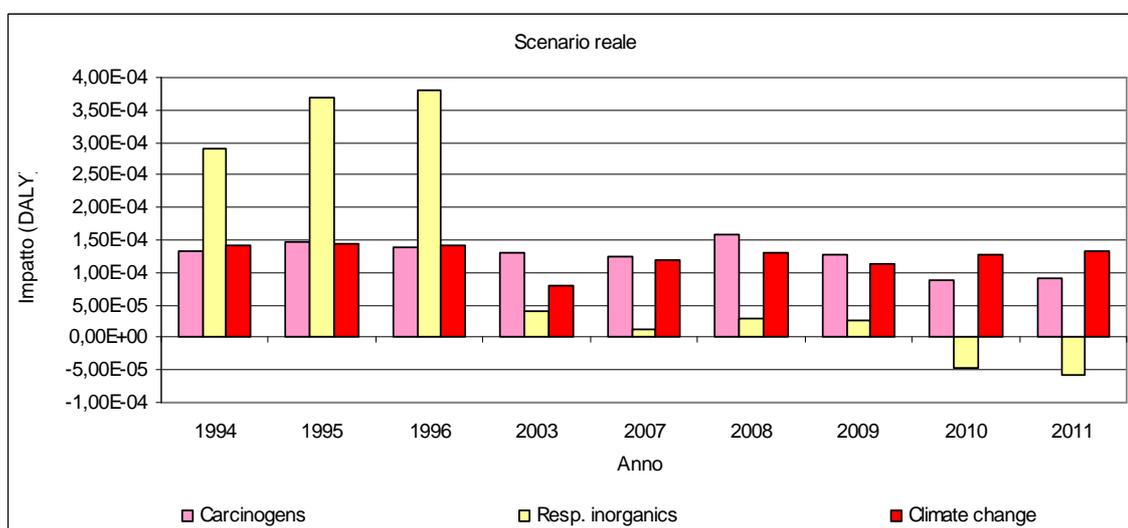


Figura 9.1 –Risultati caratterizzazione scenario 1, categorie di impatto carcinogens, respiratory inorganics, climate change, 1994-2011

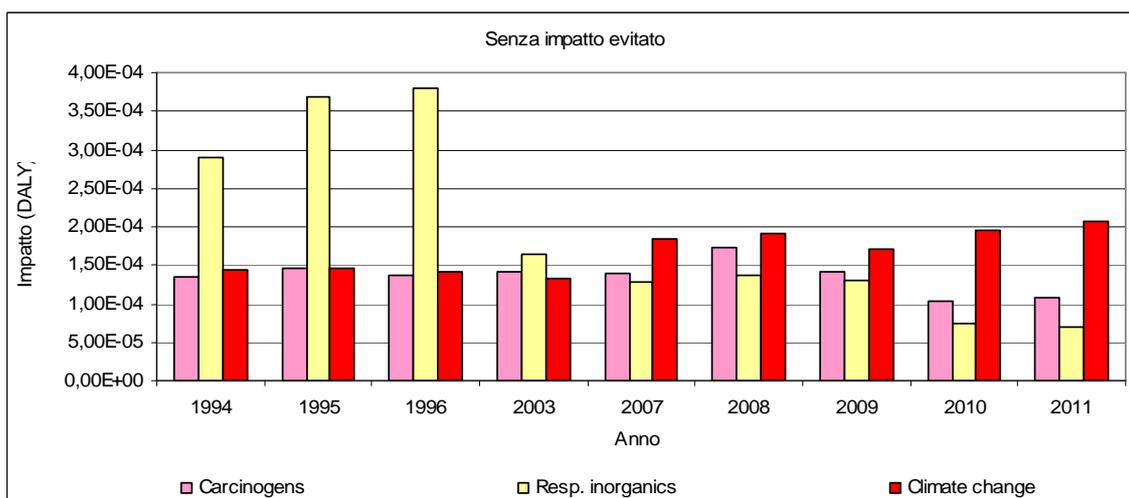


Figura 9.2 –Risultati caratterizzazione scenario 2, categorie di impatto carcinogens, respiratory inorganics, climate change, 1994-2011

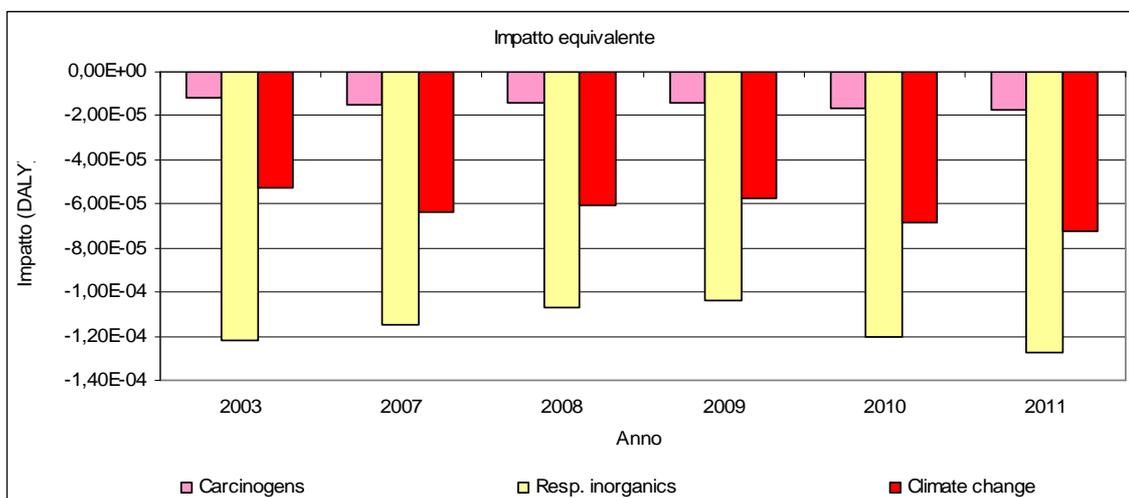


Figura 9.3 –Risultati caratterizzazione scenario 3, categorie di impatto carcinogens, respiratory inorganics, climate change, 1994-2011

Respiratory organics

La categoria che valuta le conseguenze negative sugli apparati respiratori conseguentemente all’inalazione di sostanze organiche mostra un impatto decrescente nel tempo, anche considerando esclusivamente l’effetto delle operazioni di incenerimento senza considerare il recupero energetico descritto dallo scenario 2 (Figura 9.5). Diminuzioni più evidenti sono riscontrate tra gli anni 1996 e 2003 e 2009 e 2010/2011, cioè in corrispondenza dei periodi in cui si sono verificate le principali operazioni di ristrutturazione.

Considerando lo scenario 1 (figura 9.4), l’effetto è decisamente più marcato, in quanto agli impatti diretti dell’impianto, vengono sottratti gli impatti evitati legati alla

generazione di energia elettrica (figura 9.6). Ciò porta ad un impatto netto negativo per l'anno 2011.

Ozone layer

L'impatto legato a questa categoria, che descrive gli effetti negativi sulla legati al deterioramento dello strato di ozono stratosferico, è strettamente legato al variare del recupero energetico, considerando lo Scenario 1 (Figura 9.4), è negativo a partire dal 2003, primo anno per cui sono stati elaborati dati comprendenti la sezione di impianto dedicata al recupero energetico.

Considerando lo scenario 2 (Figura 9.5), si nota invece chiaramente che l'impatto è causato principalmente dall'utilizzo di urea nel sistema di depurazione fumi de-NO_x; poiché nel tempo si è spinto nella direzione di avere il minor quantitativo possibile di NO_x nei fumi, la quantità di urea utilizzata è leggermente aumentata, e, di conseguenza, si osserva un leggero aumento degli impatti legati alla distruzione dello strato di ozono stratosferico; invece, nel 2011, si è osservata una diminuzione del quantitativo di urea impiegata e, quindi, di questa tipologia di impatto. Dai dati relativi agli scenari 1 (Figura 9.5) e 3 (Figura 9.6) si deduce che la diminuzione dell'impatto è direttamente proporzionale alla quantità di energia prodotta.

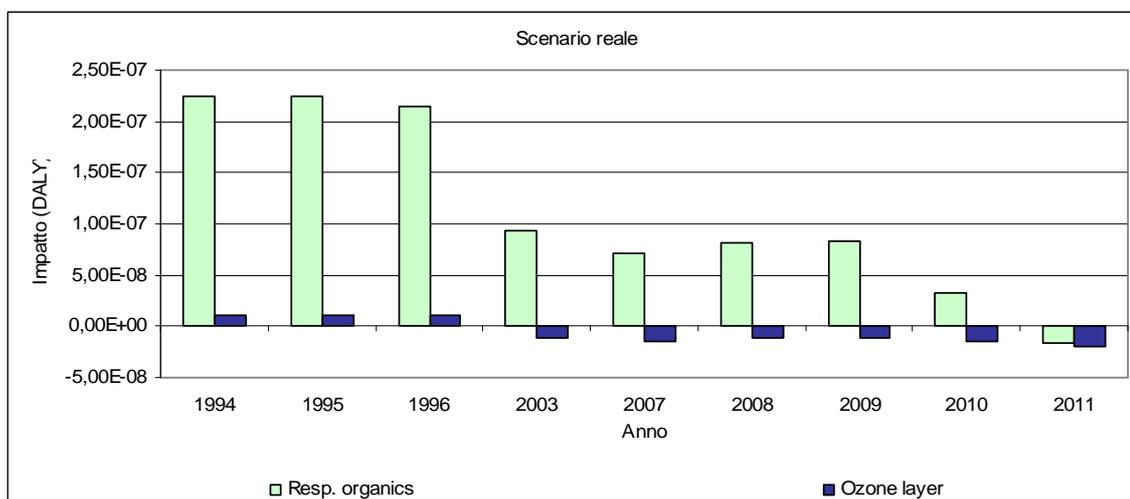


Figura 9.4 –Risultati caratterizzazione scenario 1, categorie di impatto respiratory organics e ozone layer, 1994-2011

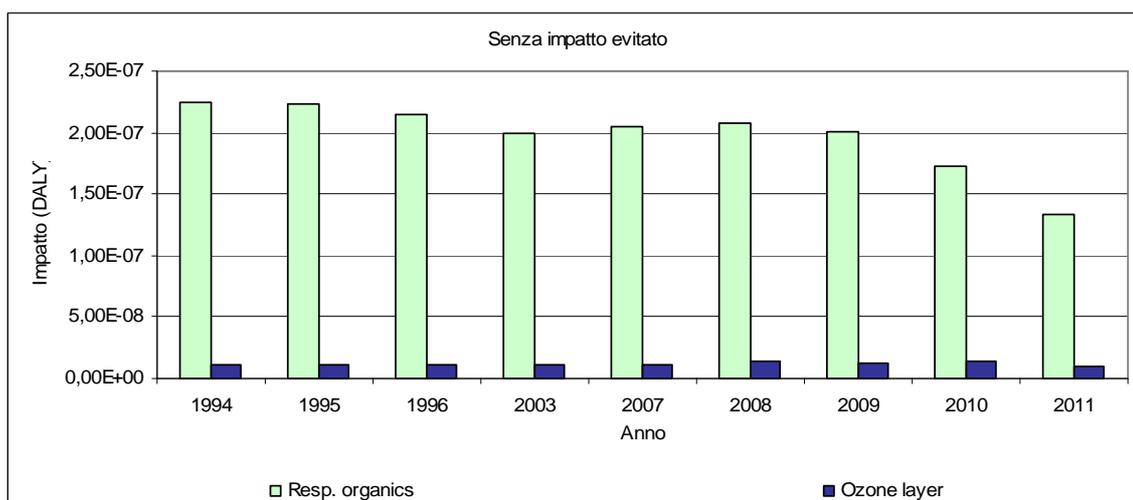


Figura 9.5 –Risultati Caratterizzazione Scenario 2, categorie di impatto respiratory organics e ozone layer, 1994-2011

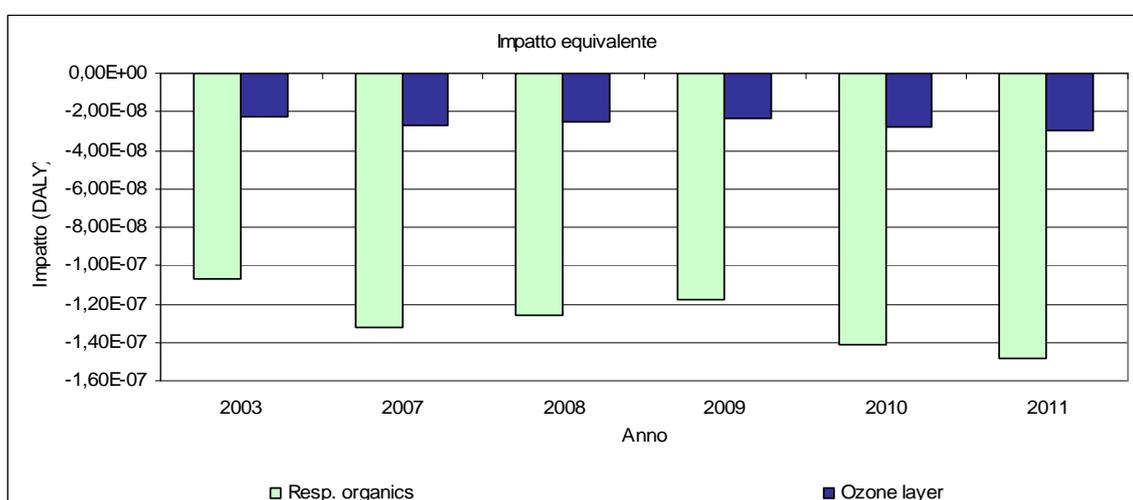


Figura 9.6 –Risultati caratterizzazione scenario 3, categorie di impatto Respiratory organics e Ozone layer, 1994-2011

Ecotoxicity

Si tratta di una categoria di impatto la cui entità è correlata all'emissione di sostanze inquinanti, in particolare sostanze organiche e metalli pesanti, nei comparti ambientali aria, acqua e suolo. L'entità di tale categoria, mostra, considerando lo scenario 2 (Figura 9.8), una complessiva diminuzione, più marcata per gli anni 2010 e 2011, in cui è stata osservata una diminuzione della quantità di scorie dimesse in discarica. È tuttavia ben evidente la discontinuità riscontrata in corrispondenza dell'anno 2008 (e parzialmente 2009), anno in cui sono state effettuate operazioni di manutenzione, che hanno portato l'impianto ad operare in condizioni non stazionarie. Considerando lo scenario 1 (Figura

9.7) tutte le categorie di impatto risultano notevolmente attenuate nei propri impatti, per effetto di un significativo impatto evitato (Figura 9.9).

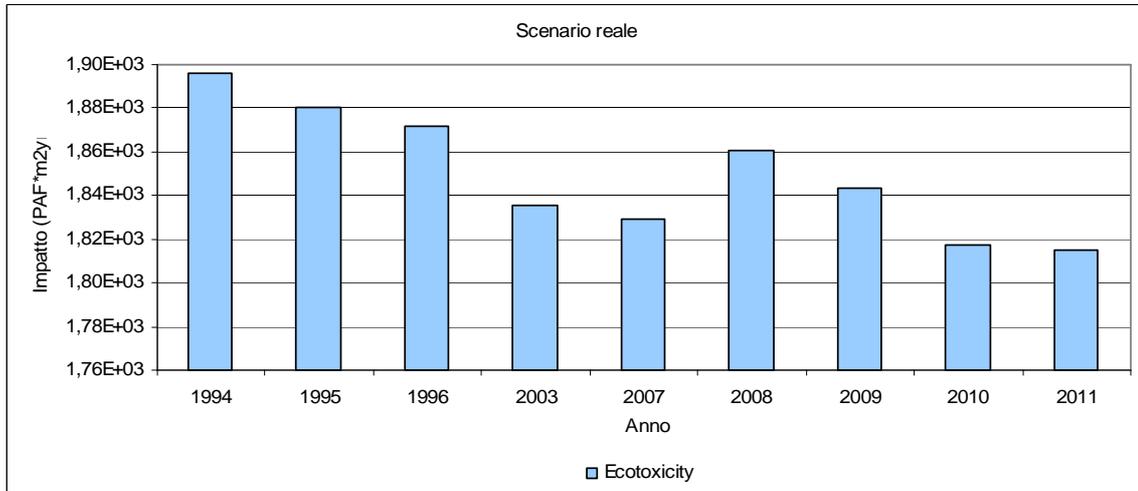


Figura 9.7 –Risultati caratterizzazione scenario 1, categoria di impatto ecotoxicity, 1994-2011

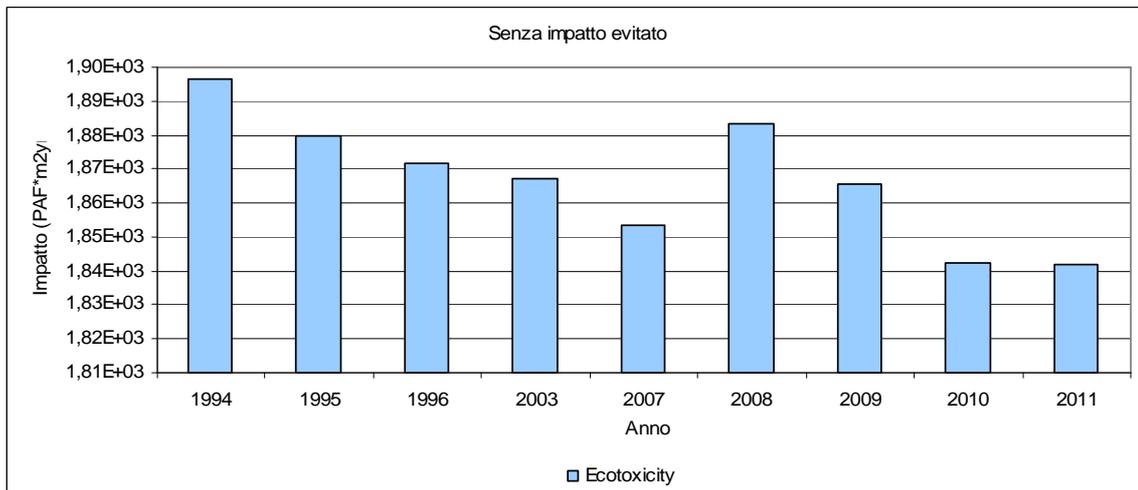


Figura 9.8 –Risultati caratterizzazione scenario 2, categoria di impatto ecotoxicity, 1994-2011

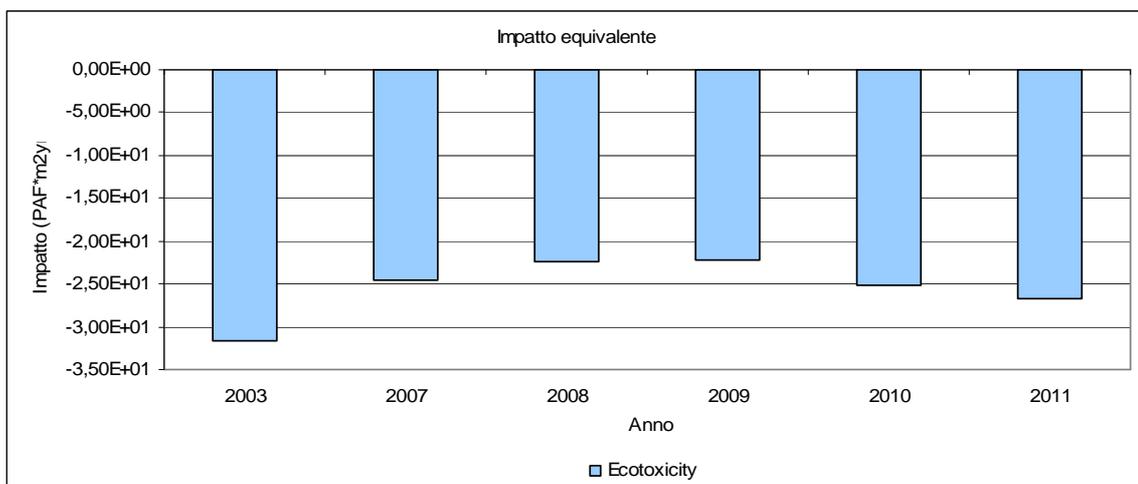


Figura 9.9 –Risultati caratterizzazione scenario 3, categoria di impatto Ecotoxicity, 1994-2011

Acidification/Eutrophication

Questa categoria di impatto prende in esame l'effetto sull'ecosistema dell'immissione di sostanze nutrienti ad elevato potenziale di eutrofizzazione, quali fosforo e azoto, o di composti quali NOx od SOx, in grado di generare fenomeni di acidificazione. Analizzando lo Scenario 2, (Figura 9.11) si denota un trend di complessiva diminuzione degli impatti relativi a questa categoria, diretta conseguenza degli interventi effettuati sulla linea di depurazione fumi. La diminuzione è infatti più marcata proprio in seguito ai periodi in cui sono state introdotte innovazioni sulla linea di depurazione fumi, 1996 e 2009. Ciò è in particolare conseguenza della diminuzione delle emissioni di gas acidi, ossidi di zolfo e di azoto. L'effetto dell'impatto evitato (Figura 9.12) è rilevante e infatti, analizzando lo scenario 1 (Figura 9.10), l'impatto diviene negativo a partire dal 2010.

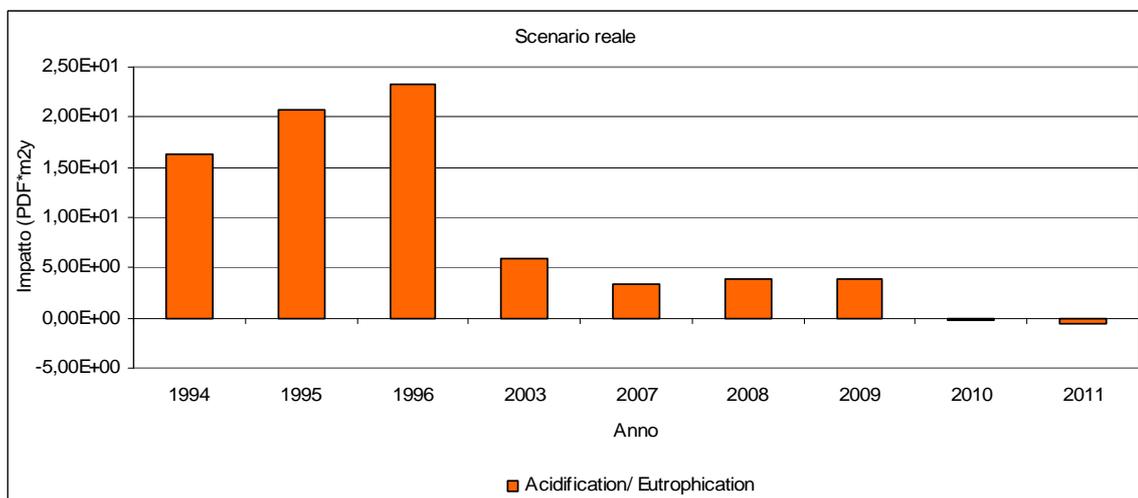


Figura 9.10 –Risultati caratterizzazione scenario 1, categoria di impatto acidification/eutrophication, 1994-2011

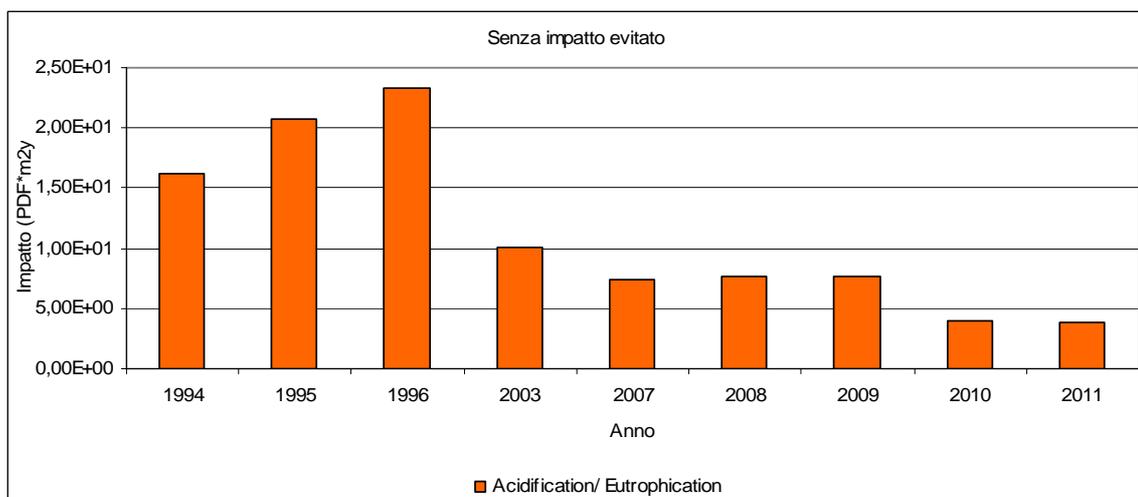


Figura 9.11 –Risultati caratterizzazione scenario 2, categoria di impatto acidification/eutrophication, 1994-2011

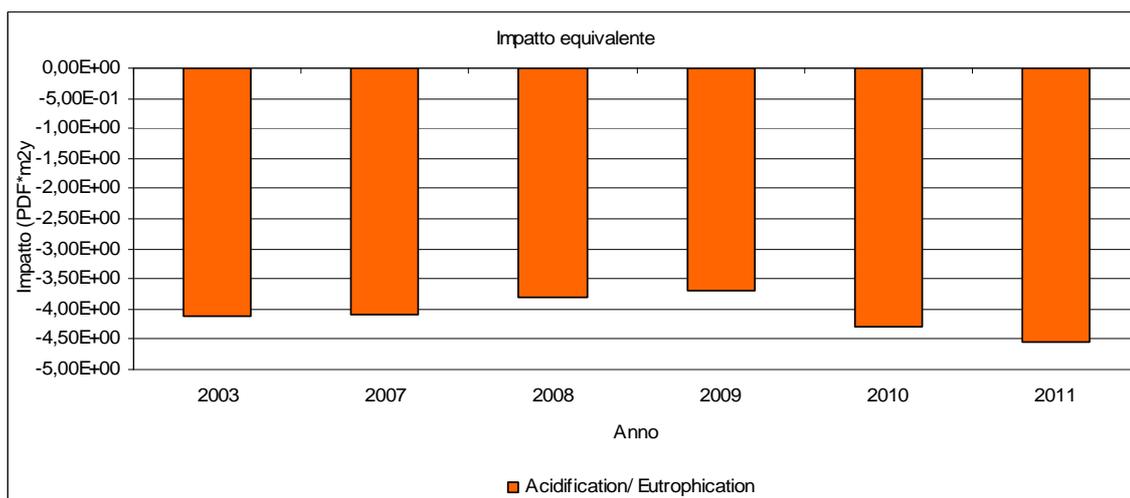


Figura 9.12 –Risultati caratterizzazione scenario 3, categoria di impatto acidification/eutrophication, 1994-2011

Fossil fuels

L'impatto relativo al consumo di combustibili fossili, valutato in relazione allo scenario 2 (Figura 9.14), rimane circa costante nel tempo e, come entità, è correlato al maggiore o minore consumo di combustibili da parte dell'impianto; è evidente infatti come gli anni 2008 e 2010, caratterizzati dai elevati consumi di gasolio e metano, manifestino impatti maggiori. Considerando lo scenario 1 (Figura 9.13), a partire dall'anno 2003 gli impatti divengono decisamente negativi, in quanto è predominante l'effetto dell'impatto evitato (Figura 9.15) conseguenza del recupero energetico, che fa sì che si attuino notevoli risparmi di combustibili fossili per la produzione di energia elettrica a partire da mix nazionale.

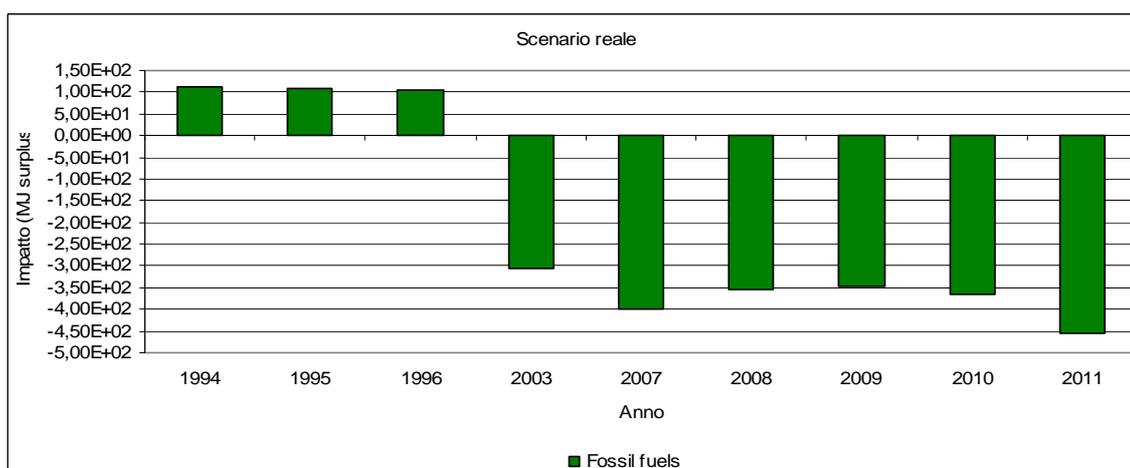


Figura 9.13 –Risultati caratterizzazione scenario 1, categoria di impatto fossil fuels, 1994-2011

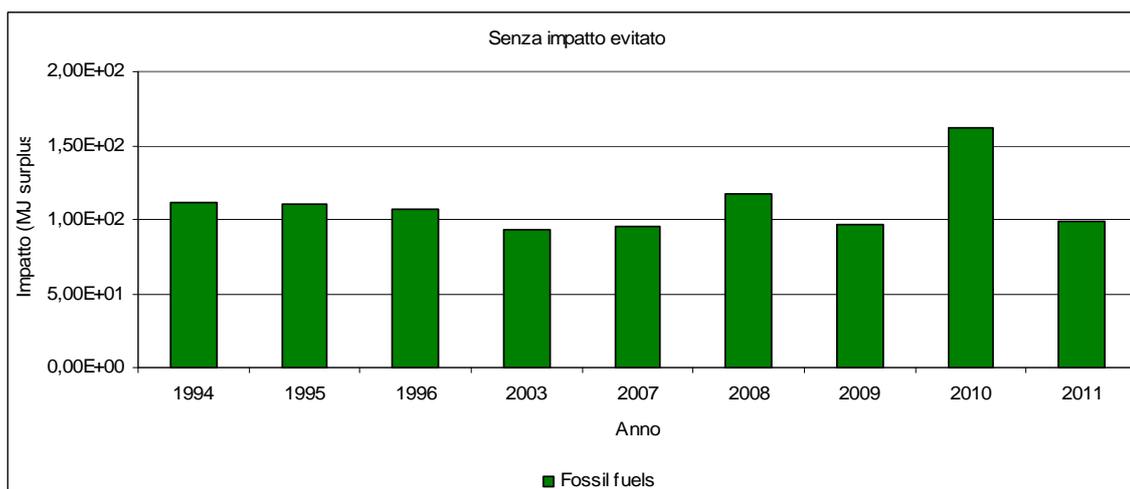


Figura 9.14 –Risultati caratterizzazione scenario 2, categoria di impatto fossil fuels, 1994-2011

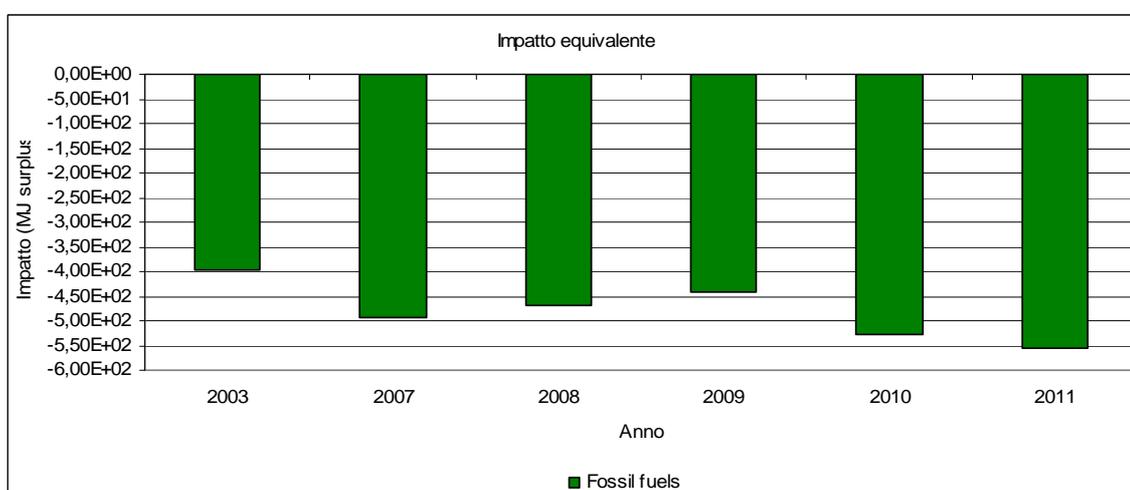


Figura 9.15 –Risultati caratterizzazione scenario 3, categoria di impatto fossil fuels, 1994-2011

Minerals

Questa categoria di impatto valuta l'effetto di un impoverimento delle risorse minerali in seguito al loro sfruttamento. Analizzando il grafico relativo allo scenario 2 (Figura 9.17), si denota che l'impatto relativo a questa categoria tende a calare nel tempo anche senza considerare il recupero energetico; tuttavia anche il recupero energetico gioca un ruolo importante, infatti, valutando lo scenario 1 (Figura 9.16), si evince che l'effetto della diminuzione dell'impatto è amplificato dall'impatto evitato correlato al recupero energetico (Figura 9.18), e, quindi, diminuisce notevolmente nel 2011, caratterizzato dalla più elevata efficienza di recupero energetico.

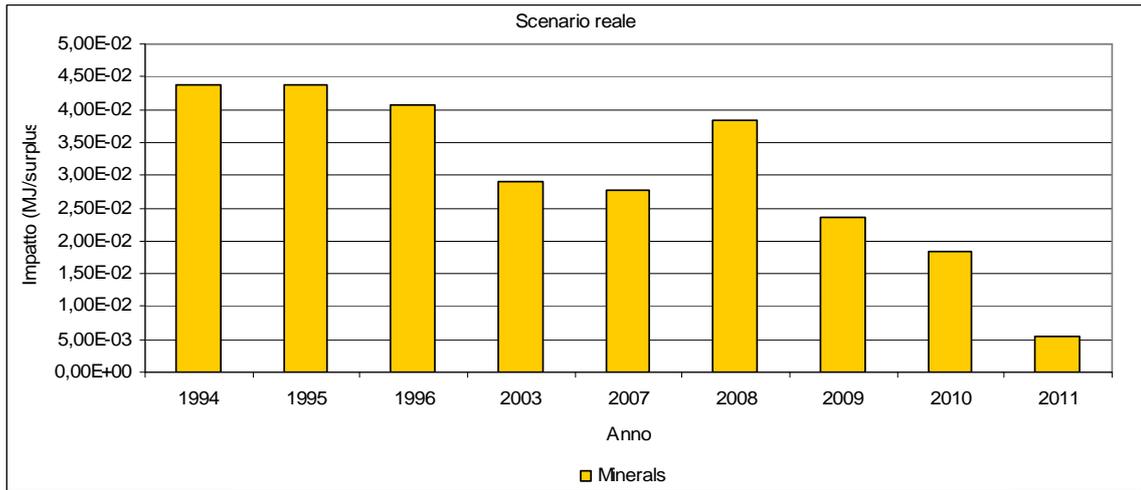


Figura 9.16 –Risultati caratterizzazione scenario 1, categoria di impatto minerals, 1994-2011

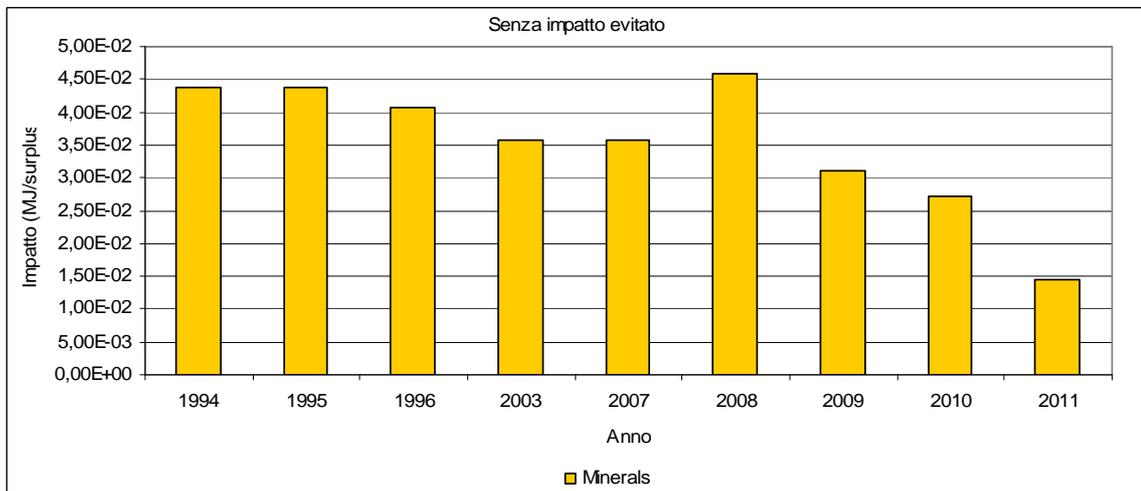


Figura 9.17 –Risultati caratterizzazione scenario 2, categoria di impatto minerals, 1994-2011

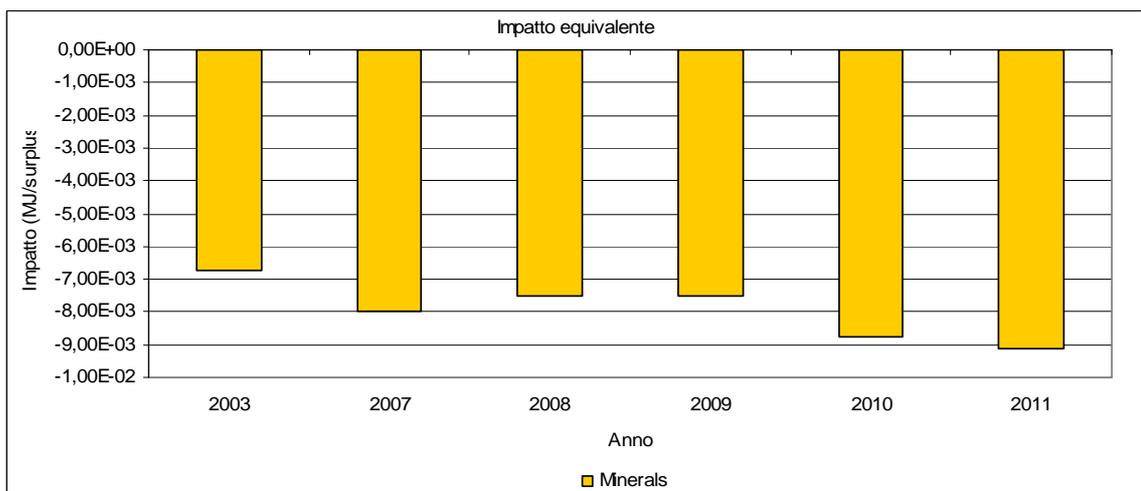


Figura 9.18 –risultati caratterizzazione Scenario 3, categoria di impatto minerals, 1994-2011

9.2 NORMALIZZAZIONE

Sono stati valutati i risultati della normalizzazione per quanto riguarda i differenti scenari.

Dai risultati, emerge che le categorie di impatto di maggiore rilevanza risultano sempre essere, in tutti gli scenari considerati: respiratory inorganics, ecotoxicity, climate change, carcinogens, fossil fuels ed acidification/eutrophication. Tra di esse, le categorie di impatto legate al cambiamento climatico ed all'emissione di sostanze inorganiche in atmosfera sono considerate in tutti e tre i casi ad elevata rilevanza, mentre per quel che riguarda l'emissione di sostanze cancerogene e l'ecotossicità, la loro significatività risulta più marcata per gli scenari relativi all'impianto di incenerimento, con e senza recupero energetico (scenari 1 e 2).

Quanto alla categoria fossil fuels, oltre alla ovvia rilevanza per la produzione di elettricità (scenario 4), risulta piuttosto evidente l'importanza dell'impatto evitato dovuto al recupero energetico del calore prodotto dalla combustione dei rifiuti (scenario 3).

9.3 RELAZIONE FRA IMPATTO OSSERVATO E COMPOSIZIONE DEI RIFIUTI

Ci si propone ora di valutare l'influenza della variazione annuale della composizione di rifiuti trattati sulle categorie di impatto analizzate; è stato perciò riportato in grafico l'andamento temporale della percentuale merceologica delle varie frazioni di RSU a Rimini (Figura 9.19).

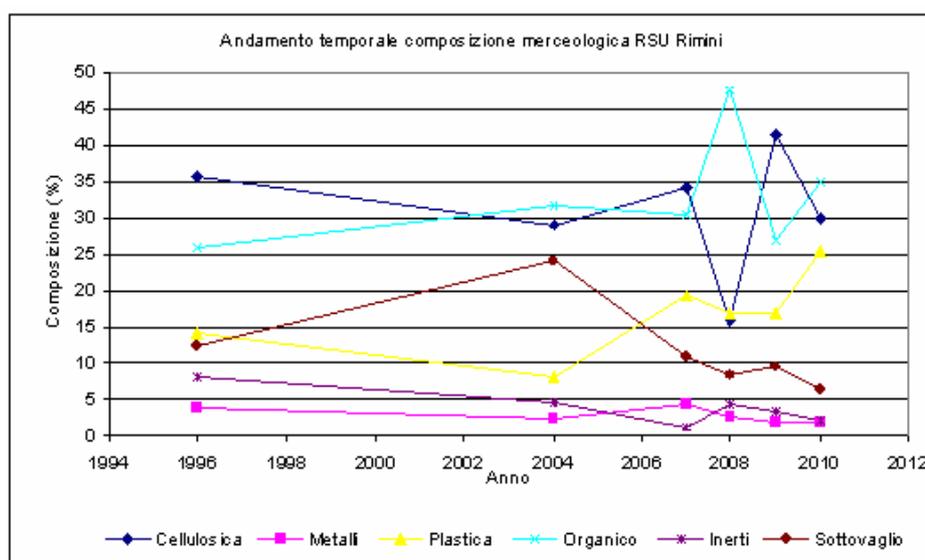


Figura 9.19 –Composizione merceologica rifiuti Provincia di Rimini, 1996-2010

Dai risultati ottenuti in fase di caratterizzazione, paragrafo 9.1, è stato osservato che gli impatti legati alle categorie respiratory inorganics ed acidification/eutrophication sono relativamente più elevati negli anni '90, mentre in seguito agli interventi di ristrutturazione attuati nel 2000, essi sono decisamente diminuiti. Per quel che riguarda la categoria carcinogens, gli impatti si attestano costanti nei primi anni analizzati, segue una lieve diminuzione negli anni 2010 e 2011. È stato possibile valutare che tale categoria di impatto è strettamente legata all'emissione di metalli pesanti. Andando a considerare la percentuale di metalli in ingresso all'impianto si vede che il trend è in diminuzione (Figura 9.25) così come i metalli in emissione al camino.

L'effetto di composti organici quali diossine e IPA può essere considerato trascurabile conseguentemente alle bassissime emissioni in uscita dall'impianto. La discontinuità registrata per l'anno 2008 è sicuramente dovuta alle operazioni che non sono avvenute in condizione di regime stazionario durante gli interventi di manutenzione. Lo stesso ragionamento può essere effettuato per la categoria ecotoxicity.

Gli impatti legati alle emissioni di gas serra (climate change) sono crescenti nel tempo, e riflettono l'aumento della quantità di CO₂ in emissione. Tale fenomeno implica da un lato una più efficiente combustione, e quindi un minor quantitativo di residui solidi in uscita, dall'altro però comporta un maggiore impatto legato al riscaldamento globale. Essi sono naturalmente anche legati alla quantità di frazione combustibile presente nei rifiuti costituita da molecole organiche (cellulosica, plastica e organico), che richiede l'utilizzo di una maggiore quantità di combustibile ausiliario. Analizzando i dati, si nota che il 2007 ed il 2011 sono caratterizzati da una elevata quantità in ingresso di queste categorie di rifiuti; notevole in tali anni è dunque l'impatto legato al cambiamento climatico.

In particolare, il quantitativo di plastica presente nella raccolta indifferenziata dei RSU di Rimini è andato crescendo nel tempo a partire dal 2007; crescente è anche l'andamento generale della presenza di materiale cellulosico, escluso il calo del 2008, ed organico, che invece registra proprio nel 2008 un picco di presenza.

A riprova del legame tra la tipologia di rifiuti trattati e le emissioni di CO₂ è stato valutato, dai dati di database Ecoinvent la quantità, in kg equivalenti, di CO₂ emessa dalla combustione di 1 kg di carta, plastica ed organico. Per effettuare la stima è stato scelto il metodo ReCiPe, che, nella sua configurazione in Midpoint, restituisce i risultati delle simulazioni effettuate con indicatori specifici per ogni categoria di impatto; nello specifico, per quel che riguarda il climate change, restituisce il risultato in kg di CO₂ eq. .

I dati ottenuti sono riportati sotto (Tabella 9.1).

MATERIALE	kg CO ₂ eq./Kg materiale
Plastica	2,3
Cellulosico	0,0192
Organico	0,0267

Tabella 9.1 - kg CO₂ emessi dalla combustione di 1 Kg di materiale

Tale quantità è stata rapportata, tramite una media pesata, alla composizione del rifiuto tipica di ciascuno degli anni per cui erano disponibili i dati delle analisi merceologiche: i risultati sono riportati sotto in Tabella 9.2.

ANNO	% FRAZIONE CELLULOSICA+ PLASTICA+ ORGANICO	kg di CO ₂ emessi dalla combustione di 1 Kg di rifiuto
1996	75,70	0,34
2003	68,78	0,20
2007	83,82	0,46
2008	80,43	0,41
2009	85,43	0,41
2010	90,40	0,61

Tabella 9.2 – Stima dei kg CO₂ emessi dalla combustione di 1 kg di rifiuto, 2007-2010

I dati sopra riportati sono stati esaminati su un foglio di calcolo tramite la funzione “correlazione”, che individua l’eventuale presenza di correlazioni tra due matrici di dati; il risultato è stato il valore 0,956, che individua una concreta possibilità del legame che avevamo ipotizzato tra CO₂ prodotta e rifiuti in ingresso all’impianto. Gli impatti legati alle emissioni di particolato sono andati progressivamente e notevolmente sempre più diminuendo nel tempo a causa del sempre più efficiente sistema di abbattimento. Gli impatti legati al comparto idrico, mostrano una lieve flessione nel tempo, a seguito della diminuzione della quantità di metalli e sostanze organiche emesse. Una maggiore attenzione la merita invece la categoria di impatto Fossil fuels. La sua rilevanza è legata al consumo di combustibili ausiliari (gasolio e metano) ed è influenzata dalla conduzione dell’impianto e dalla tipologia dei rifiuti in ingresso. Durante i periodi di avviamento, infatti, i consumi di combustibili sono molto più elevati, come si può vedere dai dati relativi a 2008 e 2010. La presenza di rifiuti organici, contenenti grosse quantità di acqua, contribuisce ad abbassare il potere calorifero dei rifiuti e rende necessario un maggiore utilizzo di combustibili; un’elevata percentuale di rifiuti organici è stata

osservata proprio nel 2010. Come ci si aspettava, l'impatto maggiore legato ai combustibili fossili si è manifestato nel 2008 e 2010.

9.4 RELAZIONI FRA IMPATTO OSSERVATO ED ENERGIA RECUPERATA

È innanzitutto analizzata la variazione degli impatti legati alla produzione di 1 MWh di energia elettrica in Italia nel periodo considerato, diretta conseguenza della variazione del mix energetico ed utile per comprendere i risultati emersi in fase di caratterizzazione. I risultati sono riportati anch'essi per categoria di impatto (Figura 9.20). Avendo scelto di effettuare un'unica rappresentazione per tutte le categorie considerate, i risultati vengono riportati come grafico a linee per maggiore chiarezza.

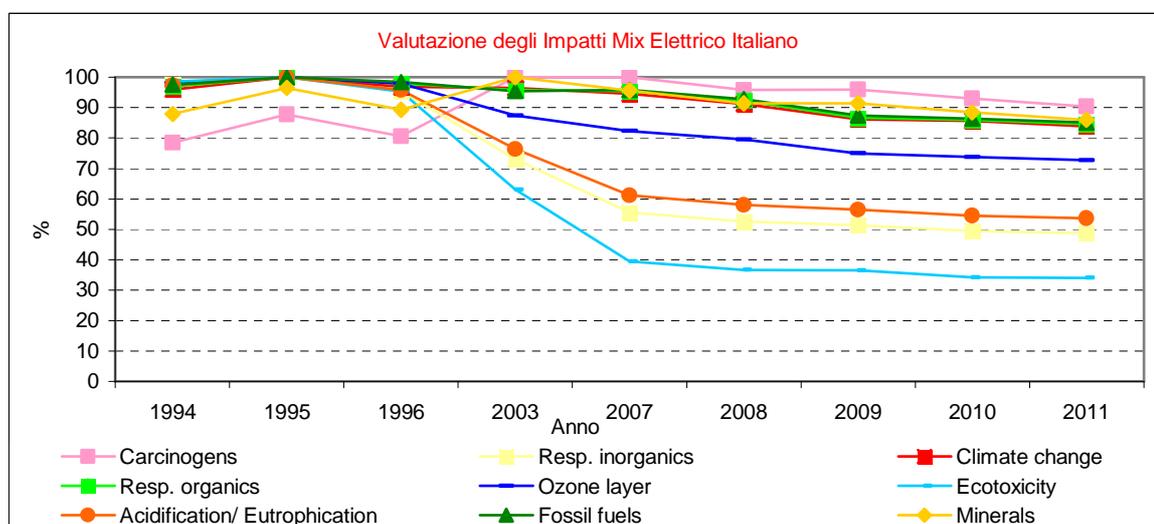


Figura 9.20 –Risultati caratterizzazione relativo alla produzione di 1 MWh di energia in Italia, 1994-2011

Come visto, l'impatto legato alla produzione di energia elettrica da mix energetico nazionale è andato diminuendo nel tempo, a causa dell'introduzione di una maggiore quantità di sistemi rinnovabili per la produzione di energia elettrica in Italia.

I risultati evidenziano chiaramente una diminuzione dell'impatto legato all'utilizzo di combustibili fossili, spiegabile col fatto che, tra gli anni '90 ed il 2011, la quantità di energia elettrica prodotta in Italia per via termoelettrica è diminuita dal 79% all'75% circa, mentre, contemporaneamente, la quantità di energia prodotta da fonti rinnovabili è passata dallo 0,0085% al 6,51% per quel che riguarda eolico e fotovoltaico, e dall'1,47% all'1,84% per quel che riguarda il geotermico.

Anche per quel che riguarda la categoria di impatto legata al cambiamento climatico, climate change, è osservabile una diminuzione progressiva.

Per quel che concerne la categoria carcinogens, l'impatto è complessivamente stabile, mentre l'impatto legato all'emissione di composti inorganici è andato diminuendo, in

parte per la ragione sopra menzionata, ma anche perché, all'interno del sistema termoelettrico nazionale, la maggioranza delle centrali ad olio combustibile sono state sostituite con centrali a metano, meno impattanti e che producono meno inquinanti e particolato. Basti pensare che negli anni '90, il 50% dell'energia termoelettrica derivava da olio combustibile e simili ed il 19% da gas naturale, nel 2011 la situazione si è diametralmente rovesciata, con l'11% da olio combustibile ed il 49% da gas naturale.

L'impatto relativo alle categorie inerenti ecotossicità, acidificazione ed eutrofizzazione si è notevolmente abbassato tra gli anni '90 ed il 2003, mentre partire dal 2007, registra complessivamente un lieve calo.

Effettivamente, analizzando i risultati relativi allo scenario reale di incenerimento, dunque, considerando a partire dal 2003 il recupero energetico, che, con la sua produzione di energia, va a sostituire parte dell'energia prodotta a partire dal mix elettrico nazionale di quell'anno (scenario 1), si è immediatamente notato che gli impatti dell'inceneritore calano notevolmente per molte categorie di impatto rispetto ai risultati relativi all'incenerimento senza recupero di energia (scenario 2). Sicuramente l'effetto è più evidente per gli impatti legati al cambiamento climatico, all'emissione in atmosfera di composti inorganici ed al consumo di combustibili fossili. Si analizza ora come il cambiamento del mix di produzione elettrica nazionale descritto sopra abbia influito sugli impatti evitati dell'impianto, cioè se, all'affermarsi di un sistema elettrico nazionale di produzione dell'energia più "sostenibile", l'impatto evitato dovuto al recupero energetico divenga meno rilevante. A questo scopo, è stato effettuato uno studio sottraendo agli impatti dell'incenerimento di ciascun anno espressi come punteggio singolo, l'impatto evitato considerando tenendo conto dell'effettivo recupero energetico di quell'anno, ma considerando il mix energetico 2011, il più recente e meno impattante. I risultati sono stati riportati sotto (Figura 9.21):

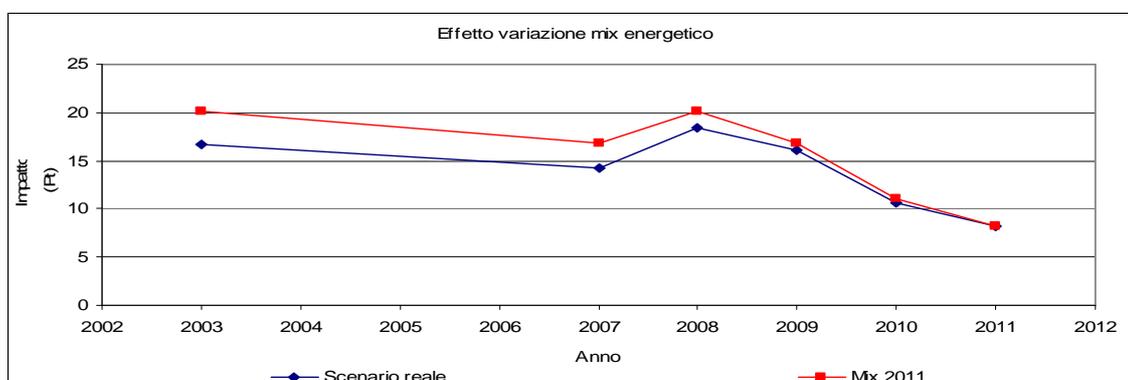


Figura 9.21 –Influenza del mix energetico italiano sull'entità dell'impatto evitato, 2003-2011

Dalla Figura 9.21 si denota una diminuzione dell'impatto evitato, e quindi un aumento dell'impatto totale, considerando il mix energetico 2011 (linea rossa), rispetto agli scenari reali (linea blu), evidente soprattutto considerando il periodo 2003-2008, caratterizzato da un mix energetico maggiormente differente rispetto a quello del 2011; è significativo il fatto che la variazione, come ci si poteva attendere, tende a diminuire nel tempo all'avvicinarsi al 2011.

Le categorie di impatto che risentono maggiormente dell'effetto sono quelle più strettamente correlate al consumo ed alla combustione di combustibili fossili, principalmente respiratory inorganics, climate change e fossil fuels.

9.5 CATEGORIE DI DANNO

Sono ora riportati i risultati, espressi come punteggio singolo e considerando le sole categorie di danno, relativi agli scenari 1-3 (Figure 9.22-9.24) ed allo scenario relativo alla produzione di energia elettrica in Italia (Figura 9.25).

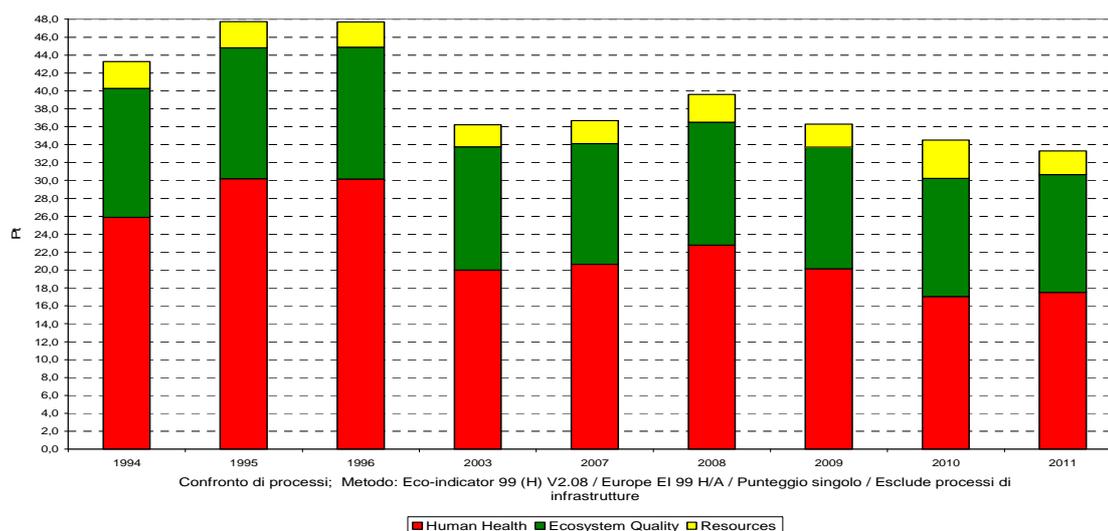


Figura 9.22 -Punteggio singolo, categorie di danno, Scenario 2, 1994-2011

Analizzando gli impatti legati allo scenario 2, relativo al solo incenerimento senza recupero energetico (Figura 9.22), si nota che l'impatto maggiore incide sulla categoria di danno human health ed è il risultato degli effetti nocivi sulla salute umana derivante dal riscaldamento globale, dall'emissione di sostanze cancerogene e di particolato atmosferico. L'impatto complessivo è tendenzialmente in diminuzione grazie al netto abbattimento delle emissioni in atmosfera, nonostante il quantitativo sempre maggiore di CO₂ emessa a seguito del miglioramento dell'efficienza di combustione.

L'impatto legato alla categoria ecosystem è maggiormente correlato agli effetti di ecotossicità, eutrofizzazione ed acidificazione, l'impatto dovuto a questi ultimi fenomeni

si è attenuto nel tempo come conseguenza dell'installazione di sistemi più efficienti per la depurazione dei fumi.

L'impatto legato alla categoria resources è variabile e dipende dai quantitativi di combustibili ausiliari impiegati, è infatti maggiore negli anni 2008 e 2010.

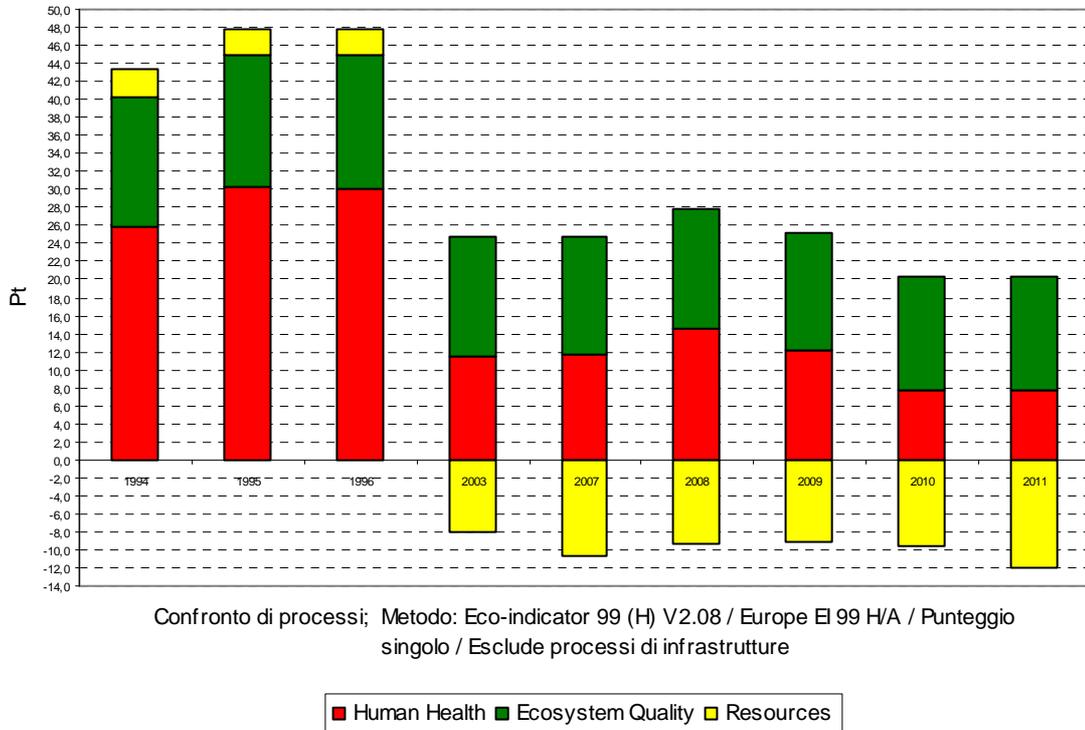


Figura 9.23 -Punteggio singolo, categorie di danno, Scenario 1, 1994-2011

Considerando lo scenario 1 riportato in Figura 9.23, rappresentativo del reale funzionamento dell'impianto, è visibile che tutte le categorie di danno evidenziano una contrazione dei propri impatti grazie al recupero energetico. In particolare, è possibile rilevare che l'impatto della categoria resources a partire dal 2003 diviene negativo, ciò significa che non è più la quantità di combustibili ausiliari impiegati a determinare l'entità dell'impatto, ma i combustibili "risparmiati" grazie alla produzione di elettricità. L'effetto dell'impatto evitato è comunque visibile anche relativamente all'effetto delle attività su salute umana ed ecosistema, in particolare maniera sulla prima di esse.

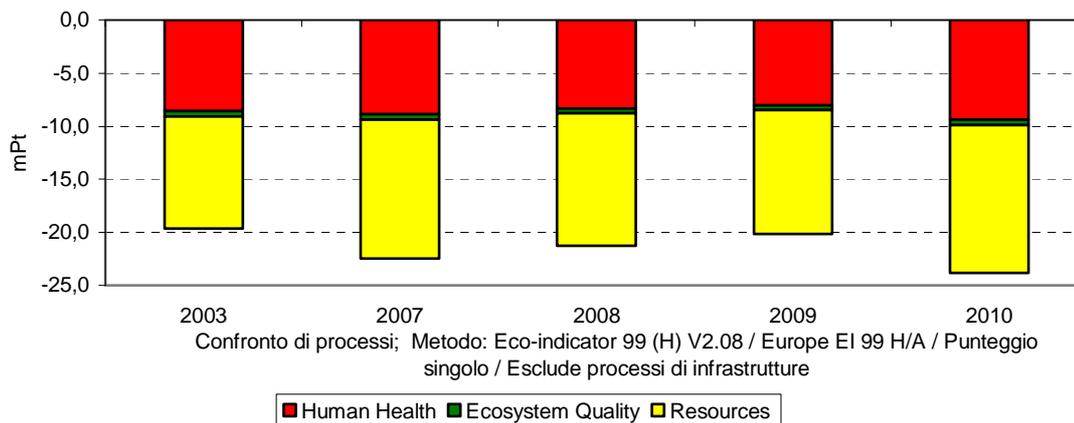


Figura 9.24 -Punteggio singolo, categorie di danno, Scenario 3, 2003-2011

Dai risultati relativi allo scenario 3 (Figura 9.24), che quantifica esclusivamente l’impatto evitato dovuto alla produzione di energia elettrica, è evidente l’aumento di tale effetto conseguente all’incremento dell’efficienza di recupero energetico. Le categorie di danno che sono più influenzate risultano essere human health ed resources.

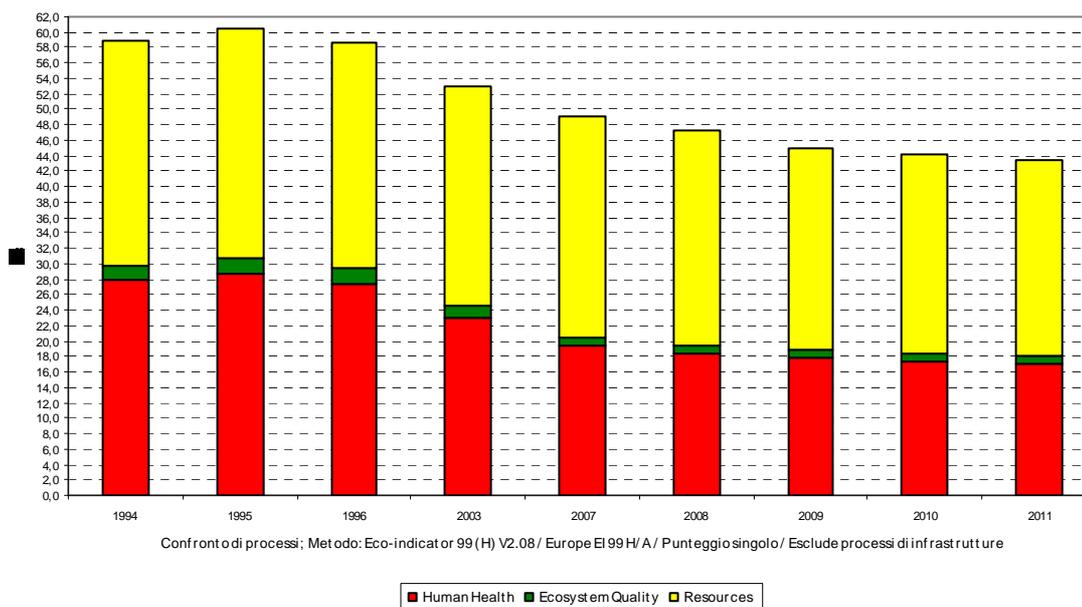


Figura 9.25 -Punteggio singolo, categorie di danno, produzione di 1 MWh da mix energetico, 1994-2011

L’impatto legato alla produzione di 1 MWh di energia elettrica in Italia (Figura 9.25) è andato calando nel tempo, ed è costituito prevalentemente dall’impatto relativo alla categoria resources e human health; trascurabile è invece il danno correlato alla categoria ecosystem quality. La diminuzione delle categorie di danno descritte è diretta conseguenza di una diffusione sempre maggiore di sistemi che sfruttano risorse rinnovabili per la produzione di elettricità.

9.6 IMPATTO COMPLESSIVO

A titolo riassuntivo, è sotto descritto l'andamento della quantità di rifiuti trattati, dell'energia prodotta e dell'impatto complessivo dell'impianto, espresso come punteggio singolo, relativo agli scenari 1, 2 ed alla produzione di elettricità (Figure 9.26-9.28).

I risultati sono riportati sotto:

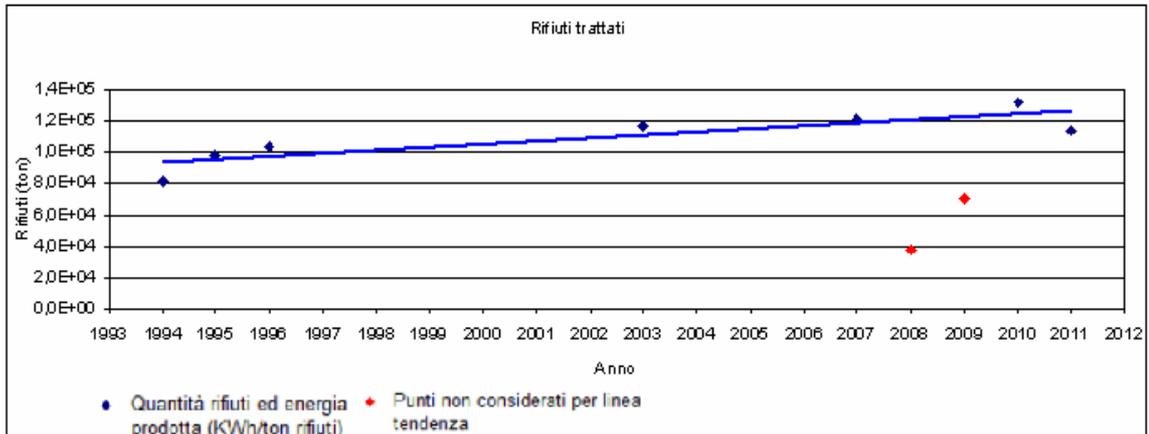


Figura 9.26 –Quantità di rifiuti trattati, 1994-2011

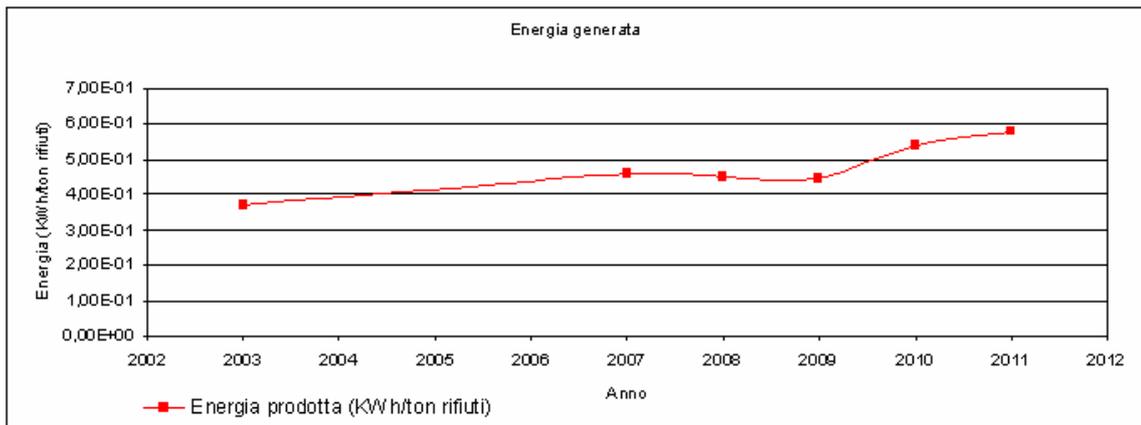


Figura 9.27 –Energia prodotta per tonnellata di rifiuto, 2003-2011

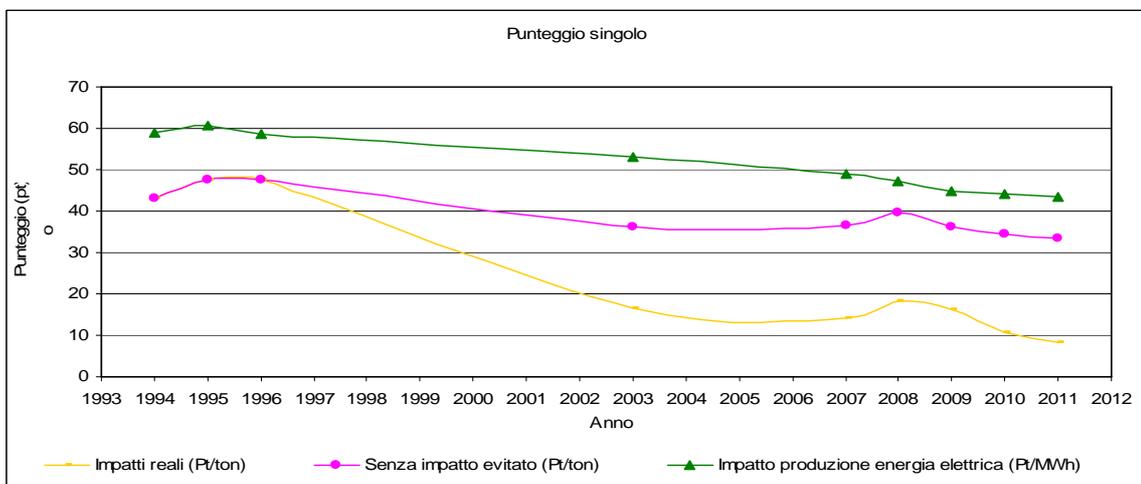


Figura 9.28 –Impatti complessivi come Punteggio singolo, 2003-2011

Il trend generale legato al quantitativo di rifiuti trattati (Figura 9.25) è andato crescendo nel tempo (i dati relativi agli anni 2008 e 2009 sono stati esclusi in quanto comprendono periodi di fermo-impianto e sono relativi al periodo successivo allo spegnimento delle linee 1 e 2 ed antecedente all'attivazione della linea 4); contestualmente si è osservato anche un aumento dell'efficienza di recupero energetico (Figura 9.26), soprattutto negli anni 2010 e 2011, mentre durante gli anni precedenti, tale valore era rimasto circa costante.

Per quel che riguarda gli impatti complessivi (Figura 9.27), è evidente una loro diminuzione progressiva dovuta sia ai miglioramenti impiantistici riguardanti incenerimento e depurazione fumi, sia all'aumentare dell'efficienza di combustione, infatti, tanto considerando la serie di dati relativi allo scenario senza impatto evitato, che considerando gli impatti dello scenario reale comprendente il recupero energetico, la diminuzione è significativa.

Come visto in precedenza, in diminuzione sono anche gli impatti legati alla produzione di energia elettrica da mix energetico nazionale.

9.7 ANALISI DI CONTRIBUTO

È stata utilizzata una funzione del software SimaPro, l'“analisi di contributo”, per valutare quali dei processi considerati coinvolti nell'attività considerata (incenerimento vero e proprio, produzione dei reattivi per la depurazione dei fumi, quali urea e carbonato di sodio, trasporto e smaltimento dei residui di combustione, utilizzo di combustibili ausiliari ecc.) fossero quelli che contribuivano maggiormente al risultato finale.

Lo studio è stato effettuato per 3 anni particolarmente significativi: 1996, ossia impianto ancora non dotato del sistema di recupero energetico, 2003, linee 1, 2 e 3 attive dopo la ristrutturazione del 2000 con impianto di recupero energetico in funzione e 2011, ultima e più evoluta configurazione impiantistica studiata, con la sola Linea 4 attiva.

È stata effettuata una prima valutazione, utilizzando il “punteggio singolo”, per valutare quali, tra tutti i processi che comparivano nello studio, fossero quelli più rilevanti. I risultati sono riportati nella Tabella 1 dell'Allegato III. Come si evince dai risultati, sono principalmente otto i processi responsabili del maggiore impatto dell'incenerimento: l'impatto diretto legato alle operazioni di combustione (75,0%), l'impatto legato alla dismissione di scorie e ceneri (8,9%) ed al loro trasporto in discarica, (3,0%) quello legato all'utilizzo di urea (2,3%), carbonato di sodio (1,9%), gasolio (0,75%) e gas (2,7%), ed infine quello legato alla gestione delle infrastrutture impiantistiche (5,6%). Le percentuali sono riferite ad una media per i tre anni considerati.

Successivamente, si è valutato, per ciascuna delle categorie di impatto considerate, quali processi contribuiscano maggiormente. I risultati espressi sotto forma di punteggio sono riportati nelle Tabelle 2-4 dell'Allegato III, essi, per maggiore chiarezza, sono stati poi convertiti in percentuali che è possibile visualizzare nelle Tabelle 1-3 dell'Allegato IV. Come si vede in entrambi gli Allegati, per la maggioranza delle categorie di impatto ciò che influisce maggiormente è ovviamente il processo di incenerimento vero e proprio, si nota infatti che l'impatto legato a tale processo è quello che contribuisce in maniera maggioritaria per le categorie respiratory organics, respiratory inorganics, climate change, ecotoxicity e acidification/eutrophication.

Per quel che riguarda la categoria ozone layer, l'impatto è principalmente derivante dal processo di produzione dell'urea necessaria per la depurazione dei fumi. Anche l'influenza legata allo smaltimento in discarica di scorie e ceneri non è trascurabile: relativamente alla categoria carcinogens, si tratta infatti del processo che contribuisce in maniera maggioritaria, seguito dal processo di incenerimento vero e proprio. Un effetto significativo emerge anche per la categoria di impatto ecotoxicity, mentre il trasporto di scorie e ceneri in discarica incide sui processi respiratory inorganics, ozone layer, ecotoxicity, minerals e fossil fuels.

Quanto al consumo di combustibili fossili e di metalli, invece, sono principalmente i combustibili ausiliari impiegati l'elemento chiave. Significative percentuali di impatto sono anche attribuibili all'utilizzo di reattivi di depurazione quali urea e carbonato di sodio.

9.8 ANALISI PER SOSTANZA

Appurato, grazie ai risultati dell'analisi di contributo quali fossero i processi che contribuivano maggiormente all'impatto complessivo, rimane da comprendere quali, nello specifico, fossero le sostanze che causavano un tale impatto e se fossero state prese in considerazione e compilate con i dati dell'impianto esaminato.

È stato possibile effettuare tale studio con uno strumento chiamato "analisi per sostanza". La valutazione è stata effettuata solamente per il processo vero e proprio di incenerimento (quello che rappresenta da solo la maggioranza dell'impatto dell'impianto) ed i risultati sono riportati nella Tabella 1 dell'Allegato V.

Come si può notare, la maggioranza delle sostanze il cui contributo, sommato, rappresenta un contributo superiore al 97% per l'impatto di ciascuna categoria per il

suddetto processo, sono in realtà poche, e, nella stragrande maggioranza dei casi, i dati ad esse relativi sono quelli tipici dell'impianto di Coriano.

Nello specifico, gli impatti relativi alle categorie acidification/eutrophication e Respiratory inorganics derivano principalmente dalle emissioni di NO_x, SO_x e, nel secondo caso, polveri.

L'impatto relativo al climate change è quasi interamente imputabile alle emissioni di CO₂, mentre, per quel che riguarda le categorie carcinogens e ecotoxicity esiste una decisa correlazione fra i loro impatti e le emissioni di metalli pesanti in aria ed acqua.

Le categorie ecotoxicity e respiratory inorganics sono probabilmente quelle per la delineaazione delle quali si avevano un minore numero di dati primari a disposizione.

9.9 ANALISI DI SENSIBILITA'

Sulla base delle incertezze attribuite ai dati come descritto nel Capitolo 7, Paragrafo 7.7, si è proceduto a valutare come tali incertezze influiscono sui risultati dell'elaborazione.

In particolare è stato determinato se le incertezze attribuite ai dati, abbiano un'influenza nel far variare i risultati ottenuti dai confronti fra i differenti scenari.

È stato possibile effettuare ciò utilizzando il metodo di calcolo delle incertezze di Monte Carlo, ed in particolare utilizzando una particolare funzione del SimaPro che calcola per un certo numero di volte il valore degli impatti del processo considerato facendo variare ciascun dato tra il valore da noi attribuito e sottraendovi o sommandovi un valore uguale o inferiore al valore di incertezza che vi abbiamo riferito.

Tale operazione può essere fatta confrontando solamente due valori alla volta, viene poi calcolato il numero di volte per cui un processo risulta meno impattante rispetto ad un altro e, valutando i risultati ottenuti con quelli del confronto ottenuto mediante l'analisi dei processi, si può controllare se i risultati sono coerenti, ossia se il processo che risulta dall'analisi Monte Carlo ambientalmente meno impattante per un dato intervallo di confidenza, è anche quello che risulta favorito dalla Valutazione degli Impatti. Il metodo valuta statisticamente le differenze fra due scenari considerati, per un determinato livello di confidenza, quando i dati di processo sono fatti variare statisticamente all'interno di un intervallo di incertezza. Se il numero delle iterazioni favorevoli ad uno dei due prodotti è superiore al 95% (livello di confidenza), la differenza è considerata rilevante.

Nel caso specifico di questo studio, sono state effettuate due comparazioni, la prima tra lo scenario del 1996 e quello del 2007, la seconda tra quello del 2007 e quello del 2011. La scelta degli scenari considerati è motivata dal fatto che il 1996 rappresenta la

modellazione dell'impianto quando ancora non era attivo il sistema di recupero energetico, mentre il 2007 è stato scelto perché rappresenta una configurazione impiantistica con ancora attive le Linee 1, 2 e 3 e con il sistema di recupero energetico attivo, il 2011 è stato selezionato invece perché si tratta dell'anno più recente valutato, con tutte le innovazioni tecnologiche di cui si è parlato presenti e con la sola Linea 4 attiva. Poiché, come detto, i confronti possono essere effettuati solamente comparando due scenari alla volta, è stato comparato lo scenario del 1996 con quello del 2007, e quello del 2007 con il 2011. Il calcolo è stato effettuato in entrambi i casi impostando l'esecuzione di 1000 iterazioni ed impostando l'intervallo di fiducia al 95%.

A seguire sono riportati i risultati.

9.9.1 CONFRONTO IMPATTI 1996-2007

È innanzitutto riportato sotto il risultato, espresso come grafico, del confronto fra gli impatti del 1996 e 2007 (Figura 9.29).

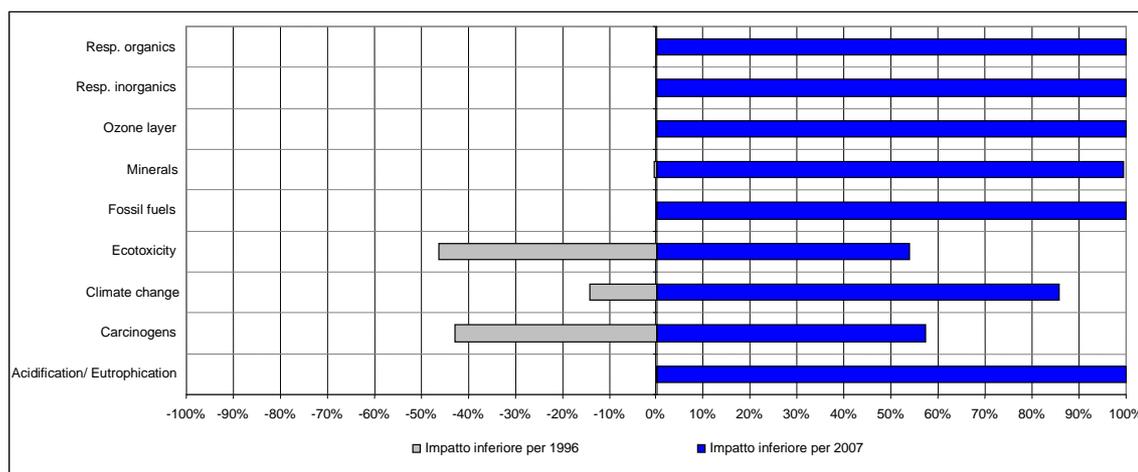


Figura 9.29 –Analisi Monte Carlo, confronto impatti 1996-2007

Le barre blu rappresentano la percentuale di iterazioni in cui gli impatti relativi al 1996 sono risultati maggiori o uguali del 2007, mentre le barre grigie rappresentano la percentuale di volte per cui esso è risultato meno impattante.

Come si può chiaramente vedere dal grafico, per tutte le categorie di impatto, è evidente che il numero di iterazioni in cui lo scenario del 1996 è risultato il più impattante è più elevato; ciò è in linea con quanto riscontrato nel corso della valutazione dei risultati della caratterizzazione, in cui lo scenario 2007 evidenzia impatti notevolmente inferiori, grazie alle operazioni di ristrutturazione degli anni 2000 ed all'introduzione del sistema di recupero energetico. In particolare, per le categorie di impatto respiratory organics, respiratory inorganics, ozone layer, minerals, fossil fuels ed acidification/eutrophication

si è superato il valore di soglia del 95%, per cui è considerata rilevante la differenza registrata.

Per alcune di esse, le ragioni di tale differenza sono evidenti: l'entità della categoria respiratory inorganics è infatti notevolmente influenzata dalla notevole diminuzione dell'emissione di NOx e polveri, la diminuzione dell'emissione di NOx ed SOx spiega anche perché il 2007 risulta meno impattante per quanto riguarda la categoria acidification/eutrophication. L'introduzione del sistema di recupero energetico ha implicato per l'anno 2007 un risultato migliore per la categoria fossil fuels ed anche la categoria ozone layer ne risulta influenzata. Quanto alle rimanenti categorie di impatto, è comunque evidente il vantaggio dello scenario del 2007 rispetto a quello 1996, sebbene senza superamento del valore soglia. In particolare ciò è vero per lo scenario climate change, per il quale l'abbattimento dell'impatto è correlato all'attivazione del sistema di recupero energetico. Per quanto riguarda le categorie carcinogens ed ecotoxicity, si registra comunque un impatto inferiore per il 2007, anche se la differenza non è elevata, ed è attribuibile ad una minore emissione di metalli pesanti, tuttavia queste due categorie sono piuttosto influenzate anche dalla dismissione delle scorie, la cui quantità per unità di rifiuti inceneriti è rimasta stabile nei due anni considerati.

9.9.2 CONFRONTO IMPATTI 2007-2011

Analogamente a quanto fatto sopra, sono ora riportati i risultati relativi alla comparazione effettuata tra i risultati del 2007 e 2011 (Figura 9.30).

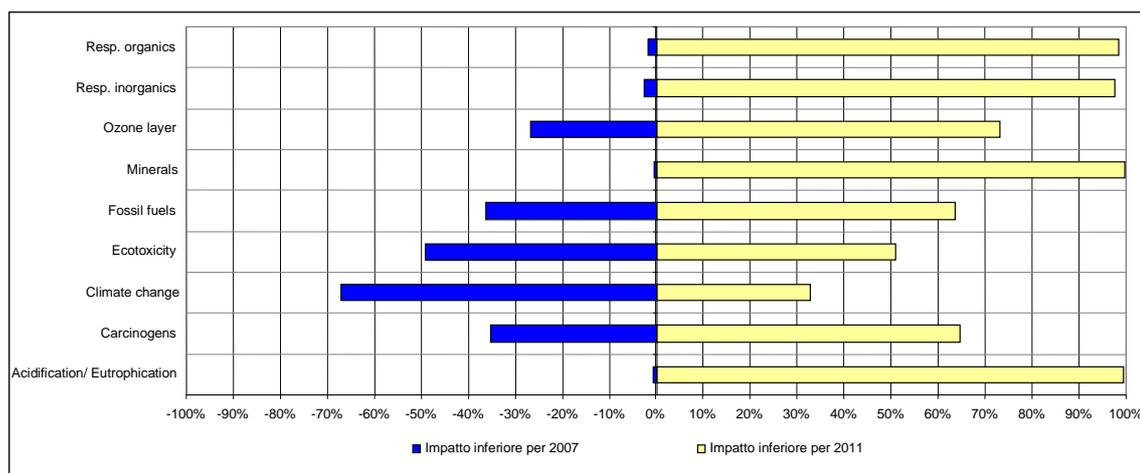


Figura 9.30 –Analisi Monte Carlo, confronto scenari 2007-2011

Le barre blu rappresentano la percentuale di iterazioni per cui la configurazione del 2007 risulta meno impattante di quella relativa al 2011, mentre le barre gialle rappresentano la situazione opposta.

Dal grafico si denota che lo scenario relativo al 2011 è complessivamente meno impattante; lo scarto è inferiore rispetto a quello inerente il confronto fra 1996 e 2003 in quanto in entrambi gli anni considerati è attivo il sistema di recupero energetico e sono installate efficienti tecnologie di depurazione fumi, tuttavia il 2011 risulta più favorevole grazie alla maggiore efficienza di recupero energetico, alle innovazioni tecnologiche installate sulla Linea 4 ed allo spegnimento delle vecchie linee.

Le categorie per cui è superato il valore limite del 95%, sono: respiratory organics, respiratory inorganics, minerals ed acidification/eutrophication. La differenza relativa per le categorie respiratory inorganics ed acidification/eutrophication sono strettamente correlate alla diminuzione delle emissioni di NOx causate dall'introduzione del sistema SCR, SOx e particolato emesso.

La differenza dovuta alla maggiore efficienza di recupero energetico, che dovrebbe influire in maniera particolare sulla categoria fossil fuels, non è particolarmente evidente, in quanto, in entrambi i sistemi il recupero energetico è presente; tuttavia la maggiore efficienza del 2011 fa sì il 2007 risulti più impattante in quasi il 65% dei casi.

Quanto invece alla categoria climate change, il 2007 risulta migliore solamente nel 33% dei casi, ciò è in linea con gli impatti maggiori registrati nel 2011, causati dall'emissione di una maggiore quantità di CO₂.

Per quanto riguarda la categoria carcinogens, rimane valido il discorso che l'emissione di minori quantità di metalli pesanti contribuisce ad abbatterne l'impatto, ciò si somma alla diminuzione dell'impatto legato alla generazione di una minore quantità di scorie da inviare in discarica, seppure ciò comporta un effetto minimo dovuto alla diminuzione, dal 30% al 23% in massa, di scorie prodotte rispetto ai rifiuti in ingresso.

Per quel che riguarda invece la categoria ecotoxicity, gli impatti dei due anni risultano simili perchè fortemente legati alla lisciviazione delle scorie dismesse in discarica.

CAPITOLO 10

VALUTAZIONE RECUPERO ENERGETICO

La Direttiva Europea 2008/98, recepita in Italia con il D.Lgs. 205/2010, prevede che un impianto di incenerimento possa essere considerato un impianto di recupero energetico se il valore di efficienza, calcolata secondo la formula descritta nella stessa legge, è superiore a:

- 0,60 per gli impianti funzionanti e autorizzati prima del 1° gennaio 2009;
- 0,65 per gli impianti autorizzati dopo il 31 dicembre 2008.

L'impianto da noi considerato rientra nel secondo caso, poiché la nuova, definitiva, Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA n. 13 del 28/01/2009), è stata rilasciata nel 2009. Il punto chiave su cui è stata sviluppata la nuova normativa è che l'incenerimento dei rifiuti può essere considerato un'operazione di recupero solo se il recupero energetico avviene con un'alta efficienza energetica.

10.1 FORMULA PER IL CALCOLO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA SECONDO LA DIRETTIVA 2008/98/CE

La formula su cui il calcolo deve essere basato è la seguente:

$$\text{Efficienza energetica} = \frac{E_p - (E_f + E_i)}{0,97 * (E_w + E_f)}$$

reperibile nell'Allegato II della Direttiva Europea e nell'Allegato C del D.Lgs. 205/2010, entrambi dedicati al recupero, in questo caso, energetico.

Di seguito è riportato il significato dei parametri contenuti, preso direttamente dai testi dei documenti citati:

E_p = energia annua prodotta sotto forma di energia termica o elettrica. È calcolata moltiplicando l'energia sotto forma di elettricità per 2,6 e l'energia termica prodotta per uso commerciale per 1,1 (GJ/anno).

E_f = alimentazione annua di energia nel sistema con combustibili che contribuiscono alla produzione di vapore (GJ/anno).

E_w = energia annua contenuta nei rifiuti trattati calcolata in base al potere calorifico inferiore dei rifiuti (GJ/anno).

E_i = energia annua importata, escluse E_w ed E_f (GJ/anno).

0,97 = fattore corrispondente alle perdite di energia dovute alle ceneri pesanti (scorie) e alle radiazioni.

Il calcolo dell'efficienza con la formula sopra riportata è stato recepito in Italia con il D. Lgs. 205/2010 pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale il 10 dicembre 2010; poiché l'impianto nel 2010 è stato soggetto a fermo impianto e avviamenti, e per 4 mesi circa, da Giugno ad Ottobre 2010, la Linea 4 è stata attivata senza essere collegata al sistema di recupero energetico, si è scelto di effettuare il calcolo anche per gli anni 2003, 2007, 2008 e 2009 per vedere il trend nel tempo del parametro calcolato [98/2008/CE].

10.2 CALCOLO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA DELL'IMPIANTO SECONDO LA DIRETTIVA 2008/98/CE

Il calcolo è stato effettuato sulla base dei dati dell'Analisi di Inventario raccolti per poter effettuare l'analisi LCA.

I risultati sono riportati in Tabella 10.1 ed interpretati graficamente nella figura sottostante (Figura 10.1):

Anno	Ep Energia (GJ/anno)	Ef Energia (GJ/anno)	Ew Energia (GJ/anno)	Ei Energia (GJ/anno)	EFFICIENZA
2003	139112	5313	1268421	3716	0,11
2007	177194	5263	1373754	2072	0,13
2008	145143	6381	394645	4779	0,34
2009	326219	2950	730035	4107	0,45
2010 (intero anno)	360371	70891	933496	5312	0,29
2011	715417	47154	974339	9948	0,66

Tabella 10.1 –Efficienza energetica secondo la Direttiva 98/2008/CE, 2003-2011



Figura 10.1 –Efficienza energetica secondo la Direttiva 98/2008/CE, 2003-2011

Dai dati riportati in Tabella 10.1 è evidente un aumento progressivo e costante dell'efficienza energetica dell'impianto nel tempo. L'unica eccezione riguarda il dato relativo al 2010 (diminuzione al 29% di efficienza energetica rispetto al 45% dell'anno

precedente), per il quale, durante il periodo di avviamento della Linea 4, e quindi dal 10 Giugno al 4 Ottobre 2010, il calore prodotto dai rifiuti trattati nella suddetta Linea non è stato recuperato dai fumi.

Si nota in particolare che, grazie al maggiore recupero energetico derivante dall'introduzione di una turbina di potenza quasi doppia rispetto alla precedente, (da 5,4 a 10,3 MWh), effettuata durante il mese di marzo 2011, il valore obiettivo viene superato nell'anno 2011.

Quello che si deduce chiaramente è che le operazioni di manutenzione ed ammodernamento effettuate sull'impianto negli anni sono state indispensabili per orientare in direzione crescente il trend di efficienza energetica e per raggiungere il valore soglia.

Entro i limiti delle approssimazioni effettuate (soprattutto relativamente al numero di ore di funzionamento, che considerando sei mesi di attività, sono state assunte pari alla metà del totale in quanto non era disponibile il dato esatto), sono stati calcolati i valori semestrali per il 2011, perché si voleva valutare quanto il cambio turbina avesse influito sull'efficienza dell'impianto (Tabella 10.2).

Anno	Energia (GJ/anno) =Ep	Energia (GJ/anno) =Ef	Energia (GJ/anno) = Ew	Energia (GJ/anno) = Ei	EFFICIENZA
Gennaio- Giugno 2011	298388	34742	454696	12253	0,53
Luglio- Dicembre 2011	417029	12412	519643	7647	0,77

Tabella 10.2 –Efficienza energetica secondo la Direttiva 98/2008/CE, primo e secondo semestre 2011

Si riscontra comunque effettivamente un'efficienza superiore nella seconda metà dell'anno, mentre, nella prima metà del 2011, il valore calcolato non soddisfa ancora i requisiti della Direttiva 2008/98/CE per considerare l'impianto come una struttura di recupero energetico.

Il calcolo su base annuale (effettivamente richiesto dalla Direttiva), come già ribadito, soddisfa i requisiti per l'anno 2011 ed è prevedibile che, nelle nuove condizioni, grazie soprattutto alla nuova turbina installata, negli anni a venire l'efficienza di recupero energetico continui ad essere superiore a quanto serve per considerare l'impianto un termovalorizzatore.

CAPITOLO 11

ESTENSIONE DEI CONFINI GEOGRAFICI E TEMPORALI

Lo scopo di questo Capitolo è valutare i risultati dello studio condotto sulla base di quelli ottenuti da altri studi che si sono occupati di analoghe problematiche legate all'incenerimento, utilizzando la metodologia LCA.

In particolare verrà effettuato un confronto con lo scenario Emiliano-Romagnolo per l'anno 2003, per il quale sono noti i risultati di uno lavoro effettuato proprio per valutare gli impatti ambientali del sistema di incenerimento in Regione [Morselli L. et al., 2008].

Per comprendere come l'andamento riscontrato sia evoluto nel tempo, è stato effettuato un piccolo approfondimento sul sistema di incenerimento regionale nel 2009 ed i risultati sono stati messi a confronto con quelli dell'impianto di Coriano.

Sono poi condotte descrizioni di valutazioni effettuate relativamente ad altre realtà impiantistiche, italiane (termovalorizzatore di Milano) ed europee (termovalorizzatore di Aarhus, Danimarca) [Turconi R. et al., 2011] e di un'ipotetica linea di incenerimento con sistema di depurazione fumi WET o DRY e con o senza sistema di recupero energetico [Scipioni A. et al., 2009].

È stato inoltre effettuato un approfondimento, sulla base di studi di letteratura, sulle possibili modalità di gestione delle scorie [Toller S. et al., 2009]; [Fruergaard T. et al., 2010]. Infine sono presentate due tecniche innovative di impiego della CO₂ emessa, la prima per la produzione di carbonato di sodio e la seconda per la stabilizzazione dei residui solidi, entrambe comprese fra le tecniche emergenti del Reference Document Europeo sulle BAT [EU IPPC, 2006].

11.1 CONFRONTO CON SCENARIO EMILIANO-ROMAGNOLO

Come descritto sopra, verranno ora valutati i risultati ottenuti alla luce di quello che è il sistema di incenerimento regionale.

11.1.1 CONFRONTO RELATIVO ALL'ANNO 2003

Lo studio relativo all'incenerimento nella regione Emilia Romagna relativo all'anno 2003 partiva da un presupposto simile a quello di questo lavoro, e cioè che l'utilizzo dell'incenerimento come sistema di gestione dei rifiuti è tuttora oggetto di dibattito, sebbene l'evoluzione tecnologica del settore abbia contribuito fortemente a diminuire gli impatti ambientali. La gestione dei residui solidi e le emissioni di metalli pesanti restano comunque tuttora le parti di processo che destano maggiori preoccupazioni.

La scelta della metodologia LCA per indagare l'impatto del settore deriva dall'enorme potenziale della metodologia nel quantificare dettagliatamente le diverse tipologie di impatto ambientale riscontrabili.

Lo studio considerava i sette impianti di termovalorizzazione di Rifiuti Solidi Urbani presenti in Regione, localizzati a Piacenza, Modena, Ferrara, Bologna, Forlì e Rimini, unitamente al termovalorizzatore per rifiuti sanitari "Mengozzi" situato a Forlì.

L'età di questi impianti è tra loro differente, così come la capacità operativa, variabile tra le 15000 e le 150000 t/anno.

Gli impianti più recenti utilizzano un sistema di depurazione fumi a secco, mentre gli altri impiegano un sistema ibrido.

I confini del sistema sono estesi dal momento in cui il rifiuto entra in impianto a quello in cui ne esce come emissione in aria, acqua e suolo. Pertanto, il recupero energetico è considerato, mentre la raccolta del rifiuto ed il suo conferimento all'impianto viene escluso dai confini del sistema.

Per quel che concerne il funzionamento dell'impianto, sono esaminati i consumi di sostanze naturali, ausiliarie e combustibili. I residui solidi dell'incenerimento sono considerati inertizzati e dimessi in discarica.

I confini del sistema sono dunque analoghi a quelli posti per lo studio oggetto di questa tesi. Entrambi gli studi sono stati condotti con il software SimaPro ed il metodo Eco-indicator 99. Il risultato dello studio espresso come istogramma di valutazione delle differenti categorie di danno sulla base dei differenti sotto-processi considerati è riportato sotto (Figura 11.1).

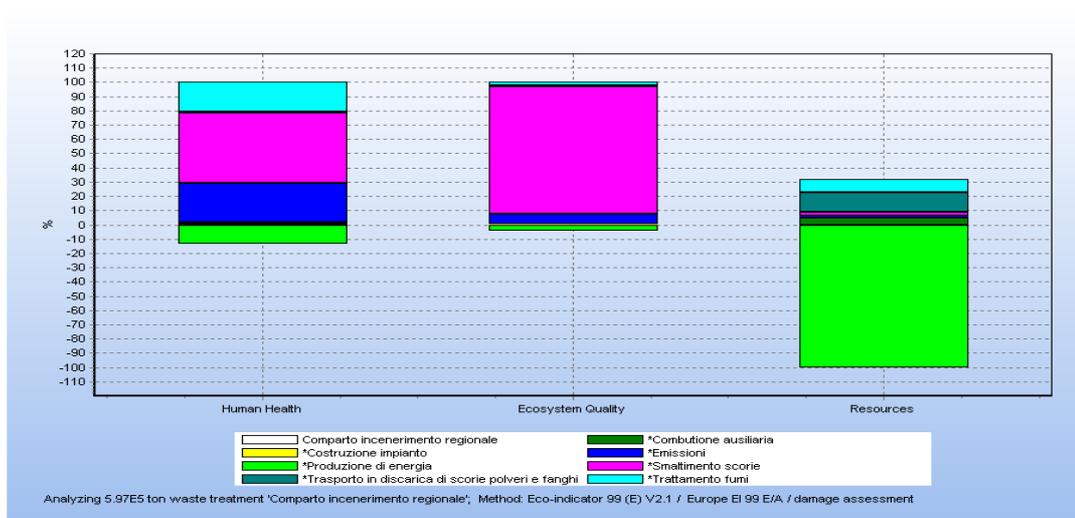


Figura 11.1 –Impatti incenerimento in E. Romagna come cat. di danno, 2003 *[Morselli L. et al., 2005]

Dai risultati di Figura 11.1 è interessante notare che, sia per la categoria human health che per ecosystem, l'effetto della dismissione dei residui solidi in discarica è piuttosto significativo sul risultato complessivo. Tale effetto è abbastanza evidente anche nello studio condotto sull'impianto di Coriano: dall'analisi di contributo si è infatti osservato che l'impatto legato alla dismissione delle scorie rappresenta fra il 7% ed il 9% circa dell'impatto complessivo. In particolare, tale fenomeno, comporta effetti significativi sulle categorie di impatto carcinogens ed ecotoxicity. Quanto invece all'entità dell'effetto dell'impatto evitato, esso è molto evidente per quel che concerne la categoria resources, ed analogamente, la conseguenza dell'aver tenuto conto dell'impatto evitato si è manifestata in maniera significativa anche per l'impianto di Coriano.

L'incenerimento ha invece un effetto rilevante sulle categorie di impatto legate alle malattie respiratorie causate da sostanze inorganiche, riscaldamento globale, acidificazione ed eutrofizzazione. L'impatto evitato dovuto al recupero energetico è significativo nell'attenuare l'entità dell'impatto relativo all'emissione di sostanze inorganiche e gas serra.

Ciò trova una spiegazione logica nel fatto che, NO_x, CO₂ e PM₁₀ per quel che riguarda i gas, polveri e zinco, nichel e piombo per quel che riguarda i metalli pesanti, sono alcune delle sostanze che contribuiscono maggiormente all'impatto complessivo, anche se l'impatto evitato dovuto alla produzione di elettricità contribuisce ad attenuare l'impatto dovuto all'emissione di CO₂, NO_x ed SO_x.

Una situazione analoga è stata descritta per il solo impianto di Coriano, con l'effetto maggiore sull'impatto complessivo delle categorie respiratory inorganics, climate change ed ecotoxicity, mentre l'impatto legato alla categoria fossil depletion è negativo grazie al recupero energetico [Morselli L. et al., 2008].

11.1.2 CONFRONTO RELATIVO ALL'ANNO 2009

Per quel che riguarda invece il confronto degli impatti dell'impianto di Coriano con quelli degli altri impianti presenti in Emilia Romagna relativo all'anno 2009 (anno in cui erano disponibili dati abbastanza completi inerenti il settore in Emilia-Romagna e la linea 3 dell'impianto di Coriano è stata attiva a regime) è sotto riportato il grafico, espresso come punteggio singolo, di una comparazione, seppure molto semplificata, fra i due scenari (Figura 11.2).

Gli impianti considerati, in questo caso, sono stati quelli situati a Piacenza, Modena, Ferrara, Bologna, Forlì e Rimini, è stato dunque escluso il termovalorizzatore per rifiuti sanitari “Mengozi” di Forlì.

Quanto al calcolo dell’impatto evitato, si è fatto riferimento al mix energetico italiano dell’anno 2009.

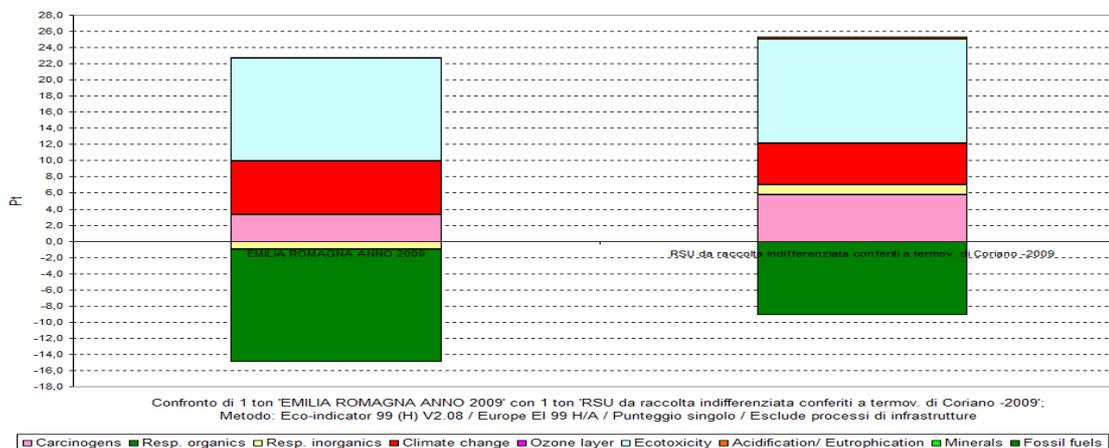


Figura 11.2 –Impatti incenerimento in E. Romagna come punteggio singolo, 2009

Come è evidente, l’impatto ambientale dell’impianto di Coriano continua a non essere troppo dissimile da quello che è l’impatto del settore di incenerimento regionale.

Ciò che rende superiori gli impatti dell’impianto riminese è l’efficienza di recupero energetico più ridotta, che comporta una riduzione dell’impatto evitato.

Ciò incide in particolare sul fatto che l’impatto legato alla categoria fossil fuels sia maggiore per l’impianto di Coriano rispetto a quello della Regione, conseguentemente alla maggiore efficienza di recupero energetico media degli impianti presenti in Regione (0,56 MWh/ton di rifiuto contro 0,448 MWh/ton di rifiuto dell’impianto di Coriano).

11.2 ULTERIORE ESTENSIONE DEI CONFINI GEOGRAFICI. IMPATTO INCENERITORE DI MILANO (ITALIA) ED AARHUS (DANIMARCA)

Negli ultimi 10 anni, la metodologia LCA è stata utilizzata in maniera sempre maggiore per valutare i differenti sistemi di gestione dei rifiuti, tra cui l’incenerimento.

Reimann (2009) condusse uno studio su 231 inceneritori europei, che rivelò spesso grandi differenze tra la situazione del Nord Europa (Danimarca, Svezia, Germania, Olanda) e quella del Sud Europa (Italia, Spagna, Francia del sud), dovute spesso a differenti tecnologie e modalità di condotta degli impianti.

Lo scopo dello studio di cui si riportano i risultati, era proprio indagare tale constatazione definendo gli impatti ambientali di due impianti specifici, con i confini del sistema estesi

dall'ingresso del rifiuto nell'impianto di incenerimento alla dismissione dei residui solidi ed all'emissione di inquinanti in acqua, aria e suolo; è considerato inoltre il recupero energetico e, quando presente, l'impiego delle scorie come materiale da costruzione.

Per ciascun impianto, lo studio è stato condotto utilizzando due differenti software, il SimaPro e l'EASEWASTE. Come già accennato, i due impianti studiati sono situati a Milano (Italia) ed Aarhus (Danimarca); entrambi operano con tre linee di incenerimento con forno a griglia. La linea di depurazione fumi dell'impianto italiano è a secco, mentre l'infrastruttura danese presenta due linee equipaggiate con sistema a semi-secco ed una con sistema ad umido, aspetto che differisce dal sistema studiato di Rimini. Per quel che riguarda l'efficienza di produzione dell'energia elettrica, essa è superiore a Milano (24%) rispetto ad Aarhus (21%), mentre, quanto al recupero dell'energia termica, esso è molto più efficiente ad Aarhus che a Milano.

Per quel che riguarda gli impatti evitati, è interessante focalizzarsi su un particolare fenomeno osservato: in Italia, il combustibile considerato "sostituito" dai rifiuti per la produzione di energia elettrica è stato il gas naturale, mentre in Danimarca il carbone; le scelte sono state effettuate sulla base dei dati del mix energetico dei due paesi.

Ciò comporta come conseguenza il fatto che, seppure l'efficienza di recupero energetico dell'impianto italiano è superiore, l'impatto evitato è maggiore per l'inceneritore danese, proprio perchè viene sostituita una fonte energetica più impattante. Alla determinazione di questo risultato concorre probabilmente anche il recupero più elevato di energia termica che viene attuato in Danimarca, la cui implementazione è stata favorita dal clima più freddo e da una rete di teleriscaldamento più sviluppata.

Tale effetto è importante da considerare, in quanto è un'evidente prova di quanto, variazioni del mix energetico negli anni o in differenti località, possano far variare i risultati.

Per entrambi gli inceneritori, come per lo studio effettuato, è manifesto che le emissioni di CO₂ al camino sono quelle che determinano il maggiore contributo al riscaldamento globale; le emissioni di CO₂ sono inoltre responsabili di acidificazione ed eutrofizzazione e quelle di CO della formazione di smog fotochimico.

Quanto alla depurazione fumi, l'impianto di Aarhus è dotato di sistema SNCR, mentre quello di Milano comprende un sistema SCR per l'abbattimento degli ossidi di azoto; il secondo inoltre, presenta un maggiore consumo di reattivi, primo tra tutti di carbonato di sodio.

In generale, come atteso, è stato osservato che la linea di depurazione fumi è più efficiente a Milano; la conseguenza è principalmente una minore emissione di NOx e polveri. L'effetto di ciò sono anche minori emissioni di micro-inquinanti, quali polveri e metalli pesanti, che sono soliti aderire alle polveri.

Quanto detto sopra comporta un inferiore carico ambientale per tutte le categorie per l'inceneritore di Milano, nonostante il maggiore consumo di reattivi. Ciò conferma l'efficienza della linea di depurazione fumi installata a Coriano, caratterizzata da una configurazione simile.

La dismissione dei residui solidi in discarica origina anche in questo caso effetti di impatto ambientale, tuttavia il carico non risulta elevato in quanto i processi di smaltimento coinvolgono solo il 13-15% della quantità di rifiuto iniziale.

Le emissioni dirette al camino sono, invece, in entrambi i casi, quelle che influiscono maggiormente sulla categoria di impatto legata alla tossicità umana, in particolare a causa delle emissioni di mercurio.

Nonostante il fatto che lo studio fosse condotto con due strumenti di modellazione differenti (Simapro ed EASEWASTE) i risultati sono risultati consistenti per tutte le categorie di impatto considerate.

Dallo studio emerge, come era lecito attendersi, che la localizzazione geografica effettivamente incide sulla configurazione scelta per l'impianto e quindi sull'impatto complessivo che si va a calcolare con una valutazione del ciclo di vita: in particolare è stato valutato come l'impatto evitato legato al recupero energetico risulti maggiore per l'inceneritore del Nord-Europa, mentre un minore impatto dovuto ad inferiori emissioni dirette al camino è stato riscontrato a Milano [Turconi R. et al., 2011].

11.3 VALUTAZIONE DI DIFFERENTI SOLUZIONI TECNOLOGICHE (DEPURAZIONE FUMI WET/DRY, PRESENZA SISTEMA DIRECUPERO ENERGETICO)

Viene ora approfondito l'effetto di differenti configurazioni impiantistiche per quel che riguarda il recupero energetico e la depurazione dei fumi sull'impatto del settore dell'incenerimento, citando i risultati di uno studio condotto nel 2009 relativo alla realtà italiana [Scipioni A. et al. 2009]. Lo studio è riferito ad una terza linea in costruzione di un impianto di incenerimento dedicato allo smaltimento di RSU indifferenziati, ed è finalizzato ad una descrizione preliminare degli impatti ambientali che essa comporterebbe scegliendo differenti tecnologie, prima che venga costruita.

Gli autori hanno innanzitutto considerato una linea di depurazione fumi operante a secco ed un impianto non dotato di sistema di recupero energetico, al fine di valutare gli impatti diretti del processo di incenerimento. Successivamente, lo stesso impianto è stato considerato con un sistema di depurazione dei fumi ad umido.

L'analisi è stata condotta utilizzando il software SimaPro, ed il metodo Eco-indicator 99, l'unità funzionale scelta è 1 ton di rifiuto. I confini del sistema includono l'ingresso dei rifiuti all'impianto, le risorse, i reattivi ed i combustibili ausiliari consumati, le infrastrutture, le emissioni in aria, acqua e suolo e la dismissione dei residui di combustione. L'impatto evitato, quando considerato, è stato stimato sulla base del mix energetico nazionale presente nel database Ecoinvent.

Il sistema di depurazione fumi in configurazione "dry" risulta composto principalmente da un sistema di iniezione di calce idrata, un filtro a manica, un sistema di iniezione di carbonato di sodio, un secondo filtro a manica e SCR.

Non considerando la produzione di energia elettrica, ciascuna categoria di impatto mostra un risultato positivo, cioè denota un danno ambientale.

Per quel che concerne la categoria di danno salute umana, l'impatto è principalmente attribuito al cambiamento climatico, alle sostanze inorganiche e cancerogene emesse, causato dalle emissioni di CO₂, NO_x e particolato.

Riguardo alla categoria ecosistemi, l'impatto è principalmente dovuto ad acidificazione, eutrofizzazione (causate dalle emissioni di NO_x ed SO_x) ed utilizzo del territorio. Quanto alla categoria risorse, il danno è essenzialmente derivante dal consumo di combustibili fossili, mentre il consumo di minerale contribuisce in maniera decisamente marginale.

Considerando invece il recupero energetico, l'effetto negativo legato all'emissione di composti organici ed inorganici ed alla distruzione dello strato di ozono diminuisce fino a divenire negativo, mentre gli impatti legati all'emissione di sostanze cancerogene ed al cambiamento climatico continuano a causare un danno ambientale. Come valore assoluto, la categoria di danno legata alla salute umana risulta comunque complessivamente positiva.

Per quel che riguarda la categoria ecotossicità l'impatto permane positivo, mentre, analizzando separatamente le categorie acidificazione, eutrofizzazione ed utilizzo del territorio, sono riscontrati impatti negativi.

Per quel che riguarda infine la categoria di danno risorse, la categoria di impatto legata al consumo di combustibili fossili diviene negativa, mentre quella legata al consumo di minerali permane positiva.

Considerando invece una linea di incenerimento operante con un sistema di depurazione dei fumi emessi ad umido, costituita da un precipitatore elettrostatico, reattore di assorbimento a secco, filtro a manica, torre di scrubber e scambiatori di calore, diversi risultati variano.

La comparazione rivela infatti che l'utilizzo di un sistema di depurazione dei fumi a secco comporta un impatto maggiore per quel che riguarda l'emissione di sostanze cancerogene (a causa dell'elevata quantità di polveri emesse), di radiazioni (conseguente ad un maggior impiego di energia elettrica), di composti distruttori dello strato di ozono (legati all'utilizzo di filtri a manica costituiti da PTFE) e di sostanze quali arsenico e cadmio che determinano effetti di eco-tossicità. Inoltre devono essere considerati anche gli effetti negativi legati all'utilizzo di territorio per la produzione di una quantità maggiore di reagenti richiesta.

Complessivamente, però, la configurazione dry comporta un danno ambientale complessivo minore a causa del minore impatto legato all'emissione di composti organici ed inorganici che vengono trattenuti con maggiore efficienza, soprattutto NO_x, SO_x, ammoniaca e particolato. Ciò comporta anche un minore impatto legato alle categorie acidificazione ed eutrofizzazione.

Un sistema di depurazione ad umido, inoltre, comporterebbe un abbattimento dell'impatto molto elevato per quel che riguarda la categoria ecotoxicity, ma poi, considerando all'interno dei confini del sistema il trattamento dei reflui liquidi, l'impatto complessivo relativo all'ecotossicità risulterebbe più elevato e maggiore di quello derivante da un sistema a secco.

Risulta dunque che, globalmente, un sistema di depurazione a secco con recupero energetico dai fumi di combustione, quale quello adottato a Coriano, risulta preferibile in quanto comporta ridotti impatti ambientali soprattutto per quel che riguarda l'emissione di inquinanti in atmosfera ed il consumo di risorse idriche, facendo diminuire in maniera rilevante gli impatti relativi alla categorie salute umana ed ecosistema [Scipioni A. et al., 2009].

11.4 GESTIONE DELLE SCORIE

I residui solidi derivanti dal processo di incenerimento possono essere trattati come rifiuto e dismessi in discarica, in questo caso sono spesso utilizzati, previa inertizzazione, come materiale di drenaggio; oppure possono essere utilizzati per altre attività (riempimento di miniere di esaurite, realizzazione del manto stradale ecc.).

La modellazione realizzata per condurre lo studio relativo all'impianto di Coriano prevede la dismissione in discarica dei residui prodotti, dopo opportuno trattamento.

Tuttavia, per completezza, è interessante valutare come differenti modalità di gestione delle scorie possano influenzare l'impatto complessivo di un processo di incenerimento.

La seguente analisi si basa su lavori di letteratura.

Toller S. et al. (2009) hanno condotto uno studio in cui è stato valutato l'effetto sull'ambiente della dismissione delle scorie in discarica o del loro utilizzo come materiale da costruzione per la realizzazione di strade. La valutazione è stata basata principalmente sulle proprietà chimiche del materiale e sul possibile rilascio di contaminanti, valutato sulla base di test effettuati in laboratorio ed ha condotto al risultato che la soluzione che prevede l'utilizzo dei residui come materiale da costruzione mostra complessivamente impatti minori [Toller S. et al., 2009].

Nello studio, condotto da Fruergaard T. et al. (2010) è stata condotta un'analisi di sette differenti opzioni per la gestione delle scorie di combustione, valutandone l'impatto ambientale mediante metodologia LCA.

Nonostante lo strumento di calcolo utilizzato sia differente da quello impiegato per il nostro studio (infatti gli autori hanno deciso di utilizzare il software EASEWASTE), vengono menzionate categorie di impatto dal significato simile a quelle descritte finora.

L'unità funzionale scelta è stata 1 ton di residui, con composizione determinata sulla base di dati primari; la valutazione considera il consumo di energia e risorse, emissioni in aria, acqua e suolo, impatti evitati ed eventuali processi correlati.

Gli scenari di smaltimento considerati, che rappresentano possibili ipotesi di gestione dei residui di combustione, sono sotto riportati.

1) Discarica senza pretrattamento: viene considerato il rilascio di metalli pesanti in acqua e suolo con un orizzonte temporale di 1000 anni, ed i consumi di energia correlati al trattamento delle sostanze organiche raccolte.

2) Riempimento di miniere di sale: si tratta di una tecnica di gestione comunemente usata in Germania; lo scenario include principalmente il consumo di additivi e l'energia richiesta per il pompaggio.

3) Neutralizzazione dei rifiuti acidi: è una procedura diffusa in Norvegia che prevede che i residui siano miscelati con acqua e rifiuti acidi provenienti dall'industria di lavorazione del titanio al fine della neutralizzazione di questi ultimi. È considerata l'energia richiesta per miscelare e movimentare i residui.

4) Utilizzo dei residui per la realizzazione del manto stradale: i residui vengono utilizzati come materiale di riempimento per la stesura dell'asfalto.

5) Stabilizzazione con FeSO_4 : i residui sono miscelati con acqua e FeSO_4 al fine di ridurre il rilascio di metalli pesanti.

6) Vetrificazione seguita da conferimento in discarica: si tratta di un trattamento termico che conduce alla vetrificazione dei residui, lo scenario include i consumi di energia per il trattamento termico e le emissioni.

7) Trattamento termico con automobile shredder residue (ASR). Si tratta di un'opzione praticata in Danimarca e Svizzera che prevede che un'uguale quantità di residui delle due tipologie venga miscelata e trattata termicamente. Sono considerati i consumi di energia e materiali ausiliari e le emissioni. Sono possibili due differenti scenari conseguenti: il primo prevede che i rifiuti trattati siano utilizzati per la costruzione di strade, il secondo che siano dismessi in discarica.

In generale, per tutti gli scenari considerati, gli autori hanno osservato che gli impatti più elevati sono correlati a riscaldamento globale, acidificazione ed eutrofizzazione; tutti questi tre fenomeni denotano un forte legame con i consumi energetici.

Per quel che riguarda invece le categorie legate a fenomeni di tossicità, gli impatti più elevati si riscontrano relativamente a ecotossicità in acqua, tossicità umana via acqua e via suolo.

Approfondendo i risultati, si nota che la vetrificazione è il processo che determina il più elevato potenziale di riscaldamento globale, seguito dal co-trattamento termico con ASR. I maggiori fenomeni di ecotossicità in acqua si hanno a seguito della dismissione in discarica senza pre-trattamento e sono principalmente dovuti ad emissione di piombo. Anche la stabilizzazione con FeSO_4 e la vetrificazione contribuiscono all'ecotossicità in acqua, sebbene in misura inferiore. Per quel che riguarda la stabilizzazione con FeSO_4 , l'impatto è causato al 40% dal processo di stabilizzazione stesso, mentre, per quel che concerne la vetrificazione, il 40% degli impatti è da attribuirsi ai consumi energetici ed il 16% circa ai rilasci di metalli pesanti che comunque avvengono.

La tossicità umana via acqua è legata principalmente alla dismissione in discarica dei residui senza un preventivo trattamento, in secondo luogo essa è attribuita all'emissione di Hg durante il trattamento termico.

Per quel che riguarda la tossicità umana via suolo, nessuna opzione di trattamento è maggiormente controindicata in maniera rilevante, ma il maggiore contributo per questa categoria deriva dal processo di vetrificazione, a causa dell'emissione di metalli pesanti, dall'utilizzo dei residui come materiale di costruzione di strade e dal conferimento diretto in discarica. La stabilizzazione con FeSO₄ ed il co-trattamento con ASR comportano invece contributi molto inferiori.

In sintesi, è evidente che gli impatti legati al riscaldamento globale sono principalmente causati dai consumi energetici, mentre quelli che comportano effetti di tossicità sono dovuti al rilascio di sostanze inquinanti. Dunque, le alternative di gestione che prevedono ridotti consumi energetici e generano ridotte emissioni sono le migliori possibili.

Nessuna ipotesi di gestione soddisfa pienamente questi requisiti, tuttavia l'utilizzo dei residui come materiale di riempimento di miniere di sale esaurite, la neutralizzazione di rifiuti acidi e l'utilizzo come riempitivo degli asfalti stradali risultano gli scenari preferibili (a patto che la composizione del residuo sia comparabile con quella delle matrici naturali tradizionalmente impiegate per la produzione di asfalti e cementi: il rischio, infatti, è che l'uso di matrici più contaminate possa tradursi alla lunga in un aumento di concentrazione di inquinanti).

Le opzioni meno preferibili per quel che riguarda il cambiamento climatico sono quelle coinvolgenti un trattamento termico, mentre, per quel che riguarda l'emissione di sostanze tossiche, è lo smaltimento in discarica senza pre-trattamento a comportare i maggiori effetti negativi.

È stato osservato che tali risultati sono indipendenti dal mix energetico considerato e dal materiale che si considera sostituito nei processi in cui avviene la sostituzione di un materiale con i residui, quali il riempimento delle miniere di sale e la neutralizzazione di rifiuti acidi e dunque essi possono essere considerati validi indipendentemente dalla localizzazione geografica [*Fruergaard T. et al., 2010*].

11.5 TECNICHE EMERGENTI PER L'UTILIZZO DELLA CO₂ EMESSA

Come è stato possibile dedurre dall'interpretazione dei risultati ottenuti, le categorie inerenti il cambiamento climatico hanno una notevole rilevanza nella determinazione dell'impatto complessivo dell'impianto.

Sono state sviluppate tuttavia alcune tecniche, comprese fra le tecniche emergenti, quindi non ancora applicate su scala industriale, del Reference Document Europeo sulle BAT, che consentono di impiegare l'anidride carbonica emessa per altri processi correlati all'incenerimento; la realizzazione di tali processi, qualora possibile, contribuirebbe probabilmente a diminuire l'impatto complessivo del sistema. Naturalmente, per giungere a conclusioni certe, sarebbe necessario eseguire ulteriori studi e verificare l'effettiva applicabilità industriale delle tecniche citate.

Ci si limita quindi ad una loro citazione e descrizione negli aspetti più fondamentali.

11.5.1 UTILIZZO DELLA CO₂ PER LA PRODUZIONE DI CARBONATO DI SODIO

Il carbonato di sodio è uno dei reagenti più utilizzati per la depurazione dei fumi emessi dagli impianti di incenerimento.

Mettendo a contatto i fumi in emissione con una soluzione di NaOH, l'anidride carbonica presente reagisce con la base per formare carbonato di sodio, originando una soluzione di Na₂CO₃ inodore ed incolore (Reazione 11.1).



Reazione 11.1

Il gas può essere fatto fluire attraverso una colonna di assorbimento in controcorrente rispetto alla soluzione di soda, che è previsto venga aggiunta alla testa della colonna, dopo aver opportunamente ottimizzato i parametri operativi e dimensionato il sistema.

Il gas esce poi dalla testa della colonna dopo essere transitato per un demister, un'apparecchiatura costituita da una fitta griglia metallica per l'abbattimento delle goccioline di liquido trascinate dal gas, mentre la soluzione viene raccolta ed inviata ove necessaria.

Il processo richiede tuttavia un impiego piuttosto massiccio di NaOH, il cui processo di produzione genera anch'esso CO₂, per cui l'installazione di un sistema di questo genere va attentamente valutato.

11.5.2 STABILIZZAZIONE DEI RESIDUI DI COMBUSTIONE

Il processo assomiglia, sotto molti aspetti, al processo di stabilizzazione con FeSO₄, tuttavia gli agenti chimici utilizzati sono CO₂ e/o H₃PO₄.

La procedura prevede che i residui siano prima lavati con un rapporto liquido/solido pari a 3/1, così da estrarre i sali solubili, disidratati, lavati ancora secondo la medesima modalità e filtrati. I residui vengono poi risospesi e vi sono aggiunti CO₂ e/o H₃PO₄.

La reazione di stabilizzazione viene fatta avvenire prima per un tempo di 1-1,5 ore a pH decrescente, e poi per un'altra ora circa in cui viene mantenuto il pH pari a 7. Infine i residui sono nuovamente disidratati e lavati.

L'utilizzo della CO₂ e dell'H₃PO₄ come agenti stabilizzanti fanno sì che i metalli pesanti siano legati come carbonati o fosfati, caratterizzati da bassa solubilità, per cui la qualità della stabilizzazione risulta simile a quella con FeSO₄.

Tra l'altro, la disintegrazione fisica dei residui trattati è molto inferiore rispetto alla stabilizzazione con cemento, a causa del fatto che la maggior parte dei sali vengono rimossi.

Un possibile svantaggio è la produzione di una discreta quantità di reflui liquidi.

Il processo è stato sperimentato su scala pilota in batches di circa 200 kg di residuo secco e numerosi parametri, quali miscelazione, aggiunta di CO₂ e H₃PO₄, tempo di reazione e pH, sono stati ottimizzati.

È stata inoltre verificata la robustezza del processo ed, in base alla composizione dei residui, è stato valutato se utilizzare CO₂, H₃PO₄ o entrambi.

È stata verificata la possibilità di utilizzare i gas emessi dall'impianto come fonte di anidride carbonica stimando che il processo tipicamente richiede tra 5 e 20 Kg di CO₂, tra le 0 e 40 Kg di H₃PO₄ e 3 m³ circa di acqua.

Quanto descritto si stima possa essere implementato presso l'impianto di incenerimento stesso o come struttura centralizzata che tratta residui provenienti da differenti impianti [EU IPPC, 2006].

CONCLUSIONI

Il dibattito riguardo allo smaltimento dei rifiuti mediante termovalorizzazione sta acquisendo sempre maggiore rilevanza in quanto, sia a livello Europeo che Nazionale e Regionale, una percentuale sempre più elevata di rifiuti viene smaltita mediante questa tecnica (+9% in Europa tra il 1995 ed il 2009, +9% in Emilia Romagna negli ultimi 10 anni) [ARPA, *E. Romagna, 2011*]. Contestualmente, si è assistito all'affermarsi di una normativa piuttosto stringente per quanto riguarda i valori limite di emissione, le soluzioni tecnologiche da adottare (in particolare D. Lgs. 133/05 e Direttiva Europea 2008/98/CE), lo sviluppo di sistemi di abbattimento degli inquinanti nei fumi, di pratiche di gestione della combustione e di apparati di recupero energetico sempre più efficienti.

Una valutazione complessiva dell'effettivo impatto sull'ambiente di un impianto di incenerimento può essere effettuato adottando l'approccio del ciclo di vita, che permette di considerare il contributo di diversi parametri e variabili, che vanno dai dati relativi alle emissioni in aria, acqua e suolo, ai consumi di combustibili fossili ed additivi chimici, al trasporto dei residui solidi ed alla loro dismissione definitiva.

In questo studio, la metodologia LCA è stata applicata per valutare come sono variati nel tempo gli impatti di un impianto specifico, gestito dalla società HERAmbiente e localizzato a Coriano, in Provincia di Rimini.

Complessivamente, l'analisi mostra un sensibile miglioramento degli impatti ambientali nel corso degli anni grazie all'impiego di tecnologie avanzate per migliorare il processo di combustione e rendere meno impattanti le emissioni al camino.

In particolare, quest'ultimo aspetto è all'origine della diminuzione dell'impatto per le categorie respiratory inorganics, acidification/etrophication e respiratory organics. Dai parametri esaminati, si è effettivamente notato che la qualità dei fumi emessi è notevolmente migliorata nel tempo, sia per quel che concerne le emissioni di gas acidi, che quelle di metalli pesanti, polveri e composti organici, tutte in netta diminuzione.

Il miglioramento del sistema di combustione ha comportato una diminuzione dei residui solidi in uscita dall'impianto, tuttavia il contributo relativo alla categoria climate change mostra un andamento crescente a seguito della maggiore efficienza di combustione, ma anche dell'aumento della frazione plastica nel rifiuto in ingresso. Si può quindi supporre che un incremento della raccolta differenziata possa contribuire a ridurre l'impatto legato a questa categoria.

Le categorie ecotoxicity e carcinogens sono principalmente correlate al processo di dismissione in discarica delle scorie generate ed all'emissione di metalli pesanti e composti organici nei comparti ambientali aria, acqua e suolo. Gli impatti ad esse relativi sono in lieve flessione, grazie alla diminuzione della quantità prodotta di scorie e di metalli in emissione. In particolare, però, per quel che riguarda la categoria ecotoxicity, la diminuzione dell'impatto attraverso gli anni non è molto marcata, ciò è dovuto al fatto che l'impianto utilizza un sistema di depurazione a secco, dunque la qualità dell'acqua scaricata rimane circa la medesima nel periodo considerato. Riguardo alle rimanenti categorie considerate, praticamente la totalità di esse evidenzia una diminuzione dell'impatto nell'arco di tempo esaminato, in particolare se si considera il sistema reale costituito da incenerimento e recupero energetico, con peculiarità tipiche legate alla natura dell'impatto considerato. Ad esempio, è stato osservato che l'impatto legato alla categoria ozone layer è particolarmente legata al consumo di urea necessario per l'abbattimento degli NO_x nei fumi di combustione.

Conseguentemente all'installazione del sistema di recupero energetico, gli impatti evitati raggiunti hanno permesso di migliorare ulteriormente i risultati ambientali. Tra il 2003 ed il 2011 l'efficienza è praticamente raddoppiata, passando dal 12% al 24% e nel 2011 l'impianto in esame ha raggiunto un'efficienza di 0,66, superando il valore obiettivo di efficienza richiesta (0,65) dalla Direttiva Europea 2008/98/CE. I benefici ambientali associati al recupero di energia sono particolarmente significativi per la categoria fossil fuels. L'energia recuperata dalla combustione dei rifiuti permette infatti di evitare gli impatti derivanti dalla produzione di energia elettrica mediante il tradizionale mix energetico italiano, ancora basato in buona parte su fonti termiche. Sebbene il passaggio verso fonti di energia rinnovabili e, quindi, più sostenibili, sia auspicabile, è stato valutato che questo aspetto potrebbe determinare una diminuzione in termini di impatto evitato per il recupero di energia da rifiuti.

L'esecuzione di un'analisi di sensibilità relativa agli anni 1996, 2007 e 2011 ha confermato i risultati ottenuti. In accordo con quanto finora descritto, analizzando i risultati delle diverse modellazioni effettuate come punteggio singolo, emerge che, sia considerando le operazioni di termovalorizzazione nel loro complesso, che considerando il solo fenomeno di incenerimento, il contributo maggioritario è relativo alle categorie di danno human health e ecosystem.

Ci si attende che variazioni future circa la composizione dei rifiuti in ingresso, derivanti da un incremento della raccolta differenziata, influiscano anche sui risultati relativi alle

categorie di danno, in quanto l'interpretazione dei risultati della valutazione degli impatti sulla base dei dati raccolti durante l'analisi di inventario ha permesso di evidenziare la presenza di correlazioni tra i risultati dello studio relativi ai diversi anni e la tipologia dei rifiuti trattati. Una minore quantità di plastica contribuisce infatti a far diminuire la quantità di CO₂ emessa e quindi l'impatto legato al riscaldamento globale, mentre una diminuzione legata ad un inferiore ingresso di metalli si concretizza in una minore emissione di metalli. Entrambe queste eventualità contribuirebbero dunque ad abbassare gli impatti relativi alla categoria human health, e nel secondo caso, anche la categoria ecosystem vedrebbe una contrazione del proprio impatto. Va anche considerato, però, che la frazione plastica è importante per assicurare una buona combustione, ed una sua diminuzione troppo elevata potrebbe comportare la necessità di impiegare un maggiore quantitativo di combustibili ausiliari. Una diminuzione del quantitativo di sostanza organica conseguente ad una raccolta differenziata più efficiente della frazione umida, comporterebbe invece un minore quantitativo di combustibili ausiliari necessari.

I risultati dell'analisi di contributo hanno invece identificato quali, dei numerosi sottoprocessi considerati per la modellazione del sistema, contribuiscono maggiormente all'impatto complessivo. Si tratta dei processi da cui si originano gli impatti diretti legati alle operazioni di combustione, all'emissione di scorie e ceneri ed al loro trasporto in discarica, all'utilizzo di urea, carbonato di sodio, gasolio e gas ed alla gestione dell'impianto.

Infine, si è verificato che gli impatti dell'impianto di Coriano (RN) fossero in linea con quelli degli altri impianti di termovalorizzazione presenti in Regione [Morselli L. et al., 2008], al di fuori (inceneritore di Milano in Italia e di Aarhus in Danimarca) [Turconi R. et al., 2011], ed in progettazione [Scipioni A. et al., 2009], e sono state valutate differenti metodologie di gestione delle scorie e tecniche emergenti per implementare l'ecosostenibilità del sistema [Toller S. et al., 2009]; [Fruergaard T. et al., 2010]. In particolare, sono state descritte alcune tecniche contenute nel Reference Document Europeo sulle BAT che prevedono l'utilizzo della CO₂ prodotta nel corso del processo di combustione per la produzione di carbonato di sodio, richiesto per la depurazione dei fumi emessi e per la stabilizzazione dei residui di combustione. Infatti proprio l'emissione di una massiccia quantità di CO₂, come è stato citato sopra, è uno dei parametri che contribuiscono in maniera significativa a delineare l'impatto ambientale del sistema, incidendo sulla categoria climate change [EU IPPC, 2006].

ALLEGATI

ALLEGATO I

$$SD_{g95} = \sigma_g^2 = \exp^{\sqrt{[\ln(U_1)]^2 + [\ln(U_2)]^2 + [\ln(U_3)]^2 + [\ln(U_4)]^2 + [\ln(U_5)]^2 + [\ln(U_6)]^2 + [\ln(U_b)]^2}}$$

Equazione 1 –Formula per il calcolo del quadrato della dev. standard geometrica, *[Pré, Introduction into LCA, 2008]

Score:	1	2	3	4	5
U1 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
	1.00	1.05	1.10	1.20	1.50
U2 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
	1.00	1.02	1.05	1.10	1.20
U3 Temporal correlation	Less than 3 years of difference to our reference year (2000)	Less than 6 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)
	1.00	1.03	1.10	1.20	1.50
U4 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)
	1.00	1.01	1.02		1.10
U5 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
	1.00		1.20	1.50	2.00
U6 Sample size	>100, continous measurement, balance of purchased products	>20	> 10, aggregated figure in env. report	>=3	unknown
	1.00	1.02	1.05	1.10	1.20

Tabella 1 –Possibili valori degli indicatori per il calcolo della dev. standard, *[Pré, Introduction into LCA, 2008]

input / output group	Ub	input / output group	Ub
demand of:		emission to air of:	
thermal energy	1.05	CO2	1.05
electricity	1.05	SO2	1.05
semi-finished products	1.05	combustion: NOX, NMVOC total, methane, N2O and NH3	1.50
working materials	1.05	Combustion: CO	5.00
transport services	2.00	Combustion: individual hydrocarbons, TSM	1.50
waste treatment services	1.05	Combustion: PM10	2.00
Infrastructure	3.00	Combustion: PM2.5	3.00
resources:		combustion: polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH)	3.00
primary energy carriers	1.05	Combustion: heavy metals	5.00
metals, salts	1.05	process emissions: individual VOCs	2.00
land use, occupation	1.50	process emissions: CO2	1.05
land use, transformation	2.00	process emissions: TSM	1.50
waste heat:		process emissions: PM10	2.00
emission to air, water, and soil	1.05	process emissions: PM2.5	3.00
emission to water of:		from agriculture: CH4, NH3	1.20
BOD, COD, DOC, TOC	1.50	from agriculture: N2O, NOX	1.40
inorganic compounds (NH4, PO4, NO3, Cl, Na etc.)	1.50	radionucleides (e.g., Radon-222)	3.00
individual hydrocarbons, PAH	3.00	process emissions: other inorganic emissions	1.50
heavy metals	5.00	Emission to soil of:	
from agriculture: NO3, PO4	1.50	oil, hydrocarbon total	1.50

Tabella 2 –Possibili valori del coefficiente Ub per il calcolo della dev. Standard geometrica, *[Pré, Introduction into LCA, 2008]

ALLEGATO II

ANNO	1994/1995/1996							DEV. STANDARD
	COEFFICIENTI							
FLUSSO	u1		u3	u4	u5	u6	ub	
<i>Risorse</i>								
Aria	1,05	1,31	1	1	1,2	1,2	1,05	1,31
Gasolio	1,05	1,31	1	1	1,2	1,2	1,05	1,31
Metano	-	-	-	-	-	-	-	-
Carbone attivo	1,05	1,57	1	1	1,5	1,2	1,05	1,57
Carbonato di sodio	1,05	1,31	1	1	1,2	1,2	1,05	1,31
Urea	1,5	1,68	1,2	1	1,2	1,2	1,05	1,68
Acqua	1,05	1,31	1	1	1,2	1,2	1,05	1,31
Calore fumi	1,05	1,31	1	1	1,2	1,2	1,05	1,31
Transporto scorie	1,5	2,32	1	1	1,2	1,2	2	2,32
Trasporto ceneri	1,5	2,32	1	1	1,2	1,2	2	2,32
HCl	1,05	5,16	1,2	1	1,2	1,2	5	5,16
NaOH	1,05	5,16	1,2	1	1,2	1,2	5	5,16
<i>Emissioni</i>								
Hg	1,05	5,11	1	1	1,2	1,2	5	5,11
As	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	1,05	5,11	1	1	1,2	1,2	5	5,11
Cr*	1,05	5,11	1	1	1,2	1,2	5	5,11
Ni	1,05	5,11	1	1	1,2	1,2	5	5,11
CO ₂	1,05	1,22	1	1	1,2	1	1,05	1,22
CO	1,05	5,06	1	1	1,2	1	5	5,06
HCl	1,05	5,06	1	1	1,2	1	5	5,06
NO _x	1,05	1,56	1	1	1,2	1	1,5	1,56
HF	1,05	5,06	1	1	1,2	1	5	5,06
HBr	1,05	5,06	1	1	1,2	1	5	5,06
SO _x	1,05	1,22	1	1	1,2	1	1,05	1,22
Polveri totali (analisi continue)	1,05	2,05	1	1	1,2	1	2	2,05
<i>Trattamento rifiuti</i>								
Polveri	1,05	2,10	1	1	1,2	1,2	2	2,10
Scorie	1,05	2,10	1	1	1,2	1,2	2	2,10
Trattamento polveri	1,05	1,57	1	1	1,5	1,2	1,05	1,57
Trattamento scorie	1,05	1,57	1	1	1,5	1,2	1,05	1,57

* solo 1994

Tabella 1 –Indicatori di incertezza e quadrato della dev. standard geometrica, incenerimento, 1994-1996

ANNO	2003							
FLUSSO	COEFFICIENTI							DEV. STANDAR D
<i>Risorse</i>	u1	u2	u3	u4	u5	u6	ub	
Aria	1,5	1	1,1	1	1,2	1,2	1,05	1,64
Gasolio	1,5	1	1,1	1	1,2	1,2	1,05	1,64
Metano	1,05	1	1	1	1,2	1,2	1,05	1,31
Carbone attivo	1,05	1	1	1	1,5	1,2	1,05	1,57
Carbonato di sodio	1,05	1	1	1	1,2	1,2	1,05	1,31
Urea	1,05	1	1	1	1,2	1,2	1,05	1,31
Acqua	1,05	1	1	1	1,2	1,2	1,05	1,31
Calore fumi	1,5	1	1,1	1	1,2	1,2	1,05	1,64
Transporto scorie	1,5	1	1	1	1,2	1,2	2	2,32
Trasporto ceneri	1,5	1	1	1	1,2	1,2	2	2,32
HCl	1,05	1	1,03	1	1,2	1,2	5	5,11
NaOH	1,05	1	1,03	1	1,2	1,2	5	5,11
Energia prodotta	1,05	1	1	1	1,2	1,2	1,05	1,31
<i>Emissioni</i>								
Cd	1,05	1	1	1	1,2	1,2	5	5,11
Tl	1,05	1	1	1	1,2	1,2	5	5,11
Hg	1,05	1	1	1	1,2	1,2	5	5,11
As	1,05	1	1	1	1,2	1,2	5	5,11
Pb	1,05	1	1	1	1,2	1,2	5	5,11
Cr	1,05	1	1	1	1,2	1,2	5	5,11
Co	1,05	1	1	1	1,2	1,2	5	5,11
Cu	1,05	1	1	1	1,2	1,2	5	5,11
Mn	1,05	1	1	1	1,2	1,2	5	5,11
Ni	1,05	1	1	1	1,2	1,2	5	5,11
Va	1,05	1	1	1	1,2	1,2	5	5,11
Sb	1,05	1	1	1	1,2	1,2	5	5,11
Sn	1,05	1	1	1	1,2	1,2	5	5,11
CO ₂	1,05	1	1	1	1,2	1	1,05	1,22
O ₂	1,05	1	1	1	1,2	1	1,05	1,22
CO	1,05	1	1	1	1,2	1	5	5,06
HCl	1,05	1	1	1	1,2	1	5	5,06
NO _x	1,05	1	1	1	1,2	1	1,5	1,56
HF	1,05	1	1	1	1,2	1	5	5,06
HBr	1,05	1	1	1	1,2	1	5	5,06
SO _x	1,05	1	1	1	1,2	1	1,05	1,22
NH ₃	1,05	1	1	1	1,2	1	1,5	1,56
PCDD+PCDF	1,05	1	1	1	1,2	1,2	3	3,09
IPA	1,05	1	1	1	1,2	1,2	3	3,09
PCB	1,05	1	1	1	1,2	1,2	1,5	1,62
Polveri totali (analisi continue)	1,05	1	1	1	1,2	1	2	2,05
<i>Trattamento rifiuti</i>								
Polveri	1,05	1	1	1	1,2	1,2	2	2,10
Scorie	1,05	1	1	1	1,2	1,2	2	2,10

Trattamento polveri	1,05	1	1	1	1,5	1,2	1,05	1,57
Trattamento scorie	1,05	1	1	1	1,5	1,2	1,05	1,57

Tabella 2 –Indicatori di incertezza e quadrato della dev. standard geometrica, incenerimento, 2003

ANNO FLUSSO	2007/2008/2009 COEFFICIENTI							DEV. STANDAR D
	u1	u2	u3	u4	u5	u6	ub	
<i>Risorse</i>								
Aria	1,5	1	1,2	1	1,2	1,2	1,05	1,68
Gasolio	1,05	1	1	1	1,2	1,2	1,05	1,31
Metano	1,05	1	1	1	1,2	1,2	1,05	1,31
Carbone attivo	1,05	1	1	1	1,5	1,2	1,05	1,57
Carbonato di sodio	1,05	1	1	1	1,2	1,2	1,05	1,31
Urea	1,05	1	1	1	1,2	1,2	1,05	1,31
Acqua	1,05	1	1	1	1,2	1,2	1,05	1,31
Calore fumi	1,5	1	1,2	1	1,2	1,2	1,05	1,68
Transporto scorie	1,5	1	1	1	1,2	1,2	2	2,32
Trasporto ceneri	1,5	1	1	1	1,2	1,2	2	2,32
HCl	1,05	1	1	1	1,2	1,2	5	5,11
NaOH	1,05	1	1	1	1,2	1,2	5	5,11
Energia prodotta	1,05	1	1	1	1,2	1,2	1,05	1,31
<i>Emissioni</i>								
Cd	1,5	1	1	1	1,2	1,2	5	5,36
Hg	1,05	1	1	1	1,2	1,2	5	5,11
Zn	1,05	1	1	1	1,2	1,2	5	5,11
As	1,05	1	1	1	1,2	1,2	5	5,11
Pb	1,05	1	1	1	1,2	1,2	5	5,11
Cr	1,05	1	1	1	1,2	1,2	5	5,11
Cu	1,05	1	1	1	1,2	1,2	5	5,11
Ni	1,05	1	1	1	1,2	1,2	5	5,11
CO ₂	1,05	1	1	1	1,2	1	1,05	1,22
CO	1,05	1	1	1	1,2	1	5	5,06
HCl	1,05	1	1	1	1,2	1	5	5,06
NO _x	1,05	1	1	1	1,2	1	1,5	1,56
HF	1,05	1	1	1	1,2	1	5	5,06
HBr	-	-	-	-	-	-	-	-
SO _x	1,05	1	1	1	1,2	1	1,05	1,22
PCDD+PCDF	1,05	1	1	1	1,2	1,2	3	3,09
IPA	1,05	1	1	1	1,2	1,2	3	3,09
Polveri totali (analisi continue)	1,05	1	1	1	1,2	1	2	2,05
<i>Trattamento rifiuti</i>								
Polveri	1,5	1	1,2	1	1,2	1,2	2	2,37
Scorie	1,5	1	1,2	1	1,2	1,2	2	2,37
Trattamento polveri	1,05	1	1	1	1,5	1,2	1,05	1,57
Trattamento scorie	1,05	1	1	1	1,5	1,2	1,05	1,57

Tabella 3 –Indicatori di incertezza e quadrato della dev. standard geometrica, incenerimento, 2007-2009

ANNO	2010 (SOLA LINEA 4 A REGIME)							
FLUSSO	COEFFICIENTI							DEV. STANDARD
<i>Risorse</i>	u1	u2	u3	u4	u5	u6	ub	
Aria	1,5	1,05	1,2	1	1,2	1,2	1,05	1,68
Gasolio	1,5	1,05	1	1	1,2	1,2	1,05	1,62
Metano	1,5	1,05	1	1	1,2	1,2	1,05	1,62
Carbone attivo	1,5	1,05	1	1	1,5	1,2	1,05	1,83
Carbonato di sodio	1,5	1,05	1	1	1,2	1,2	1,05	1,62
Urea	1,5	1,05	1	1	1,2	1,2	1,05	1,62
Acqua	1,5	1,05	1	1	1,2	1,2	1,05	1,62
Calore fumi	1,5	1,05	1,2	1	1,2	1,2	1,05	1,68
Transporto scorie	1,5	1,05	1	1	1,2	1,2	2	2,33
Trasporto ceneri	1,5	1,05	1	1	1,2	1,2	2	2,33
HCl	1,5	1,05	1	1	1,2	1,2	5	5,37
NaOH	1,5	1,05	1	1	1,2	1,2	5	5,37
Energia prodotta	1,5	1,05	1	1	1,2	1,2	1,05	1,62
<i>Emissioni</i>								
Cd	1,5	1,05	1	1	1,2	1,2	5	5,37
Tl	1,5	1,05	1	1	1,2	1,2	5	5,37
Hg	1,05	1,05	1	1	1,2	1,2	5	5,11
Zn	1,05	1,05	1	1	1,2	1,2	5	5,11
CO ₂	1,05	1,05	1	1	1,2	1	1,05	1,22
O ₂	-	-	-	-	-	-	-	-
CO	1,05	1,05	1	1	1,2	1	5	5,06
HCl	1,05	1,05	1	1	1,2	1	5	5,06
NO _x	1,05	1,05	1	1	1,2	1	1,5	1,57
HF	1,05	1,05	1	1	1,2	1	5	5,06
SO _x	1,05	1,05	1	1	1,2	1	1,05	1,22
NH ₃	1,05	1,05	1	1	1,2	1	1,05	1,22
PCDD+PCDF	1,05	1,05	1	1	1,2	1,2	3	3,10
IPA	1,05	1,05	1	1	1,2	1,2	3	3,10
Polveri totali (analisi continue)	1,05	1,05	1	1	1,2	1	2	2,05
<i>Trattamento rifiuti</i>								
Polveri	1,5	1,05	1	1	1,2	1,2	2	2,33
Scorie	1,5	1,05	1	1	1,2	1,2	2	2,33
Trattamento polveri	1,5	1,05	1	1	1,5	1,2	1,05	1,83
Trattamento scorie	1,5	1,05	1	1	1,5	1,2	1,05	1,83

Tabella 4 –Indicatori di incertezza e quadrato della dev. standard geometrica, incenerimento, 2010

ANNO	2011							
FLUSSO	COEFFICIENTI							DEV. STANDARD
<i>Risorse</i>	u1	u2	u3	u4	u5	u6	ub	
Aria	1,5	1	1,2	1	1,2	1,2	1,05	1,68
Gasolio	1,05	1	1	1	1,2	1,2	1,05	1,31
Metano	1,05	1	1	1	1,2	1,2	1,05	1,31
Carbone attivo	1,05	1	1	1	1,5	1,2	1,05	1,57
Carbonato di sodio	1,05	1	1	1	1,2	1,2	1,05	1,31
Urea	1,05	1	1	1	1,2	1,2	1,05	1,31
Acqua	1,05	1	1	1	1,2	1,2	1,05	1,31
Calore fumi	1,5	1	1,2	1	1,2	1,2	1,05	1,68
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U scorie	1,5	1	1	1	1,2	1,2	2	2,32
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U ceneri	1,5	1	1	1	1,2	1,2	2	2,32
HCl	1,05	1	1	1	1,2	1,2	5	5,11
NaOH	1,05	1	1	1	1,2	1,2	5	5,11
Energia prodotta	1,05	1	1	1	1,2	1,2	1,05	1,31
<i>Emissioni</i>								
Cd	1,5	1	1	1	1,2	1,2	5	5,36
Tl	1,5	1	1	1	1,2	1,2	5	5,36
Hg	1,05	1	1	1	1,2	1,2	5	5,11
Zn	1,05	1	1	1	1,2	1,2	5	5,11
CO ₂	1,5	1	1	1	1,2	1	1,05	1,56
CO	1,05	1	1	1	1,2	1	5	5,06
HCl	1,05	1	1	1	1,2	1	5	5,06
NO _x	1,05	1	1	1	1,2	1	1,5	1,56
SO _x	1,05	1	1	1	1,2	1	1,05	1,22
NH ₃	1,05	1	1	1	1,2	1	1,05	1,22
PCDD+PCDF	1,05	1	1	1	1,2	1,2	3	3,09
IPA	1,05	1	1	1	1,2	1,2	3	3,09
Polveri totali (analisi continue)	1,05	1	1	1	1,2	1	2	2,05
<i>Trattamento rifiuti</i>								
Polveri	1,05	1	1	1	1,2	1,2	2	2,10
Scorie	1,05	1	1	1	1,2	1,2	2	2,10
Trattamento polveri	1,05	1	1	1	1,5	1,2	1,05	1,57
Trattamento scorie	1,05	1	1	1	1,5	1,2	1,05	1,57

Tabella 5 –Indicatori di incertezza e quadrato della dev. standard geometrica, incenerimento, 2011

ANNO	1994/1995/1996/2003/2007/2008/2009							
ENERGIA	COEFFICIENTI							DEV. STANDARD
	u1	u2	u3	u4	u5	u6	ub	
Idroelettrica	1,1	1	1	1	1,2	1,2	1,05	1,32
Carbone	1,1	1	1	1	1,2	1,2	1,05	1,32
Gas naturale	1,1	1	1	1	1,2	1,2	1,05	1,32
Gas derivati	1,5	1	1	1	1,5	1,2	1,05	1,83
Petroliferi	1,1	1	1	1	1,5	1,2	1,05	1,58
Geotermica	1,1	1	1	1	2	1,2	1,05	2,06
Eolica	1,5	1	1	1	1,5	1,2	1,05	1,83
Fotovoltaica	1,5	1	1	1	1,5	1,2	1,05	1,83

Tabella 6 –Indicatori di incertezza e quadrato della dev. standard geometrica produzione elettricità, 1994-2009

ANNO	2010/2011							
ENERGIA	COEFFICIENTI							CALCOLI
	u1	u2	u3	u4	u5	u6	ub	DEV. STANDARD
Idroelettrica	1,1	1	1	1	1,2	1,2	1,05	1,32
Carbone	1,5	1	1	1	1,2	1,2	1,05	1,62
Gas naturale	1,5	1	1	1	1,2	1,2	1,05	1,62
Gas derivati	1,5	1	1	1	1,5	1,2	1,05	1,83
Petroliferi	1,5	1	1	1	1,5	1,2	1,05	1,83
Geotermica	1,1	1	1	1	2	1,2	1,05	2,06
Eolica	1,5	1	1	1	1,5	1,2	1,05	1,83
Fotovoltaica	1,5	1	1	1	1,5	1,2	1,05	1,83

Tabella 7 –Indicatori di incertezza e quadrato della dev. standard geometrica produzione elettricità, 2010-2011

FLUSSO	IMPIANTO							DEV. STANDARD
	u1	u2	u3	u4	u5	u6	ub	
Tutti i metalli di cui sono disponibili i dati	1,5	1	1	1	2	1,2	5	6,10
FLUSSO	INTERPOLAZIONE							DEV. STANDARD
	u1	u2	u3	u4	u5	u6	ub	
Tutti i metalli di cui sono disponibili i dati	1,5	1,2	1,5	1,1	2	1,2	5	6,45

Tabella 8 –Indicatori di incertezza e quadrato della dev. standard geometrica F.E. delle scorie, 2010 -2011

ANNO	2010/2011							DEV. STANDARD
	COEFFICIENTI							
<i>Parametro</i>	u1	u2	u3	u4	u5	u6	ub	
Solidi sospesi totali	1,50E+00	1	1	1	1,2	1,2	1,5	1,88
COD	1,50E+00	1	1	1	1,2	1,2	1,5	1,88
BOD	1,50E+00	1	1	1	1,2	1,2	1,5	1,88
Metalli pesanti (se disponibili)	1,50E+00	1	1	1	1,2	1,2	5	5,36
P e N (se disponibili)	1,50E+00	1	1	1	1,2	1,2	1,5	1,88
Anioni inorganici	1,50E+00	1	1	1	1,2	1,2	1,5	1,88
IPA	1,50E+00	1	1	1	1,2	1,2	3	3,32
Grassi ed oli	1,50E+00	1	1	1	1,2	1,2	3	3,32
Idrocarburi totali	1,50E+00	1	1	1	1,2	1,2	3	3,32
Fenoli totali	1,50E+00	1	1	1	1,2	1,2	3	3,32
Aldeidi	1,50E+00	1	1	1	1,2	1,2	3	3,32
Solventi organici aromatici	1,50E+00	1	1	1	1,2	1,2	3	3,32
Solventi organici azotati	1,50E+00	1	1	1	1,2	1,2	3	3,32
Tensioattivi totali	1,50E+00	1	1	1	1,2	1,2	3	3,32
Pesticidi fosforati	1,50E+00	1	1	1	1,2	1,2	1,5	1,88
Pesticidi totali (esclusi fosforati)	1,50E+00	1	1	1	1,2	1,2	3	3,32
Solventi organici clorurati	1,50E+00	1	1	1	1,2	1,2	3	3,32

Tabella 9 –Indicatori di incertezza e quadrato della dev. standard geometrica F.E. scarichi idrici, 2010-2011

ALLEGATO III

	1996	2007	2011
	%	%	%
IMPATTO DIRETTO INCENERIMENTO:	78,25	73,13	73,62
IMPATTO SCORIE	6,78	9,15	7,74
IMPATTO CENERI	0,58	0,82	1,54
IMPATTO TRASPORTI	2,50	3,38	3,24
IMPATTO UREA:	2,36	3,13	1,43
IMPATTO GASOLIO:	1,82	0,43	0,01
IMPATTO GAS	-	0,39	4,94
IMPATTO CARBONATO	2,72	2,92	0,16
ALTRO IMPIANTO	4,51	5,87	6,46

Tabella 1 -Risultati analisi di contributo, punteggio singolo, 1996/2007/2011

CAT. DI IMPATTO	Carcinogens			Respiratory organics			Respiratory inorganics		
<i>Unità di misura</i>	<i>DALY</i>			<i>DALY</i>			<i>DALY</i>		
	Anno			Anno			Anno		
PROCESSO	1996	2007	2011	1996	2007	2011	1996	2007	2011
Incenerimento	6,26E-05	6,23E-05	4,33E-05	8,18E-11	8,18E-11	8,18E-11	3,11E-04	6,34E-05	1,58E-05
Smaltimento scorie	6,51E-05	6,75E-05	5,19E-05	3,29E-09	3,41E-09	2,61E-09	2,71E-06	2,80E-06	2,15E-06
Smaltimento polveri	5,59E-06	6,03E-06	1,03E-05	2,91E-10	3,15E-10	5,36E-10	2,36E-07	2,54E-07	4,33E-07
Trasoprtto scorie	8,92E-08	9,23E-08	7,07E-08	1,20E-08	1,24E-08	9,50E-09	1,02E-05	1,05E-05	8,05E-06
Trasporto polveri	1,07E-08	1,16E-08	1,97E-08	1,44E-09	1,55E-09	2,65E-09	1,22E-06	1,32E-06	2,24E-06
Produzione urea	2,03E-07	2,08E-07	8,65E-08	3,71E-08	3,79E-08	1,58E-08	7,15E-06	7,31E-06	3,04E-06
Utilizzo gasolio	5,55E-07	1,01E-07	2,54E-09	4,06E-09	7,42E-10	1,85E-11	6,29E-06	1,15E-06	2,87E-08
Utilizzo metano	-	2,20E-08	2,56E-07	-	7,37E-10	8,57E-09	-	1,73E-07	2,01E-06
Produzione carbonato di sodio	2,06E-06	1,69E-06	8,41E-08	6,85E-08	5,64E-08	2,80E-09	6,07E-06	5,00E-06	2,48E-07
Altro inceneritore	1,62E-06	1,62E-06	1,62E-06	8,42E-08	8,42E-08	8,42E-08	3,45E-05	3,45E-05	3,45E-05
TOTALE PROCESSI CONSIDERATI	1,38E-04	1,40E-04	1,08E-04	2,11E-07	1,98E-07	1,27E-07	3,79E-04	1,26E-04	6,85E-05
TOTALE TUTTI I PROCESSI	1,38E-04	1,40E-04	1,08E-04	2,15E-07	2,04E-07	1,33E-07	3,80E-04	1,28E-04	7,00E-05

Tabella 2 -Risultati analisi di contributo, caratterizzazione, carcinogens, respiratory organics, respiratory inorganics, 1996/2007/2011

CAT. DI IMPATTO	Climate change			Ozone layer			Ecotoxicity		
<i>Unità di misura</i>	<i>DALY</i>			<i>DALY</i>			<i>PAF*m2yr</i>		
	Anno			Anno			Anno		
PROCESSO	1996	2007	2011	1996	2007	2011	1996	2007	2011
Incenerimento	1,30E-04	1,74E-04	1,96E-04	-	-	-	1,85E+03	1,84E+03	1,83E+03
Smaltimento scorie	3,21E-07	3,32E-07	2,55E-07	2,09E-10	2,16E-10	1,66E-10	4,54E+00	4,75E+00	3,70E+00
Smaltimento polveri	3,00E-08	3,24E-08	5,52E-08	1,97E-11	2,13E-11	3,62E-11	3,30E-01	3,60E-01	6,00E-01
Trasoprtto scorie	1,90E-06	1,96E-06	1,50E-06	1,44E-09	1,49E-09	1,14E-09	2,02E+00	2,09E+00	1,60E+00
Trasporto polveri	2,27E-07	2,46E-07	4,19E-07	1,73E-10	1,87E-10	3,18E-10	2,40E-01	2,60E-01	4,50E-01
Produzione urea	2,14E-06	2,19E-06	9,10E-07	4,13E-09	4,23E-09	1,76E-09	1,73E+00	1,76E+00	7,30E-01
Utilizzo gasolio	1,73E-06	3,16E-07	7,90E-09	1,10E-09	2,00E-10	5,01E-12	5,14E+00	9,40E-01	2,30E-02
Utilizzo metano	-	3,89E-07	4,53E-06	-	2,37E-10	2,76E-09	-	1,40E-02	1,60E-01
Produzione carbonato di sodio	3,27E-06	2,69E-06	1,34E-07	1,65E-09	1,36E-09	6,75E-11	3,30E+00	2,71E+00	1,30E-01
Altro inceneritore	1,05E-06	1,05E-06	1,05E-06	6,94E-10	6,94E-10	6,94E-10	5,40E-01	5,40E-01	5,40E-01
TOTALE PROCESSI CONSIDERATI	1,41E-04	1,83E-04	2,05E-04	9,42E-09	8,64E-09	6,95E-09	1,87E+03	1,85E+03	1,84E+03
TOTALE TUTTI I PROCESSI	1,42E-04	1,84E-04	2,06E-04	1,19E-08	1,19E-08	1,00E-10	1,87E+03	1,85E+03	1,84E+03

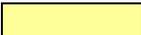
Tabella 3 -Risultati analisi di contributo, caratterizzazione, climate change, ozone layer, ecotoxicity, 1996/2007/2011

CAT. DI IMPATTO	Acidification/Eutrophication			Minerals			Fossil fuels		
<i>Unità di misura</i>	<i>PDF*m2yr</i>			<i>MJ surplus</i>			<i>MJ surplus</i>		
	Anno			Anno			Anno		
PROCESSO	1996	2007	2011	1996	2007	2011	1996	2007	2011
Incenerimento	1,98E+01	3,99E+00	9,90E-01	-	-	-	-	-	-
Smaltimento scorie	9,80E-02	1,00E-01	7,80E-02	1,72E-05	1,78E-05	1,36E-05	3,03E+00	3,13E+00	2,40E+00
Smaltimento polveri	8,50E-03	9,00E-03	1,60E-02	1,92E-06	2,07E-06	3,53E-06	2,80E-01	3,00E-01	5,20E-01
Trasoprto scorie	4,90E-01	5,10E-01	3,90E-01	6,34E-05	6,56E-05	5,03E-05	1,75E+01	1,81E+01	1,39E+01
Trasporto polveri	5,90E-01	6,40E-02	1,10E-01	7,61E-06	8,22E-06	1,40E-05	2,09E+00	2,26E+00	3,85E+00
Produzione urea	4,00E-01	4,20E-01	1,70E-01	2,56E-05	2,62E-05	1,09E-05	2,43E+01	2,48E+01	1,03E+01
Utilizzo gasolio	1,20E-01	2,20E-02	5,40E-04	8,55E-05	1,56E-05	3,90E-07	1,63E+01	2,97E+00	7,40E-02
Utilizzo metano	-	8,00E-03	9,30E-02	-	1,71E-05	1,99E-04	-	4,30E+00	5,01E+01
Produzione carbonato di sodio	2,35E-01	1,90E-01	9,60E-03	2,70E-02	2,20E-02	1,10E-03	2,76E+01	2,27E+01	1,13E+00
Altro inceneritore	1,99E+00	1,99E+00	1,99E+00	7,00E-03	7,10E-03	7,10E-03	1,17E+01	1,17E+01	1,17E+01
TOTALE PROCESSI CONSIDERATI	2,37E+01	7,30E+00	3,85E+00	3,42E-02	2,93E-02	8,49E-03	1,03E+02	9,03E+01	9,39E+01
TOTALE TUTTI I PROCESSI	2,40E+00	7,37E+00	3,90E+00	4,00E-02	3,60E-02	3,60E-02	1,06E+02	9,59E+01	9,94E+01

Tabella 4 -Risultati analisi di contributo, caratterizzazione, acidification/eutrophication, minerals, fossil depletion, 1996/2007/2011

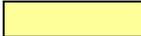
ALCANTARO IMPATTO	Carcinogens			Respiratory organics			Respiratory inorganics		
<i>Unità di misura</i>	%			%			%		
	Anno			Anno			Anno		
PROCESSO	1996	2007	2011	1996	2007	2011	1996	2007	2011
Incenerimento	45,36	44,64	40,23	0,04	0,04	0,06	81,98	50,16	23,07
Smaltimento scorie	47,17	48,36	48,22	1,56	1,72	2,06	0,71	2,22	3,14
Smaltimento polveri	4,05	4,32	9,57	0,14	0,16	0,42	0,06	0,20	0,63
Trasporto scorie	0,06	0,07	0,07	5,69	6,27	7,49	2,69	8,31	11,75
Trasporto polveri	0,01	0,01	0,02	0,68	0,78	2,09	0,32	1,04	3,27
Produzione urea	0,15	0,15	0,08	17,59	19,17	12,46	1,88	5,78	4,44
Utilizzo gasolio	0,40	0,07	0,00	1,92	0,38	0,01	1,66	0,91	0,04
Utilizzo metano	-	0,02	0,24	-	0,37	6,76	-	0,14	2,93
Produzione carbonato di sodio	1,49	1,21	0,08	32,47	28,52	2,21	1,60	3,96	0,36
Altro inceneritore	1,17	1,16	1,51	39,91	42,58	66,42	9,09	27,29	50,37
PROCESSI CONSIDERATI / TOT. PROCESSI	99,88	99,70	99,67	98,12	96,93	95,31	99,84	98,76	97,86

Tabella 1- Risultati analisi di contributo, caratterizzazione espressa come percentuale, carcinogens, respiratory organics, respiratory inorganics, 1996/2007/2011

LEGENDA:		Processo che contribuisce maggiormente
		Altri processi ad elevato contributo

CAT. DI IMPATTO	Climate change			Ozone layer			Ecotoxicity		
<i>Unità di misura</i>	%			%			%		
	Anno			Anno			Anno		
PROCESSO	1996	2007	2011	1996	2007	2011	1996	2007	2011
Incenerimento	91,55	94,57	95,15	-	-	-	99,04	99,24	99,51
Smaltimento scorie	0,23	0,18	0,12	1,76	1,82	1,66	0,24	0,26	0,20
Smaltimento polveri	0,02	0,02	0,03	0,17	0,18	0,36	0,02	0,02	0,03
Trasporto scorie	1,34	1,07	0,73	12,10	12,52	11,40	0,11	0,11	0,09
Trasporto polveri	0,16	0,13	0,20	1,45	1,57	3,18	0,01	0,01	0,02
Produzione urea	1,51	1,19	0,44	34,71	35,55	17,60	0,09	0,09	0,04
Utilizzo gasolio	1,22	0,17	0,00	9,24	1,68	0,05	0,27	0,05	0,00
Utilizzo metano	-	0,21	2,20	-	1,99	27,60	-	0,00	0,01
Produzione carbonato di sodio	2,30	1,46	0,07	13,87	11,43	0,68	0,18	0,15	0,01
Altro inceneritore	0,74	0,57	0,51	5,83	5,83	6,94	0,03	0,03	0,03
PROCESSI CONSIDERATI / TOT. PROCESSI	99,06	99,57	99,45	79,12	72,57	69,47	99,99	99,97	99,94

Tabella 2 -Risultati analisi di contributo, caratterizzazione espressa come percentuale, climate change, ozone layer, ecotoxicity, 1996/2007/2011

LEGENDA:		Processo che contribuisce maggiormente
		Altri processi ad elevato contributo

CAT. DI IMPATTO	Acidification/Eutrophication			Minerals			Fossil fuels		
	%			%			%		
Unità di misura	Anno			Anno			Anno		
PROCESSO	1996	2007	2011	1996	2007	2011	1996	2007	2011
Incenerimento	82,42	54,14	25,38	-	-	-	-	-	-
Smaltimento scorie	0,41	1,36	2,00	0,04	0,05	0,04	2,85	3,26	2,42
Smaltimento polveri	0,04	0,12	0,41	0,00	0,01	0,01	0,26	0,31	0,52
Trasoprtto scorie	2,04	6,92	10,00	0,16	0,18	0,14	16,43	18,83	13,94
Trasporto polveri	2,46	0,87	2,82	0,02	0,02	0,04	1,97	2,36	3,87
Produzione urea	1,67	5,70	4,36	0,06	0,07	0,03	22,83	25,87	10,39
Utilizzo gasolio	0,50	0,30	0,01	0,21	0,04	0,00	15,28	3,10	0,07
Utilizzo metano	-	0,11	2,38	-	0,05	0,55	-	4,48	50,37
Produzione carbonato di sodio	0,98	2,58	0,25	67,50	61,11	3,06	25,92	23,66	1,14
Altro inceneritore	8,29	27,00	51,03	17,50	19,72	19,72	11,00	12,20	11,77
PROCESSI CONSIDERATI/ TOT. PROCESSI	98,80	99,09	98,64	85,50	81,26	23,59	96,53	94,07	94,49

Tabella 3 -Risultati Analisi di contributo, caratterizzazione espressa come percentuale, acidification/eutrophication, minerals, fossil depletion, 1996/2007/2011

LEGENDA:		Processo che contribuisce maggiormente
		Altri processi ad elevato contributo

ALLEGATO V

PROCESSO: IMPATTO DIRETTO INCENERIMENTO										
ANNO		1996			2007			2011		
SOSTANZA	COMPARTI-MENTO	VALORE	%	MODIFICATO	VALORE	%	MODIFICATO	VALORE	%	MODIFICATO
CATEGORIA DI IMPATTO: Carcinogens (DALY)										
Arsenic, ion	Acqua	4,11E-05	65,55	NO	4,11E-05	65,97	NO	4,11E-05	64,93	NO
Cadmium, ion	Acqua	2,09E-05	33,33	NO	2,09E-05	33,55	NO	2,09E-05	33,02	NO
Cadmium	Aria	6,74E-07	1,07	SÌ	1,11E-07	0,18	SÌ	1,18E-07	0,19	NO
Somma	Tutti	6,27E-05	-	-	6,21E-05	-	-	6,21E-05	-	-
Totale teorico	Tutti	6,27E-05	-	-	6,23E-05	-	-	6,33E-05	-	-
Somma / Totale teorico	-	1,00E+00	99,96	-	9,97E+01	99,70	-	9,81E+01	98,13	-
CATEGORIA DI IMPATTO: Respiratory organics (DALY)										
Methane, biogenic	Aria	4,94E-11	0,60	NO	4,94E-11	0,60	NO	4,94E-11	0,60	NO
Methane, fossil	Aria	3,24E-11	0,40	NO	3,24E-11	0,40	NO	3,24E-11	0,40	NO
Somma	Tutti	8,18E-11	-	-	8,18E-11	-	-	8,18E-11	-	-
Totale teorico	Tutti	8,18E-11	-	-	8,18E-11	-	-	8,18E-11	-	-
Somma / Totale teorico	-	1,00E+00	100,00	-	1,00E+00	100,00	-	1,00E+00	100,00	-
CATEGORIA DI IMPATTO: Respiratory inorganics (DALY)										
Nitrogen oxides	Aria	3,06E-04	98,39	SÌ	6,12E-05	96,68	SÌ	1,52E-05	96,20	SÌ
Particulate	Aria	2,85E-06	0,92	SÌ	1,00E-06	1,58	SÌ	4,31E-07	2,73	SÌ
Sulfur dioxides	Aria	1,69E-06	0,54	SÌ	9,71E-07	1,53	SÌ	1,84E-07	1,16	SÌ
Somma	Tutti	3,11E-04	-	-	6,32E-05	-	-	1,58E-05	-	-
Totale teorico	Tutti	3,11E-04	-	-	6,33E-05	-	-	1,58E-05	-	-
Somma / Totale teorico	-	9,99E-01	99,85	-	9,98E-01	99,80	-	1,00E+00	100,00	-
CATEGORIA DI IMPATTO: Climate Change (DALY)										

Carbon dioxide	Aria	1,29E-04	99,23	SÌ	1,73E-04	99,43	SÌ	1,95E-04	99,49	SÌ
Somma	Tutti	1,29E-04	-	-	1,73E-04	-	-	1,95E-04	-	-
Totale teorico	Tutti	1,30E-04	-	-	1,74E-04	-	-	1,96E-04	-	-
Somma / Totale teorico	-	9,92E-01	99,23	-	9,94E-01	99,43	-	9,95E-01	99,49	-
CATEGORIA DI IMPATTO: Ozone layer (DALY)										
<i>NOTA: l'impatto legato a questa categoria non deriva dal processo base di incenerimento a cui si fa riferimento in questa sezione dello studio, ma da altri processi ad esso correlati, in particolare dai processi di smaltimento delle scorie, smaltimento delle polveri, produzione di carbonato di sodio ed altri processi caratteristici della gestione dell'impianto, i cui valori sono stati adattati per quanto riguarda il quantitativo di sostanza, mentre i dati interni al processo sono stati assunti rappresentativi.</i>										
CATEGORIA DI IMPATTO: Ecotoxicity (PAF*m2yr)										
Copper, ion	Acqua	1,60E+03	85,56	NO	1,60E+03	87,00	NO	1,60E+03	87,29	NO
Nickel, ion	Acqua	1,50E+02	8,02	NO	1,50E+02	8,16	NO	1,50E+02	8,18	NO
Zinc, ion	Acqua	5,00E+01	2,67	NO	5,00E+01	2,72	NO	5,00E+01	2,73	NO
Lead	Acqua	1,60E+01	0,86	NO	1,60E+01	0,87	NO	1,63E+01	0,89	SÌ
Chromium	Acqua	1,50E+01	0,80	NO	1,50E+01	0,82	NO	6,46E+00	0,35	SÌ
Chromium	Aria	8,30E+00	0,44	SÌ	7,89E-01	0,04	SÌ	8,30E+00	0,45	NO
Mercury	Aria	4,70E+00	0,25	NO	2,85E-02	0,00	SÌ	1,69E-04	0,00	SÌ
Somma	Tutti	1,84E+03	-	-	1,83E+03	-	-	1,83E+03	-	-
Totale teorico	Tutti	1,87E+03	-	-	1,84E+03	-	-	1,83E+03	-	-
Somma / Totale teorico	-	9,86E-01	98,61	-	9,96E-01	99,61	-	9,99E-01	99,90	-
CATEGORIA DI IMPATTO: Acidification/Eutrophication (PDF*m2yr)										
Nitrogen oxides	Aria	2,20E+01	95,65	SÌ	3,94E+00	98,50	SÌ	9,80E-01	9,90E+01	SÌ
Ammonia	Aria	4,30E-01	1,87	SÌ	3,86E-02	0,97	SÌ	5,45E-03	5,51E-01	SÌ
Sulfur dioxides	Aria	1,30E-01	0,57	SÌ	1,90E-02	0,48	SÌ	3,50E-03	3,54E-01	SÌ
Somma	Tutti	2,26E+01	-	-	4,00E+00	-	-	9,89E-01	-	-

Totale teorico	Tutti	2,30E+01	-	-	4,00E+00	-	-	9,90E-01	-	-
Somma / Totale teorico	-	9,81E-01	98,09	-	9,99E-01	99,94	-	9,99E-01	99,89	-
CATEGORIA DI IMPATTO: Minerals (MJ surplus)										
<p><i>NOTA: l'impatto legato a questa categoria non deriva dal processo base di incenerimento a cui si fa riferimento in questa sezione dello studio, ma da altri processi ad esso correlati, in particolare dai processi di smaltimento delle scorie, smaltimento delle polveri, produzione di carbonato di sodio ed altri processi caratteristici della gestione dell'impianto, i cui valori sono stati adattati per quanto riguarda il quantitativo di sostanza, mentre i dati interni al processo sono stati assunti rappresentativi.</i></p>										
CATEGORIA DI IMPATTO: Fossil fuels (MJ surplus)										
<p><i>NOTA: l'impatto legato a questa categoria non deriva dal processo base di incenerimento a cui si fa riferimento in questa sezione dello studio, ma da altri processi ad esso correlati, in particolare dai processi di smaltimento delle scorie, smaltimento delle polveri, produzione di carbonato di sodio ed altri processi caratteristici della gestione dell'impianto, i cui valori sono stati adattati per quanto riguarda il quantitativo di sostanza, mentre i dati interni al processo sono stati assunti rappresentativi.</i></p>										

Tabella 1- Risultati analisi per sostanza, 1996/2007/2011

BIBLIOGRAFIA

- [EU IPPC, 2006] European Commission, Integrated Pollution and Prevention Control, Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration, 2006
- [Morselli L. et al., 2005] Morselli L. - de Robertis C - Luzi J. - Passarini F. - Vassura I., Valutazione del Ciclo di vita dei Rifiuti (LCA) in relazione al sistema di incenerimento nella Regione Emilia Romagna, 2005
- [ISPRA, 2012] ISPRA, Rapporto Rifiuti Urbani, 2012
- [ARPA, E. Romagna, 2011] ARPA Regione Emilia-Romagna, La Gestione dei Rifiuti in Emilia Romagna. Report 2011, 2011
- [Cheremisinoff et al., 2009] Cheremisinoff N.P., Handbook of Solid Waste management and Waste Minimization Technologies, BH, 2009
- [Laforgia D. et al., 2004] Laforgia D., Perago A., Pigneri A., Trevisi A. S., Ambiente & Territorio, Gestire i Rifiuti, Maggioli Editore, 2004
- [Provincia di Rimini, 2010] Provincia di Rimini, Produzione, smaltimento e raccolta differenziata nella provincia di Rimini, 2010
- [Chandler et al.] Chandler A. J., How Big Should a New Energy Recovery Facility Be?, Columbia University
- [2000/76/CE] Direttiva Europea 2000/76/CE del 04/12/2000, Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea
- [Sanbongi T. et al.] Sanbongi T. - Doi K., Incineration of Municipal Waste and Measures against Dioxin in Japan, Columbia University
- [H. Fielder, 1999] H. Fielder, National and regional dioxin and furan inventories, Organohalogen Compounds, 1999
- [Pastorelli G. et al, 1999] Pastorelli G. - De Lauretis R. - De Stefanis P. - Morselli L. - Viviano G., PCDD/PCDF from municipal solid waste incinerators in Italy: an inventory of air emissions, Organohalogen Compounds, 1999
- [D. LGS. 133/05] Decreto Legislativo n° 133/06 del 11/05/2005, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana

- *[D. LGS. 152/06]* Decreto Legislativo n° 152/06 del 03/04/2006, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana
- *[96/61/CE]* Direttiva Europea 96/61/CE del 24/09/1996, Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea
- *[D. LGS. 128/2010]* Decreto Legislativo n° 128/10 del 29/06/2010, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana
- *[98/2008/CE]* Direttiva Europea 98/2008/CE del 19/11/2008, Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea
- *[Tukker A.]* Tukker A., Life Cycle Assessment for Waste, part II: a comparison of Thermal Treatment Processes for Hazardous Waste. Strategic EIA for the Dutch National Hazardous Waste management Plan 1997-2007, Journal of Life Cycle Assessment, 1999
- *[SOLVAY, NEUTREC®]* SOLVAY, NEUTREC®. Depurazione fumi e valorizzazione dei prodotti sodici residui.
- *[HERAMBIENTE, 2008]* HERAMBIENTE, Incenerimento di rifiuti. Recupero di energia e materia, 2008
- *[ARPA, MONITER, 2011]* Regione Emilia Romagna – ARPA Emilia Romagna, I risultati del progetto Monitor. Gli effetti degli inceneritori sulla salute e l'ambiente in Emilia Romagna, 2011
- *[ARPA, FRULLO, 2011]* Regione Emilia Romagna – ARPA Emilia Romagna, Le emissioni degli inceneritori di ultima generazione. Analisi dell'impianto del Frullo di Bologna, 2011
- *[HERAMBIENTE Dich. Amb., 2009]* HERAMBIENTE, DICHIARAZIONE AMBIENTALE ANNO 2009 COMPLESSO IMPIANTISTICO via Raibano, 32, Coriano (RN), 2011, 2009
- *[HERAMBIENTE, Dich. Amb., 2010]* HERAMBIENTE, DICHIARAZIONE AMBIENTALE ANNO 2010 COMPLESSO IMPIANTISTICO via Raibano, 32, Coriano (RN), 2010
- *[HERAMBIENTE Rapporto, 2011]* HERAMBIENTE, Impianto di Termovalorizzazione Rifiuti –Coriano (RN), Relazione Ambientale 2010, 2011

- [*HERAMBIENTE, 2011*] HERAMBIENTE, Inaugurazione degli impianti del comparto ambientale di Coriano, 2011
- [*ISO 14040*] INTERNATIONAL STANDARD ISO 14040, Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework, seconda edizione, 2006
- [*ISO 14044*] INTERNATIONAL STANDARD ISO 14044, Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines, prima edizione, 2006
- [*Manaham, 1995*] S. E. Manaham, Chimica dell'ambiente, Piccin, 1995
- [*Baird C., 2001*] Baird C. - "Chimica Ambientale", 1 edizione italiana, Zanichelli, 2001
- [*Rigamonti L. et al., 2009*] Rigamonti L. - Grosso M., Riciclo dei rifiuti. Analisi del ciclo di vita dei materiali da imballaggio, 1 edizione italiana, Dario Flaccovio, 2009
- [*Rebitzer G., et al. 2004*] Rebitzer G. - Ekvall T. - Frischknecht R. - Hunkeler D. - Norris G. - Rydberg T. - Schmidt W. P. - Suh S. - Weidema B.P. - Pennington D.W., Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications, environment international, 2004
- [*Ecoindicator99, 2011*] Goedkoop M. – Spriensma R., The Eco-indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Methodology Report, Pré, 2011
- [*ReCiPe, 2008*] Goedkoop M. - Heijungs R. - Huijbregts M. - De Schryver A. - Struijs J. - van Zelm R., ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level, 2012
- [*Pré, 2008*] Pré product ecology consultants, SimaPro 7. Introduction into LCA, 2008
- [*Pré, 2007*] Pré product ecology consultants, SimaPro 7. Tutorial, 2007
- [*Ecoinvent, 2007*] Ecoinvent centre, Frishknecht R. - Jungbluth N., Ecoinvent Report n. 1. Overview and Methodology, 2007

- [TERNA, 2011] TERNA, DATI STORICI, 2011
- [IEA, 2011] IEA, International Energy Agency, Energy Efficiency Indicators for Public Electricity Production from Fossil Fuels. Energy Efficiency Indicators, 2008
- [Provincia di Rimini, 2004] Provincia di Rimini, Produzione, smaltimento e raccolta differenziata nella provincia di Rimini, 2004
- [Weidema B. P. et al., 1996] Weidema B. P. - Wesnaes M. S., Data quality management for life cycle inventories - an example of using data quality indicators, J. Cleaner Prod., 1996
- [Morselli L. et al., 2008] Morselli L. - De Robertis C. - Luzi J. - Passarini F. - Vassura I., Environmental impacts of waste incineration in a regional system (Emilia Romagna, Italy) evaluated from a life cycle perspective, Journal of Hazardous Materials, 2008
- [Turconi R. et al., 2011] Turconi R. - Butera S. - Boldrin A. - Grosso M. - Rigamonti L. - Astrup T., Life cycle assessment of waste incineration in Denmark and Italy using two LCA models, Waste Management & Research, 2011
- [Scipioni A. et al., 2009] Scipioni A. - Mazzi A. - Niero M. - Boatto T., LCA to choose among alternative design solutions: The case study of a new Italian incineration line, Waste Management, 2009
- [Toller S. et al., 2009] Toller S. - Kärrman E. - Gustafsson J.P. - Magnusson Y., Environmental assessment of incinerator residue utilisation, Waste Management, 2009
- [Fruergaard T. et al., 2010] Fruergaard T.- Hyks J.- Astrup T., Life cycle assessment of selected management options for air pollution control residues from waste incineration, Science of the Total Environment, 2010

RINGRAZIAMENTI

Desidero innanzitutto ringraziare il mio Relatore, il Prof. Fabrizio Passarini, per la disponibilità, la pazienza e l'attenzione dimostrata.

Per le stesse motivazioni ringrazio il Dott. Luca Ciacci, Correlatore di questa tesi, che mi ha seguito e indirizzato durante l'esecuzione di questi studio.

Grazie anche al Prof. Luciano Morselli, altro Correlatore della tesi, per i suoi utili e preziosi suggerimenti.

Un sentito ringraziamento va al Prof. Ivano Vassura, per l'interesse dimostrato e l'aiuto enorme nella fase di reperimento dei dati.

Grazie a tutto il Gruppo di Ricerca in Chimica dell'Ambiente e dei Beni Culturali, composto da persone meravigliose con cui mi sono sempre trovata "a casa", serena, in armonia.

Grazie alla società HERAmbiente, che collabora ormai da anni con il Gruppo di Ricerca sopra citato, cosa che ha reso possibile l'esecuzione di questo studio.

Grazie di cuore ai miei genitori che mi hanno sempre sostenuta ed incoraggiata in questo percorso.

Grazie infine ai compagni di Corso con cui ho avuto la fortuna ed il piacere di condividere questo cammino.