



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

**DIPARTIMENTO DI SCIENZE CHIMICHE**

**Corso di Laurea Magistrale in Chimica**

**Tesi di Laurea Magistrale**

**VALORIZZAZIONE DEI RIFIUTI SOLIDI  
URBANI: CONFRONTO TRA CO-COMBUSTIONE  
E TERMOVALORIZZAZIONE**

*Relatore: Prof. Andrea Tapparo*

*Correlatore: Dott. Franco Bertazzolo*

*Controrelatore: Prof. Sandro Campestrini*

*Laureanda: Chiara Marcato*

**Anno Accademico 2013-2014**



## SOMMARIO

<b>1. INTRODUZIONE E INQUADRAMENTO</b> .....	<b>5</b>
1.1. I RIFIUTI SOLIDI URBANI .....	5
1.2. INQUADRAMENTO NORMATIVO DI RIFERIMENTO .....	6
1.3. SITUAZIONE EUROPEA.....	11
1.4. SITUAZIONE ITALIANA .....	12
1.5. RECUPERO ENERGETICO DAI RIFIUTI SOLIDI URBANI.....	14
1.6. CDR: UTILIZZO E VANTAGGI.....	15
1.7. OBIETTIVI DELLA TESI .....	16
<b>2. IL COMBUSTIBILE DA RSU: CDR</b> .....	<b>17</b>
2.1. CARATTERISTICHE TECNICHE DEL CDR.....	17
2.2. CICLO TECNOLOGICO DEL PROCESSO PRODUTTIVO DEL CDR .....	19
<b>3. TECNOLOGIE DI RECUPERO ENERGETICO DA CDR</b> .....	<b>22</b>
3.1. LA CENTRALE TERMOELETTRICA DI FUSINA .....	22
3.1.1. IL SITO E L'AMBIENTE CIRCOSTANTE.....	22
3.1.2. L'ATTIVITÀ PRODUTTIVA.....	22
3.1.3. I PRESIDI AMBIENTALI.....	25
3.1.4. VALORI LIMITE ALLE EMISSIONI E SISTEMI DI MONITORAGGIO.....	29
3.2. IL TERMOVALORIZZATORE DI BERGAMO .....	32
3.2.1. IL SITO E L'AMBIENTE CIRCOSTANTE.....	32
3.2.2. L'ATTIVITÀ PRODUTTIVA.....	32
3.2.3. I PRESIDI AMBIENTALI.....	34
3.2.4. VALORI LIMITE ALLE EMISSIONI E SISTEMI DI MONITORAGGIO.....	35
<b>4. MATERIALI E METODI</b> .....	<b>37</b>
4.1. IDENTIFICAZIONE DEGLI ASPETTI E DEI RELATIVI IMPATTI AMBIENTALI .....	37
4.1.1. EFFICIENZA ENERGETICA.....	37
4.1.2. CONSUMO COMBUSTIBILI.....	41
4.1.3. EMISSIONI IN ATMOSFERA .....	43
4.1.4. EMISSIONI IN ACQUA (ACQUE REFLUE).....	48
4.1.5. RIFIUTI.....	49
<b>5. RISULTATI E DISCUSSIONI</b> .....	<b>52</b>
5.1. EFFICIENZA ENERGETICA .....	52
5.2. CONSUMO COMBUSTIBILI .....	53
5.3. EMISSIONI IN ATMOSFERA .....	54
5.4. EMISSIONI IN ACQUA (ACQUE REFLUE) .....	65
5.5. RIFIUTI.....	66
5.6. CONSIDERAZIONI DI CARATTERE ECONOMICO .....	69
<b>6. CONCLUSIONI</b> .....	<b>71</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>74</b>
<b>RINGRAZIAMENTI</b> .....	<b>78</b>



## 1. INTRODUZIONE E INQUADRAMENTO

### 1.1. I RIFIUTI SOLIDI URBANI

La produzione di rifiuti urbani (RU) in Europa, come nel resto dei Paesi afferenti all'OCSE (Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico), ha registrato una continua e progressiva crescita negli ultimi decenni, a seguito del miglioramento delle condizioni socio-economiche e dell'incremento della popolazione e delle aree urbane. Le problematiche correlate alla gestione dei rifiuti hanno assunto, di conseguenza, proporzioni sempre più critiche e rilevanti in termini ambientali ed economici.

Per una società industriale avanzata la gestione dei rifiuti è uno degli aspetti più importanti relativi alla tutela dell'ambiente. Per questo l'obiettivo principale deve essere la loro gestione integrata sostenibile per ridurre il più possibile i flussi destinati alla discarica.

Il D.Lgs 152/2006 (Testo Unico Ambientale) definisce Rifiuto "*Qualsiasi sostanza od oggetto di cui il detentore si disfi o abbia l'intenzione o abbia l'obbligo di disfarsi*". I rifiuti sono classificati, secondo l'origine, in rifiuti urbani e rifiuti speciali e, secondo le caratteristiche di pericolosità, in rifiuti pericolosi e non pericolosi.

Tutti i materiali immessi sul mercato sono destinati a trasformarsi in rifiuti e tutti i processi produttivi generano rifiuti che devono essere infine smaltiti. In natura non esiste il concetto di rifiuto ma solo di materia che si trasforma. Gli ecosistemi naturali, attraverso processi spontanei, operano al fine di raggiungere una condizione di equilibrio ricostituendo le condizioni iniziali e ricomponendo la materia e l'energia nella loro forma di base. Tuttavia in natura la maggior parte di questi cicli, o alcune fasi di essi, possono durare anche migliaia di anni, un tempo non relazionabile alla velocità con cui evolve lo scenario 'sociale' dei rifiuti.

Il problema dei rifiuti, dunque, è correlato alla loro persistenza nell'ambiente, alla quantità in progressivo aumento, all'eterogeneità dei materiali che li compongono e, non ultimo, all'eventuale presenza di sostanze pericolose.

Per questo motivo la prevenzione della produzione e della pericolosità dei rifiuti deve essere affiancata alla differenziazione, al riciclo dei materiali e al recupero energetico di quelli non ulteriormente valorizzabili.

La Comunità Europea ha stabilito, attraverso Direttive Quadro, i principi cardine in materia di rifiuti per la protezione dell'ambiente e della salute umana, quali ad esempio la "*gerarchia dei rifiuti*" e il rispetto del principio "*chi inquina paga*".

Le linee programmatiche contenute nella normativa comunitaria indicano il seguente ordine di priorità delle azioni da applicarsi nelle diverse fasi della gestione dei rifiuti (cosiddetta gerarchia dei rifiuti):

- prevenzione della creazione di rifiuti;
- preparazione per il riutilizzo;
- riciclaggio;

- recupero della materia o dell'energia;
- smaltimento.

L'obiettivo primario è prevenire la produzione di rifiuti facendo affidamento, ad esempio, a nuove strategie basate sulla gestione del ciclo di vita di ciascun prodotto o materiale. Misure di prevenzione possono essere applicate a tutte le fasi del ciclo di vita di un bene, a partire dalla fase di progettazione e produzione, di marketing, di distribuzione, vendita e impiego.

Segue poi la preparazione per il riutilizzo, ovvero *“qualsiasi operazione attraverso la quale prodotti o componenti che non sono rifiuti sono reimpiegati per la stessa finalità per la quale erano stati concepiti”*.

Arrivato a fine vita ciascun bene diviene rifiuto e rientra nella fase in cui sono possibili solo azioni di massimizzazione del recupero di materia ed energia e minimizzazione dell'avvio a smaltimento. La raccolta differenziata permette di migliorare la qualità dei rifiuti raccolti mantenendo separati i diversi flussi fin dall'origine. Affinché vengano promossi il riutilizzo e il riciclaggio di alta qualità, la Comunità Europea ha stabilito i seguenti obiettivi:

- entro il 2015, l'istituzione della raccolta differenziata per plastica, carta, metalli e vetro;
- entro il 2020, il raggiungimento complessivo di almeno il 50% in termini di peso di rifiuti coinvolti nella preparazione per il riutilizzo e nel riciclaggio.

Il momento finale di questo percorso rimane lo smaltimento definitivo in discarica dei rifiuti, i quali vengono comunque sottoposti a un preventivo trattamento a tutela della salute e dell'ambiente.

## 1.2. INQUADRAMENTO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

La politica dell'ambiente costituisce oggi una delle principali sfide sociali, che influisce direttamente sul benessere e sulla salute umana.

Sin dagli anni '70, l'esigenza di tutelare l'ambiente ha suscitato varie iniziative da parte della comunità europea. La riforma determinante per l'ambiente è però costituita dall'entrata in vigore, nel 1987, dell'Atto unico europeo, che inseriva un articolo specifico nel trattato della Comunità Europea (CE). Da allora, le azioni comunitarie in campo ambientale hanno potuto fondarsi su una base giuridica esplicita, che definiva gli obiettivi e i principi fondamentali. Da ciò sono scaturite una serie di direttive relative alla tutela delle risorse naturali (aria, acque), alla lotta contro le emissioni sonore, alla conservazione della natura e alla gestione dei rifiuti.

La prima Direttiva quadro sui rifiuti risale al 1975, la Direttiva 75/442/CEE, la quale è stata abrogata e sostituita dalla Direttiva 2006/12/CE. Quest'ultima dava parzialmente applicazione ad alcune misure sollecitate dalla Comunità Europea con il Sesto programma comunitario di azione per l'ambiente relativo al periodo 2002-2012. Tale programma indicava quattro settori d'intervento prioritari: cambiamento climatico, biodiversità, ambiente e salute, gestione sostenibile delle risorse e dei

rifiuti. A riguardo della questione rifiuti si sollecitava *“l'estensione o la revisione della normativa sui rifiuti, in particolare al fine di chiarire la distinzione tra ciò che è rifiuto e ciò che non lo è, e lo sviluppo di misure in materia di prevenzione e gestione dei rifiuti, compresa la fissazione di obiettivi”*.

L'emanazione della Direttiva 2008/98/CE si è resa necessaria *“per precisare alcuni concetti basilari come le definizioni di rifiuto, recupero e smaltimento, per rafforzare le misure da adottare per la prevenzione dei rifiuti, per introdurre un approccio che tenga conto dell'intero ciclo di vita dei prodotti e dei materiali, non soltanto della fase in cui diventano rifiuti, e per concentrare l'attenzione sulla riduzione degli impatti ambientali connessi alla produzione e alla gestione dei rifiuti, rafforzando in tal modo il valore economico di questi ultimi. Inoltre, si dovrebbe favorire il recupero dei rifiuti e l'utilizzazione dei materiali di recupero per preservare le risorse naturali”*.

La Direttiva 2008/98/CE ha abrogato e sostituito la Direttiva 2006/12/CE. Le nuove linee programmatiche puntano a ridurre l'uso di risorse, evitare la produzione di rifiuti e utilizzare i rifiuti come risorse. L'introduzione del concetto di responsabilità estesa del produttore è uno dei mezzi per sostenere una progettazione e una produzione dei beni che consideri e faciliti l'utilizzo efficiente delle risorse durante l'intero ciclo di vita. Si promuove lo sviluppo della gestione integrata con l'obiettivo di dissociare la crescita economica dagli impatti ambientali connessi alla produzione di rifiuti. Viene, inoltre, messo in evidenza il concetto di sottoprodotto e vengono introdotte definizioni come “prevenzione”, “riutilizzo”, “riciclaggio”.

Le Direttive Europee sui rifiuti sono state progressivamente recepite dagli Stati membri con normative nazionali che in Italia, allo stato attuale, sono rappresentate dalla Parte IV del D.lgs 152/2006 e s.m.i., comunemente definito testo unico ambientale (TUA).

Il TUA è il provvedimento nazionale di riferimento in materia ambientale ed è costituito come segue:

- Parte I - Disposizioni comuni e principi generali.
- Parte II - Procedure per la valutazione ambientale strategica (VAS), per la valutazione d'impatto ambientale (VIA) e per l'autorizzazione ambientale integrata (IPPC).
- Parte III - Norme in materia di difesa del suolo e lotta alla desertificazione, di tutela delle acque dall'inquinamento e di gestione delle risorse idriche.
- Parte IV - Norme in materia di gestione dei rifiuti e di bonifica dei siti inquinati.
- Parte V – Norme in materia di tutela dell'aria e di riduzione delle emissioni in atmosfera.
- Parte VI – Norme in materia di tutela risarcitoria contro i danni all'ambiente.

La Direttiva 2008/98/CE relativa ai rifiuti è stata recepita in Italia con il D.Lgs 205/2010 che ha modificato la Parte IV del TUA. In particolare, per quanto riguarda i rifiuti urbani, la normativa prevede che, sulla base delle indicazioni fornite dal

Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, le Regioni predispongano e adottino Piani Regionali di gestione dei rifiuti. Tali Piani prevedono la suddivisione del territorio regionale in Ambiti Territoriali Ottimali (ATO) al fine di ottimizzare il servizio in termini di raccolta, trasporto e destinazione finale dei rifiuti. La gestione integrata dei rifiuti urbani è di competenza dei Comuni che partecipano obbligatoriamente alle Autorità d'Ambito, strutture giuridiche costituite in ciascun Ambito Territoriale Ottimale.

L'articolo 182-bis del TUA introduce i principi di autosufficienza e prossimità affinché venga creata “...una rete integrata ed adeguata di impianti, tenendo conto delle migliori tecniche disponibili e del rapporto tra i costi e i benefici complessivi, al fine di:

- realizzare l'autosufficienza nello smaltimento dei rifiuti urbani non pericolosi negli ambiti territoriali ottimali;
- permettere il recupero dei rifiuti urbani indifferenziati in uno degli impianti idonei più vicini ai luoghi di produzione o raccolta, al fine di ridurre i movimenti dei rifiuti stessi, tenendo conto del contesto geografico o della necessità di impianti specializzati per determinati tipi di rifiuti...”.

Nell'ambito della gestione integrata, a valle della raccolta differenziata, la frazione secca indifferenziata viene sfruttata come risorsa per valorizzare al massimo il contenuto energetico residuo. Con questo obiettivo, i rifiuti urbani residui (RUR) vengono utilizzati come combustibili per la produzione di energia elettrica e/o termica. Il recupero energetico può essere realizzato attraverso due strategie principali:

- l'incenerimento diretto dei RUR;
- la produzione di Combustibile da Rifiuto/Combustibile Solido Secondario da RUR e successivo incenerimento/coincenerimento.

Il Combustibile da Rifiuto di qualità normale ed elevata (CDR e CDR-Q), definito rispettivamente alle lettere r) ed s) dell'art. 183, Parte IV del D.Lgs 152/06, è classificato sulla base delle norme tecniche UNI 9903-1 e s.m.i.. Con l'entrata in vigore del D.Lgs 205/10 (di modifica al D.Lgs 152/06) è stata sostituita la duplice definizione di Combustibili da Rifiuto (CDR e CDR-Q) con quella di Combustibile Solido Secondario (CSS) prodotto da rifiuti. Il CSS deve rispettare le caratteristiche di classificazione e di specificazione individuate dalle norme tecniche UNI CEN/TS 15359 relative ai “Solid Recovered Fuels” (SRF).

Le modifiche apportate al D.lgs 152/06 avranno effetto dalla naturale scadenza delle autorizzazioni in vigore ed interesseranno prevalentemente i produttori di combustibile da rifiuto.

La normativa vigente indica il recupero di energia tra le azioni necessarie per l'attuazione di un sistema sostenibile di gestione dei rifiuti, in quanto consente il risparmio di combustibili fossili e riduce il quantitativo di rifiuti da avviare in discarica. Il recupero energetico da rifiuti in Italia è regolato dal D.Lgs 133/2005 sull'incenerimento dei rifiuti, di recepimento della Direttiva 2000/76/CE. Tale



decreto regola gli impianti di incenerimento e di coincenerimento dei rifiuti stabilendo delle misure finalizzate a prevenire e ridurre l'inquinamento atmosferico, del suolo, delle acque superficiali e sotterranee ed a proteggere la salute umana. A tal fine il decreto disciplina:

- i valori limite di emissione degli impianti di incenerimento e di coincenerimento dei rifiuti;
- i metodi di campionamento, di analisi e di valutazione degli inquinanti derivanti dagli impianti di incenerimento e di coincenerimento dei rifiuti;
- i criteri e le norme tecniche generali riguardanti le caratteristiche costruttive e funzionali, nonché le condizioni di esercizio degli impianti di incenerimento e di coincenerimento dei rifiuti.

Gli impianti di incenerimento e coincenerimento, il cui esercizio è regolato dall'Autorizzazione Integrata Ambientale, sono tenuti all'adozione delle migliori tecniche disponibili, meglio conosciute con l'acronimo "BAT" ("Best Available Techniques"). Le BAT relative agli impianti di incenerimento e ai grandi impianti di combustione sono contenute in specifici documenti chiamati "BREFs"; essi sono stati pubblicati dalla Commissione Europea nel 2006 e ad oggi sono in fase di revisione. Le BREFs sono i principali documenti di riferimento utilizzati dalle autorità competenti degli Stati membri dell'Unione Europea per stabilire le condizioni di autorizzazione per quegli impianti che rappresentano un significativo potenziale di inquinamento in Europa, ed in particolare gli impianti che rientrano nella Direttiva IED (Industrial Emissions Directive). La IED, la Direttiva 2010/75/CE relativa alle emissioni industriali, sostituisce la Direttiva IPPC (2008/1/CE) relativa alla prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento e la relativa legislazione sulle emissioni industriali, tra cui la Direttiva 2000/76/CE sull'incenerimento dei rifiuti. La IED è di fondamentale importanza nella legislazione ambientale in quanto regola circa 50.000 installazioni nell'UE che si occupano di una vasta gamma di attività industriali ed agricole.

Le BREFs vengono elaborate e revisionate da team di esperti coordinati dall'Ufficio Europeo IPPC (The European IPPC Bureau). Questo Ufficio è stato istituito per organizzare lo scambio di informazioni tra gli Stati membri, l'industria e le organizzazioni non governative per promuovere le migliori tecniche disponibili (BAT), come previsto dall'articolo 13 della Direttiva sulle emissioni industriali, IED (2010/75/UE).

Le BREFs hanno l'obiettivo di informare su ciò che può essere tecnicamente ed economicamente disponibile per l'industria, al fine di migliorare le prestazioni ambientali e di conseguenza migliorare l'intero ambiente.

L'attività di recupero energetico dei rifiuti ben si inserisce nell'attuale contesto strategico dell'Unione Europea per la lotta al cambiamento climatico. L'utilizzo dei rifiuti come combustibili porta ad evidenti vantaggi ambientali, in quanto evita il consumo di combustibili fossili e riduce le emissioni di anidride carbonica.

Nel marzo 2007 il Consiglio europeo ha lanciato una strategia comune europea su rinnovabili, efficienza energetica ed emissioni di gas serra. La strategia “20-20-20” ha stabilito per l’Unione Europea tre ambiziosi obiettivi da raggiungere entro il 2020:

- ridurre l’emissione dei gas ad effetto serra del 20%;
- ridurre i consumi energetici del 20% aumentando l'efficienza energetica;
- soddisfare il 20% del fabbisogno energetico europeo con le energie rinnovabili.

Dopo questa dichiarazione di intenti, nel 2008 è stato approvato il Pacchetto Clima ed Energia, che istituisce sei nuovi strumenti legislativi europei volti a tradurre in pratica gli obiettivi al 2020; tra questi si evidenziano la Direttiva Fonti Energetiche Rinnovabili (Direttiva 2009/28/CE) e la Direttiva Emissions Trading (Direttiva 2009/29/CE).

Questo insieme di misure messe in atto dalla UE ha l’obiettivo di proseguire gli impegni per la lotta al cambiamento climatico intrapresi con il Protocollo di Kyoto.

Con il D.Lgs 30/2013 di attuazione della Direttiva 2009/29/CE, in materia di scambio di quote di emissioni di gas ad effetto serra, vengono definite in Italia le attività soggette al sistema Emissions Trading. Sono esclusi da tale meccanismo solamente quegli impianti di incenerimento che trattano annualmente rifiuti urbani per più del 50% in peso rispetto al totale dei rifiuti trattati. Di conseguenza sono inclusi gli impianti di coincenerimento anche per le frazioni imputate ai rifiuti urbani, comportando un aggravio di costi rispetto agli impianti di incenerimento.

Nell’ambito delle politiche a sostegno delle fonti rinnovabili, la Direttiva sulla promozione dell’uso dell’energia da fonti rinnovabili (Direttiva 2009/28/CE), recepita in Italia con il D.Lgs 28/2011, definisce fonte rinnovabile la parte biodegradabile dei rifiuti urbani (biomassa). Nel caso del CDR/CSS la frazione di biomassa è maggiormente garantita, in quanto la qualità e la composizione sono regolate da specifiche normative tecniche.

In Italia la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile viene incentivata attraverso il meccanismo dei Certificati Verdi. Tale meccanismo si basa sull’obbligo, posto dalla normativa a carico dei produttori e degli importatori di energia elettrica prodotta da fonti non rinnovabili, di immettere annualmente nel sistema elettrico nazionale una quota minima di elettricità prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili. L’obbligo può essere rispettato in due modi: immettendo in rete energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili oppure acquistando i Certificati Verdi dai produttori di energia “verde”.

I Certificati Verdi sono titoli negoziabili, rilasciati dal GSE in misura proporzionale all’energia prodotta da un impianto qualificato IAFR (impianto alimentato da fonti rinnovabili), ai sensi di quanto previsto dal D.Lgs 28/2011. Ogni Certificato Verde attesta convenzionalmente la produzione di 1 MWh di energia rinnovabile e ha validità triennale.

### 1.3. SITUAZIONE EUROPEA

Ogni anno nella sola Unione Europea (EU 27), a fronte di una popolazione di circa 500 milioni di abitanti, vengono prodotti circa 3 miliardi di tonnellate di rifiuti, di cui 100 milioni di tonnellate di essi pericolosi.

Nell'Unione Europea a 15 (EU 15), quella più vicina negli stili di vita all'Italia, la produzione di rifiuti urbani pro capite è passata da 485 kg nel 1995 a 567 kg nel 2005.

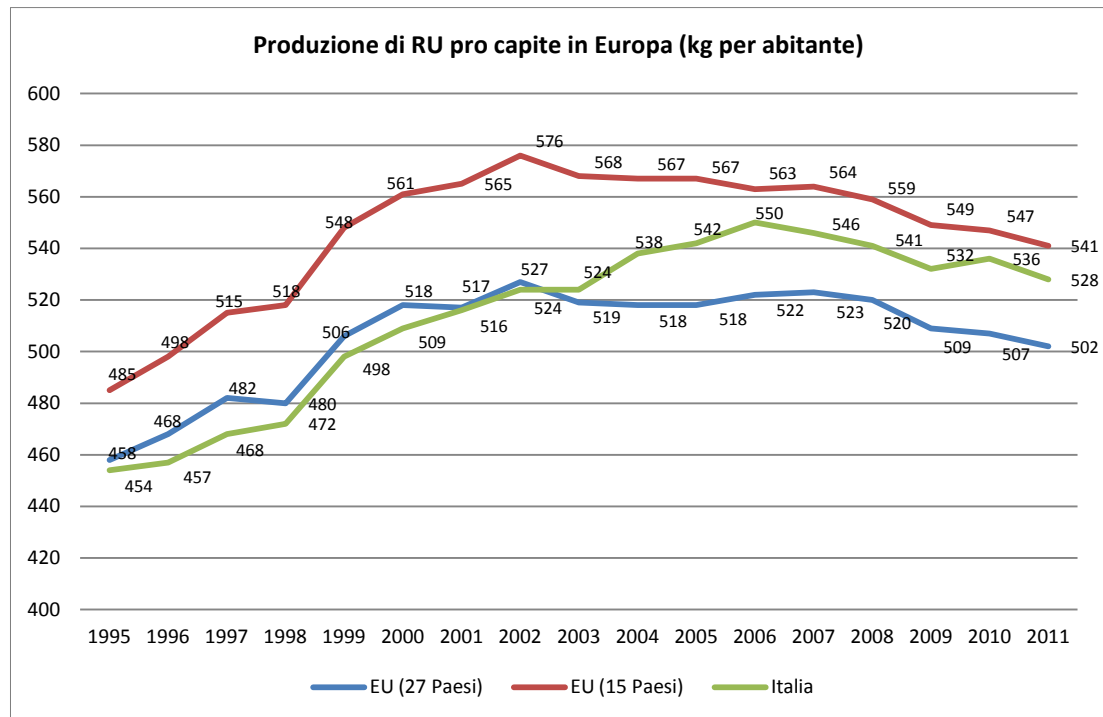


Fig. 1 - Produzione di RU pro capite in Europa (kg per abitante per anno)

La crescita economica e il conseguente aumento dei consumi hanno creato un aumento dei rifiuti. Solo negli ultimi anni si è assistito dapprima ad una stabilizzazione in termini di produzione totale e pro capite (2003-2008) e successivamente ad una tendenza alla riduzione (2009-2011). Su questi ultimi dati influisce indubbiamente la crisi economica internazionale, ma si osserva una effettiva dissociazione della produzione di RU dal PIL, segno dell'affermarsi delle politiche europee di settore.

I dati di produzione di rifiuti urbani relativi al 2011 (ultimo dato Eurostat disponibile) evidenziano una flessione dello 0,9% rispetto al 2010, da circa 254 milioni di tonnellate a poco meno di 252 milioni di tonnellate. La produzione pro capite media nell'UE 27 è, quindi, passata da 507 kg nel 2010 a 502 kg nel 2011. La variabilità del dato 2011 rimane molto elevata: la media dell'UE 15 è di 541 kg, mentre per i nuovi stati membri il dato si ferma a 347 kg. Ciò dà l'idea di quanto incida il fattore economico sulla produzione di rifiuti, infatti le economie degli Stati membri di recente ingresso sono storicamente più deboli rispetto a quelle dell'UE 15.

Quasi il 70% dell'intera produzione di RU dell'EU 27 è generato da Germania, Regno Unito, Francia, Italia e Spagna.

In tema di gestione dei rifiuti, pur essendo aumentata negli ultimi anni la tendenza al riciclaggio e al recupero, resta predominante lo smaltimento in discarica. I dati relativi al 2011 mostrano che a livello UE 27 ancora il 36% di RU è smaltito in discarica, circa il 23% è avviato ad incenerimento, mentre circa il 26% e circa il 15% sono avviati, rispettivamente, a riciclaggio e compostaggio.

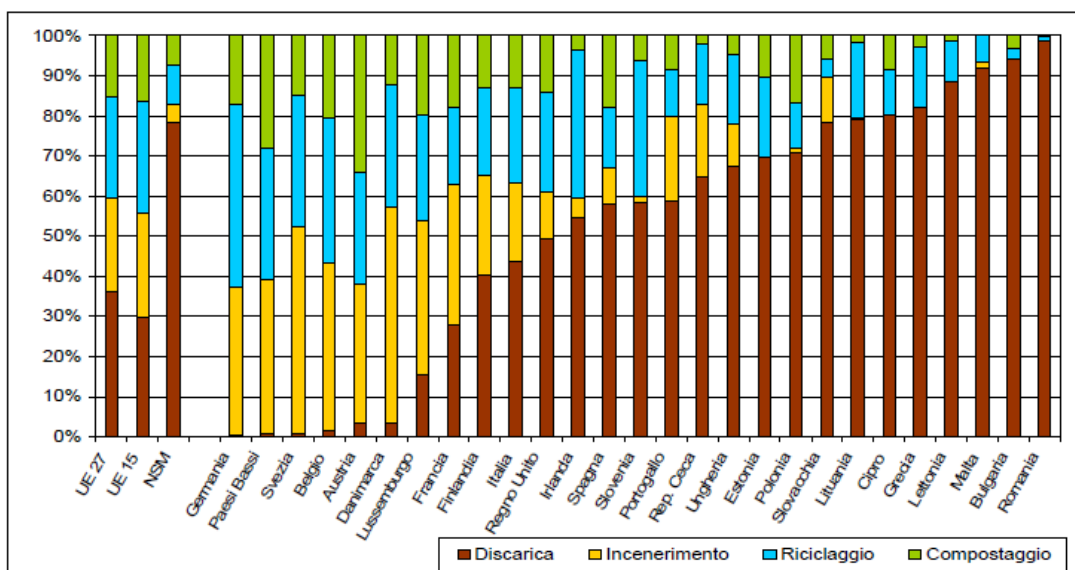


Fig. 2 - Ripartizione percentuale della gestione dei rifiuti urbani nell'UE, anno 2011 (dati ordinati per percentuali crescenti di smaltimento in discarica)

Dal confronto tra le diverse realtà, emerge un quadro disomogeneo. Come si può osservare in figura 2, con riferimento al ricorso alla discarica, si passa da meno dell'1% della Germania al 99% circa della Romania.

Negli Stati Membri nei quali i sistemi di gestione integrata sono ormai collaudati (Germania, Paesi Bassi, Svezia, Belgio, Austria, Danimarca) risultano privilegiati il recupero di materia e di energia con contestuale riduzione dello smaltimento in discarica. Al contrario, nella maggior parte dei paesi dell'est Europa la termovalorizzazione non è ancora attiva e il ricorso alla discarica è prevalente.

Il ricorso all'incenerimento è particolarmente diffuso negli Stati dell'Europa centrosettentrionale. In particolare, si sottolinea che nel nord Europa gli impianti tendono a massimizzare la produzione di calore, soprattutto per utenze civili, mentre nei Paesi dell'area mediterranea si produce generalmente energia elettrica.

#### 1.4. SITUAZIONE ITALIANA

La produzione di rifiuti urbani in Italia, nel 2011, è stata pari a poco meno di 31,4 milioni di tonnellate, corrispondente ad una produzione annua pro capite di 528 kg. Il dato di produzione è risultato in costante crescita fino al 2007, mentre dal 2008 il trend appare in flessione. In particolare tra il 2010 e il 2011 si è registrata una

riduzione del 3,4% ed un ulteriore calo è previsto per il 2012. Dall'analisi dei dati, però, si osserva che tale flessione è dovuta esclusivamente alla crisi economica e alla riduzione dei consumi.

Per quanto riguarda la gestione dei rifiuti, nel 2011 la raccolta differenziata ha raggiunto il 37,7% della produzione totale di RU. Tuttavia la situazione nelle tre macroaree geografiche si presenta molto diversificata. Al Nord la percentuale di raccolta differenziata si attesta al 51,1%, al Centro al 30,2%, mentre per il Sud il tasso si colloca al 23,9%.

Come si può osservare dalla figura 3, lo smaltimento in discarica è ancora la forma di gestione più diffusa, interessando il 42,1% dei rifiuti urbani prodotti. L'incenerimento riguarda il 16,9% del totale, mentre 1,8% viene inviato ad impianti produttivi, quali cementifici e centrali elettriche (la centrale di Fusina è l'unica realtà presente sul territorio nazionale), per essere utilizzato come combustibile per produrre energia.

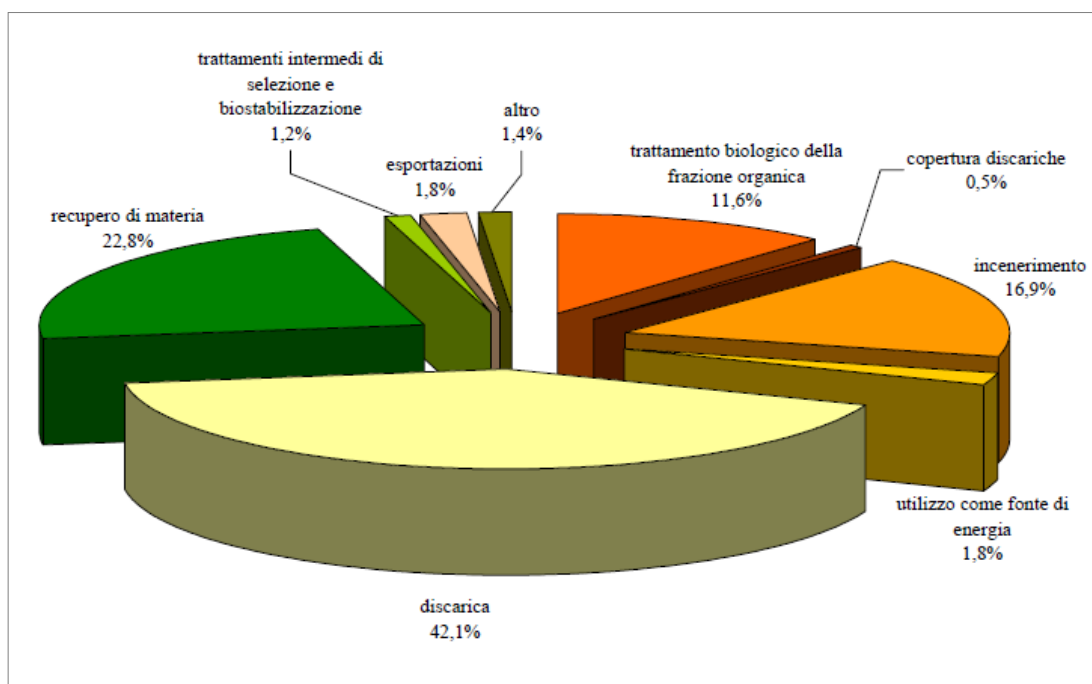


Fig. 3 – Ripartizione percentuale della gestione dei rifiuti urbani a livello nazionale, anno 2011

Nel 2012, la Commissione Europea ha pubblicato lo studio “Screening of waste management performance of EU Member States” con lo scopo di valutare la qualità della gestione dei rifiuti negli Stati Membri. I risultati dello Studio hanno confermato l'esistenza di grandi differenze all'interno dell'UE-27. Gli Stati Membri sono stati classificati in tre gruppi a seconda delle performance raggiunte. L'Italia è stata collocata nel gruppo degli Stati Membri che presentano i maggiori deficit nelle politiche di prevenzione dei rifiuti, assenza di incentivi alle opzioni di gestione alternative al conferimento in discarica e inadeguatezza delle infrastrutture per il trattamento dei rifiuti.

Esistono tuttavia delle realtà virtuose nelle quali vi è un parco impiantistico sviluppato che permette di ridurre significativamente l'utilizzo della discarica.

In particolare si evidenziano le regioni Lombardia e Veneto; la prima conferisce in discarica solo il 6% circa del totale di RU, la raccolta differenziata raggiunge il 50,6%, mentre l'incenerimento interessa circa il 37% dei rifiuti prodotti. In Veneto, a fronte di una raccolta differenziata pari al 62,5%, viene conferito in discarica circa il 14% di RU, mentre l'incenerimento riguarda circa il 10% della produzione di rifiuti.

### *1.5. RECUPERO ENERGETICO DAI RIFIUTI SOLIDI URBANI*

Come descritto nei paragrafi precedenti, la Comunità Europea ha stabilito un ordine di priorità delle azioni in materia di gestione dei rifiuti affinché venga messa in atto la migliore opzione ambientale.

È necessario innanzitutto mettere in campo delle strategie al fine di evitare la creazione di rifiuti. Tra queste sono ricomprese tutte le azioni che contribuiscono ad allungare la vita dei beni e pertanto anche il concetto di riutilizzo. La prevenzione, quindi, deve essere il "must" per la nostra società. Alcuni esempi concreti messi in atto sono: la sostituzione degli shopper in plastica con sacchetti in materiale biodegradabile o in tessuto riutilizzabili, l'introduzione di sistemi di erogazione alla spina per l'acqua e il latte, la promozione dell'uso di contenitori a rendere.

In termini di gestione, poi, deve essere attuata una raccolta differenziata spinta al fine di privilegiare il recupero di materia. In particolare, le frazioni secche differenziate (carta, plastica, vetro, lattine) vengono trasformate in materie prime seconde per essere riutilizzate nei processi produttivi; la frazione umida, costituita da scarti alimentari, vegetali e animali completamente biodegradabili, viene inviata agli impianti di compostaggio dai quali si ottiene un ottimo fertilizzante utilizzato in agricoltura, frutticoltura e per la realizzazione di parchi e giardini.

Infine, deve essere gestita la frazione secca indifferenziata, il cosiddetto rifiuto urbano residuo (RUR), per la quale sono possibili due destinazioni: il recupero energetico e la messa a discarica. Il recupero energetico permette di valorizzare i rifiuti utilizzandoli come combustibili per la produzione di energia elettrica e/o termica e fornisce migliori vantaggi dal punto di vista ambientale privilegiandolo quindi rispetto allo smaltimento in discarica.

Il ricorso alla discarica comporta l'occupazione di terreno prezioso ed i siti disponibili ad accoglierla sono destinati a ridursi rapidamente. La normativa vigente impone regole molto rigide affinché la discarica non costituisca un pericolo per l'ambiente e la salute umana e ciò comporta elevati costi di gestione. La discarica è un vero e proprio impianto, costituito da strutture e componenti specifiche come riportato in figura 4.

L'attività di recupero energetico dei rifiuti può essere effettuata mediante due strategie principali:

- utilizzo del rifiuto come combustibile principale o accessorio in impianti per la produzione di energia o di materiali. Sono incluse quelle attività che utilizzano Combustibile da Rifiuti (CDR) presso centrali elettriche o cementifici;

- incenerimento del rifiuto in impianti dedicati; l'eliminazione del rifiuto tramite combustione è associata al recupero di energia (termica ed elettrica).

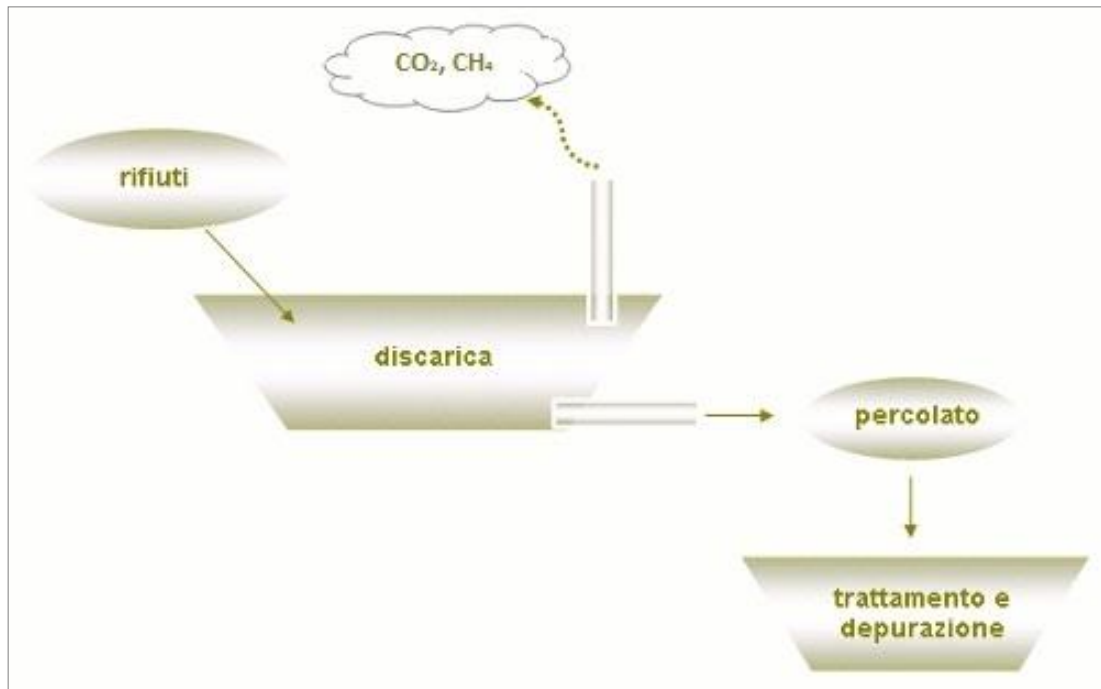


Fig. 4 – Schema semplificato di una discarica e degli impianti connessi

### 1.6. CDR: UTILIZZO E VANTAGGI

Per poterne sfruttare il contenuto energetico, il rifiuto urbano residuo viene trasformato in Combustibile da Rifiuto. Questo processo prevede una serie di trattamenti meccanico - biologici del RUR che permette di ottenere un combustibile di pezzatura e composizione adeguate per poter essere bruciato in impianti dedicati. In particolare, il CDR deve risultare conforme ai requisiti di classificazione delle norme tecniche UNI 9903-1 e s.m.i. che garantiscono la qualità del combustibile.

Il CDR può essere bruciato in impianti di termovalorizzazione oppure essere utilizzato in co-combustione assieme ai combustibili fossili in centrali termoelettriche o in cementifici. Il suo utilizzo presenta notevoli vantaggi ambientali ed energetici:

- benefici in termini di gestione dei rifiuti. Viene evitato il ricorso alla discarica ed incentivata la raccolta differenziata, in quanto si impiegano i materiali che non possono essere destinati al riciclo;
- benefici in termini di minor utilizzo di risorse fossili;
- benefici in termini di riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> e produzione di energia da fonti rinnovabili grazie al fatto che il CDR presenta una frazione biodegradabile.

Complessivamente la soluzione del CDR permette non solo di affrontare il problema del trattamento dei RUR, ma offre anche delle valide alternative in materia di risparmio di risorse e riduzione delle emissioni ad effetto serra.

### *1.7. OBIETTIVI DELLA TESI*

Il presente studio è dedicato alle potenzialità dell'utilizzo del Combustibile da rifiuto quale fonte di energia per la co-combustione carbone-CDR nella centrale termoelettrica di Fusina.

In primo luogo verranno presentate due realtà ben inserite nel contesto sociale che svolgono attività di recupero energetico contribuendo in questo modo ad una gestione integrata dei rifiuti: la centrale termoelettrica di Fusina di proprietà di Enel e il termovalorizzatore di Bergamo di proprietà di A2A. Questi due scenari alternativi verranno analizzati attraverso l'individuazione degli aspetti ambientali significativi e successivamente messi a confronto.

L'obiettivo del presente lavoro è fornire una valutazione quantitativa e qualitativa in termini di efficienza energetica, consumo dei combustibili, emissioni in aria, emissioni in acqua e produzione di rifiuti delle due realtà prese in esame, non tralasciando delle brevi considerazioni riguardanti la valorizzazione economica dell'impiego del CDR. Da questa analisi si trarranno delle conclusioni circa l'impatto sull'ambiente di un aumento dell'utilizzo del Combustibile da Rifiuto presso la centrale di Fusina.

Questo studio può anche risultare utile per un eventuale studio di valutazione di impatto ambientale per il potenziamento dell'utilizzo del CDR nella co-combustione con il carbone nelle sezioni 3 e 4 dell'impianto di Fusina, potenziamento auspicato dalle Autorità Locali e già in parte previsto nel Piano Regionale di gestione dei rifiuti della Regione Veneto.



## 2. IL COMBUSTIBILE DA RSU: CDR

### 2.1. CARATTERISTICHE TECNICHE DEL CDR

La centrale termoelettrica di Fusina e il termovalorizzatore di Bergamo sono entrambi riforniti di CDR dall'azienda Ecoprogetto Venezia, società pubblico-privata controllata da Veritas. Ecoprogetto gestisce il Polo Integrato di Fusina, situato nella zona industriale di Porto Marghera nel comune di Venezia. Il Polo Integrato tratta circa 250.000 tonnellate di rifiuti urbani all'anno raccolti da Veritas, la quale fornisce i propri servizi a circa 750.000 abitanti (circa l'80% della provincia di Venezia e il 15% del Veneto), a cui vanno aggiunti gli oltre 23 milioni di turisti che ogni anno arrivano nel territorio veneziano. Il Polo di Fusina è accessibile sia ai mezzi stradali che operano nella terraferma che alle imbarcazioni che trasportano i rifiuti provenienti dalla laguna, disponendo di una banchina sul canale industriale sud.

Nel sito è presente una stazione di travaso dei rifiuti, situata vicino alla banchina, indispensabile per organizzare la logistica dei rifiuti differenziati destinati ad impianti di riciclo dedicati. Sono inoltre presenti un termovalorizzatore con recupero energetico e due linee di produzione del CDR. Il termovalorizzatore, entrato in funzione nel 1998, è in grado di trattare circa 45.000 tonnellate annue di rifiuto urbano residuo tal quale (salvo deferrizzazione e separazione di materiale inerte) ed immette nella rete nazionale l'energia elettrica prodotta.

Il RUR conferito presso il Polo Integrato di Fusina, destinato per la maggior parte alla produzione del CDR, proviene dalla città di Venezia e dalle aree limitrofe. La figura 5 riporta la composizione merceologica e i principali parametri chimico-fisici del RUR (valori medi) ottenuti dalle analisi di caratterizzazione effettuate ad opera di Ecoprogetto (Biganzoli, Grosso, Rigamonti 2012).

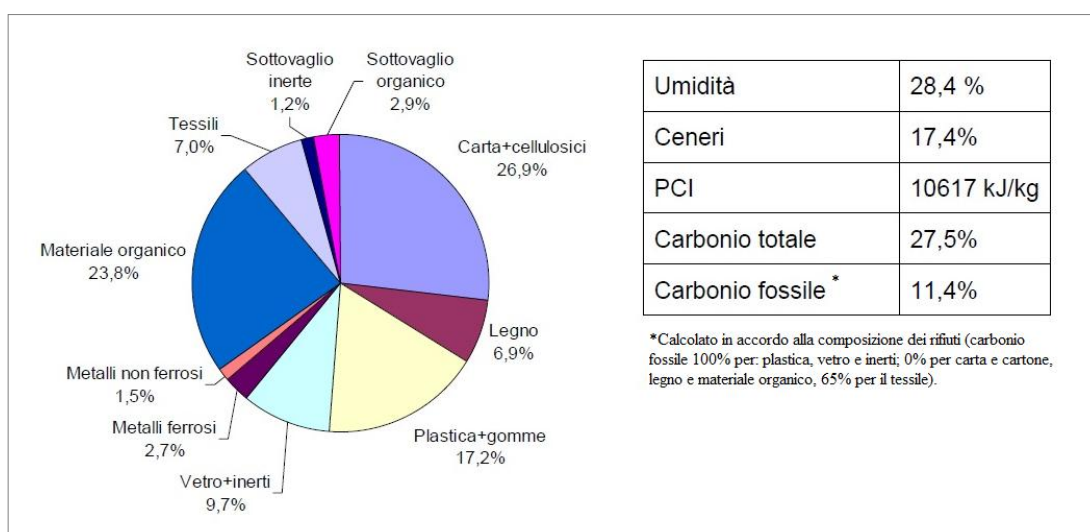


Fig. 5 – Composizione merceologica e principali parametri chimico-fisici del RUR

Con buona approssimazione si può affermare che la composizione del RUR è rappresentativa di aree metropolitane caratterizzate da livelli medio-alti di raccolta differenziata, come ad esempio la città di Bergamo e le sue aree limitrofe.

Il combustibile ottenuto dal RUR, per poter essere definito CDR di qualità normale, deve risultare conforme alle specifiche tecniche indicate dalla normativa UNI 9903 che definisce gli standard qualitativi del “*combustibile solido non minerale ricavato da rifiuti*”: il CDR. Tali caratteristiche sono riportate in tabella 1.

Tab. 1 - Specifiche tecniche del CDR di qualità normale

<b>CARATTERISTICA</b>	<b>LIMITE DI ACCETTAZIONE</b>	<b>UNITÀ DI MISURA</b>
Umidità	max. 25	% t.q.
PCI	min. 15.000	kJ/kg t.q.
Ceneri	max. 20	% s.s.
Cl	max. 0,9	% t.q.
S	max. 0,6	% t.q.
Pb volatile	max. 200	mg/kg s.s.
Cr	max. 100	mg/kg s.s.
Cu solubile	max. 300	mg/kg s.s.
Mn	max. 400	mg/kg s.s.
As	max. 9	mg/kg s.s.
Ni	max. 40	mg/kg s.s.
Cd + Hg	max. 7	mg/kg s.s.

In tabella 2 e in figura 6 sono riportati rispettivamente i parametri chimico-fisici e la composizione merceologica del CDR derivanti dalle analisi effettuate da Ecoprogetto. In particolare, le caratteristiche chimico-fisiche sono state determinate sulla base di 49 analisi del CDR fornito alla centrale di Fusina nel periodo 2009-2012.

Tab. 2 - Caratteristiche del CDR fornito alla centrale di Fusina. Valori medi e relativi intervalli di confidenza determinati sulla base di 49 analisi (valore t di student = 2.011, n=49, livello di confidenza 95%, test a due code)

<b>PARAMETRO</b>	<b>MEDIA</b>	<b>UNITÀ DI MISURA</b>
Umidità	8,0±0,7	% t.q.
PCI	(180 ± 3)10 <sup>2</sup>	kJ/kg t.q.
Ceneri	18,3 ± 0,4	% s.s.
Cl	0,64 ± 0,04	% t.q.
S	0,18 ± 0,01	% t.q.
Pb volatile	23 ± 3	mg/kg s.s.
Cr	64 ± 5	mg/kg s.s.
Cu solubile	12 ± 2	mg/kg s.s.
Mn	(12 ± 1)10 <sup>1</sup>	mg/kg s.s.
As	1,4 ± 0,1	mg/kg s.s.
Ni	13,4 ± 0,8	mg/kg s.s.
Cd + Hg	2,7 ± 0,2	mg/kg s.s.

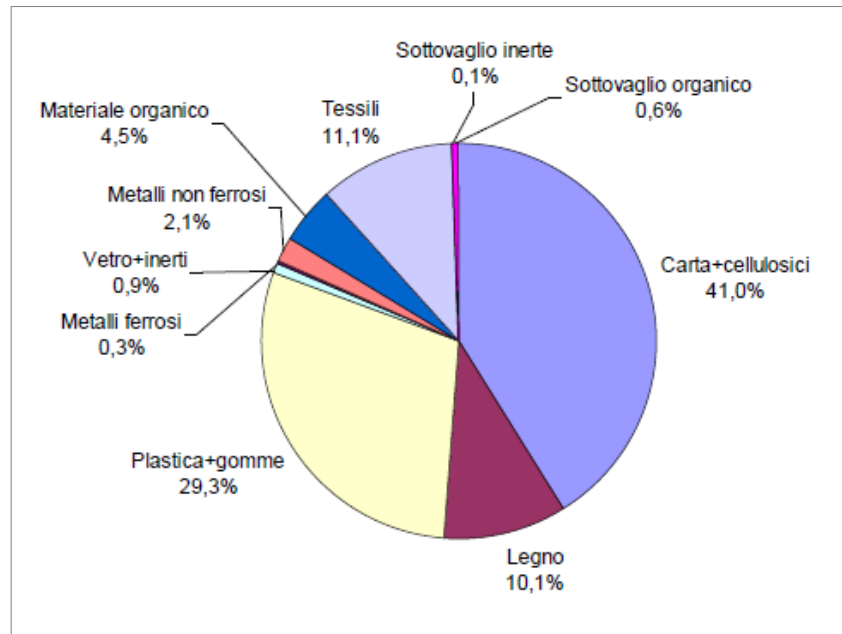


Fig. 6 – Composizione merceologica del CDR

## 2.2. CICLO TECNOLOGICO DEL PROCESSO PRODUTTIVO DEL CDR

Ecoprogetto dispone di due impianti per la produzione del CDR, per una capacità complessiva di circa 250.000 t/anno di rifiuti in ingresso. Questi quantitativi garantiscono al territorio servito da Veritas l'autosufficienza nel trattamento del RUR, minimizzando il ricorso alla discarica che attualmente si attesta attorno al 5%. La prima linea di produzione (CDR1), operativa dal 2002, è in grado di trattare circa 150.000 t/anno di RUR, mentre la seconda linea (CDR2), inaugurata nel 2010, ha una capacità di trattamento di circa 100.000 t/anno.

Il processo di produzione del CDR si sviluppa nelle seguenti fasi (figura 7):

- ricezione del rifiuto e triturazione;
- bioessiccazione;
- separazione meccanica della frazione inerte e metallica.

I rifiuti in ingresso subiscono una triturazione che ne riduce la pezzatura ad un massimo di 250 mm. Vengono poi caricati all'interno delle biocelle, box completamente chiusi e impermeabili in cemento armato a tenuta stagna, dove avviene la biostabilizzazione dei residui organici. Questo processo permette di accelerare la degradazione della sostanza organica operando a temperatura, umidità e concentrazione di ossigeno controllate. La fermentazione ha una durata di circa sette giorni e viene realizzata immettendo aria dal fondo del box che consente di ossigenare omogeneamente la massa e di mantenere una temperatura ottimale per la fauna microbica attorno ai 40-45°C. Il calore necessario viene generato dalla decomposizione del materiale organico. L'aria in uscita dalle biocelle viene trattata da un sistema che provvede a bruciare le sostanze odorogene in una camera di

combustione, recuperando il calore generato. Il processo di bioessiccazione consente di ridurre la massa all'incirca del 30%, corrispondente alla perdita di CO<sub>2</sub>, acqua e altre sostanze volatili. Il materiale bioessiccato ha un'umidità massima del 10-15% e un potere calorifico inferiore (PCI) aumentato del 35%.

Il rifiuto in uscita dalle biocelle subisce un processo di separazione meccanica con l'obiettivo di eliminare dalla frazione che costituirà il CDR i materiali che influiscono negativamente sul PCI, quali inerti e metalli.

Una volta prodotto, il CDR può essere confezionato in tre diverse modalità in base alle esigenze degli impianti di destinazione:

- in balle (un metro cubo di volume, peso tra i 680 e i 720 chilogrammi);
- in bricchette o pellet di pochi centimetri di lunghezza;
- in fluff, ovvero tenuto sfuso senza ulteriori trattamenti.

Il processo nel suo complesso ha una resa in massa del 53.7%. Partendo da 1 tonnellata di RUR si ottengono 537 kg di CDR e si separano 127 kg di inerti (12,7%), 25,6 kg di metalli ferrosi (2,6%) e 3,8 kg di alluminio (0,4%). Il bilancio di massa è riportato in figura 8.

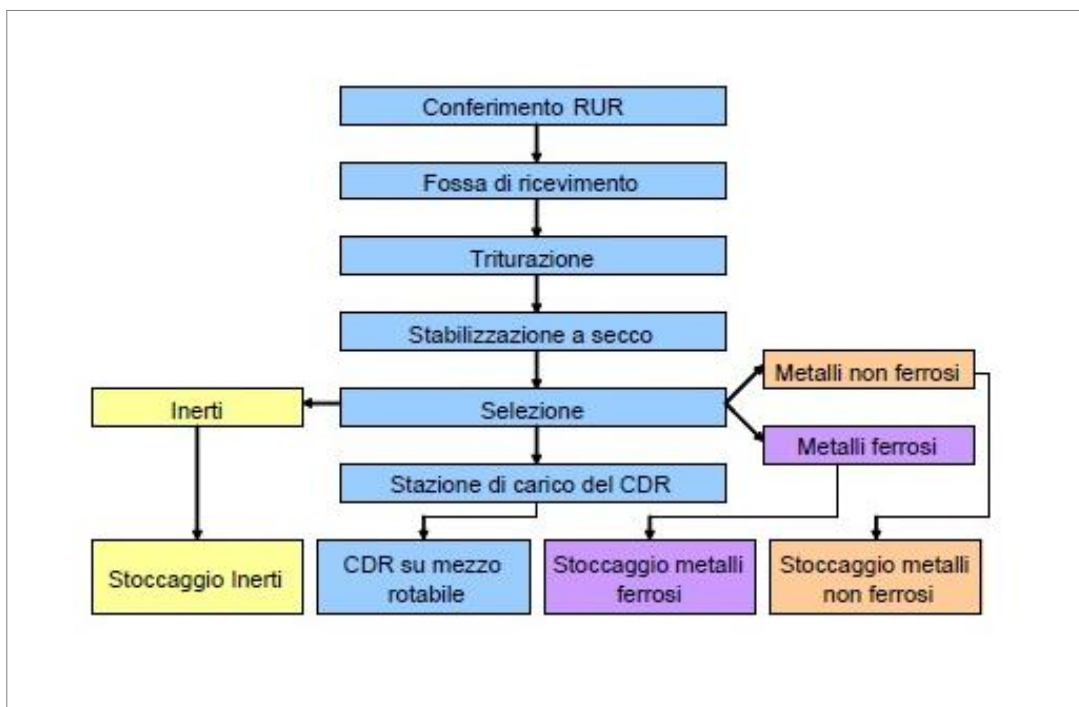


Fig. 7 – Schema del processo di produzione del CDR

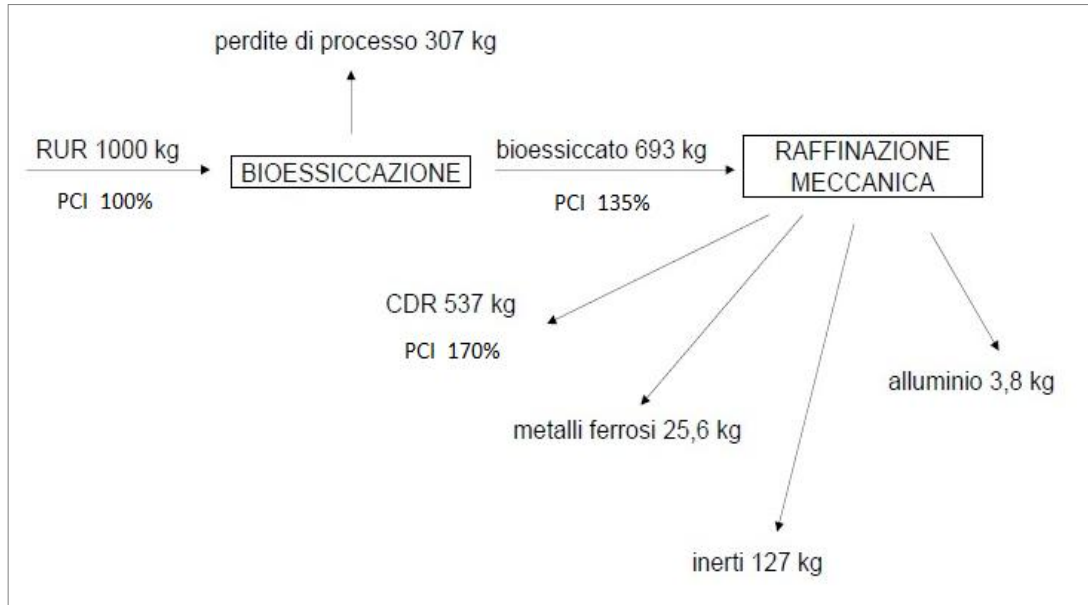


Fig. 8 – Bilancio di massa del processo di produzione del CDR

### **3. TECNOLOGIE DI RECUPERO ENERGETICO DA CDR**

#### **3.1. LA CENTRALE TERMOELETTRICA DI FUSINA**

##### **3.1.1. IL SITO E L'AMBIENTE CIRCOSTANTE**

La centrale termoelettrica "Andrea Palladio" di Fusina di proprietà di Enel Produzione è situata nel comune di Venezia all'interno della Seconda Zona Industriale di Porto Marghera, lungo il Canale Industriale Sud del Porto Industriale.

Confina ad est con l'impianto comunale di depurazione delle acque, gestito dal Gruppo Veritas che è coinvolto nel Progetto Integrato Fusina, opera di carattere strategico per l'ottimizzazione delle risorse idriche e la riduzione dell'inquinamento generato nel bacino scolante della Laguna di Venezia.

Le aree circostanti il sito sono caratterizzate da attività di natura industriale, legate in particolar modo ai settori chimico, petrolifero e logistico. A servizio della zona industriale vi è il Porto Industriale che si estende in tutta l'area mediante una rete di canali navigabili sui quali insistono accosti per le operazioni di carico e scarico di prodotti e materie prime.

L'impianto ricade all'interno dell'area industriale di Porto Marghera, una tra quelle individuate dalla Legge 426/98 "Nuovi interventi in campo ambientale" come aree di rilevanza nazionale e soggette a rischio ambientale provocato dalle attività chimiche, petrolchimiche, metallurgiche, elettrometallurgiche e meccaniche.

La centrale è facilmente accessibile sia via terra, essendo collegata ad una rete viaria particolarmente sviluppata, che via mare, possedendo una banchina per l'attracco delle navi carboniere.

Lo stabilimento si inserisce all'interno della Laguna di Venezia, la più vasta laguna italiana, un ambiente di transizione tra terra e acqua in stato di perenne instabilità. Mare e laguna comunicano tra loro attraverso tre bocche di porto: Lido, Malamocco e Chioggia e ciò fa sì che il movimento dell'acqua all'interno della laguna sia governato dalla marea. La morfologia lagunare dipende dal rapporto che viene ad instaurarsi tra gli apporti di materiale solido dal mare o dai fiumi che vi sfociano e l'azione erosiva delle onde e delle maree. La superficie della laguna di Venezia è caratterizzata da estesi specchi d'acqua, percorsi da una fitta rete di canali, anche navigabili, di profondità variabile.

##### **3.1.2. L'ATTIVITÀ PRODUTTIVA**

La centrale Andrea Palladio, entrata in attività nel 1964 con l'avviamento del gruppo 1, è attualmente costituita da 6 sezioni di produzione per un totale di 1152 MW. L'assetto produttivo è rappresentato in tabella 3.

Tab. 3 – Assetto produttivo della centrale Andrea Palladio di Fusina

<i>SEZIONE</i>	<i>ANNO AVVIAMENTO</i>	<i>COMBUSTIBILE</i>	<i>POTENZA ELETTRICA (MW)</i>
<i>FS1</i>	1964	Carbone	165
<i>FS2</i>	1969	Carbone	171
<i>FS3</i>	1974	Carbone - CDR	320
<i>FS4</i>	1974	Carbone - CDR	320
<i>FS5</i>	1967	Metano	160
<i>FS6</i>	2010	Idrogeno - Metano	16

La sezione 5, già esercita dalla Società Alumina dal 1967 al 1982, è stata acquistata da Enel nel 1990, ristrutturata e rimessa in esercizio nel 1992; il gruppo è fuori produzione dal 1999 e attualmente non è autorizzato all'esercizio. La sezione 6 è un impianto turbogas sperimentale a ciclo combinato di circa 12 MW alimentato a idrogeno e a metano, costituito con lo scopo di promuovere lo sviluppo e l'applicazione delle tecnologie dell'idrogeno. La potenza dell'impianto passa da 12 a 16 MW grazie ad un sistema che permette di riutilizzare il calore presente nei fumi di scarico derivanti dalla combustione dell'idrogeno. Il calore viene infatti recuperato per produrre vapore ad alta temperatura nella vicina sezione 4, generando ulteriore energia per una capacità aggiuntiva di circa 4 MW.

La centrale termoelettrica di Fusina produce energia elettrica prevalentemente mediante la combustione di carbone. Il processo prevede la trasformazione dell'energia chimica contenuta nei combustibili in energia elettrica attraverso trasformazioni intermedie in energia termica ed in energia meccanica.

Il ciclo produttivo descritto di seguito è rappresentativo del funzionamento delle sezioni 1-4. Nel generatore di vapore l'energia chimica dei combustibili si trasforma, mediante il processo di combustione, in calore che, trasmesso all'acqua, ne provoca la trasformazione in vapore. Il vapore prodotto è inviato alla turbina dove l'energia termica è trasformata in energia meccanica. Alla turbina è collegato l'alternatore che produce energia elettrica. L'energia prodotta viene poi innalzata di tensione mediante dei trasformatori per essere immessa nella rete elettrica di trasporto. Il vapore, dopo aver ceduto gran parte della sua energia alla turbina, viene convogliato al condensatore dove, raffreddato dall'acqua di mare, diventa nuovamente acqua pronta per essere ricondotta al generatore di vapore e ripetere il ciclo. L'acqua di raffreddamento viene prelevata attraverso l'opera di presa lungo il Canale Industriale Sud e viene poi scaricata nel Naviglio Brenta. Durante il periodo estivo, per ridurre l'apporto termico in laguna, nelle sezioni 1 e 2 la condensazione del vapore è garantita da 12 torri di raffreddamento poste in circuito chiuso e alimentate con acqua proveniente dal vicino depuratore di Veritas. I fumi, prodotti dalla

combustione nel generatore di vapore, prima di essere inviati al camino subiscono un ciclo di depurazione volto a contenere le emissioni degli agenti inquinanti.

Durante il normale esercizio le sezioni 1 e 2 sono alimentate esclusivamente a carbone, mentre le sezioni 3 e 4 possono funzionare in assetto di combustione a carbone o in assetto di co-combustione carbone - CDR; in fase di avviamento viene utilizzato metano. Il carbone viene approvvigionato via nave e depositato in un parco avente una capacità di 600.000 tonnellate. Prima di essere alimentato ai bruciatori della caldaia viene opportunamente macinato ottenendo così un polverino. Il CDR è rifornito via gomma dal vicino impianto di Ecoprogetto sotto forma di bricchette. L'impianto di ricezione è inserito all'interno di un capannone tenuto in leggera depressione per evitare la fuoriuscita di polveri e cattivi odori. Il CDR estratto dalle vasche, dopo il passaggio nel separatore magnetico per la selezione di eventuali residui metallici, è inviato ai mulini macinatori. Una volta macinato viene miscelato con la corrente d'aria e il polverino di carbone e alimentato in caldaia.

L'attività sperimentale di recupero energetico attraverso la co-combustione carbone-CDR è stata avviata nel 2003, a seguito della sigla del protocollo d'intesa tra Enel, Regione Veneto, Provincia di Venezia e Comune di Venezia avvenuta nel 1998. Durante l'attività sperimentale, protratta sino al 2005, un "gruppo tecnico di controllo e verifica", nominato dalla Regione Veneto e costituito da rappresentanti di Regione, Provincia, Comune, ARPAVE ASL 12 Veneziana, ha monitorato l'attività dando infine parere positivo. La centrale di Fusina ha quindi ottenuto nel 2006 l'autorizzazione all'utilizzo del CDR nelle sezioni 3 e 4 per un quantitativo massimo di 35.000 tonnellate all'anno e per una potenza ascrivibile al rifiuto inferiore al 5% della potenza termica delle singole sezioni. In seguito Enel, nell'ambito del procedimento per il rilascio dell'Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA), ha presentato domanda di potenziamento dell'impianto di co-combustione carbone-CDR. L'iter autorizzativo si è concluso nel 2008 con l'esclusione dalla VIA e il rilascio dell'AIA statale, con la quale il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ha autorizzato il potenziamento dell'utilizzo di CDR fino a 70.000 tonnellate all'anno, a condizione di specifiche prescrizioni in merito alla qualità del CDR e al monitoraggio della qualità dell'aria. Con riferimento a quest'ultima prescrizione sono state effettuate delle campagne di misura "ante operam" e "post operam" per verificare la qualità dell'aria e le ricadute al suolo. A tale scopo sono state utilizzate la rete di monitoraggio qualità dell'aria gestita dall'Ente Zona Industriale di Porto Marghera, integrata con la rete di monitoraggio qualità dell'aria gestita da ARPAV. Le campagne di monitoraggio non hanno evidenziato variazioni significative degli inquinanti monitorati a seguito del potenziamento del CDR.



### 3.1.3. I PRESIDI AMBIENTALI

I principali inquinanti presenti nei prodotti di combustione delle centrali termoelettriche sono: gli ossidi di azoto noti come  $\text{NO}_x$  (monossido di azoto  $\text{NO}$ , forma prevalente in sede di combustione, e biossido di azoto  $\text{NO}_2$ , forma in cui sono convertiti in atmosfera), gli ossidi di zolfo ( $\text{SO}_2$  e, in misura molto minore,  $\text{SO}_3$ ), l'ossido di carbonio e le polveri (tutte le particelle solide di varia composizione chimica e granulometria). La riduzione degli inquinanti avviene in generale con due metodologie: quelle primarie, che fanno in modo che l'inquinante non si formi, e quelle secondarie, che ne prevedono la rimozione dai gas combusti.

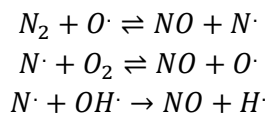
Nella centrale di Fusina, i fumi prodotti durante la combustione sono convogliati agli impianti di trattamento per la rimozione delle frazioni inquinanti. La linea trattamento fumi è composta come segue:

- impianto di denitrificazione per la riduzione degli ossidi di azoto;
- impianto per la riduzione delle polveri (elettrofiltri per le sezioni 3 e 4 e filtri a manica per le sezioni 1 e 2);
- impianto di desolforazione per la riduzione degli ossidi di zolfo.

Infine, i fumi vengono convogliati alla ciminiera che garantisce una efficace aerodispersione delle emissioni gassose.

Gli ossidi di azoto,  $\text{NO}$  in particolare, sono prodotti nella combustione tramite due meccanismi fondamentali:

- thermal  $\text{NO}_x$  favorito dalle alte temperature; coinvolge l'azoto molecolare ( $\text{N}_2$ ) contenuto nell'aria. Il meccanismo di formazione avviene secondo le reazioni:



- fuel-bound  $\text{NO}_x$ , coinvolge l'azoto presente nel combustibile sottoforma di ciano e ammino composti che, a elevata temperatura, vengono ossidati a  $\text{NO}$ .

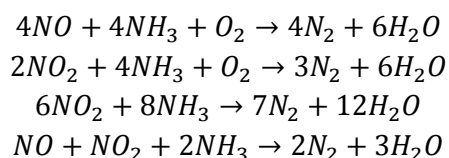
Le produzioni di thermal  $\text{NO}_x$  e di fuel-bound  $\text{NO}_x$  sono comparabili; entrambe sono fortemente condizionate dalla temperatura della fiamma, ma i fuel-bound  $\text{NO}_x$  vengono prodotti a temperature molto basse rispetto a quelle presenti in camera di combustione, per cui è più difficile contrastarne la formazione.

Nella centrale di Fusina le emissioni di  $\text{NO}_x$  vengono controllate e minimizzate attraverso due strategie: a monte limitandone la formazione in camera di combustione e a valle rimuovendo parte di quanto formato e presente nei fumi.

La tecnica primaria utilizzata per limitare la generazione di  $\text{NO}_x$  è chiamata "air staging" e prevede la ripartizione dell'aria in caldaia attraverso la tecnologia OFA (Over Fire Air) e l'utilizzo di bruciatori low  $\text{NO}_x$ . Viene realizzata una prima zona di combustione in difetto d'aria seguita da una zona di combustione in eccesso d'aria.

Si ha così una combustione parziale con bassa produzione di NO<sub>x</sub> nella prima zona, che si completa nella seconda zona dove è maggiore l'ossigeno e la temperatura è minore. Si utilizzano bruciatori concepiti per contenere la produzione di NO<sub>x</sub> (low NO<sub>x</sub>) a cui si affiancano ulteriori punti di immissione dell'aria comburente (OFA).

La riduzione degli NO<sub>x</sub> nei fumi avviene presso l'impianto di denitrificazione e si basa su un processo di riduzione selettiva catalitica (SRC). L'impianto DeNO<sub>x</sub> è costituito da un reattore riempito con moduli di catalizzatore a nido d'ape realizzati in prevalenza con biossido di titanio (TiO<sub>2</sub>), pentossido di vanadio (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e triossido di tungsteno (WO<sub>3</sub>). La presenza del catalizzatore permette di realizzare la conversione degli NO<sub>x</sub> nell'intervallo 150-450°C con una temperatura ottimale di 400°C. Il processo prevede la riduzione degli NO<sub>x</sub> con formazione di azoto molecolare e acqua attraverso l'iniezione di ammoniacca sulla matrice a nido d'ape, secondo le reazioni seguenti:

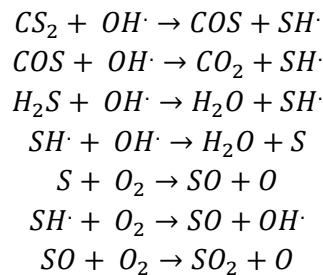


L'efficienza di abbattimento è all'incirca attorno all'80%.

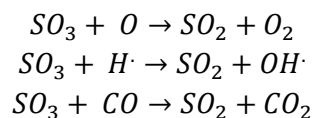
Il particolato è formato dalle particelle solide contenute nei gas di scarico, sia di tipo inorganico, provenienti dai residui di combustione, sia di tipo organico, a base di residui carboniosi da combustione incompleta. Queste ultime sono in quantità trascurabili rispetto alle prime e perciò generalmente si fa riferimento alla rimozione delle ceneri leggere (fly ash); si fa presente che una quota di ceneri (bottom ash) ricade sul fondo della camera di combustione e viene più facilmente rimossa.

La rimozione delle polveri nei fumi viene effettuata mediante i filtri a manica nelle sezioni 1 e 2 e con i precipitatori elettrostatici nelle sezioni 3 e 4. Nei filtri a manica le particelle sono separate facendo passare la corrente gassosa attraverso una barriera costituita da un tessuto filtrante. Questo sistema consente di raggiungere elevate efficienze dell'ordine del 99%. I precipitatori elettrostatici operano sottoponendo i fumi ad un campo elettrico molto intenso. Il meccanismo di separazione si sviluppa attraverso tre fasi principali: le particelle vengono caricate elettricamente; sulle particelle cariche, immerse nel campo elettrico, si sviluppa una forza elettrica in grado di far deviare le particelle stesse dal flusso del gas vettore e farle convergere su un elettrodo di raccolta; le particelle raccolte sull'elettrodo sono rimosse sistematicamente per consentire la separazione di nuove particelle. La struttura elementare di un filtro elettrostatico è costituita da due elettrodi differenti: un elettrodo filiforme di scarica o emissione e uno a piastra di raccolta. La differente geometria dei due elettrodi fa sì che il campo elettrico non uniforme in prossimità dell'elettrodo di emissione sia sufficientemente alto per innescare il processo di ionizzazione (effetto corona). Le particelle di polvere vengono così caricate elettricamente per collisione con gli ioni prodotti e successivamente attratte dall'elettrodo di raccolta sul quale si depositano. Anche per questo sistema l'efficienza di abbattimento raggiunge il 99%.

Gli ossidi di zolfo sono formati durante la combustione per ossidazione dello zolfo contenuto nei combustibili ed in particolare nel carbone. Nel carbone lo zolfo è presente in gran parte sotto forma organica associato alla matrice carboniosa (solfuri alifatici, arilici, tiofenici) e in minima parte sotto forma di pirite e solfati. Lo zolfo di origine organica è convertito in misura maggiore a SO<sub>2</sub> (circa 98%), secondo le seguenti reazioni:



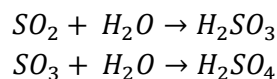
In assenza di catalizzatore la formazione di SO<sub>3</sub> è lenta; la piccola quantità generata tende ad essere riconvertita a SO<sub>2</sub> come di seguito illustrato:



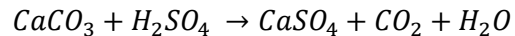
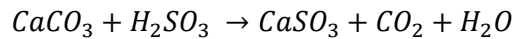
La pirite viene eliminata normalmente durante il ciclo di frantumazione e polverizzazione del carbone attraverso un sistema di scarico dei corpi non frantumabili presente nei mulini. La pirite residua si decompone termicamente durante la combustione originando ossidi di ferro e anidride solforosa.

Nella centrale di Fusina vengono impiegati carboni a basso tenore di zolfo con un contenuto inferiore all'1%. L'abbattimento degli ossidi di zolfo presenti nei fumi avviene presso l'impianto di desolforazione. La strategia utilizzata per la rimozione è la desolforazione ad umido calcare/gesso, chiamata "Wet Flue Gas Desulfurization" (Wet FGD) ed è attualmente la tecnica maggiormente diffusa per l'elevata efficienza ed affidabilità. Il principio di funzionamento si basa su reazioni gas-liquido tra la SO<sub>2</sub> presente nei fumi e una sospensione acquosa di calcare (slurry) dosata in un apposito reattore, comunemente chiamato wet scrubber. I fumi entrano nella parte bassa della torre e reagiscono in controcorrente con lo slurry. I prodotti di reazione vengono trasportati dalla fase liquida sul fondo della torre, dove vengono ricircolati o spurgati a seconda del battente di liquido presente; una volta estratti sono inviati alla disidratazione mentre la fase liquida (spurgo) viene trattata presso un apposito impianto. I fumi passano attraverso uno stadio separatore di gocce (demister) ed escono dalla parte alta della torre per proseguire verso il camino. Le reazioni coinvolte sono mostrate di seguito:

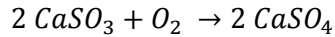
- assorbimento:



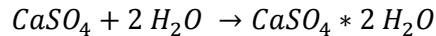
- neutralizzazione:



- ossidazione:



- cristallizzazione:



L'intervallo ottimale di temperatura per la reazione di desolforazione è tra 40-80°C; il processo ha un'efficienza superiore al 95%.

Dal 2006 la sospensione di calcare viene realizzata utilizzando la marmettola, cioè i residui delle attività di segazione e lucidatura del marmo. Il prodotto finale del processo è costituito da gesso di qualità commerciale, che viene riutilizzato come gesso per intonaci e pannelli e come additivo per il cemento in sostituzione del gesso naturale.

La riduzione dell'ossido di carbonio si ottiene con l'ottimizzazione del processo di combustione, attraverso una macinazione fine del combustibile e una corretta miscelazione dell'aria necessaria alla combustione.

I prodotti di combustione contengono metalli e loro composti in tracce. Questi possono essere presenti allo stato solido o allo stato gassoso in funzione della natura del legame chimico e delle dimensioni delle particelle di particolato sulle quali i metalli possono condensare.

Composti di metalli quali As, Cd, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, V, Zn sono per lo più presenti allo stato solido e vengono rimossi dagli elettrofiltri o dai filtri a manica assieme al particolato di origine metallica meno pericoloso per la salute (Al, Ca, Fe, Mg, Si). Cloruri e fluoruri metallici sono molto volatili e in genere presenti allo stato gassoso; la loro rimozione avviene con efficacia nel desolforatore.

Particolarmente volatili sono i composti del mercurio. Quelli legati a Cl o S (HgCl<sub>2</sub>, HgS, HgSO<sub>4</sub>) vengono rimossi dagli elettrofiltri o dai filtri a manica in quanto tendono a condensare sul particolato. Il mercurio ossidato (HgO) è rimosso nel desolforatore.

Altre tecniche di rimozione si affidano a filtri a letto di carboni attivi, adsorbimento su zeoliti o allumina impregnati con zolfo.

L'utilizzo di CDR comporta un maggior apporto di cloro derivante per lo più dai composti organici clorurati (PVC) presenti nel CDR stesso. In generale, la temperatura sviluppata durante una combustione e la presenza di potenziali catalizzatori, quali metalli nei combustibili (Cu<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>) e ceneri volanti, possono dar luogo alla formazione di diossine e furani. A temperature superiori agli 850°C e per tempi di permanenza di almeno due secondi questi composti tossici si decompongono. Nella centrale di Fusina la temperatura media generata in camera di combustione è all'incirca di 1100-1200°C e il tempo di permanenza delle particelle è superiore a 2 secondi. Queste condizioni di esercizio consentono di evitare o quanto meno contenere la formazione di diossine e furani.

Gli spurghi del desolfatore vengono trattati presso l'impianto ITSD (impianto trattamento spurghi desolfatore) insieme alle acque meteoriche di prima pioggia di drenaggio del parco carbone e quelle provenienti dalle operazioni di lavaggio del piazzale di carico delle ceneri di carbone negli autosili, in quanto potenzialmente inquinabili da metalli pesanti.

Il ciclo di depurazione prevede le seguenti fasi:

Primo stadio:

- neutralizzazione primaria con  $\text{Ca(OH)}_2$  a  $\text{pH}=7$  per l'abbattimento delle frazioni acide;
- neutralizzazione secondaria con  $\text{Ca(OH)}_2$  a  $\text{pH}=9.2$  e aggiunta di  $\text{Na}_2\text{S}$  per abbattere sotto forma di solfuri il mercurio ed il cadmio i cui idrossidi non sono sufficientemente insolubili;
- flocculazione-desolfurazione con  $\text{FeCl}_2$  e polielettrolita a  $\text{pH } 9.2-9.5$ ;
- sedimentazione e ispessimento fanghi.

Secondo stadio:

- coagulazione e neutralizzazione con  $\text{FeCl}_3$  e latte di calce a  $\text{pH}=7$  per favorire l'abbattimento del selenio;
- flocculazione con polielettrolita;
- sedimentazione e ispessimento fanghi.

Il refluo in uscita viene inviato al vicino impianto di depurazione gestito da Veritas.

I fanghi separati vengono preispessiti e disidratati mediante filtro-prensa.

I sottoprodotti ottenuti durante il ciclo di depurazione fumi, in particolare le ceneri, i fanghi e i gessi, sono riutilizzati presso le industrie del cemento e dei laterizi.

#### *3.1.4. VALORI LIMITE ALLE EMISSIONI E SISTEMI DI MONITORAGGIO*

L'AIA autorizza l'esercizio dell'impianto termoelettrico e sostituisce tutte le autorizzazioni di carattere ambientale esistenti, rilasciate dai vari Enti riguardanti principalmente: emissioni in aria, emissioni in acqua e rifiuti.

In particolare, per quanto concerne l'attività di recupero energetico da CDR, la centrale è autorizzata ad utilizzare fino a 70.000 t/anno di CDR nelle sezioni 3 e 4 con una potenza termica ascrivibile al CDR inferiore al 5% della potenza termica delle singole sezioni, che corrisponde ad una portata massima oraria pari a 9 t/h. Durante l'attività di co-combustione carbone-CDR le emissioni al camino delle sezioni 3 e 4 devono rispettare i limiti prescritti dall'AIA riportati in tabella 4.

Tab. 4 -Limiti prescritti per gli inquinanti nelle emissioni in aria e relative frequenze di misura.

<b>ANALITA</b>	<b>CONCENTRAZIONE LIMITE (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	<b>FREQUENZA DI MISURA</b>	<b>PERIODO DI MEDIAZIONE</b>
SO <sub>2</sub>	185	In continuo	Media giornaliera
NO <sub>x</sub>	200	In continuo	Media giornaliera
Polveri	20	In continuo	Media giornaliera
CO	50	In continuo	Media giornaliera
Carbonio Organico Totale (COT)	10	In continuo	Media giornaliera
HCl	10	In continuo	Media giornaliera
Hg	0,05	In continuo e quadrimestrale	Media giornaliera
Diossine-Furani (PCDD-PCDF)	0,1 (TEQ ng/Nm <sup>3</sup> )	Campionamento in continuo	Media mensile
NH <sub>3</sub>	5	Quadrimestrale	Misura puntuale
HF	4,9	Quadrimestrale	Misura puntuale
Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)	0,01	Quadrimestrale	Misura puntuale
Cd + Tl	0,05	Quadrimestrale	Misura puntuale
Sb + As + Pb + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + V	0,5	Quadrimestrale	Misura puntuale

Per quanto riguarda le misure puntuali il periodo di campionamento è definito dal D.Lgs 133/2005. I valori limite di emissione degli inquinanti indicati in tabella 4 (intesi come NO<sub>2</sub> per gli NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub> per gli ossidi di zolfo) sono espressi in mg/Nm<sup>3</sup> nei gas secchi al 6% di O<sub>2</sub>, ad eccezione della concentrazione totale di diossine e furani che viene espressa come concentrazione tossica equivalente (TEQ ng/Nm<sup>3</sup>). Per ciascuna sezione è presente un sistema di monitoraggio in continuo delle emissioni (SME) per la misura di: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, polveri, CO, COT, HCl, Hg; inoltre è presente un campionatore in continuo per diossine e furani. Il prelievo dei campioni di fumo da analizzare è realizzato in condizioni isocinetiche, mantenendo il fluido alla temperatura costante di 180°C in modo da evitare condense e corrosioni. La tabella 5 illustra le tecniche analitiche sfruttate dagli analizzatori dello SME.

Tab. 5 – Principi di misura sfruttati dagli analizzatori che compongono il sistema di monitoraggio in continuo

<b>ANALITA</b>	<b>PRINCIPIO DI MISURA</b>
SO <sub>2</sub>	FT - IR
NO, NO <sub>2</sub>	FT - IR
CO	FT - IR
HCl	FT - IR
COT	Rivelatore a ionizzazione di fiamma (FID)
Polveri	Riflessione di luce
Hg	Fotometro UV

Per quanto riguarda le emissioni in acqua, le acque reflue in uscita dall'impianto ITSD devono rispettare i valori limite indicati dal D.Lgs 133/2005 riportati in tabella 6, così come prescritto dall'AIA. Lo scarico ITSD viene monitorato con frequenza semestrale.

Tab. 6 – Limiti prescritti per gli inquinanti nelle emissioni in acqua

<b>ANALITA</b>	<b>CONC. LIMITE (mg/l)</b>
Solidi sospesi tot.	45
Hg	0,03
Cd	0,05
Tl	0,05
As	0,15
Pb	0,2
Cr	0,5
Cu	0,5
Ni	0,5
Zn	1,5
PCDD-PCDF	0,3 (TEQ)
IPA	0,0002

Va infine sottolineato che, al fine di evitare la formazione di diossine e furani, l'impianto deve rispettare le condizioni di esercizio indicate dal D.Lgs 133/2005 all'art. 8 *“Condizioni di esercizio degli impianti di incenerimento e coincenerimento”*; in particolare il Decreto prescrive che *“..dopo l'ultima immissione di aria di combustione, i gas prodotti dal processo di incenerimento/coincenerimento siano portati, in modo controllato ed omogeneo, anche nelle condizioni più sfavorevoli, ad una temperatura di almeno 850 °C per almeno due secondi”*.

## *3.2. IL TERMOVALORIZZATORE DI BERGAMO*

### *3.2.1. IL SITO E L'AMBIENTE CIRCOSTANTE*

Il Settore Impianti Bergamo di Aprica, società controllata dal gruppo A2A, svolge le attività di trattamento dei rifiuti, produzione di energia elettrica e calore all'interno del sito denominato "Area Impianti Bergamo", situato nella zona sud-ovest della città di Bergamo. Gli impianti di Aprica confinano con l'impianto di depurazione gestito dalla ditta BAS SII che tratta le acque reflue civili ed industriali provenienti dal Comune di Bergamo e da alcuni altri Comuni della prima cintura esterna alla città.

Nell'area si svolgono, sin dagli anni '60, le attività di trattamento dei rifiuti e di depurazione dei reflui urbani. Dal 2003 è entrato in funzione il nuovo impianto di incenerimento alimentato a CDR, in parte prodotto dai rifiuti urbani della città di Bergamo.

Nel 2005 è stato avviato il progetto per teleriscaldare la città di Bergamo. A tale scopo dal 2008 sono entrate in funzione due caldaie per la produzione di calore destinato al teleriscaldamento. La rete di teleriscaldamento è attualmente sviluppata su un raggio di circa 7 km dall'impianto per una lunghezza di circa 40 km. Fornisce energia termica per riscaldamento e usi sanitari alla zona del centro città, al Nuovo Ospedale di Bergamo, alle zone ovest e sud-ovest della città.

### *3.2.2. L'ATTIVITÀ PRODUTTIVA*

Aprica svolge le attività di: stoccaggio, trattamento e recupero di rifiuti urbani e speciali, produzione di energia elettrica e calore.

Il Settore Impianti Bergamo è costituito da:

- un impianto per lo stoccaggio di rifiuti da raccolta differenziata provenienti dalla città di Bergamo;
- una piattaforma ecologica per la raccolta differenziata;
- un impianto per la produzione di CDR/CSS da rifiuto urbano residuo;
- un termovalorizzatore alimentato a CDR/CSS;
- due ulteriori caldaie a gas naturale da 44 MW ciascuna per la produzione di calore destinato al teleriscaldamento.

Il rifiuto proveniente dalla raccolta differenziata sul territorio e dalla piattaforma ecologica interna al sito, viene smistato nelle apposite aree dell'impianto di stoccaggio, realizzate per ricevere le frazioni separate dei rifiuti prodotti nella città di Bergamo; una volta raggiunta la quantità necessaria per il carico ottimale, le frazioni differenziate sono destinate agli idonei impianti di recupero.

Il rifiuto urbano residuo non differenziato viene invece avviato all'impianto di produzione del CDR. Qui, mediante un processo di essiccazione biologica, il RUR viene trasformato in prodotto bioessiccato. Dopo un'ulteriore fase di vagliatura e raffinazione, parte di esso viene trasformato in CDR, mentre il rifiuto bioessiccato



non raffinato viene avviato direttamente al recupero mediante termovalorizzazione in altri impianti. Tutto il CDR prodotto viene utilizzato nel Termovalorizzatore di Bergamo che produce energia elettrica e recupera calore dai fumi trasferendolo alla rete di teleriscaldamento.

Sono presenti, inoltre, due caldaie gemelle alimentate a gas naturale che costituiscono la Centrale di Teleriscaldamento, facente parte del sistema di distribuzione di calore cittadino. Le caldaie producono acqua surriscaldata immessa nella rete di teleriscaldamento della Città di Bergamo, in parte già realizzata ed in parte in fase di realizzazione ed estensione.

Il CDR, prodotto in fluff di pezzatura dell'ordine di centimetri, è il combustibile utilizzato dal termovalorizzatore per la produzione di energia elettrica e termica. Una quota di esso è prodotta dall'impianto di bioessiccazione, mentre la restante parte arriva da fornitori esterni, tra i quali vi è Ecoprogetto. Il CDR prodotto all'interno dell'impianto ha caratteristiche pressoché identiche a quelle del prodotto ricevuto dall'esterno. Il termovalorizzatore utilizza anche gas naturale in quantità marginali per il mantenimento dei bruciatori ausiliari, principalmente nelle fasi di accensione/spengimento e in occasione di eventi che impediscano il raggiungimento delle minime temperature di esercizio (850°C).

L'impianto ha una potenza termica complessiva di circa 48 MW per una produzione di energia elettrica di circa 11 MW; può però operare in assetto cogenerativo fornendo sino a 25 MW termici alla rete di teleriscaldamento.

Il termovalorizzatore è costituito dalle seguenti sezioni:

- sistema di alimentazione del rifiuto;
- combustore a letto fluido bollente;
- linea trattamento fumi di combustione;
- sezione di recupero termico con generazione di vapore;
- sezione di produzione di energia elettrica e termica;

Il CDR, alimentato con una portata di circa 200 t/giorno, viene inviato all'interno del combustore a letto fluido, dove avviene la combustione ad una temperatura media di circa 900-950°C. Il forno a letto fluido è costituito da un cilindro verticale contenente un letto di sabbia incandescente tenuto in sospensione da una corrente ascendente di aria, che funge da comburente; alla base del forno è posta una griglia attraverso cui viene insufflata l'aria primaria per fluidificare il letto. La sabbia (materiale inerte) ha una funzione di volano termico e di promotore di fenomeni di scambio termico. Il forno è di tipo a letto fluido bollente, in quanto il letto rimane in sospensione statica sotto le azioni contrastanti del peso e della spinta ascensionale. Nella parte inferiore del combustore è presente un sistema di raccolta per il recupero delle scorie di combustione che vengono separate per gravità all'interno del forno.

I fumi caldi in uscita dal combustore, prima di essere inviati alla linea trattamento fumi, cedono la propria energia termica all'acqua in circolazione nel generatore di vapore. Il vapore generato mette in movimento una turbina accoppiata ad un alternatore, dal quale viene prodotta energia elettrica. La possibilità di derivare

vapore da uno spillamento della turbina permette di alimentare uno scambiatore/condensatore installato su una derivazione della rete di teleriscaldamento e di cedere calore alla rete stessa. Al crescere della domanda di carico termico della rete, lo scambiatore/condensatore può essere alimentato con vapore prelevato direttamente dallo scarico della turbina, il cui funzionamento in tali condizioni diviene di tipo cogenerativo spinto, con una potenza termica massima ottenibile di 25 MW. Durante i periodi estivi, in cui è più ridotto il carico termico richiesto dal teleriscaldamento, la turbina funziona prevalentemente in condizioni di generazione elettrica. In questo assetto il vapore viene condensato mediante l'utilizzo dell'acqua proveniente dalle vasche di decantazione dell'attiguo impianto di depurazione delle acque reflue.

### *3.2.3. I PRESIDI AMBIENTALI*

I meccanismi di formazione degli inquinanti descritti al paragrafo 3.1.3 valgono in generale per qualunque processo di combustione e perciò anche per il processo di incenerimento del solo CDR.

La riduzione degli ossidi di zolfo avviene direttamente all'interno della camera di combustione mediante l'aggiunta di dolomite o calcare in polvere alla sabbia del letto fluido; in questo modo lo zolfo precipita sotto forma di solfato. L'uso della dolomite ha anche la funzione di aumentare la temperatura di rammollimento delle ceneri, limitando così i fenomeni di agglomerazione nel letto.

I fumi prodotti dalla combustione, prima del rilascio in atmosfera, vengono trattati all'interno della linea di depurazione fumi costituita come segue:

- filtro depolveratore a secco, per il trattenimento delle ceneri volanti contenute nei fumi (fly-ashes);
- reattore a secco, per l'abbattimento di composti acidi, metalli e microinquinanti organici;
- filtro reattore a secco, per l'ulteriore trattenimento dei residui polverosi;
- reattore catalitico SCR, per la riduzione degli ossidi di azoto.

I fumi depurati, prima di essere convogliati al camino, vengono inviati ad un ulteriore stadio di recupero di energia destinata alla produzione di acqua calda per il riscaldamento.

Il processo di trattamento avviene interamente a secco. Il filtro depolveratore è costituito da un filtro a maniche ed è adibito alla rimozione delle ceneri volanti contenute nei fumi (fly-ashes). All'uscita del filtro i gas sono inviati al reattore a secco all'interno del quale le componenti inquinanti, quali metalli pesanti e microinquinanti organici, sono abbattute tramite l'iniezione di bicarbonato di sodio e carboni attivi in polvere. Il reagente basico neutralizza le componenti acide (HCl, SO<sub>2</sub>, HF) formando sali sodici (NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaF). Il bicarbonato di sodio messo in contatto con i fumi ad alta temperatura si trasforma rapidamente in carbonato di sodio avente elevata porosità superficiale (stadio di attivazione termica). Ciò

contribuisce alla rimozione dei metalli pesanti in quanto si originano dei meccanismi di adsorbimento sulla superficie del sale.

Il carbone attivo è un materiale altamente poroso ed a elevata area superficiale utilizzato in un ampio range di applicazioni, in particolare per la rimozione delle specie inquinanti dagli effluenti liquidi e gassosi. Esso è preparato a partire da materiale carbonioso di origine naturale, come legno, carbone, torba, o di origine sintetica, come viscosa, poliacrilonitrile, attraverso un processo di pirolisi e successiva attivazione per lo sviluppo della struttura porosa. Si parla di attivazione chimica se il processo è stimolato da un agente attivante, come  $H_3PO_4$ ,  $ZnCl_2$ ,  $KOH$ , mentre in caso di esclusivo trattamento termico a temperature dell'ordine di 800-1000°C l'attivazione è definita fisica. A seconda dei parametri di processo e dell'agente attivante scelto è possibile controllare la formazione e la taglia dei pori come mostrato in figura 9.

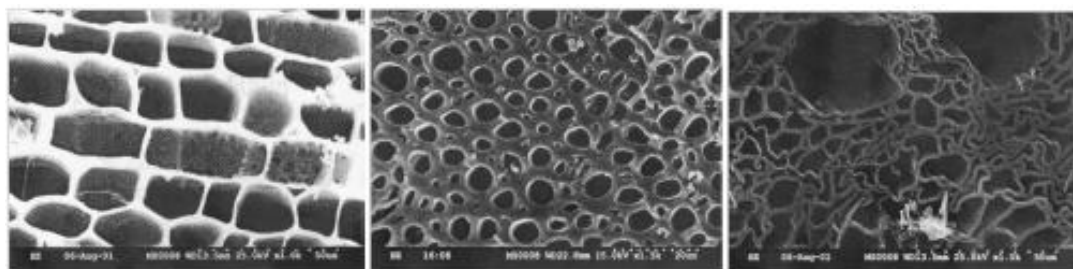


Fig. 9 – Micrografie SEM di carboni attivi

La rimozione dei metalli e degli inquinanti organici avviene mediante processi di adsorbimento. Le particelle in traccia presenti nel flusso di gas diffondono all'interno dei pori del carbone attivo e vengono adsorbite sulla superficie del solido.

I prodotti sodici residui e i carboni attivi in polvere contenenti gli inquinanti vengono trattenuti dal filtro reattore a secco (filtro a maniche) posto a valle del reattore. Infine, i fumi vengono convogliati al reattore SCR (Selective Catalytic Reduction), di tipo catalitico selettivo, al cui interno avviene la reazione tra gli ossidi di azoto presenti nei fumi e l'ammoniaca iniettata attraverso una apposita griglia posta a monte dello stesso. Il principio di funzionamento è lo stesso descritto per l'impianto DeNO<sub>x</sub> della centrale di Fusina al paragrafo 3.1.3. Il catalizzatore, di tipo a pellets e costituito prevalentemente da  $V_2O_5$  e  $WO_3$ , lavora ad una temperatura ottimale attorno ai 165°C.

#### 3.2.4. VALORI LIMITE ALLE EMISSIONI E SISTEMI DI MONITORAGGIO

Il termovalorizzatore è autorizzato con AIA Regionale al recupero di rifiuti speciali non pericolosi (CDR/CSS) per un quantitativo complessivo annuo di 75.000 tonnellate. Le emissioni derivanti dal processo di combustione devono rispettare i limiti riportati in tabella 7, secondo quanto disposto dall'AIA e dal D.Lgs 133/2005, il quale definisce anche i periodi di campionamento delle misure puntuali.

Tab. 7 - Limiti prescritti per gli inquinanti nelle emissioni in aria e relative frequenze di misura.

<b>ANALITA</b>	<b>CONCENTRAZIONE LIMITE (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	<b>FREQUENZA DI MISURA</b>	<b>PERIODO DI MEDIAZIONE</b>
SO <sub>2</sub>	50	In continuo	Media giornaliera
NO <sub>x</sub>	80	In continuo	Media giornaliera
Polveri	10	In continuo	Media giornaliera
CO	50	In continuo	Media giornaliera
Carbonio Organico Totale (COT)	10	In continuo	Media giornaliera
HCl	10	In continuo	Media giornaliera
HF	1	In continuo	Media giornaliera
NH <sub>3</sub>	10	In continuo	Media giornaliera
Hg	0,05	Quadrimestrale	Misura puntuale
Diossine-Furani (PCDD-PCDF)	0,1 (TEQ ng/Nm <sup>3</sup> )	Quadrimestrale	Misura puntuale
Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)	0,01	Quadrimestrale	Misura puntuale
Cd +Tl	0,05	Quadrimestrale	Misura puntuale
Sb + As + Pb + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + V	0,5	Quadrimestrale	Misura puntuale

I valori limite indicati in tabella 7 sono espressi in mg/Nm<sup>3</sup> (ad eccezione di diossine e furani espressi in TEQ ng/Nm<sup>3</sup>) nei gas secchi al 11% di O<sub>2</sub>.

Il termovalorizzatore è dotato di un sistema per il monitoraggio in continuo delle emissioni (SME). Il prelievo dei campioni di fumo da analizzare è realizzato in condizioni isocinetiche, mantenendo il fluido alla temperatura costante di 180°C. La tabella 8 illustra gli analizzatori del sistema SME utilizzati per il monitoraggio in continuo degli inquinanti.

Tab. 8 – Analizzatori presenti nel sistema di monitoraggio in continuo

<b>ANALIZZATORE</b>	<b>ANALITA MONITORATO</b>
FT - IR	SO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , HCl, HF, NH <sub>3</sub>
FID	COT
Fotometro	Polveri

Inoltre, come riportato al paragrafo 3.1.4, allo scopo di evitare la formazione di diossine e furani, l'impianto deve rispettare le condizioni di esercizio prescritte dal D.Lgs 133/2005; in particolare i gas di combustione devono essere portati ad una temperatura di almeno 850 °C per almeno due secondi.

#### **4. MATERIALI E METODI**

Nel presente capitolo si riporta una serie di dati di produzione e di dati ambientali considerati di maggior rilievo per i due impianti presi in esame, sulla base dei quali verranno successivamente effettuate una serie di valutazioni sia qualitative che quantitative.

Relativamente alla centrale di Fusina i dati presentati riguardano due differenti situazioni di esercizio delle sezioni 3 e 4: la combustione a solo carbone (dati di esercizio 2000-2002 ove disponibili) e la co-combustione carbone-CDR (dati di esercizio 2009-2012).

Per quanto concerne il termovalorizzatore di Bergamo vengono riportati i dati riguardanti l'esercizio 2007-2011.

##### **4.1. IDENTIFICAZIONE DEGLI ASPETTI E DEI RELATIVI IMPATTI AMBIENTALI**

Con riferimento a quanto previsto dalla norma UNI EN ISO 14001 relativa ai sistemi di gestione ambientale e dal Regolamento 1221/2009, conosciuto con l'acronimo EMAS (Eco-Management and Audit Scheme), gli aspetti ambientali sono gli elementi del processo produttivo e delle attività svolte nel sito che interagiscono con l'ambiente. Da questa interazione scaturiscono degli impatti ambientali, definiti dalla norma come una qualunque modificazione dell'ambiente sia negativa che benefica causata dagli aspetti stessi.

Nel presente studio sono stati esaminati, per entrambi gli impianti e per le diverse situazioni di esercizio, i seguenti aspetti ambientali considerati maggiormente significativi:

- efficienza energetica;
- consumo combustibili;
- emissioni in atmosfera;
- emissioni in acqua (acque reflue);
- rifiuti.

Gli aspetti scelti sono tra quelli indicati dal Regolamento EMAS come indicatori chiave di prestazione ambientale.

##### **4.1.1. EFFICIENZA ENERGETICA**

L'energia elettrica che viene immessa nella rete di trasporto (energia netta) non è tutta l'energia prodotta dall'impianto termoelettrico/termovalorizzatore (energia lorda), perché una parte di essa viene assorbita per il funzionamento degli impianti di abbattimento e dei macchinari ausiliari (motori elettrici per il funzionamento di pompe, ventilatori, ecc.).

Per quanto riguarda le sezioni 3 e 4 della centrale di Fusina, di seguito sono riportati i dati di produzione di energia e di funzionamento relativi al periodo 2000-2002 (tabella 9) e al periodo 2009-2012 (tabella10).

Tab. 9 - Dati di produzione di energia e di funzionamento relativi all'esercizio 2000-2002 a solo carbone delle sezioni 3 e 4 della centrale di Fusina

Parametro	Unità di misura	Dati produzione					
		2000		2001		2002	
		FS3	FS4	FS3	FS4	FS3	FS4
En. Elettrica lorda	GWh	1.781	1.970	2.023	2.122	1.750	2.164
En. Elettrica netta	GWh	1.574	1.754	1.793	1.895	1.549	1.931
Volume fumi	GNm <sup>3</sup>	5,72	6,32	6,51	6,84	5,95	7,37

Tab. 10 - Dati di produzione di energia e di funzionamento relativi all'esercizio 2009-2012 a carbone-CDR delle sezioni 3 e 4 della centrale di Fusina

Parametro	Unità di misura	Dati produzione							
		2009		2010		2011		2012	
		FS3	FS4	FS3	FS4	FS3	FS4	FS3	FS4
En. Elettrica lorda	GWh	1.952	1.766	1.172	1.494	1.590	1.222	1.938	1.869
En. Elettrica netta	GWh	1.717	1.557	1.015	1.301	1.386	1.057	1.703	1.626
Volume fumi	GNm <sup>3</sup>	6,76	6,17	4,13	5,31	5,41	4,19	6,35	6,17

I gruppi 3 e 4 hanno un rendimento elettrico medio lordo all'incirca del 41%, mentre il rendimento medio netto si attesta al 36% (dati di riferimento 2011).

La tabella 11 e la figura 10 mostrano il contributo della quota di CDR alla produzione di energia elettrica complessiva delle sezioni 3 e 4.

Tab. 11 – Produzione di energia da CDR nelle sezioni 3 e 4 della centrale di Fusina

Parametro	Unità di misura	Dati produzione			
		2009	2010	2011	2012
En. Elettrica lorda FS3 e FS4	GWh	3.718	2.666	2.812	3.807
En. Lorda da CDR	GWh	104	86	110	115
En. lorda da CDR/En. Lorda FS3 e FS4	%	2,8	3,2	3,9	3,0

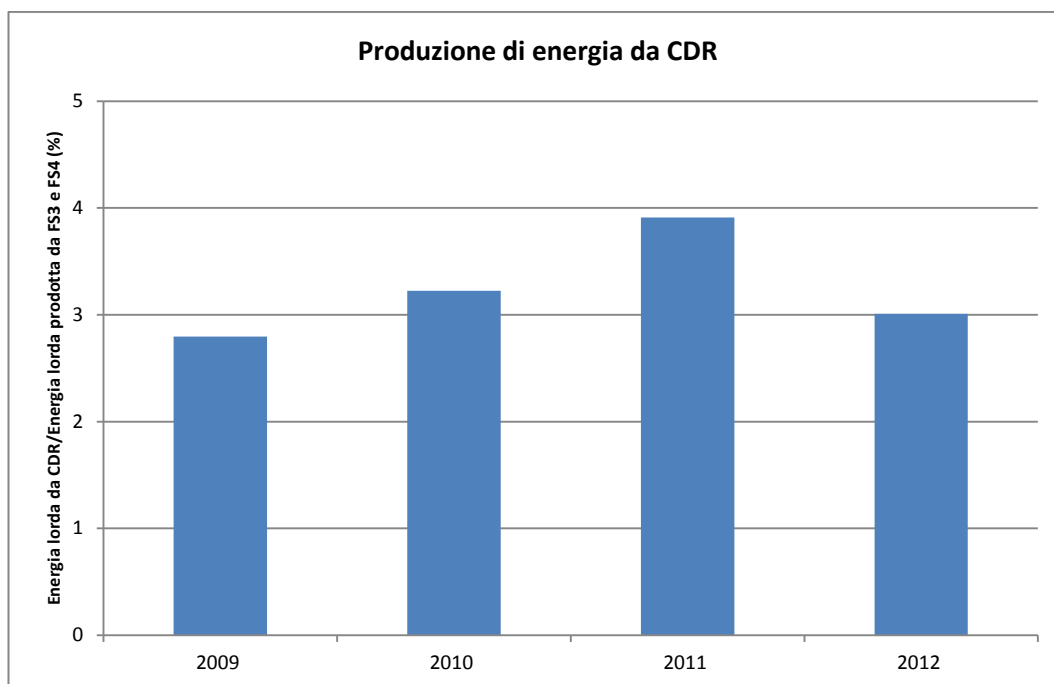


Fig. 10 - Produzione di energia da CDR in relazione alla produzione complessiva di energia delle sezioni 3 e 4 della centrale di Fusina

Relativamente al termovalorizzatore di Bergamo, in tabella 12 sono riportati i dati di produzione di energia relativi al periodo 2007-2011.

Tab. 12 - Dati di produzione di energia relativi all'esercizio 2007-2011 del termovalorizzatore di Bergamo

Parametro	Unità di misura	Dati produzione				
		2007	2008	2009	2010	2011
En. Elettrica lorda	GWh	76	68	68	69	76
En. Elettrica netta	GWh	70	63	62	64	70
En. Termica	GWh	-	2,5	3,3	3,2	5,7

Con riferimento al termovalorizzatore, il dato relativo al volume fumi annuale è stato determinato come valore medio a partire dalle emissioni massiche annue e dalle concentrazioni medie annue dei parametri NO<sub>x</sub>, Polveri e HCl. I valori così calcolati sono riportati in tabella 13.

Tab. 13 – Volume fumi medio annuale calcolato. Dati relativi all'esercizio 2007-2011 del termovalorizzatore di Bergamo

Parametro	Volume fumi (GNm <sup>3</sup> )				
	2007	2008	2009	2010	2011
NO <sub>x</sub>	0,63	0,55	0,64	0,57	0,59
Polveri	0,63	0,60	0,58	0,55	0,62
HCl	0,62	0,55	0,63	0,57	0,58
Media	0,63	0,57	0,62	0,56	0,60

Il rendimento elettrico del termovalorizzatore è stato determinato sulla base della seguente relazione:

$$\text{Rendimento elettrico lordo} = \frac{\text{Energia elettrica lorda (output)}}{\text{Energia termica (input)}}$$

Dove l'energia termica (input) generata dalla combustione è calcolata come segue:

$$\text{Energia termica (input)} = \text{PCI}_{\text{Combustibile}} * \text{massa}_{\text{Combustibile}}$$

La tabella 14 rappresenta il bilancio energetico del termovalorizzatore relativo ai dati di produzione 2011.

Tab. 14 – Bilancio energetico del termovalorizzatore di Bergamo (dati di riferimento 2011)

Dati energetici 2011		Unità di misura
Potenza nominale termica	48	MW
Potenza nominale elettrica	11,5	MW
En. Elettrica lorda	76	GWh
En. Elettrica netta	70	GWh
Ausiliari (autoconsumi)	8	%
En. Termica	5,7	GWh
En. Elettrica equivalente	1,4	GWh
Consumo CDR	59.377	t
PCI CDR	18.000	kJ/kg
Consumo gas naturale	1.210	kSm <sup>3</sup>
PCI gas naturale	35,03	GJ/kSm <sup>3</sup>
En. Termica (input)	1.111	TJ
En. Elettrica lorda tot. (output)	279	TJ
Rendimento lordo	25	%
Ausiliari tot.	18	%
Rendimento netto	21	%

Il rendimento lordo è stato calcolato con il metodo delle approssimazioni successive, tenendo conto che il termovalorizzatore produce prevalentemente energia elettrica (output) ma anche una piccola quota di energia termica. Nella prima fase del calcolo è stato considerato il solo dato relativo all'energia elettrica lorda prodotta; il valore



approssimato del rendimento così determinato ha consentito di trasformare l'energia termica prodotta in "energia elettrica equivalente" che è stata sommata, nella seconda fase, all'energia elettrica lorda totale prodotta (output). Per il PCI del gas naturale, combustibile impiegato nelle fasi di avvio e spegnimento, è stato utilizzato il valore di riferimento indicato dalla Direttiva "Emissions Trading" mentre per il PCI del CDR ci si è riferiti al dato medio indicato nel paragrafo 2.1. Il dato relativo agli ausiliari totali rappresenta l'impiego di energia elettrica, in parte autoprodotta e in parte proveniente dalla rete, per il funzionamento delle macchine elettriche (pompe, ventilatori, ecc). Il metodo di calcolo utilizzato fornisce al terzo step un rendimento elettrico lordo del 25%, mentre il rendimento netto risulta pari al 21%.

#### 4.1.2. CONSUMO COMBUSTIBILI

Nel presente paragrafo si riportano i consumi dei principali combustibili utilizzati per la produzione di energia elettrica presso la centrale di Fusina e il termovalorizzatore di Bergamo, trascurando gli apporti di gas naturale in quanto questo combustibile viene impiegato in entrambi i siti solamente nelle fasi di avviamento e spegnimento. Le tabelle 15 e 16 mostrano le quantità di carbone e CDR impiegate nelle sezioni 3 e 4 della centrale di Fusina negli anni 2000-2002 (solo carbone) e 2009-2012.

Tab. 15 – Consumo di carbone relativo al periodo 2000-2002 delle sezioni 3 e 4 della centrale di Fusina

Tipologia	Unità di misura	Consumo combustibili					
		2000		2001		2002	
		FS3	FS4	FS3	FS4	FS3	FS4
Carbone	t	617.025	682.394	702.416	739.149	631.905	783.215
Carbone/En. Elettrica lorda FS3 eFS4	t/GWh	346	346	347	348	361	362

Tab. 16 - Consumo di carbone e CDR relativo al periodo 2009-2012 delle sezioni 3 e 4 della centrale di Fusina

Tipologia	Unità di misura	Consumo combustibili							
		2009		2010		2011		2012	
		FS3	FS4	FS3	FS4	FS3	FS4	FS3	FS4
Carbone	t	703.681	633.606	421.944	538.103	542.351	416.635	642.279	622.035
CDR	t	24.585	30.650	17.815	28.321	31.299	24.807	27.898	30.500
CDR/tot. Combustibile	%	3,4	4,6	4,1	5,0	5,5	5,6	4,2	4,7

Al fine di fornire un quadro completo circa le caratteristiche qualitative dei combustibili impiegati nell'impianto termoelettrico, in tabella 17 vengono riportati i principali parametri chimico fisici del carbone, determinati sulla base delle analisi effettuate nel corso del 2009, anno caratterizzato da un numero particolarmente elevato di arrivi di navi carboniere (per le caratteristiche del CDR si faccia riferimento al paragrafo 2.1).

Tab. 17 - Caratteristiche del carbone fornito alla centrale di Fusina nel 2009. Per i parametri Umidità, PCI, Ceneri, S: valori medi determinati sulla base di 151 analisi su tutti i lotti ricevuti. Per i restanti parametri valori medi determinati a partire da 17 analisi effettuate sui campioni "lotto composito" delle navi madri. Intervallo di confidenza al 95%, test a due code (\* valori inferiori al limite di quantificazione)

<b>PARAMETRO</b>	<b>MEDIA</b>	<b>UNITÀ DI MISURA</b>
Umidità	10,1 ± 0,5	% t.q.
PCI	(248 ± 1)10 <sup>2</sup>	kJ/kg t.q.
Ceneri	12,1 ± 0,6	% s.s.
S	0,54 ± 0,02	% t.q.
Cl	(7 ± 2)10 <sup>1</sup>	mg/kg t.q.
F	(12 ± 4)10 <sup>1</sup>	mg/kg t.q.
Be	1,3 ± 0,4	mg/kg s.s.
Pb	7 ± 2	mg/kg s.s.
Cr	28 ± 9	mg/kg s.s.
V	22 ± 5	mg/kg s.s.
Mn	35 ± 9	mg/kg s.s.
Zn	9 ± 1	mg/kg s.s.
As	2,5 ± 0,6	mg/kg s.s.
Ni	12 ± 2	mg/kg s.s.
Cd	< 0.50 *	mg/kg s.s.
Hg	< 0.10 *	mg/kg s.s.
Sb	< 2.0 *	mg/kg s.s.
Se	< 1.0 *	mg/kg s.s.

La tabella 18 riassume i consumi complessivi dei combustibili utilizzati nelle sezioni 3 e 4.

Tab. 18 – Consumi complessivi di carbone e CDR utilizzati nelle sezioni 3 e 4 della centrale di Fusina

<b>Anno</b>	<b>Combustibile (t)</b>	
	<b>Carbone</b>	<b>CDR</b>
2000	1.299.418	-
2001	1.441.565	-
2002	1.415.120	-
2009	1.337.288	55.235
2010	960.047	46.136
2011	958.986	56.106
2012	1.264.314	58.398

I dati relativi al consumo di CDR presso il termovalorizzatore di Bergamo sono riportati in tabella 19.

Tab. 19 – Consumo di CDR relativo al periodo 2007-2011 del termovalorizzatore di Bergamo

Combustibili	Unità di misura	Consumo CDR				
		2007	2008	2009	2010	2011
CDR da produzione locale	t	12.726	12.394	12.547	12.110	13.832
CDR da altri impianti	t	46.524	42.983	40.579	43.701	45.545
CDR totale	t	59.250	55.377	53.126	55.811	59.377
CDR tot./En. Elettrica lorda	t/GWh	780	814	781	809	781

#### 4.1.3. EMISSIONI IN ATMOSFERA

I processi di combustione, che sono alla base della produzione di energia elettrica, generano inevitabilmente emissioni in atmosfera. Nel seguito i dati di emissione in aria vengono presentati suddividendo gli inquinanti in due categorie: i macro inquinanti, che comprendono: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Polveri e CO, ed i micro inquinanti, che includono: HCl, HF, Carbonio Organico Totale (COT), NH<sub>3</sub>, diossine e furani (PCDD-PCDF), Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) e metalli.

##### Macro inquinanti

Le tabelle 20 e 21 riportano i dati di concentrazione media annuale e di emissione specifica massica relativi all'esercizio 2000-2002 dei gruppi 3 e 4 della centrale di Fusina.

Tab. 20 – Emissioni in aria: dati di concentrazione media annuale dei macro inquinanti relativi all'esercizio 2000-2002 a solo carbone delle sezioni 3 e 4 della centrale di Fusina

Parametro	Concentrazione media annuale (mg/Nm <sup>3</sup> )					
	2000		2001		2002	
	FS3	FS4	FS3	FS4	FS3	FS4
SO <sub>2</sub>	362	369	326	320	316	300
NO <sub>x</sub>	193	191	194	193	189	189
Polveri	7,7	2,9	12,1	2,5	8,7	4,7
CO	14	9	21	12	23	15

Tab. 21 - Emissioni in aria: dati di emissione specifica massica dei macro inquinanti relativi all'esercizio 2000-2002 a solo carbone delle sezioni 3 e 4 della centrale di Fusina

Parametro	Emissioni specifiche (g/kWh)					
	2000		2001		2002	
	FS3	FS4	FS3	FS4	FS3	FS4
SO <sub>2</sub>	1,16	1,18	1,05	1,03	1,07	1,02
NOx	0,62	0,61	0,63	0,62	0,64	0,64
Polveri	0,025	0,009	0,039	0,008	0,030	0,016
CO	0,046	0,029	0,069	0,038	0,080	0,050

Relativamente all'esercizio 2009-2012 delle sezioni 3 e 4, i dati di concentrazione media annuale e di emissione specifica massica sono mostrati nelle tabelle 22 e 23.

Tab. 22 - Emissioni in aria: dati di concentrazione media annuale dei macro inquinanti relativi all'esercizio 2009-2012 a carbone-CDR delle sezioni 3 e 4 della centrale di Fusina

Parametro	Concentrazione media annuale (mg/Nm <sup>3</sup> )							
	2009		2010		2011		2012	
	FS3	FS4	FS3	FS4	FS3	FS4	FS3	FS4
SO <sub>2</sub>	118	117	115	111	119	115	128	126
NOx	149	138	138	135	131	135	131	136
Polveri	5,8	4,7	4,2	3,1	2,9	2,1	1,8	0,7
CO	9	13	9	14	8	10	10	13

Tab. 23 - Emissioni in aria: dati di emissione specifica massica dei macro inquinanti relativi all'esercizio 2009-2012 a carbone-CDR delle sezioni 3 e 4 della centrale di Fusina

Parametro	Emissioni specifiche (g/kWh)							
	2009		2010		2011		2012	
	FS3	FS4	FS3	FS4	FS3	FS4	FS3	FS4
SO <sub>2</sub>	0,41	0,41	0,41	0,40	0,40	0,39	0,42	0,41
NOx	0,52	0,48	0,49	0,48	0,45	0,46	0,43	0,45
Polveri	0,020	0,017	0,015	0,011	0,010	0,007	0,006	0,002
CO	0,033	0,045	0,032	0,050	0,028	0,034	0,034	0,042

Per quanto concerne l'attività di combustione del solo CDR presso il termovalorizzatore di Bergamo, nelle tabelle 24 e 25 sono presentati i dati di concentrazione media annuale e di emissione specifica massica relativi al periodo di funzionamento 2007-2011.

Tab. 24 - Emissioni in aria: dati di concentrazione media annuale dei macro inquinanti relativi all'esercizio 2007-2011 del termovalorizzatore di Bergamo

Parametro	Concentrazione media annuale (mg/Nm <sup>3</sup> )				
	2007	2008	2009	2010	2011
SO <sub>2</sub>	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
NO <sub>x</sub>	50	53	52	54	54
Polveri	0,8	0,5	1,2	1,1	0,6
CO	14,5	5,5	8,8	8,3	5,0

Tab. 25 - Emissioni in aria: dati di emissione specifica massica dei macro inquinanti relativi all'esercizio 2007-2011 del termovalorizzatore di Bergamo

Parametro	Emissioni specifiche (g/kWh)				
	2007	2008	2009	2010	2011
SO <sub>2</sub>	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
NO <sub>x</sub>	0,45	0,46	0,53	0,49	0,45
Polveri	0,007	0,004	0,011	0,009	0,005
CO	0,13	0,05	0,09	0,07	0,04

L'emissione specifica del CO, non presente tra i dati messi a disposizione dall'impianto di Bergamo, è stata determinata a partire dalla concentrazione media annuale e dal volume fumi annuale.

### Micro inquinanti

Per quanto riguarda il periodo di funzionamento 2000-2002 delle sezioni 3 e 4 della centrale di Fusina, non sono disponibili dati medi annuali dei micro inquinanti, in quanto in quegli anni la legge non prevedeva controlli periodici a camino ma campagne di misura da hoc in occasione di eventi particolari, come ad esempio la messa in servizio dei presidi ambientali. Allo scopo di poter comunque valutare, nel capitolo successivo, i differenti assetti di esercizio (combustione a solo carbone e co-combustione carbone-CDR), vengono presentati i risultati ottenuti sul gruppo 4 in occasione della messa in servizio dell'impianto DeSO<sub>x</sub> nel 1998 e i dati ARPAV della prima campagna di "bianco" (regime a solo carbone) effettuata sul gruppo 4 nella fase di sperimentazione del CDR nel 2003. I dati sopra citati sono riportati in tabella 26 insieme ai dati di concentrazione media annuale relativi all'esercizio 2009-2012 della sezione 4 (assetto di co-combustione carbone-CDR).

Tab. 26 - Emissioni in aria: dati di concentrazione dei micro inquinanti relativi alla sezione 4 della centrale di Fusina (dati di esercizio 2009-2012 a carbone-CDR; campagna di misura per la messa in servizio dell'impianto DeSOx nel 1998 – due prove di misura in esercizio a solo carbone; prima campagna di bianco – a solo carbone effettuata da ARPAV durante la fase di sperimentazione del CDR nel 2003)

Parametro	Unità di misura	Concentrazione micro inquinanti FS4					
		Messa in servizio DeSOx 1998	2003 BIANCO ARPAV	2009	2010	2011	2012
NH <sub>3</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	0,13	< 0,004	0,29	0,10	0,05	0,63
HCl	mg/Nm <sup>3</sup>	1,3	1,3	1,14	2,15	1,64	1,90
HF	mg/Nm <sup>3</sup>	3,7	4,3	2,3	4,4	3,3	2,7
IPA	ng/Nm <sup>3</sup>	23	23,2	8,3	5,0	21,3	50,8
COT	mg/Nm <sup>3</sup>	0,006	< 0,1	0,39	0,56	0,56	0,68
As	mg/Nm <sup>3</sup>	0,004	0,002	0,001	0,0002	0,001	0,0005
Cd	mg/Nm <sup>3</sup>	0,0006	< 0,001	0,0002	0,0001	0,0002	0,0002
Cr	mg/Nm <sup>3</sup>	0,017	0,005	0,006	0,014	0,016	0,014
Cu	mg/Nm <sup>3</sup>	0,008	0,005	0,005	0,002	0,003	0,004
Ni	mg/Nm <sup>3</sup>	0,025	0,008	0,004	0,012	0,026	0,017
Pb	mg/Nm <sup>3</sup>	0,025	0,004	0,008	0,002	0,005	0,003
Co	mg/Nm <sup>3</sup>	0,001	0,002	0,001	0,0003	0,0008	0,001
Mn	mg/Nm <sup>3</sup>	0,006	0,027	0,046	0,074	0,010	0,009
Sb	mg/Nm <sup>3</sup>	0,0003	0,002	0,001	0,0003	0,001	0,001
Tl	mg/Nm <sup>3</sup>	0,0001	< 0,002	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001
V	mg/Nm <sup>3</sup>	0,007	0,006	0,006	0,005	0,010	0,002
Hg	mg/Nm <sup>3</sup>	0,007	0,0006	0,001	0,001	0,002	0,001
Cd+Tl	mg/Nm <sup>3</sup>	-	-	0,0003	0,0001	0,0001	0,0003
Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V	mg/Nm <sup>3</sup>	-	-	0,08	0,11	0,11	0,05
PCDD+PCDF	TEQ ng/Nm <sup>3</sup>	< 1,2	0,00018	0,0003	0,0002	0,00015	0,00006

I valori preceduti dal simbolo “<” sono da intendersi inferiori al limite di rivelabilità. Nel calcolo dei valori medi, laddove siano presenti valori di concentrazione inferiori ai limiti di rivelabilità, questi concorrono alla media in misura della metà del limite di rivelabilità. Tale metodologia, approvata da ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), fa riferimento a quanto indicato nel rapporto ISTISAN 04/15 e viene utilizzata anche dal Laboratorio di Prova che effettua le misure nella determinazione della concentrazione data dalla somma di più composti. La tabella 27 mostra i dati di emissione specifica massica del gruppo 4 relativi al periodo di funzionamento 2009-2012 (dati di esercizio 2000-2002 non disponibili).

Tab. 27 - Emissioni in aria: dati di emissione specifica massica dei micro inquinanti relativi all'esercizio 2009-2012 a carbone-CDR della sezione 4 della centrale di Fusina

Parametro	Emissioni specifiche annuali (g/kWh)			
	2009	2010	2011	2012
NH <sub>3</sub>	0,0010	0,0004	0,0002	0,0021
HCl	0,003	0,009	0,005	0,006
HF	0,008	0,018	0,010	0,009
IPA	2,9*10 <sup>-8</sup>	2,1*10 <sup>-8</sup>	6,8*10 <sup>-8</sup>	1,7*10 <sup>-7</sup>
COT	0,0014	0,0023	0,0016	0,0022
Hg	1,8*10 <sup>-6</sup>	4,3*10 <sup>-6</sup>	6,1*10 <sup>-6</sup>	3,8*10 <sup>-6</sup>
Cd+Tl	1,2*10 <sup>-6</sup>	5,1*10 <sup>-7</sup>	1,0*10 <sup>-6</sup>	8,5*10 <sup>-7</sup>
Sb+As+Cr+Pb+ Co+Cu+Mn+Ni+V	0,0003	0,0005	0,0002	0,0002
Diossine e Furani (PCDD+PCDF)	1,2*10 <sup>-12</sup>	8,4*10 <sup>-13</sup>	6,3*10 <sup>-12</sup>	1,5*10 <sup>-11</sup>

Relativamente al termovalorizzatore di Bergamo, nelle tabelle 28 e 29 vengono presentati i dati di concentrazione media annuale e di emissione specifica massica riguardanti il periodo di funzionamento 2007-2011.

L'emissione specifica dei micro inquinanti, ad eccezione del parametro HCl fornito dall'impianto di Bergamo, è stata determinata a partire dalla concentrazione media annuale e dal volume fumi annuale. I dati di concentrazione che in tabella 28 sono preceduti dal simbolo "<" sono stati considerati nei calcoli in misura della metà del valore stesso.

Tab. 28 - Emissioni in aria: dati di concentrazione media annuale dei micro inquinanti relativi all'esercizio 2007-2011 del termovalorizzatore di Bergamo

Parametro	Unità di misura	Concentrazione media annuale				
		2007	2008	2009	2010	2011
NH <sub>3</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	-	1,13	0,88	0,71	0,40
HCl	mg/Nm <sup>3</sup>	4,5	3,7	3,5	3,7	3,6
HF	mg/Nm <sup>3</sup>	0,003	0,1	0,01	0,01	0,06
IPA	ng/Nm <sup>3</sup>	< 30	6,9	< 38	20	21
COT	mg/Nm <sup>3</sup>	0,6	0,5	0,7	0,6	0,2
Hg	mg/Nm <sup>3</sup>	0,027	0,005	< 0,0017	0,005	0,016
Cd+Tl	mg/Nm <sup>3</sup>	0,002	< 0,001	< 0,0008	0,001	0,001
Sb+As+Pb+Cr+ Co+Cu+Mn+Ni+V	mg/Nm <sup>3</sup>	0,018	0,029	< 0,017	0,015	0,009
PCDD+PCDF	TEQ ng/Nm <sup>3</sup>	0,005	0,002	0,008	0,003	0,002

Tab. 29 - Emissioni in aria: dati di emissione specifica massica dei micro inquinanti relativi all'esercizio 2007-2011 del termovalorizzatore di Bergamo

Parametro	Emissioni specifiche (g/kWh)				
	2007	2008	2009	2010	2011
NH <sub>3</sub>	-	0,0094	0,0080	0,0058	0,0031
HCl	0,040	0,032	0,035	0,033	0,030
HF	2,5*10 <sup>-5</sup>	8,3*10 <sup>-4</sup>	9,1*10 <sup>-5</sup>	8,1*10 <sup>-5</sup>	4,7*10 <sup>-4</sup>
IPA	1,2*10 <sup>-7</sup>	5,7*10 <sup>-8</sup>	1,7*10 <sup>-7</sup>	1,6*10 <sup>-7</sup>	1,6*10 <sup>-7</sup>
COT	0,005	0,004	0,006	0,005	0,002
Hg	2,2*10 <sup>-4</sup>	4,2*10 <sup>-5</sup>	7,7*10 <sup>-6</sup>	4,1*10 <sup>-5</sup>	1,3*10 <sup>-4</sup>
Cd+Tl	1,6*10 <sup>-5</sup>	4,2*10 <sup>-6</sup>	3,6*10 <sup>-6</sup>	8,1*10 <sup>-6</sup>	7,8*10 <sup>-6</sup>
Sb+As+Pb+Cr+ Co+Cu+Mn+Ni+V	0,0001	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001
PCDD+PCDF	4,1*10 <sup>-11</sup>	1,7*10 <sup>-11</sup>	7,3*10 <sup>-11</sup>	2,4*10 <sup>-11</sup>	1,6*10 <sup>-11</sup>

#### 4.1.4. EMISSIONI IN ACQUA (ACQUE REFLUE)

In entrambi gli impianti analizzati, la centrale termoelettrica e il termovalorizzatore, i fumi prodotti dalla combustione vengono convogliati in appositi impianti di depurazione. Generalmente questi impianti di trattamento fumi originano acque reflue, le quali devono rispettare i valori limite di emissione allo scarico così come previsto dal D.Lgs 133/2005. Questo non è il caso del termovalorizzatore di Bergamo in quanto l'impianto è dotato di una linea di depurazione degli effluenti gassosi che lavora interamente a secco.

La centrale di Fusina, invece, sfrutta un processo ad umido calcare/gesso per l'abbattimento degli ossidi di zolfo, dal quale si originano degli spurghi da desolforazione che sono convogliati in un impianto dedicato (Impianto Trattamento Spurghi della Desolforazione - ITSD). L'acqua trattata in uscita dall'impianto TSD è principalmente recuperata nell'impianto di desolforazione per il lavaggio dei fumi e in parte scaricata al collettore fognario di Veritas, gestore del servizio pubblico di depurazione delle acque. All'impianto TSD vengono convogliati non solo i reflui provenienti dai DeSOx (impianto desolforazione) delle sezioni 3 e 4 ma anche quelli generati dai DeSOx delle sezioni 1 e 2, oltre alle acque meteoriche di prima pioggia di drenaggio del parco carbone potenzialmente inquinabili da metalli pesanti. Di conseguenza, i valori di concentrazione degli inquinanti allo scarico dell'impianto TSD, denominato SI2, sono imputabili a più sorgenti e non direttamente legati al processo di co-incenerimento carbone-CDR. Dall'esame del bilancio idrico della centrale si stima che l'apporto d'acqua derivante dai DeSOx delle sezioni 3 e 4 è indicativamente pari al 60% del totale refluo trattato all'impianto TSD.

Al fine di valutare l'incidenza del processo di co-combustione carbone-CDR, non essendo disponibili dati di emissione degli inquinanti allo scarico TSD per il periodo di funzionamento 2000-2002, la tabella 30 fornisce i valori di concentrazione degli



inquinanti allo scarico TSD relativi all'esercizio 2007-2012 della centrale di Fusina. Durante tale periodo il consumo annuo autorizzato di CDR ha subito un raddoppio, passando da 35.000 tonnellate/anno nel periodo 2007-2008 a 70.000 tonnellate/anno negli anni 2009-2012, quantitativo tuttora autorizzato.

Tab. 30 – Concentrazione media annuale degli inquinanti allo scarico SI2 (TSD) relativi all'esercizio 2007-2012 della centrale di Fusina (i valori preceduti dal simbolo "<" sono da intendersi inferiori al limite di rivelabilità)

Parametro	Unità di misura	Concentrazione media annuale scarico SI2 (TSD)						Valori limite D. Lgs. 133/05
		2007 (4 analisi)	2008 (4 analisi)	2009 (4 analisi)	2010 (4 analisi)	2011 (2 analisi)	2012 (2 analisi)	
Solidi sospesi totali	mg/l	11	< 10	18	2	< 1	3	45
Hg	mg/l	< 0,0001	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0002	0,03
Cd	mg/l	< 0,0005	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,05
Tl	mg/l	-	-	-	< 0,02	< 0,001	< 0,1	0,05
As	mg/l	0,005	< 0,005	< 0,005	0,002	< 0,01	0,001	0,15
Pb	mg/l	< 0,0005	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,001	< 0,001	0,2
Cr	mg/l	< 0,005	0,003	0,006	< 0,01	0,002	0,002	0,5
Cu	mg/l	0,005	0,01	0,01	0,01	0,004	0,004	0,5
Ni	mg/l	0,012	0,02	0,05	0,02	0,001	0,002	0,5
Zn	mg/l	0,04	< 0,05	< 0,05	0,06	0,018	0,038	1,5
PCDD-PCDF	TEQ pg/l	-	-	-	0,4	0,5	0,1	3*10 <sup>8</sup>
IPA	µg/l	-	-	-	0,1	< 0,1	< 0,1	0,2

#### 4.1.5. RIFIUTI

Durante il processo di combustione e il ciclo di depurazione dei fumi vengono prodotte diverse tipologie di rifiuti, i quali sono classificati sulla base delle loro caratteristiche chimico-fisiche come non pericolosi o pericolosi, secondo quanto previsto dalla normativa vigente.

Per quanto concerne la centrale di Fusina, dall'attività di produzione di energia si originano principalmente tre tipologie di sottoprodotti: le ceneri leggere, catturate dai precipitatori elettrostatici, i fanghi, prodotti dal trattamento delle acque reflue, e i gessi, prodotti dall'impianto di desolfurazione. La tabella 31 riporta i quantitativi annuali e la produzione specifica di questi rifiuti di processo non pericolosi relativamente all'esercizio 2009-2012 (dati riguardanti l'esercizio 2000-2002 non disponibili).

Tabella 31 – Quantitativi massici annuali e produzione specifica dei rifiuti non pericolosi da processo relativamente all'esercizio 2009-2012 della centrale di Fusina

Tipologia	Unità di misura	Produzione rifiuti non pericolosi - sottoprodotti			
		2009	2010	2011	2012
Ceneri leggere da coincen. (CER 100117)	t	171.951	139.704	140.005	155.253
Ceneri/En. Lorda FS3 e FS4	t/GWh	46	52	50	41
Gesso (CER 100105)	t	49.801	33.009	32.692	60.057
Gesso da FS3 e FS4	t	36.867	28.942	26.631	44.896
Gesso da FS3 e FS4/En. Lorda FS3 e FS4	t/GWh	9,9	10,9	9,5	11,8
Fanghi (CER 100121)	t	10.868	7.903	8.027	13.421
Fanghi/En. Lorda	t/GWh	2,2	2,6	2,3	2,6

I dati relativi ai quantitativi di cenere leggera generati dalle sezioni 3 e 4 sono immediatamente disponibili, in quanto alle ceneri prodotte dal processo di co-combustione carbone-CDR viene assegnato un codice CER (Codice Europeo Rifiuto) specifico e diverso da quello per le ceneri da solo carbone. Diversa è la situazione per gessi e fanghi, i quali non sono differenziati (la normativa prevede un unico codice CER). In tabella 31, le voci “Gesso (CER 100105)” e “Fanghi (CER 100121)” sono riferite alla totale produzione della centrale di Fusina, comprendente quindi anche le quantità di rifiuto generate dalle sezioni 1 e 2 che operano in assetto a solo carbone. Per quanto concerne il gesso, i quantitativi prodotti dalle sezioni 3 e 4 sono stati stimati sulla base della produzione di energia dei gruppi 3 e 4 rispetto alla produzione totale della centrale. Per i fanghi, invece, tale proporzione è inadeguata, perché la voce “fanghi” comprende anche i fanghi prodotti dall'impianto di trattamento acque reflue (ITAR), facente parte della centrale di Fusina.

Relativamente al termovalorizzatore di Bergamo, il processo di combustione del CDR origina principalmente tre tipologie di rifiuti: scorie e sabbie, cioè residui inerti di combustione che si depositano sul fondo del letto fluido, ceneri leggere, che vengono trattenute dai filtri e si depositano sul fondo della caldaia, e residui derivanti dal trattamento fumi. Le tabelle 32 e 33 presentano rispettivamente i quantitativi di rifiuti non pericolosi e di rifiuti pericolosi prodotti nel periodo 2007-2011.

Tabella 32 – Rifiuti non pericolosi prodotti nel periodo 2007-2011 dal termovalorizzatore di Bergamo

Tipologia	Produzione rifiuti non pericolosi (t)				
	2007	2008	2009	2010	2011
Sabbie e scorie (CER 190119)	1.828	1.408	1.437	1.570	1.934
Polveri di caldaia (CER 190116)	2.810	2.589	2.567	2.612	513
Ceneri leggere (CER 190114)	3.793	3.474	3.247	1.258	31

Tabella 33– Rifiuti pericolosi prodotti nel periodo 2007-2011 dal termovalorizzatore di Bergamo

Tipologia	Produzione rifiuti pericolosi (t)				
	2007	2008	2009	2010	2011
Prodotti sodici residui da trattamento fumi (CER 190107)	554	588	632	200	-
Altri pericolosi da trattamento fumi (CER 190204 e 190105)	216	223	266	2.842	4.497
Ceneri di caldaia contenenti sost. per. (CER 190115)	-	-	-	-	2.387

## **5. RISULTATI E DISCUSSIONI**

I dati ambientali, di produzione e funzionamento, presentati per le due realtà produttive prese in esame, vengono nel presente capitolo analizzati e messi a confronto. In particolare, viene effettuata una valutazione delle prestazioni ambientali tra le due diverse situazioni di esercizio delle sezioni 3 e 4 della centrale di Fusina (assetto a solo carbone e in co-combustione carbone-CDR) e tra il processo di co-combustione carbone-CDR nell'impianto termoelettrico e la combustione di solo CDR presso il termovalorizzatore di Bergamo.

### **5.1. EFFICIENZA ENERGETICA**

Riuscire a massimizzare l'efficienza energetica delle unità produttive si traduce in ovvi vantaggi economici ma anche in minor impatto ambientale in termini di minore utilizzo di risorse e minori emissioni a parità di energia prodotta.

Le prestazioni energetiche delle sezioni 3 e 4 della centrale di Fusina risultano decisamente più elevate rispetto a quelle del termovalorizzatore di Bergamo. Il rendimento elettrico lordo si attesta al 41% per l'impianto termoelettrico contro un 25% calcolato per il termovalorizzatore, mentre il rendimento netto risulta rispettivamente del 36% e del 21%. Questo risultato è determinato dalla differente tecnologia utilizzata per sfruttare il ciclo di Rankine (ciclo termodinamico su cui si basa il funzionamento delle centrali termoelettriche) e dalle diverse taglie degli impianti messi a confronto: ciascuna delle sezioni 3 e 4 della centrale di Fusina presenta una potenza termica di combustione pari a 793 MW, a differenza dei 48 MW installati presso il sito di Bergamo. L'effetto scala incide in modo significativo sulle prestazioni energetiche che aumentano proporzionalmente con l'incremento di taglia di un impianto.

La centrale di Fusina, il cui scopo primario è la produzione di energia elettrica, presenta una produzione annua di due ordini di grandezza superiore a quella del termovalorizzatore. Relativamente ai due periodi di funzionamento presi in esame per l'impianto termoelettrico (anni 2000-2002 e 2009-2012), dalle tabelle 9 e 10 si riscontra un calo di produzione negli anni 2010 e 2011 imputabile alla crisi economica internazionale che ha determinato una minore richiesta di energia dalla rete. Con riferimento all'assetto di esercizio carbone-CDR (anni 2009-2012), dalla tabella 11 si ricava che il contributo della quota di CDR alla produzione di energia elettrica complessiva dei gruppi 3 e 4 è in media di poco superiore al 3% che corrisponde ad una portata oraria media di 4,3 tonnellate/ora di CDR per ciascuna sezione. Quest'ultimo dato, sul quale incidono le richieste del mercato elettrico e le manutenzioni impiantistiche programmate e straordinarie, potrebbe essere incrementato fino a circa 5 tonnellate/ora per ciascuna sezione, tenendo conto del quantitativo annuo autorizzato di CDR pari a 70.000 tonnellate e di un funzionamento medio annuale delle sezioni 3 e 4 di 7.000 ore.

Il termovalorizzatore di Bergamo, la cui finalità è il recupero di energia dai rifiuti, produce energia elettrica ed energia termica la quale viene ceduta alla rete cittadina di teleriscaldamento. I dati relativi alla produzione di energia presentati in tabella 12, relativi al periodo 2007-2011, fanno riferimento ad un funzionamento prevalente dell'impianto in condizioni di generazione elettrica. Nel corso del 2012 sono state apportate delle modifiche impiantistiche per consentire al termovalorizzatore di operare in assetto cogenerativo spinto, allo scopo di massimizzare la produzione di calore da destinare al teleriscaldamento a discapito della produzione di energia elettrica. Questo nuovo assetto garantirà migliori prestazioni energetiche.

## 5.2. CONSUMO COMBUSTIBILI

Per quanto concerne le sezioni 3 e 4 della centrale di Fusina, dall'analisi dei dati della tabella 15, relativa al periodo di funzionamento a solo carbone (2000-2002), emerge che la produzione lorda di 1 GWh di energia elettrica comporta un consumo medio di 352 tonnellate di carbone. In assetto di co-combustione carbone-CDR, ad un incremento del dosaggio del CDR corrisponde una diminuzione del dosaggio del carbone secondo proporzioni corrispondenti al rapporto tra i diversi poteri calorifici dei due combustibili (18.000 kJ/kg per il CDR e 24.800 kJ/kg per il carbone). In particolare, si è determinato che 1 tonnellata di CDR sostituisce circa 0,73 tonnellate di carbone. Dai dati riportati in tabella 16, relativi all'esercizio 2009-2012, si ricava che il CDR contribuisce mediamente per il 4,6% alla quantità complessiva di combustibile utilizzato nelle sezioni 3 e 4 della centrale di Fusina.

Le quantità annuali di CDR impiegate presso l'impianto termoelettrico e il termovalorizzatore sono confrontabili. Questo permette di mettere a fuoco il ruolo svolto dalla centrale di Fusina nel contesto della gestione integrata dei rifiuti nell'area veneziana. L'impianto termoelettrico non solo contribuisce alla gestione integrata ma ha una capacità di consumo di CDR tale da sostituirsi ad un termovalorizzatore.

Per quanto riguarda la combustione di solo CDR presso il termovalorizzatore di Bergamo, dall'analisi dei dati della tabella 19 risulta che la produzione lorda di 1 GWh di energia elettrica comporta un consumo medio di 793 tonnellate di CDR. Su questo dato, se paragonato a quello determinato per il funzionamento a solo carbone delle sezioni 3 e 4 della centrale di Fusina (352 t/GWh), influisce non solo il diverso potere calorifico dei due combustibili ma anche il diverso rendimento elettrico dei due impianti.

Dall'analisi delle caratteristiche chimico-fisiche del carbone e del CDR, riportate ai paragrafi 2.1 e 4.1.2, si è potuto osservare quanto segue:

- il CDR presenta un minor PCI e un minore contenuto di zolfo rispetto al carbone;
- il contenuto di As, Ni e umidità è paragonabile tra i due combustibili;
- il CDR presenta un maggior contenuto di Cl, Pb, Cr, Mn, Cd, Hg e una maggiore produzione di ceneri rispetto al carbone.

La presenza di cloro nel CDR risulta di ben tre ordini di grandezza superiore rispetto a quella nel carbone; i metalli Hg e Cd non risultano rivelabili nel carbone mentre nel CDR sono presenti in basse quantità dell'ordine di qualche ppm.

### 5.3. EMISSIONI IN ATMOSFERA

Sulla base dei dati acquisiti dalla centrale di Fusina e dal termovalorizzatore di Bergamo, è stato possibile valutare l'impatto ambientale generato in atmosfera nelle tre diverse situazioni di esercizio: la combustione a solo carbone, la co-combustione carbone-CDR e la combustione a solo CDR.

Come proposto precedentemente, nel seguito della trattazione gli inquinanti verranno presentati suddividendoli nelle categorie "macro" e "micro".

#### Macro inquinanti

In primo luogo è stata analizzata la serie di dati relativa alle emissioni in aria dei macro inquinanti nelle condizioni di funzionamento a solo carbone e in co-combustione carbone-CDR presso l'impianto termoelettrico. Per facilitare il confronto, nelle figure 11 e 12 si è scelto di rappresentare l'emissione media annuale "FS 3-4", calcolata a partire dai dati di concentrazione media annuale ed emissione specifica annuale delle due sezioni 3 e 4.

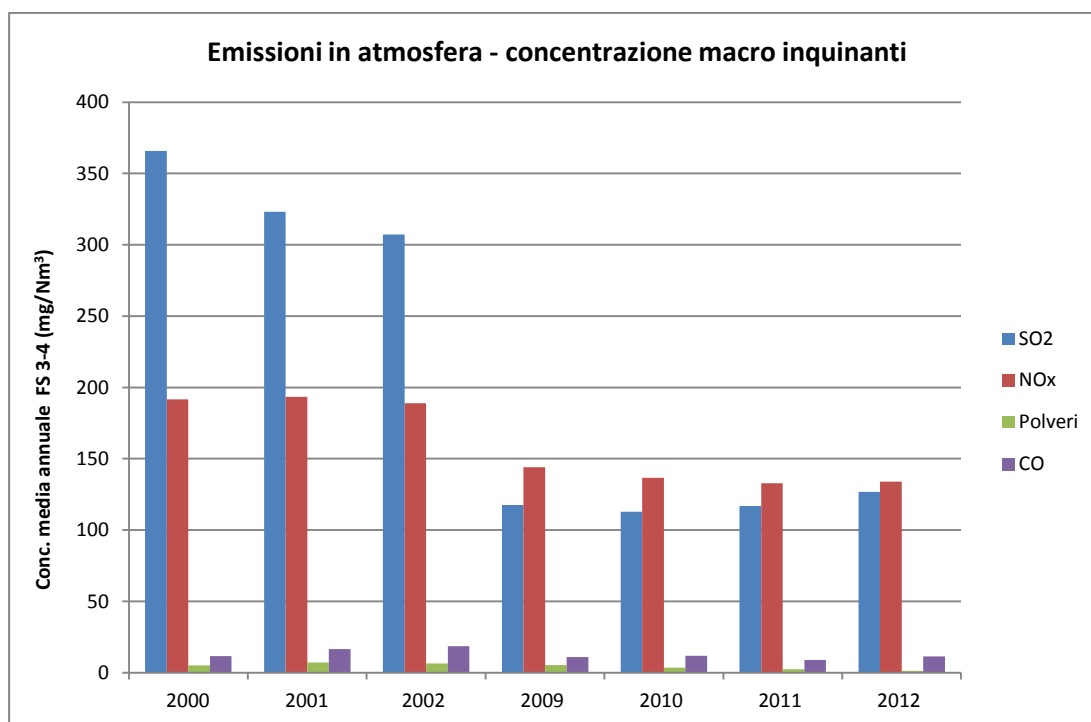


Fig. 11 – Concentrazione media annuale dei macro inquinanti. Confronto dei dati medi FS 3-4 relativi ai periodi di funzionamento 2000-2002 e 2009-2012 della centrale di Fusina

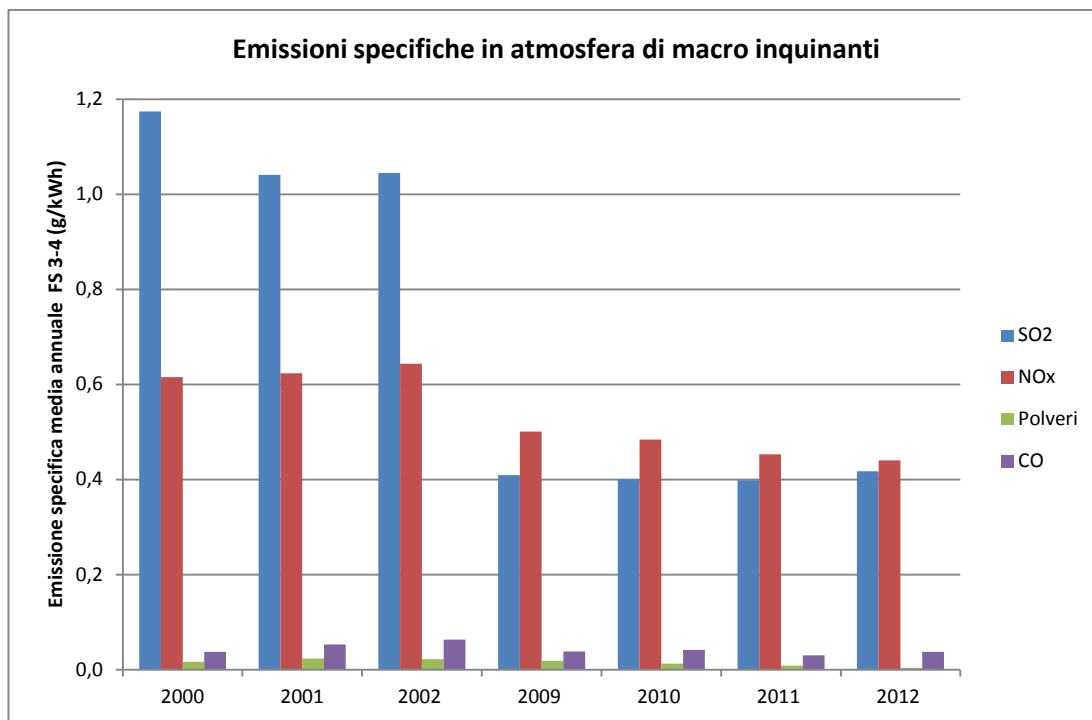


Fig. 12 - Emissione specifica annuale dei macro inquinanti. Confronto dei dati medi FS 3-4 relativi ai periodi di funzionamento 2000-2002 e 2009-2012 della centrale di Fusina

Dalle figure 11 e 13 si osserva una diminuzione dell'emissione dei macro inquinanti nel passare dalla situazione di funzionamento a solo carbone (anni 2000-2002) all'assetto carbone-CDR (anni 2009-2012), sia per quanto concerne le concentrazioni medie annuali che le emissioni specifiche massiche.

La scelta intrapresa dalla centrale di Fusina di impiegare CDR per la produzione di energia elettrica ha comportato il rispetto di limiti alle emissioni in aria più restrittivi per alcuni parametri rispetto ai limiti previsti per il funzionamento a solo carbone, in quanto l'attività di co-incenerimento deve rispettare le prescrizioni del D.Lgs 133/2005. La tabella 34 mostra i valori limite alle emissioni e i relativi periodi di mediazione per le due differenti situazioni di esercizio.

Tab. 34 – Valori limite di emissione in atmosfera in assetto di funzionamento a solo carbone e in co-combustione carbone-CDR

<b>VALORI LIMITE DI EMISSIONE IN ATMOSFERA</b>		
<b>PARAMETRO</b>	<b>ASSETTO A SOLO CARBONE</b>	<b>ASSETTO CARBONE-CDR</b>
	<b>MEDIA MENSILE (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	<b>MEDIA GIORNALIERA (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>
SO <sub>2</sub>	400	185
NO <sub>x</sub>	200	200
Polveri	50	20
CO	250	50

Relativamente all'esercizio 2009-2012 dei gruppi 3 e 4 della centrale di Fusina, si osserva un calo notevole all'incirca del 60% nell'emissione di SO<sub>2</sub>; tuttavia la diminuzione è significativa anche per gli altri parametri: circa il 25% per gli NO<sub>x</sub>,

quasi il 50% per le polveri e circa il 30% per il CO. Questo risultato è stato ottenuto aumentando l'efficienza dei presidi ambientali e settando il loro funzionamento a livelli di abbattimento superiori, ovviamente a discapito di un maggior consumo di reagenti.

Sulla diminuzione delle emissioni di SO<sub>2</sub>, inoltre, incide anche il diverso contenuto di zolfo dei due combustibili, sebbene l'influenza sia limitata data la quantità di CDR impiegata rispetto alla quantità totale di combustibile utilizzata.

Sono stati, poi, analizzati e messi a confronto i dati relativi alle emissioni in aria dei macro inquinanti in assetto di co-combustione carbone-CDR (dati impianto termoelettrico) e in assetto di combustione a solo CDR (dati termovalorizzatore). Le figure 13 e 14 mostrano il confronto tra le due differenti situazioni di esercizio relativamente alle concentrazioni medie annuali e alle emissioni specifiche annuali per il periodo di funzionamento 2009-2011. Per quanto concerne i dati di emissione in co-combustione, si è scelto di considerare la sezione 4 della centrale di Fusina.

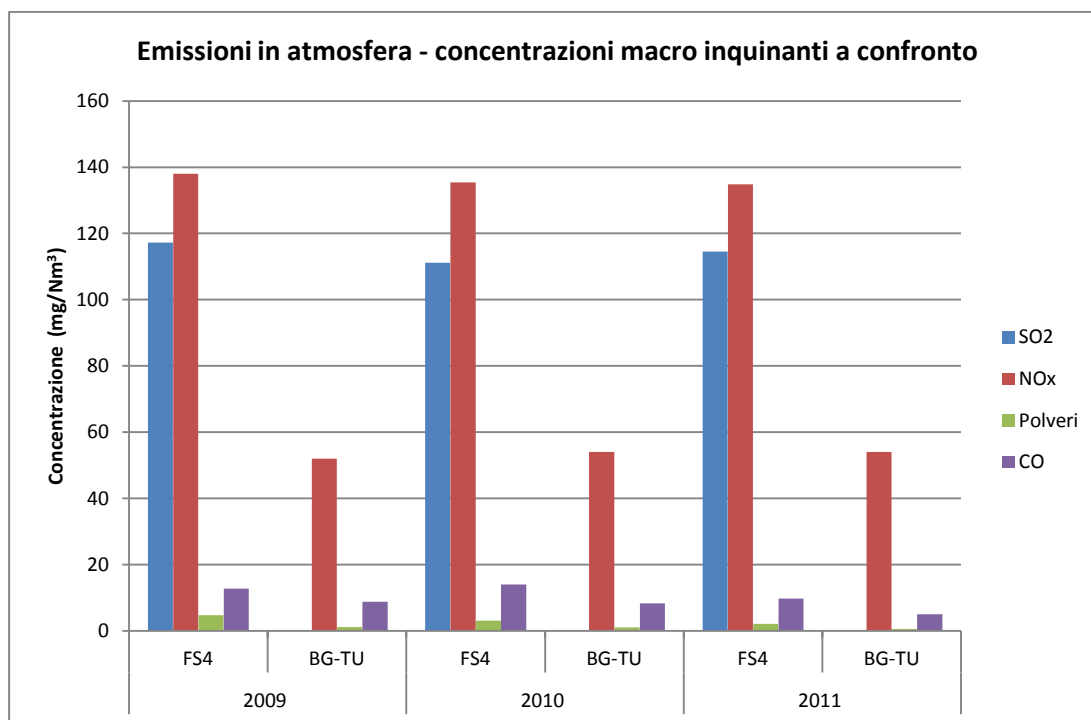


Fig. 13 - Concentrazione media annuale dei macro inquinanti. Confronto tra i dati della sezione 4 della centrale di Fusina e i dati del termovalorizzatore di Bergamo relativamente al periodo di funzionamento 2009-2011

Dall'analisi della figura 13 emerge un quadro diversificato. Come era prevedibile, relativamente al parametro SO<sub>2</sub> il termovalorizzatore vince il confronto con la sezione 4 di Fusina (la concentrazione differisce di 4 ordini di grandezza). Ciò è da imputare in primis al più basso contenuto di zolfo nel CDR rispetto a quello nel carbone e in secondo luogo alla differente tecnologia impiegata nei due casi (in particolare relativamente alla camera di combustione) e alle diverse modalità con cui vengono eserciti i presidi ambientali dei due impianti. Come già sottolineato precedentemente, il livello di abbattimento degli inquinanti è proporzionale al consumo dei reagenti, elemento non trascurabile nel bilancio ambientale complessivo di un sito, che risulta essere molto più gravoso per la sezione 4 visti i volumi degli



effluenti gassosi in gioco di un ordine di grandezza superiore rispetto a quanto calcolato per il termovalorizzatore.

Con riferimento alla concentrazione di  $\text{NO}_x$ , per il termovalorizzatore si osservano prestazioni migliori rispetto alla sezione 4 di Fusina, anche se in questo caso il gap, seppur significativo, non è così marcato (concentrazioni medie nel periodo 2009-2011 tra la sezione 4 e il termovalorizzatore rispettivamente di  $136 \text{ mg/Nm}^3$  e di  $53 \text{ mg/Nm}^3$ ). Relativamente alla co-combustione carbone-CDR, sulla maggiore concentrazione di  $\text{NO}_x$  influisce certamente la più alta temperatura sviluppata nella camera di combustione della sezione 4 rispetto a quanto avviene nel termovalorizzatore.

Infine, per quanto riguarda le concentrazioni di polveri e CO, quest'ultima non connessa al particolare tipo di combustibile utilizzato, si osservano valori confrontabili, leggermente a favore del termovalorizzatore. In particolare, per le polveri le concentrazioni medie nel periodo 2009-2011 per la sezione 4 e il termovalorizzatore sono rispettivamente di  $3 \text{ mg/Nm}^3$  e di  $1 \text{ mg/Nm}^3$ , mentre per il CO rispettivamente di  $12 \text{ mg/Nm}^3$  e di  $7.4 \text{ mg/Nm}^3$ .

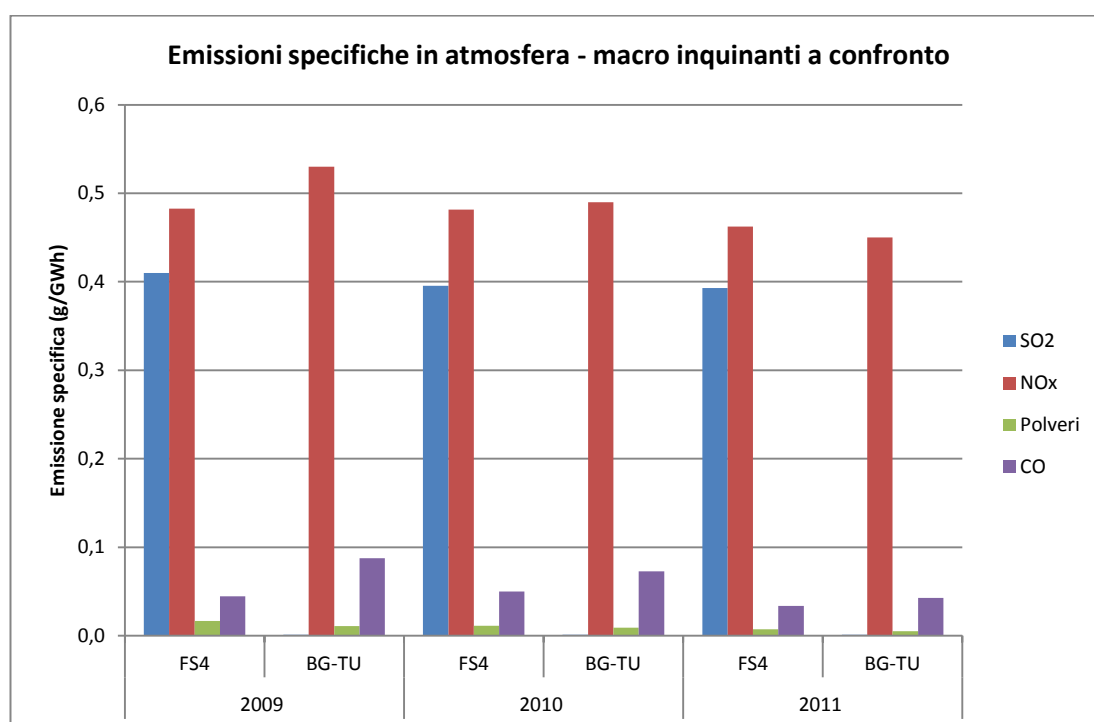


Fig. 14 - Emissione specifica annuale dei macro inquinanti. Confronto tra i dati della sezione 4 della centrale di Fusina e i dati del termovalorizzatore di Bergamo relativamente al periodo di funzionamento 2009-2011

Dall'analisi della figura 14, riguardante il confronto tra le emissioni specifiche annuali nei due assetti di combustione (carbone-CDR e solo CDR), emerge un quadro emissivo confrontabile tra i due impianti, ad esclusione del parametro  $\text{SO}_2$ , anche se il gap in questo caso si riduce a due ordini di grandezza. Visto il minor contenuto di zolfo del CDR, un suo incremento rispetto all'attuale quota impiegata nella centrale di Fusina contribuirebbe a ridurre le emissioni di  $\text{SO}_2$ .

L'emissione specifica dei parametri  $\text{NO}_x$  e CO si presenta a favore della sezione 4 di Fusina, con una differenza lieve nel caso degli  $\text{NO}_x$  e più marcata per il CO. Per le polveri, invece, la situazione è leggermente a favore del termovalorizzatore.

I risultati presentati per le emissioni specifiche sono direttamente correlati alle prestazioni energetiche dei due impianti che risultano migliori nel caso della sezione 4 di Fusina, come descritto al paragrafo 5.1.

### Micro inquinanti

Riguardo alle emissioni in atmosfera dei micro inquinanti, il confronto tra le due situazioni di esercizio, a solo carbone e carbone-CDR, esaminate per la centrale di Fusina è stato effettuato sulla base dei soli valori di concentrazione, non essendo disponibili dati di emissione specifica dei micro inquinanti per il funzionamento a solo carbone. Dall'analisi della tabella 26 non emergono variazioni significative delle concentrazioni nei due differenti assetti di combustione. L'unico dato rilevante riguarda il parametro COT che presenta una maggiore concentrazione in condizioni di funzionamento carbone-CDR. Va tuttavia ricordato che i dati relativi all'assetto a solo carbone sono valori puntuali e perciò non rappresentativi dell'emissione media annuale dei micro inquinanti in tale assetto.

Relativamente alle emissioni dei micro inquinanti generate dalle attività di co-combustione carbone-CDR e di combustione del solo CDR, il confronto è stato effettuato sia sulla base delle concentrazioni medie annuali che sulle emissioni specifiche annuali per il periodo di funzionamento 2009-2011. Per facilitare la presentazione dei risultati e rendere immediato ed intuitivo il confronto, nelle figure seguenti, laddove possibile, i micro inquinanti sono stati raggruppati ed identificati con colori diversi. Per ciascun gruppo di inquinanti vengono presentati nell'ordine i dati di concentrazione media annuale e di emissione specifica annuale relativi alla sezione 4 di Fusina e al termovalorizzatore.

Le figure 15 e 16 mostrano il confronto tra le due diverse situazioni di esercizio per i parametri  $\text{NH}_3$ , HCl, HF e COT. Dall'analisi dei dati in concentrazione si osserva per il COT un trend confrontabile tra i due impianti, per HF una situazione emissiva a favore del termovalorizzatore (le concentrazioni differiscono di due ordini di grandezza) e, infine, una migliore prestazione dell'impianto termoelettrico in termini di emissioni di  $\text{NH}_3$  e HCl. I dati in emissione specifica confermano l'andamento osservato per HF, mentre si osserva un aumento del gap per  $\text{NH}_3$ , HCl (per entrambi di un ordine di grandezza) e COT a favore dell'impianto termoelettrico.

Le maggiori emissioni di HCl nelle condizioni di funzionamento a solo CDR sono da imputare al più alto contenuto di cloro del CDR che risulta di tre ordini di grandezza superiore rispetto a quello del carbone.

Analisi chimiche interne della centrale di Fusina hanno permesso di valutare il contenuto di fluoro del CDR che è risultato confrontabile a quello del carbone. Da ciò è possibile ipotizzare che il gap emissivo osservato per HF tra il termovalorizzatore e la sezione 4 sia da imputare, ancora una volta, ad una diversa conduzione dei presidi ambientali. Questa differente modalità di gestione emerge

anche ponendo l'attenzione sulla più alta emissione di  $\text{NH}_3$  dal termovalorizzatore, imputabile ad un maggior impiego di ammoniaca nel DeNO<sub>x</sub> a parità dei volumi gas trattati per aumentare l'abbattimento degli NO<sub>x</sub>. Ciò si traduce in una maggiore probabilità di avere "slip" di ammoniaca nei fumi.

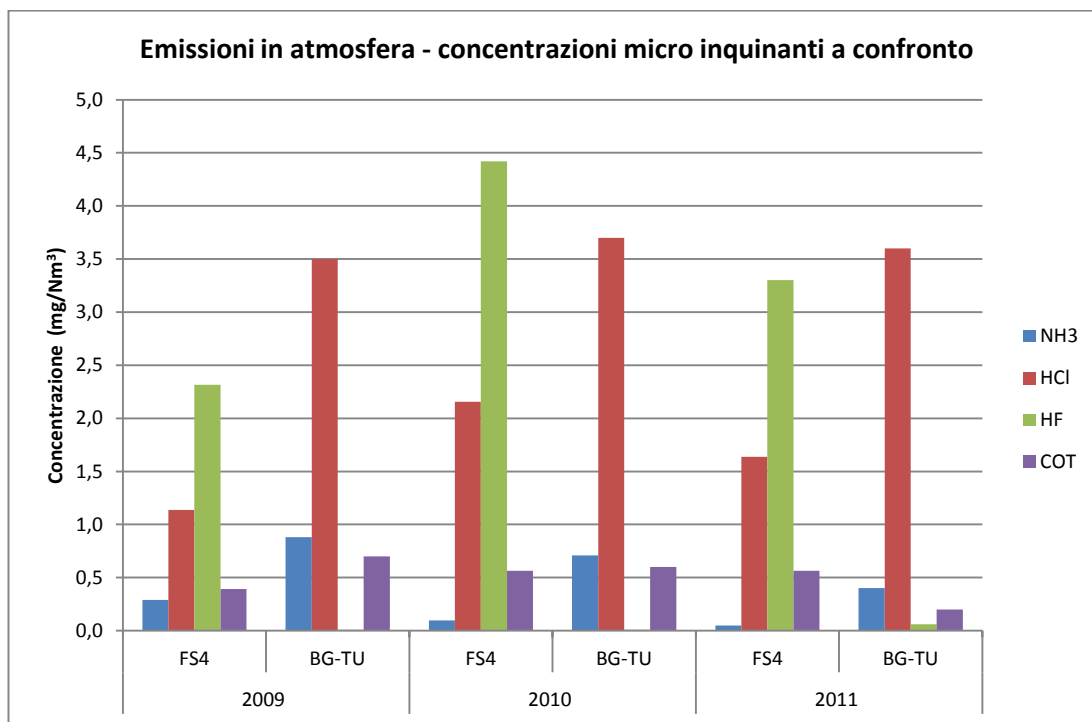


Fig. 15 - Concentrazione media annuale degli inquinanti: NH<sub>3</sub>, HCl, HF, COT. Confronto tra i dati della sezione 4 della centrale di Fusina e i dati del termovalorizzatore di Bergamo per il periodo di funzionamento 2009-2011

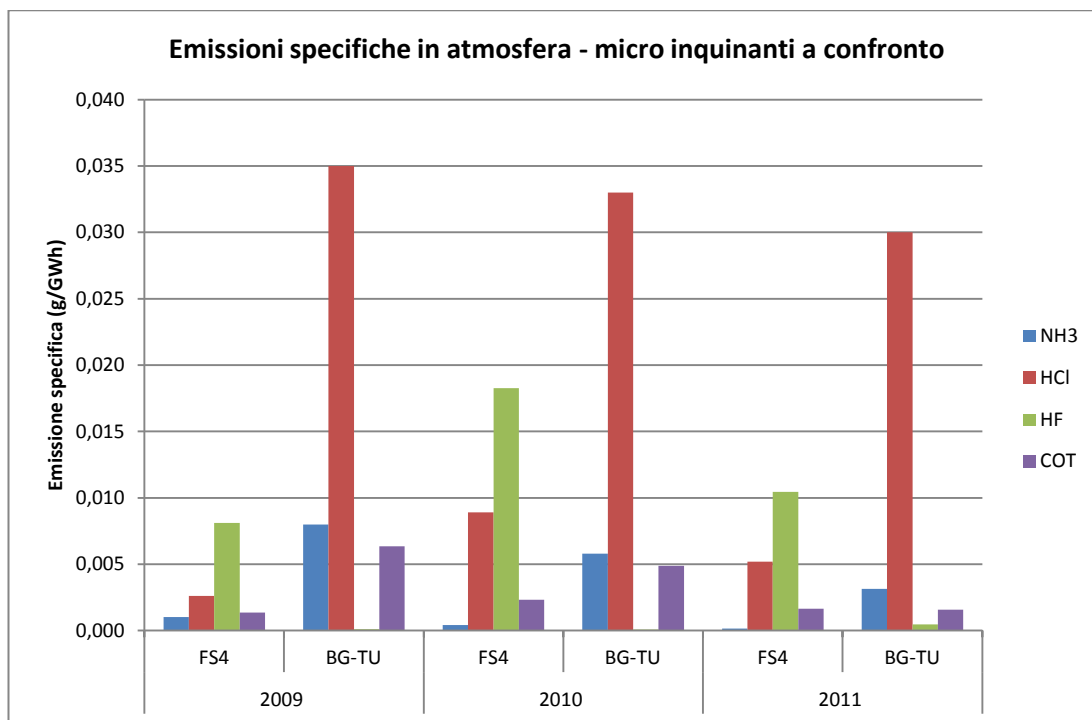


Fig. 16 - Emissione specifica annuale degli inquinanti: NH<sub>3</sub>, HCl, HF, COT. Confronto tra i dati della sezione 4 della centrale di Fusina e i dati del termovalorizzatore di Bergamo per il periodo di funzionamento 2009-2011

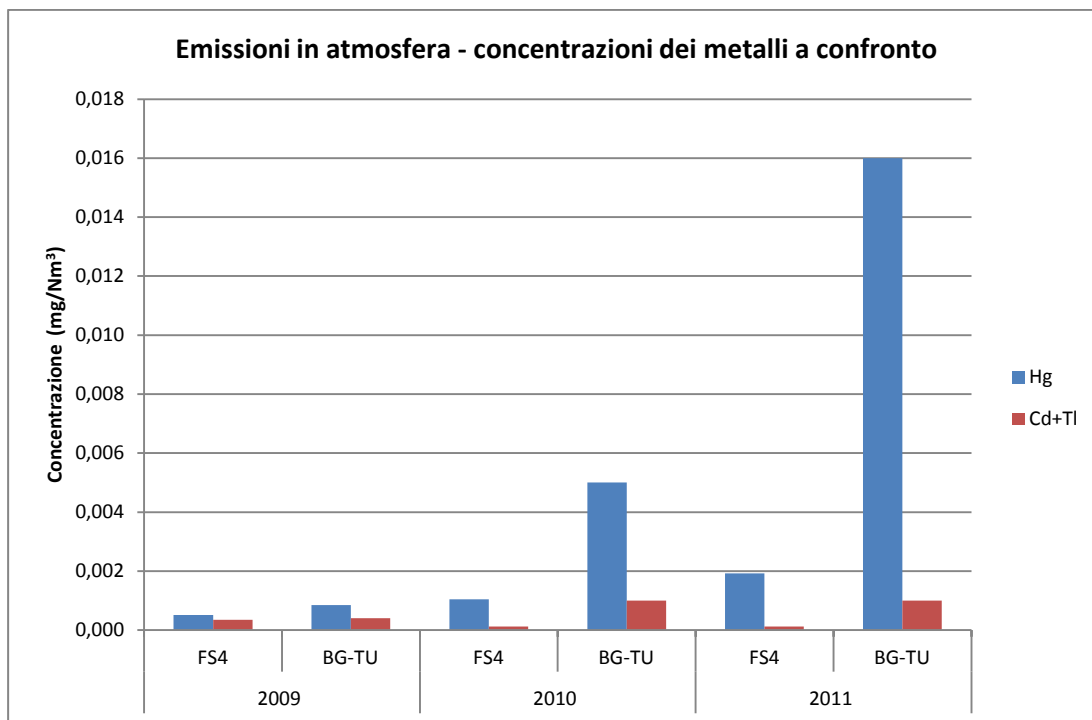


Fig. 17 - Concentrazione media annuale degli inquinanti: Hg, Cd+Tl. Confronto tra i dati della sezione 4 della centrale di Fusina e i dati del termovalorizzatore di Bergamo per il periodo di funzionamento 2009-2011

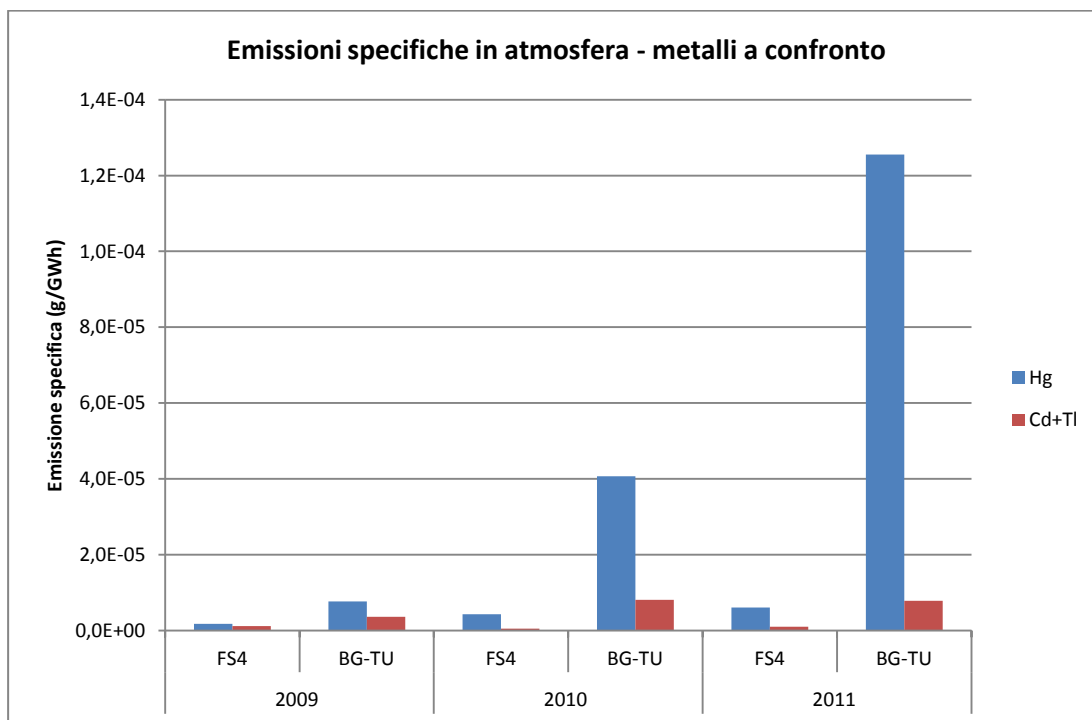


Fig. 18 - Emissione specifica annuale degli inquinanti: Hg, Cd+Tl. Confronto tra i dati della sezione 4 della centrale di Fusina e i dati del termovalorizzatore di Bergamo per il periodo di funzionamento 2009-2011

Le figure 17 e 18 presentano una situazione emissiva per i parametri Hg e “Cd+Tl” a favore della sezione 4 di Fusina, mentre si osservano minori emissioni dal termovalorizzatore se si considera la somma dei metalli Sb, As, Cr, Pb, Co, Cu, Mn, Ni, V (figure 19 e 20). Nel confronto dei dati di emissione specifica il divario emissivo riscontrato nei due diversi assetti di combustione diviene più evidente per i

parametri Hg e “Cd+Tl”, mentre si riduce per il parametro dato dalla somma dei metalli “Sb+As+Cr+Pb+Co+Cu+Mn+Ni+V”.

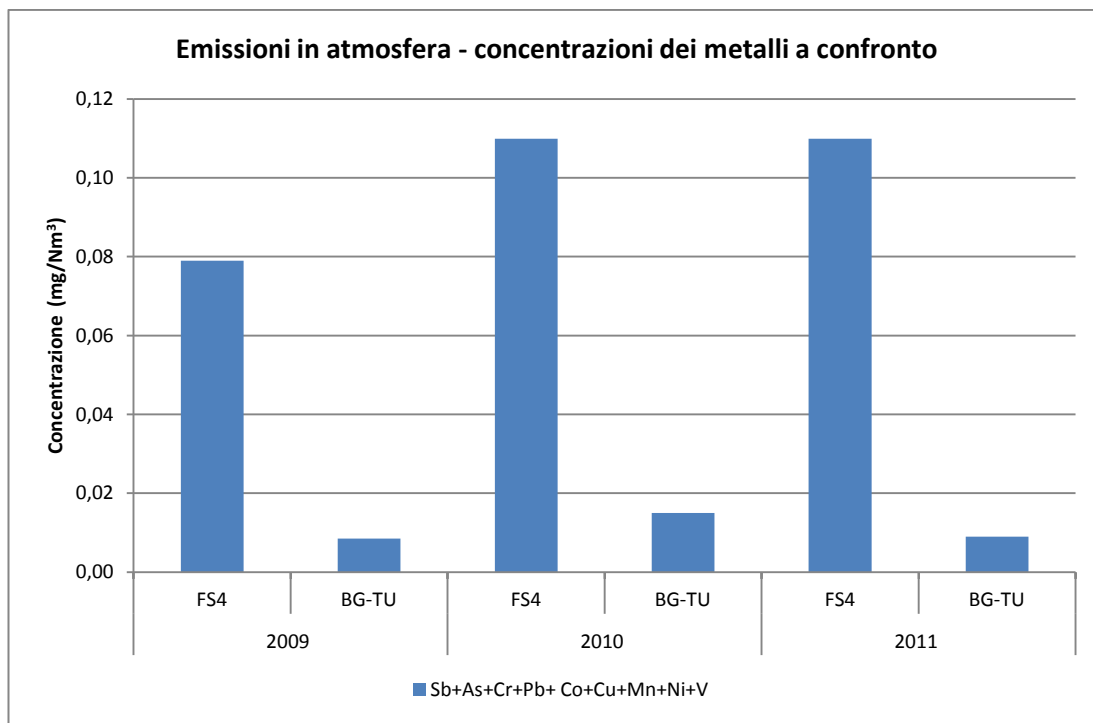


Fig. 19 - Concentrazione media annuale degli inquinanti: Sb+As+Cr+Pb+Co+Cu+Mn+Ni+V. Confronto tra i dati della sezione 4 della centrale di Fusina e i dati del termovalorizzatore di Bergamo relativamente al periodo di funzionamento 2009-2011

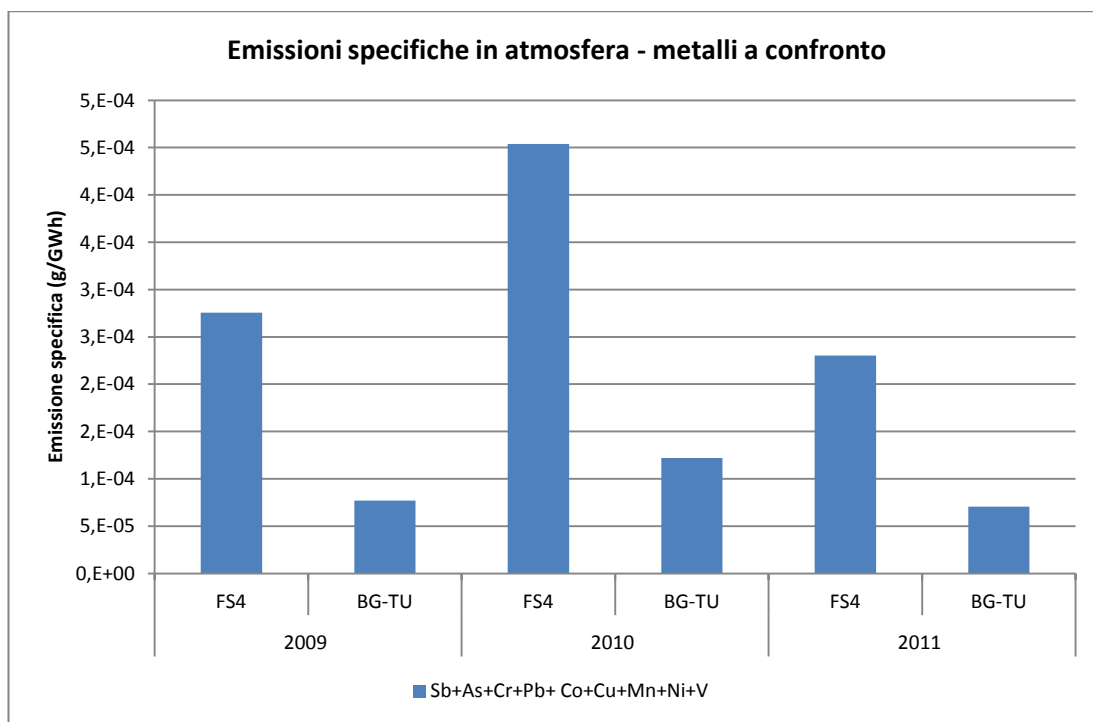


Fig. 20 - Emissione specifica annuale degli inquinanti: Sb+As+Cr+Pb+Co+Cu+Mn+Ni+V. Confronto tra i dati della sezione 4 della centrale di Fusina e i dati del termovalorizzatore di Bergamo relativamente al periodo di funzionamento 2009-2011

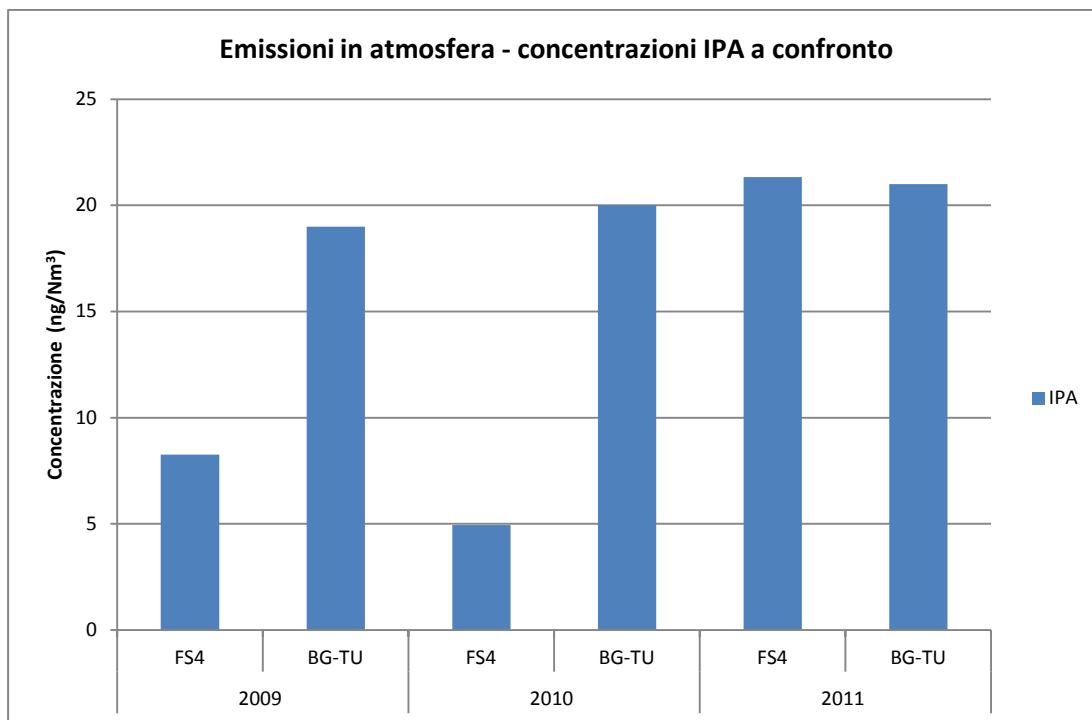


Fig. 21 - Concentrazione media annuale degli inquinanti: IPA. Confronto tra i dati della sezione 4 della centrale di Fusina e i dati del termovalorizzatore di Bergamo relativamente al periodo di funzionamento 2009-2011

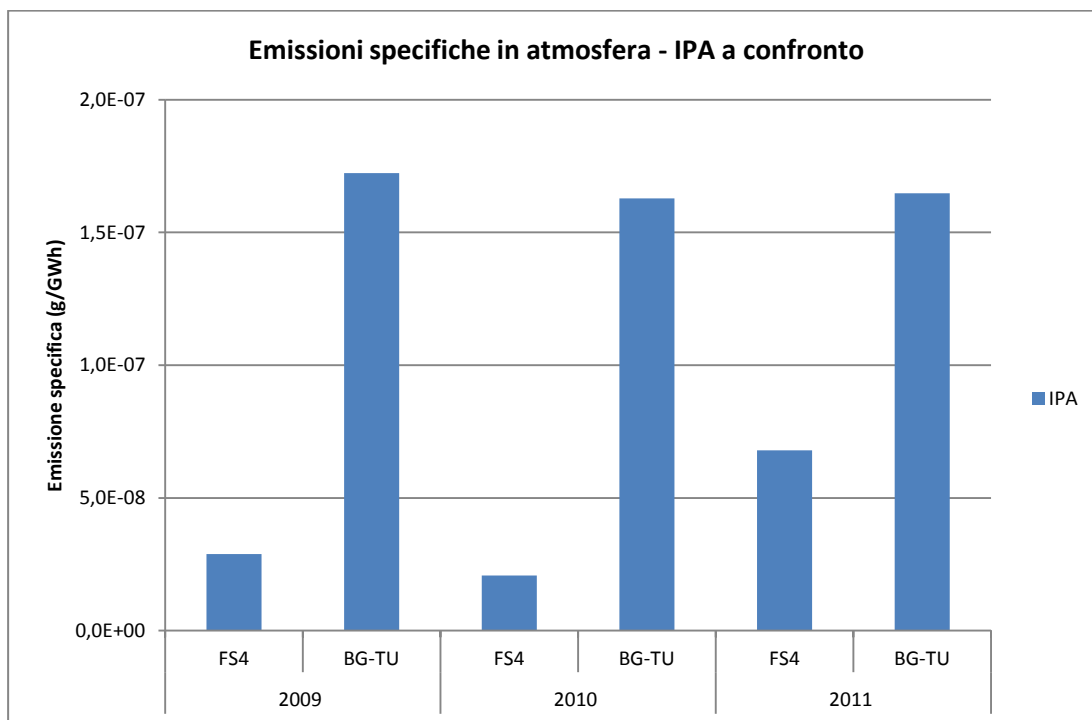


Fig. 22 - Emissione specifica annuale degli inquinanti: IPA. Confronto tra i dati della sezione 4 della centrale di Fusina e i dati del termovalorizzatore di Bergamo relativamente al periodo di funzionamento 2009-2011

L'emissione di IPA risulta in genere maggiore per il termovalorizzatore sia per quanto riguarda le concentrazioni che le emissioni specifiche (il gap in questo caso è più evidente), come emerge dall'analisi delle figure 21 e 22.

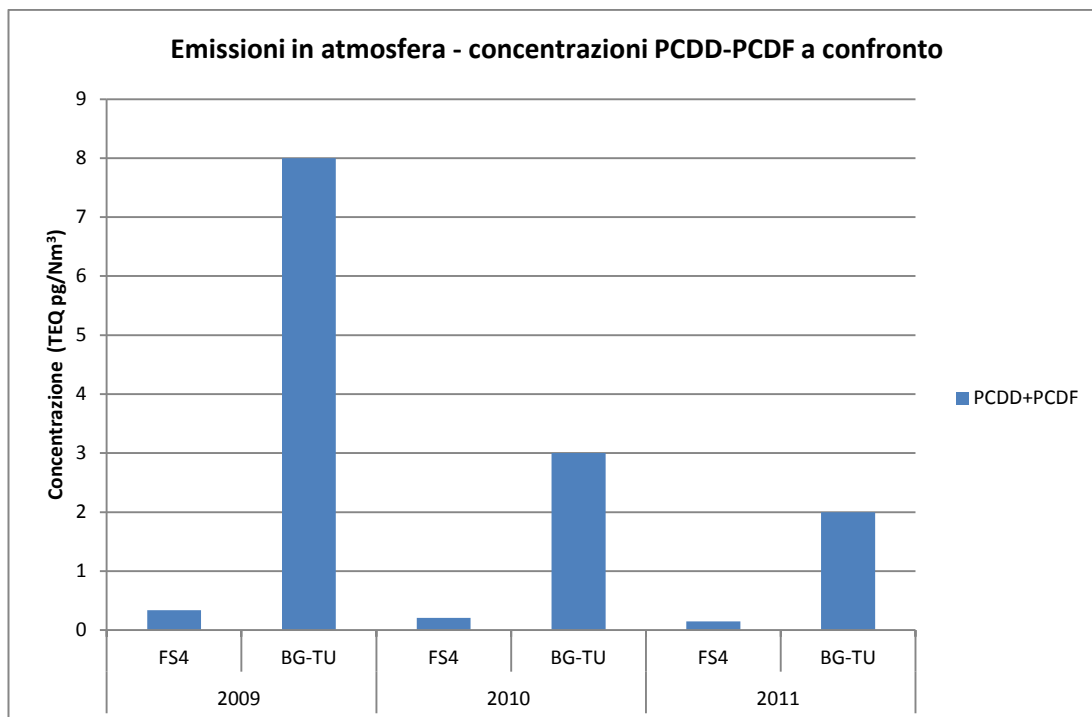


Fig. 23 - Concentrazione media annuale degli inquinanti: Diossine e Furani. Confronto tra i dati della sezione 4 della centrale di Fusina e i dati del termovalorizzatore di Bergamo per il periodo di funzionamento 2009-2011

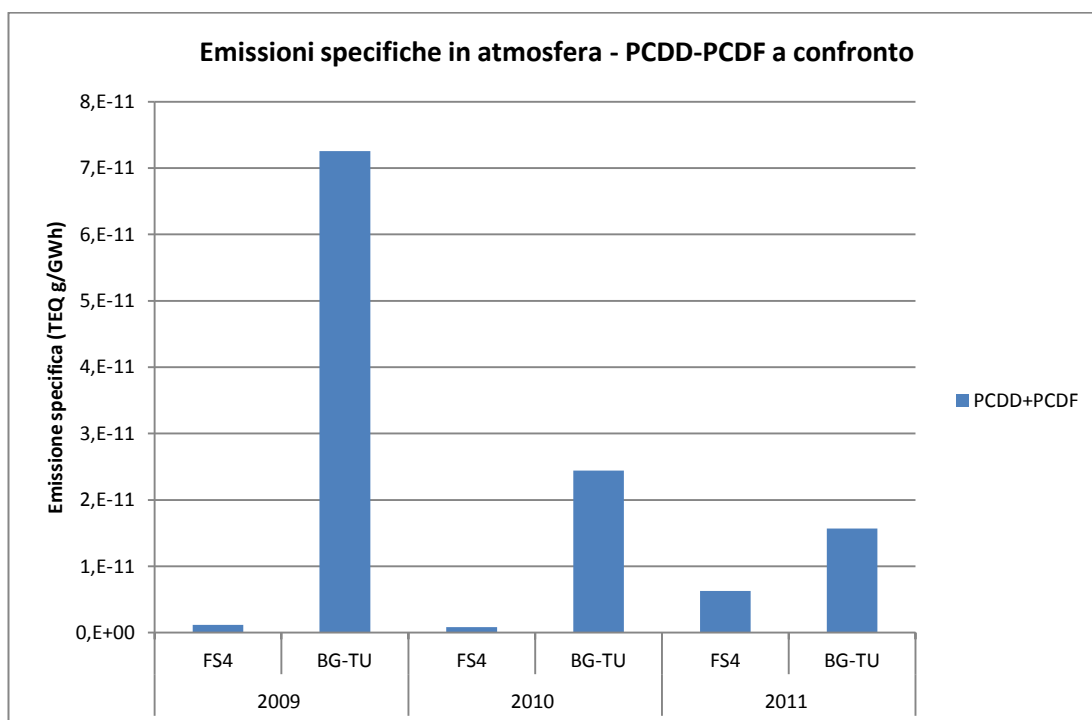


Fig. 24 - Emissione specifica annuale degli inquinanti: Diossine e Furani. Confronto tra i dati della sezione 4 della centrale di Fusina e i dati del termovalorizzatore di Bergamo per il periodo di funzionamento 2009-2011

Infine, relativamente all'emissione di diossine e furani, dall'analisi delle figure 23 e 24 emerge una migliore prestazione per la sezione 4 di Fusina. Sia in termini di concentrazioni che di emissioni specifiche il divario riscontrato nei due diversi assetti di combustione (carbone-CDR e solo CDR) risulta pari ad un ordine di grandezza. Ciò è sicuramente determinato sia dal maggior tenore di cloro del CDR che dalle

maggiori temperature che si generano in camera di combustione nella sezione 4 di Fusina rispetto al termovalorizzatore garantendo in questo modo un più alto grado di decomposizione degli inquinanti considerati.

Nelle figure precedenti, laddove siano stati utilizzati i dati di concentrazione dei micro inquinanti relativi al termovalorizzatore che in tabella 28 sono preceduti dal simbolo “<”, si precisa che essi sono stati considerati in misura della metà del valore stesso.

Dalla trattazione sopra esposta emerge il pieno rispetto dei valori limite alle emissioni da parte di entrambi gli impianti presi in considerazione. I livelli emissivi dei micro inquinanti risultano, in genere, di un ordine di grandezza inferiori al limite ma si osservano prestazioni di gran lunga migliori per IPA (concentrazioni tre ordini di grandezza inferiori al limite sia per l'impianto termoelettrico che per il termovalorizzatore), diossine e furani (tre ordini di grandezza per la centrale di Fusina e due per il termovalorizzatore), “Cd+Tl” (concentrazioni due ordini di grandezza inferiori al limite per l'impianto termoelettrico) e HF (due ordini di grandezza inferiori al limite per il termovalorizzatore).

In ultima analisi viene esaminata l'emissione di CO<sub>2</sub> generata dal processo di combustione presso la centrale di Fusina. Il calcolo delle emissioni di CO<sub>2</sub> nelle due condizioni di funzionamento (a solo carbone e carbone-CDR) è svolto considerando i coefficienti di produzione specifica di CO<sub>2</sub> da CDR e carbone, rispettivamente di 0,718 tCO<sub>2</sub>/tCDR e di 2,361 tCO<sub>2</sub>/tcarbone, determinati sulla base del contenuto di carbonio dei due combustibili, all'incirca del 65% per il carbone e del 20% per il CDR (per quest'ultimo dato si considera la sola frazione fossile, ovvero si sottrae la frazione rinnovabile).

La tabella 35 presenta il bilancio emissivo di CO<sub>2</sub> per il periodo di funzionamento 2009-2012 determinato a partire dai quantitativi di CDR consumati e dai corrispettivi quantitativi di carbone non avviati alla combustione. Sulla base dei rapporti di sostituzione dei due combustibili, indicati al paragrafo 5.2, risulta un risparmio di circa 920 kg di CO<sub>2</sub> per ciascuna tonnellata di CDR avviata a co-combustione.

Tab. 35 – Bilancio emissivo CO<sub>2</sub> determinato sulla base del CDR avviato a co-combustione per il periodo di funzionamento 2009-2012

Parametro	Emissioni CO <sub>2</sub> (t)			
	2009	2010	2011	2012
CDR consumato	55.235	46.136	56.106	58.398
Carbone evitato	38.669	32.299	38.733	40.315
CO <sub>2</sub> prodotta da CDR	39.672	33.136	40.298	41.944
CO <sub>2</sub> evitata da carbone	91.285	76.248	91.437	95.171
CO <sub>2</sub> non prodotta	51.614	43.111	51.139	53.227



La figura 25 illustra l'emissione di CO<sub>2</sub> prodotta dalla combustione del CDR e la quota di CO<sub>2</sub> evitata grazie al non utilizzo del carbone.

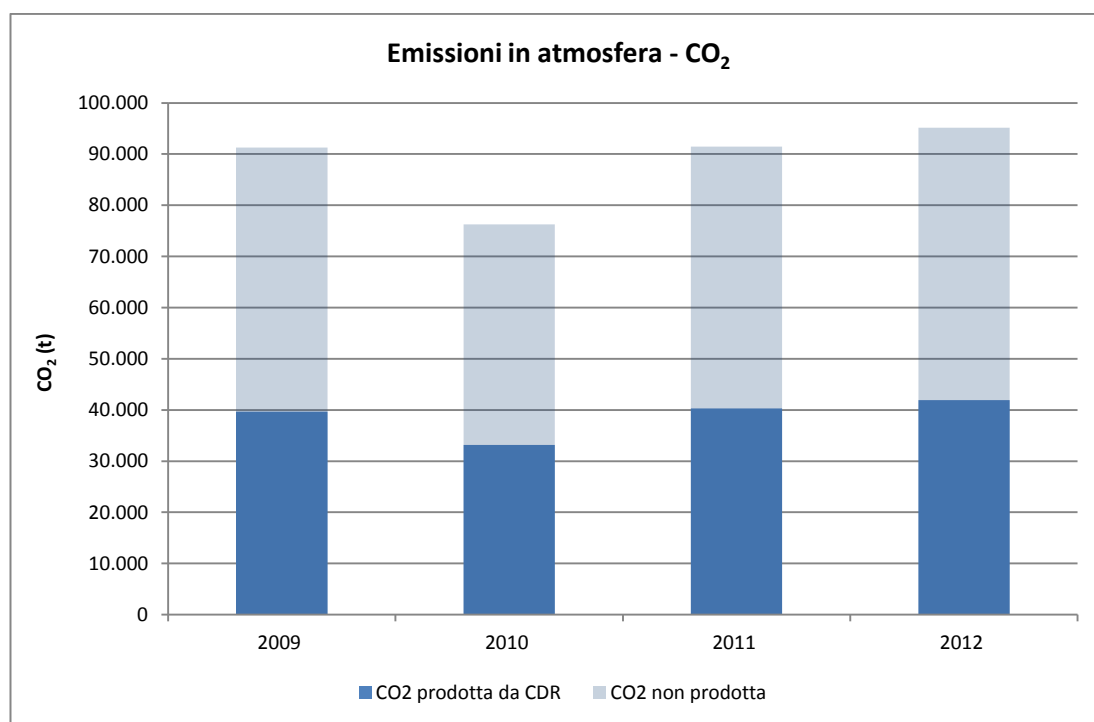


Fig. 25 –CO<sub>2</sub> prodotta dalla combustione del CDR e CO<sub>2</sub> evitata grazie al non utilizzo del carbone.

#### 5.4. EMISSIONI IN ACQUA (ACQUE REFLUE)

L'impatto ambientale connesso agli inquinanti emessi negli scarichi di acque reflue derivanti dalla depurazione degli effluenti gassosi è stato valutato limitatamente alla centrale di Fusina. Come descritto precedentemente, il termovalorizzatore è dotato di una linea di trattamento fumi che lavora completamente a secco, per cui l'impatto ambientale derivato dalla depurazione dei gas di combustione riguarda la produzione di rifiuti, argomento che verrà trattato nel prossimo paragrafo.

Relativamente alla centrale di Fusina, l'influenza del processo di co-combustione carbone-CDR sulle emissioni in acqua è stata valutata sulla base dei dati di concentrazione degli inquinanti allo scarico TSD disponibili per il periodo di funzionamento 2007-2012. Tale valutazione si rende possibile dal momento che i dati relativi al periodo 2007-2008 si riferiscono ad un consumo massimo di CDR di 35.000 tonnellate/anno mentre i dati 2009-2012 si riferiscono ad una quota massima di CDR di 70.000 tonnellate/anno. Dall'analisi dei dati riportati in tabella 30, a fronte del raddoppio della quantità di CDR non emergono variazioni significative delle concentrazioni degli inquinanti che risultano ampiamente al di sotto dei limiti emissivi. Per i parametri TI, IPA e PCDD-PCDF non è stato possibile effettuare l'analisi di confronto non essendo disponibili i dati 2007-2008, ciò nonostante si sottolinea il rispetto dei valori limite, in particolar modo per diossine e furani la cui concentrazione risulta inferiore al limite di 9 ordini di grandezza.

Dall'analisi di tabella 30, inoltre, emerge un'incongruenza circa il dato di concentrazione 2012 del tallio: il limite di rivelabilità risulta maggiore del limite emissivo. Il metodo applicato per la determinazione del tallio, imposto da ISPRA nel corso del 2011 con l'emanazione della Nota Tecnica "Metodi di Riferimento per le misure previste nelle AIA statali", appare quindi inadeguato.

### 5.5. RIFIUTI

Nel presente paragrafo viene analizzato l'aspetto ambientale legato alla produzione di rifiuti cosiddetti di processo derivanti dalle attività di combustione e depurazione dei fumi. Le situazioni di esercizio considerate riguardano la co-combustione carbone-CDR presso le sezioni 3 e 4 della centrale di Fusina e la combustione del solo CDR presso il termovalorizzatore di Bergamo (i dati di Fusina per il processo a solo carbone non sono disponibili).

I rifiuti generati durante l'attività di co-combustione comprendono le ceneri leggere, i gessi e i fanghi, i cui quantitativi sono strettamente legati alla quantità di inquinanti generata durante il processo. Al fine di mettere in evidenza tale relazione, sono stati determinati i valori medi annuali dei parametri zolfo e ceneri dei due combustibili (carbone e CDR) relativamente al periodo di funzionamento 2009-2012.

Tab. 36 - Contenuto di zolfo e ceneri del carbone fornito alla centrale di Fusina. Valori medi annuali e relativi intervalli di confidenza (n: numero analisi; livello di confidenza 95%, test a due code)

<b>CARBONE</b>		
<b>ANNO</b>	<b>CENERI (% s.s.)</b>	<b>ZOLFO (% t.q.)</b>
2009 (n=151)	12,1 ± 0,6	0,54 ± 0,02
2010 (n=84)	13,7 ± 0,8	0,58 ± 0,04
2011 (n=47)	13 ± 1	0,64 ± 0,05
2012 (n=80)	11,4 ± 0,7	0,75 ± 0,04

Tab. 37 - Contenuto di zolfo e ceneri del CDR fornito alla centrale di Fusina. Valori medi annuali e relativi intervalli di confidenza (n: numero analisi; livello di confidenza 95%, test a due code)

<b>CDR</b>		
<b>ANNO</b>	<b>CENERI (% s.s.)</b>	<b>ZOLFO (% t.q.)</b>
2009 (n=11)	18,6 ± 0,9	0,19 ± 0,02
2010 (n=11)	18,6 ± 0,9	0,19 ± 0,01
2011 (n=13)	18,2 ± 0,6	0,15 ± 0,02
2012 (n=14)	18,0 ± 0,9	0,17 ± 0,03

Dalle tabelle 36 e 37 emerge che l'impiego del CDR in co-combustione con il carbone apporta un minor quantitativo di zolfo e conseguentemente minori emissioni di SO<sub>2</sub>, tuttavia la produzione di ceneri risulta maggiore.

Le figure 26 e 27, relative all'esercizio 2009-2012 delle sezioni 3 e 4 di Fusina, illustrano la stretta correlazione tra le produzioni specifiche di ceneri e gessi e, rispettivamente, i parametri ceneri e contenuto di zolfo dei due combustibili. Sui dati

riguardanti la produzione specifica di fanghi non è stato possibile esprimere una valutazione circa l'influenza del processo di co-combustione, tuttavia, considerate le quantità di rifiuti complessive in gioco, la quota di fanghi stimabile per sezioni 3 e 4 appare di entità trascurabile.

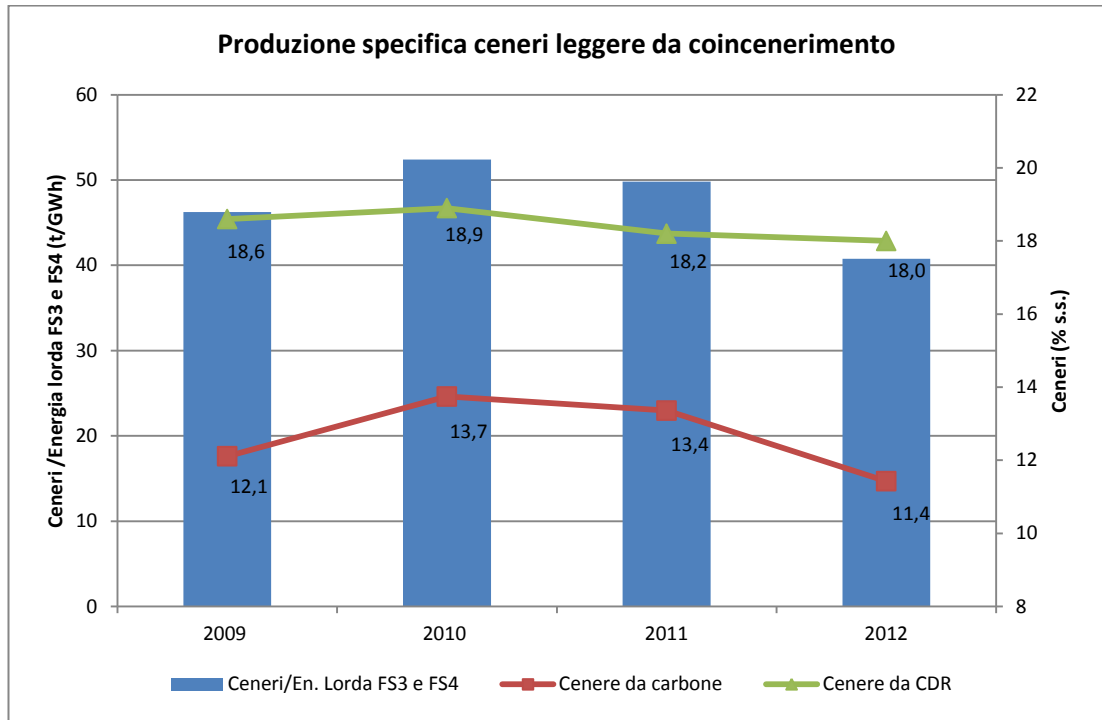


Fig. 26 – Produzione specifica di ceneri leggere correlata ai valori medi annuali di ceneri da carbone e da CDR relativamente all’esercizio 2009-2012 delle sezioni 3 e 4 della centrale di Fusina

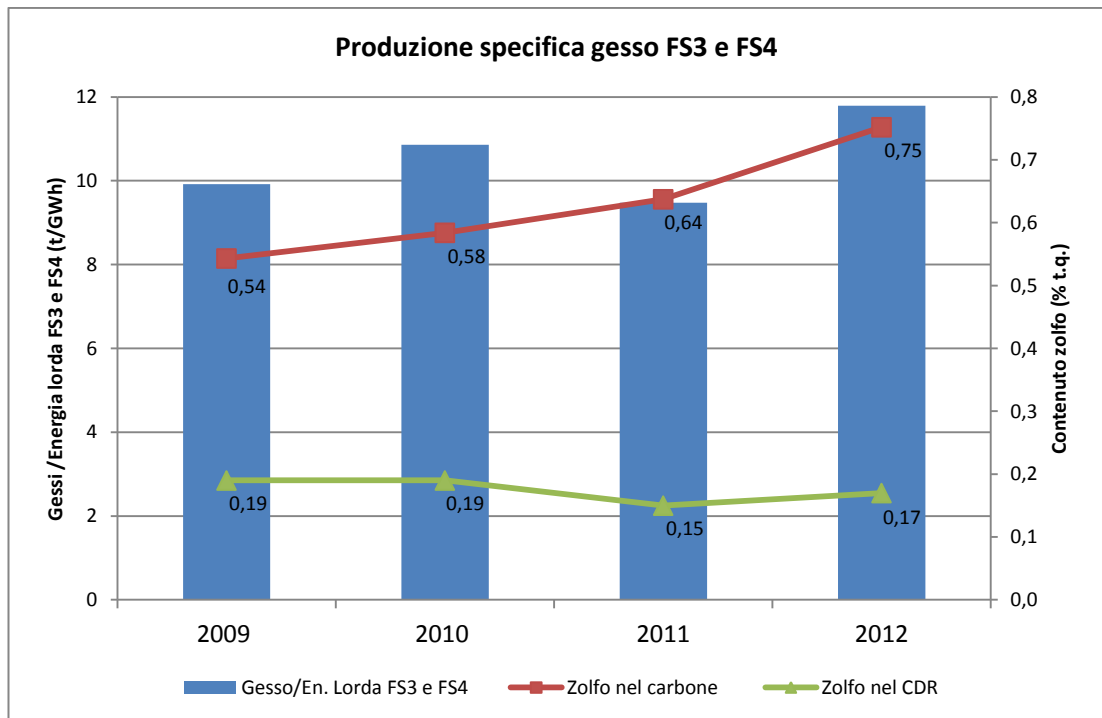


Fig. 27 - Produzione specifica di gessi correlata ai valori medi annuali del contenuto di zolfo nel carbone e nel CDR relativamente all’esercizio 2009-2012 delle sezioni 3 e 4 della centrale di Fusina

I rifiuti di processo descritti per la centrale di Fusina sono classificati come rifiuti non pericolosi ed avviati al recupero presso le industrie del cemento, del gesso e dei laterizi. In particolare, le ceneri leggere da co-combustione hanno ottenuto la marcatura CE in conformità alle norme tecniche UNI EN 12620 (aggregati per calcestruzzo) e UNI EN 450 (ceneri volanti per calcestruzzo) riguardanti i prodotti da costruzione. La marcatura secondo la norma UNI EN 12620 prevede l'utilizzo delle ceneri come "filler" in sostituzione della sabbia (inerte) nella produzione di calcestruzzi. I requisiti da soddisfare per gli aggregati riguardano principalmente la granulometria e la presenza di sostanze acide che possono originare corrosioni nel tempo. Secondo la norma UNI EN 450, invece, le ceneri volanti vengono utilizzate come aggiunta di tipo II per la preparazione di calcestruzzo e malta in sostituzione del cemento fino ad un massimo del 25%. Per questo impiego le ceneri devono soddisfare, oltre ai requisiti di granulometria, presenza di alcali e acidi, anche i requisiti di attività pozzolanica.

Le tre tipologie di rifiuti prodotte nell'impianto termoelettrico sono state registrate presso l'Agenzia Europea delle Sostanze Chimiche (ECHA) secondo le modalità previste dal Regolamento 1907/2006 (REACH - Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemical substances) affinché in futuro esse possano essere definite sottoprodotti e non più rifiuti, considerato il completo reimpiego presso gli idonei processi industriali.

Per quanto concerne il termovalorizzatore, la produzione di rifiuti dall'attività di combustione del solo CDR riguarda principalmente: scorie e sabbie, ceneri leggere e residui derivanti dal trattamento fumi. Questi ultimi sono generalmente pericolosi mentre scorie, sabbie e ceneri sono generalmente classificate come non pericolose. L'entrata in vigore del Regolamento 1272/2008 (CLP - Classification, Labelling and Packaging of substances and mixtures), ed in particolare dei nuovi criteri di classificazione secondo le caratteristiche "pericoloso per l'ambiente", ha provocato un aumento della produzione dei rifiuti pericolosi a scapito di quelli non pericolosi, come si può osservare dai dati 2010 e 2011 riportati nelle tabelle 32 e 33.

I residui di processo subiscono destini differenti: sabbie e scorie sono inviate a recupero, i residui da trattamento fumi sono destinati per la maggior parte al recupero e solo per una piccola quota allo smaltimento, mentre le ceneri di caldaia contenenti sostanze pericolose sono inviate a smaltimento (dati di riferimento 2011).

La variazione delle caratteristiche di pericolosità delle ceneri leggere ha reso difficile il calcolo dei quantitativi prodotti di ceneri dal termovalorizzatore durante il periodo di funzionamento 2009-2011 e ciò non ha permesso di effettuare una valutazione di confronto con la centrale di Fusina. Tuttavia, considerando i più alti valori di ceneri del CDR rispetto al carbone, si presume che l'attività di combustione del solo CDR generi una maggiore produzione di ceneri leggere. A questo proposito Biganzoli, Grosso e Rigamonti (2012) calcolano un incremento di 97 kg di ceneri leggere per tonnellata di CDR avviata alla combustione.

Al fine di effettuare comunque una valutazione di confronto tra le attività di co-combustione carbone-CDR e combustione del solo CDR sono state calcolate le produzioni specifiche di rifiuti totali di processo per entrambi gli impianti

considerati. Dalla figura 28 emerge una situazione a favore delle sezioni 3 e 4 di Fusina con una produzione specifica di rifiuti totali che risulta all'incirca della metà rispetto a quella del termovalorizzatore. Si precisa che nel calcolo dei rifiuti totali di Fusina si è tenuto conto delle quantità totali di fanghi prodotte pur non essendo imputate solamente alle sezioni 3 e 4.

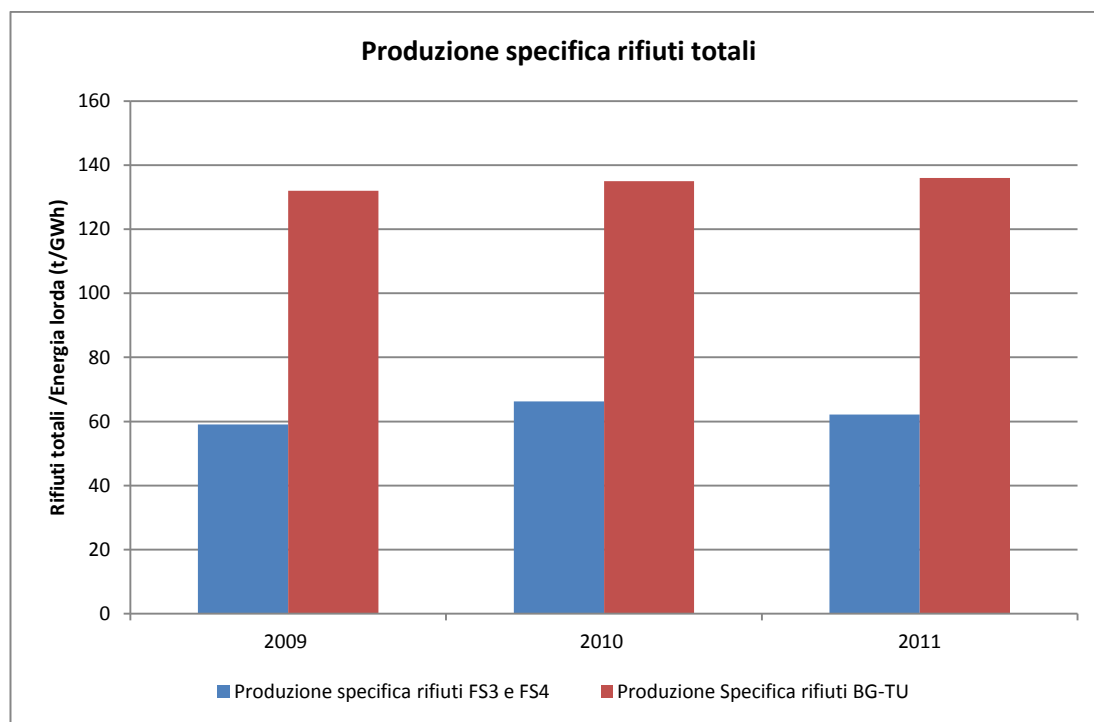


Fig. 28 – Produzione specifica totale di rifiuti di processo delle sezioni 3 e 4 di Fusina e del termovalorizzatore di Bergamo per il periodo di funzionamento 2009-2011

## 5.6. CONSIDERAZIONI DI CARATTERE ECONOMICO

Un ulteriore elemento determinante nella scelta del CDR quale fonte di energia riguarda i benefici economici ottenibili dal suo impiego. Il presente paragrafo è dedicato in particolar modo alla centrale di Fusina, la quale ha messo a disposizione i dati riguardanti la gestione economica del CDR (dati di riferimento 2011).

I benefici ricavabili dall'utilizzo del CDR riguardano principalmente:

- il risparmio di combustibile fossile;
- il risparmio conseguibile per le minori emissioni di CO<sub>2</sub>;
- il ricavo derivato dall'ottenimento di Certificati Verdi legati alla produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili per la quota biodegradabile del CDR.

Il primo vantaggio dell'impiego del CDR consiste nella riduzione dei consumi del carbone. Il prezzo del combustibile varia a seconda delle sue caratteristiche chimico-fisiche, tuttavia una forte influenza deriva dalle fluttuazioni del mercato che hanno provocato negli ultimi anni un notevole aumento dei prezzi del carbone.

Al fine di ridurre le emissioni di gas ad effetto serra la Comunità Europea ha introdotto un mercato per il commercio dei permessi delle emissioni di CO<sub>2</sub>. Il

sistema dello scambio delle quote CO<sub>2</sub> è regolato dalla Direttiva “Emissions Trading” la quale coinvolge i grandi impianti industriali, fra cui le centrali elettriche, mentre esclude completamente gli impianti di incenerimento che trattano rifiuti urbani. Le quantità di CDR utilizzate presso la centrale di Fusina rientrano, per la frazione fossile, nel meccanismo delle quote CO<sub>2</sub>, tuttavia l’impiego del CDR comporta per l’impianto notevoli vantaggi in termini di riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>, come descritto al paragrafo 5.3.

La produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili viene incentivata, in Italia, attraverso il meccanismo dei Certificati Verdi. La frazione biodegradabile del CDR, la biomassa, viene definita dalla normativa fonte rinnovabile e per questo motivo la produzione di energia da essa derivata ottiene un sostegno economico. La centrale di Fusina, come produttore di energia elettrica, ha l’obbligo di immettere annualmente nella rete nazionale una quota minima di energia prodotta da fonti rinnovabili. Grazie all’impiego del CDR l’impianto assolve a questo obbligo senza dover ricorrere all’acquisto di Certificati Verdi nel mercato dell’energia “verde”.

La tabella 38 permette di quantificare sotto il profilo economico i benefici derivanti dall’utilizzo del CDR presso la centrale di Fusina. Il bilancio è positivo, elemento fondamentale per un’azienda volta al business, e ciò fa dell’impiego del CDR come fonte energetica un’opportunità sia per l’impianto di Fusina che per la cittadinanza che con la ripartizione dei benefici può godere di una riduzione delle tariffe relative alla raccolta rifiuti.

Tab. 38 – Gestione economica del CDR presso la centrale di Fusina  
(dati di riferimento 2011 per tonnellata di CDR impiegato)

<b>VALORIZZAZIONE ECONOMICA DEL CDR</b>		
Ricavo per minor consumo carbone	€/t	70
Ricavo per minori emissioni di CO <sub>2</sub>	€/t	11
Ricavo da Certificati Verdi	€/t	100
Costo evitato obbligo copertura Certificati Verdi	€/t	14
Costo per “Operations and Maintenance”	€/t	40
Beneficio complessivo	€/t	155

## 6. CONCLUSIONI

Le problematiche correlate alla produzione dei rifiuti hanno ricevuto, negli ultimi anni, attenzioni crescenti da parte dell'Unione Europea. Le politiche comunitarie adottate in materia di rifiuti mirano allo sviluppo di modelli di crescita sostenibile e di sistemi di gestione integrata al fine di rafforzare, in primo luogo, le misure di prevenzione e, in secondo luogo, introdurre un approccio che tenga conto degli impatti ambientali connessi con la produzione e la gestione dei rifiuti. Tali obiettivi vengono perseguiti promuovendo l'applicazione pratica della "gerarchia dei rifiuti" che stabilisce l'ordine delle azioni da applicare per una gestione integrata:

- prevenzione;
- riutilizzo;
- riciclaggio;
- recupero di materia e di energia;
- smaltimento.

Il recupero di energia è prioritario rispetto allo smaltimento in discarica, in quanto consente di valorizzare il contenuto energetico del rifiuto urbano residuo (RUR) ed evita l'occupazione di terreno prezioso. Al fine di ottenere un combustibile con caratteristiche adeguate allo scopo, il RUR viene trasformato in Combustibile da Rifiuto in conformità alla norma tecnica UNI 9903 che ne garantisce la qualità. Le modifiche legislative apportate al D.Lgs 152/2006 hanno introdotto la definizione di Combustibile Solido Secondario (CSS) in sostituzione di quella di CDR, consentendo così, a seguito dei provvedimenti attuativi emanati, di assimilare il CSS ad un vero e proprio combustibile escludendolo dalle implicazioni connesse alla normativa rifiuti.

Il presente studio ha analizzato le strategie di recupero energetico da RUR basate sulla produzione di CDR e la sua combustione in impianti dedicati, con specifico riferimento alla centrale di Fusina e al termovalorizzatore di Bergamo.

Le realtà considerate, dotate delle migliori tecnologie disponibili (BAT), sono state esaminate attraverso l'individuazione degli aspetti ambientali significativi, scelti tra quelli considerati dal Regolamento EMAS come indicatori di prestazione ambientale. In particolare, questo lavoro di tesi ha valutato l'impatto sull'ambiente nelle due differenti condizioni di funzionamento a solo carbone e carbone-CDR per la centrale di Fusina e, successivamente, nelle situazioni di esercizio in co-combustione carbone-CDR per la centrale di Fusina e in combustione a solo CDR per il termovalorizzatore di Bergamo.

Per quanto riguarda i due diversi assetti di combustione presso la centrale di Fusina, dall'analisi di numerose misurazioni relative alle emissioni in aria è emersa una significativa diminuzione delle emissioni dei macro inquinanti (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Polveri e CO) e della CO<sub>2</sub> durante il funzionamento in co-combustione rispetto al funzionamento a solo carbone, mentre per i micro inquinanti le concentrazioni misurate a camino non hanno evidenziato variazioni significative nei due assetti di combustione. Relativamente alle emissioni in acqua, non sono stati osservati

particolari scostamenti nelle concentrazioni degli inquinanti in relazione all'aumento della quantità del CDR avviata a co-combustione.

Le valutazioni effettuate circa le prestazioni ambientali dell'impianto termoelettrico (assetto di co-combustione carbone-CDR) e del termovalorizzatore (combustione di solo CDR) hanno portato alle seguenti considerazioni:

- la co-combustione del CDR presso la centrale di Fusina garantisce migliori prestazioni energetiche rispetto al termovalorizzatore;
- entrambi gli impianti garantiscono il pieno rispetto dei limiti emissivi in atmosfera. Le emissioni generate nei due differenti assetti di combustione sono connesse alle caratteristiche dei combustibili (CDR e carbone), alla differente tecnologia di combustione impiegata e, non ultimo, alle diverse modalità con cui vengono eserciti i presidi ambientali dei due impianti. In particolare, il termovalorizzatore fornisce migliori prestazioni per i parametri: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HF e per il parametro somma dei metalli: Sb, As, Cr, Pb, Co, Cu, Mn, Ni, V. Per la centrale di Fusina, invece, si osservano migliori prestazioni per i parametri NH<sub>3</sub>, HCl, Hg, Cd e Tl, IPA, diossine e furani;
- il termovalorizzatore non genera emissioni in acqua, grazie all'utilizzo di una tecnologia di trattamento fumi interamente a secco. La centrale di Fusina è dotata di un impianto di trattamento spurghi da desolforazione a servizio di tutte le sezioni termoelettriche. L'attività di co-combustione non influenza le emissioni inquinanti allo scarico TSD che risultano ampiamente al di sotto dei limiti emissivi;
- la centrale di Fusina produce rifiuti di processo classificati non pericolosi che vengono interamente riutilizzati presso idonei processi industriali. Il termovalorizzatore produce sia rifiuti non pericolosi che pericolosi, i quali sono avviati al recupero ove possibile, altrimenti smaltiti in discarica. Con riferimento alle ceneri leggere, i dati di letteratura e le caratteristiche chimico-fisiche dei combustibili consentono di affermare che l'attività di combustione del solo CDR genera una maggiore produzione di cenere rispetto all'attività di co-combustione carbone-CDR. Infine, relativamente alla produzione complessiva di rifiuti di processo, risulta una produzione specifica all'incirca della metà per la centrale di Fusina rispetto al termovalorizzatore.

Il presente studio ha dimostrato che la centrale di Fusina garantisce gli standard ambientali richiesti ad un termovalorizzatore di ultima generazione. Le conclusioni raggiunte aprono, quindi, ad interessanti opportunità circa un aumento della quota di CDR che consentirebbe di minimizzare ulteriormente il ricorso alla discarica. L'impianto termoelettrico svolge un ruolo strategico nell'ambito della gestione integrata dei rifiuti, perché strettamente agganciato alla filiera del territorio veneziano. La vicinanza tra i siti di produzione e di utilizzo del CDR evita la generazione di flussi di traffico veicolare lungo le strade italiane che rischierebbero di vanificare i benefici associati alla successiva co-combustione.



Va inoltre evidenziato che l'attività di co-combustione carbone-CDR nella centrale di Fusina dà attuazione a quanto previsto nel Piano di Gestione dei rifiuti della Regione Veneto, consentendo così di evitare la costruzione di nuovi impianti di termovalorizzazione nel territorio locale.

Infine, vanno ricordati i benefici ambientali ottenibili dall'utilizzo del CDR quale fonte energetica in termini di risparmio di combustibili fossili, riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> e produzione di energia da fonti rinnovabili, in accordo alle linee programmatiche emanate dalla Comunità Europea.

## ***BIBLIOGRAFIA***

- APRICA - Settore Impianti Bergamo, Dichiarazione Ambientale, 2012
- APRICA - Settore Impianti Bergamo, Dichiarazione Ambientale, 2010
- APRICA - Settore Impianti Bergamo, Decreto 3155 del 21/11/2012- Modifica sostanziale del Decreto AIA regionale n. 10396 del 21/09/2007
- Arnoffi M, Stoppato A., Modellazione del processo di desolforazione della centrale termoelettrica a carbone Enel A. Palladio di Fusina (VE), Tesi di Laurea Specialistica in Ingegneria per l'ambiente e il territorio, Universita degli studi di Padova, 2010
- ARPAV, Produzione e gestione dei rifiuti urbani nel Veneto anno 2012, ed. 2013
- ARPA Lombardia, Relazione produzione rifiuti urbani 2011, ed. 2012
- Bansal R. C., Goyal M., Activated Carbon Adsorption, CRC Press, 2005
- Biganzoli L., Grosso M., Rigamonti L., Journal of Industrial Ecology, 16 (5), 748, 2012
- Buekens A, Huang H., Chemosphere, 31(9), 4099, 1995
- CiAl, Separazione e recupero dei metalli e valorizzazione delle scorie di combustione dei rifiuti urbani, a cura di Grosso M., Rigamonti L., Biganzoli L del Politecnico di Milano, 2010
- Clean Coal Technologies, Control of Nitrogen Oxide Emissions: Selective Catalytic Reduction (SCR), n.9, 1997
- Clean Coal Technologies, Advanced Technologies for the Control of Sulfur Dioxide Emissions from Coal-Fired Boilers, n.12, 1999
- ENEA, FederAmbiente, Rapporto sul recupero energetico da rifiuti urbani in Italia, ed. 2012
- ENEA - Ricerca sistema elettrico, Modellazione del rilascio di composti solforati, a cura di Faravelli T., Maffei T., Sommariva S., Ranzi E. del Politecnico di Milano, 2009
- ENEL - Impianto "Andrea Palladio" di Fusina, Decreto GAB-DEC-2008-0000428 del 25/11/08 - Autorizzazione Integrata Ambientale e s.m.i.

ENEL - Impianto “Andrea Palladio” di Fusina, Autorizzazione del Magistrato alle Acque di Venezia per scarichi idrici (2007)

ENEL - Impianto “Andrea Palladio” di Fusina, Dichiarazione Ambientale 2012 - 2014

ENEL, Impianto di denitrificazione Descrizione base, 2004

ENI, Enciclopedia degli idrocarburi, vol. 3, 2009

Environment Australia - Department of the Environment and Heritage, Canberra, Incineration and Dioxins: Review of Formation Processes, 1999

FederAmbiente, Osservatorio nazionale sui rifiuti, Linee guida sulla prevenzione dei rifiuti urbani, 2010

IPPC, Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration, 2006

IPPC, Reference Document on the Best Available Techniques for Large Combustion Plants, 2006

ISPRA, Rapporto rifiuti urbani, ed. 2013

Manahan S. E., Environmental Chemistry, 7<sup>th</sup> ed., CRC Press LLC, 2000

McKay G., Chemical Engineering Journal, 86, 343, 2002

Nomisma Energia, Politiche energetiche e ambientali: le potenzialità del Combustibile da Rifiuti di Qualità Elevata, CDR-Q, 2008

Recycling demolizioni & riciclaggio, Co-combustione di CDR in una centrale a carbone, gennaio 2011

Management delle Utilities e delle Infrastrutture, La valorizzazione energetica dei rifiuti nel modello veneziano. Criticità e proposte, n. 3/2010

ISPESL, Prevenzione Oggi, I sistemi di abbattimento degli ossidi di azoto nelle centrali termoelettriche: il processo di riduzione catalitica selettiva (SCR), Vol. 6, n. 1/2, 23-33, gennaio-giugno 2010

Satish M Manocha, Sadhana Vol. 28, Parts 1 & 2, pp. 335–348, February/April 2003

Solvay, Neutrec: depurazione dei fumi e valorizzazione dei prodotti sodici residui, 2001

## ***LEGGI E COMUNICAZIONI***

Commissione Europea, sesto programma di azione per l'ambiente della Comunità europea, anni 2002-2012

Direttiva 75/442/CEE 15 luglio 1975 relativa ai rifiuti

Direttiva 2006/12/CE del 5 aprile 2006, relativa ai rifiuti

Direttiva 2008/98/CE del 19 novembre 2008, relativa ai rifiuti

Direttiva 2000/76/CE del 4 dicembre 2000, sull'incenerimento dei rifiuti

D.Lgs Governo n° 152 del 03/04/2006, Norme in materia ambientale

D.Lgs Governo n° 133 del 11/05/2005, Attuazione della direttiva 2000/76/CE, in materia di incenerimento dei rifiuti.

Istituto Superiore Sanità, Rapporti ISTISAN 04/15, Trattamento dei dati inferiori al limite di rivelabilità nel calcolo dei risultati analitici, 2004

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Nota Tecnica: Metodi di Riferimento per le misure previste nelle AIA statali, 2011

Regolamento CE 1221/2009 del 25 novembre 2009 relativo all'adesione volontaria delle organizzazioni a un sistema comunitario di ecogestione e audit (EMAS)

Regolamento CE 1272/2008 del 16 dicembre 2008 relativo alla classificazione, all'etichettatura e all'imballaggio delle sostanze e delle miscele (CLP)

UNI 9903:2004 relativa ai combustibili solidi non minerali ricavati da rifiuti (RDF)

UNI EN 12620:2013 relativa agli aggregati per calcestruzzo

UNI EN 450:2007 relativa alle ceneri volanti per calcestruzzo

UNI EN ISO 14001:2004 relativa ai sistemi di gestione ambientale

*SITI INTERNET*

A2A, [www.a2a.eu/](http://www.a2a.eu/)

Aprica, [www.apricaspa.it/](http://www.apricaspa.it/)

ARPAV, Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto,  
<http://www.arpa.veneto.it/>

Ecoprogetto Venezia, [www.ecoprogettovenetia.it/](http://www.ecoprogettovenetia.it/)

EIPPCB, European IPPC Bureau, <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/index.html>EUROPA,  
Sito ufficiale della Comunità Europea, <http://europa.eu/>

GSE, Gestore Servizi Energetici, [www.gse.it/it/](http://www.gse.it/it/)

ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale,  
[www.isprambiente.it/](http://www.isprambiente.it/)

Ladurner Ambiente, [www.ladurnerambiente.it/](http://www.ladurnerambiente.it/)

MATM, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare,  
[www.minambiente.it](http://www.minambiente.it)

VERITAS, Veneziana Energia Risorse Idriche Territorio Ambiente Servizi,  
[www.gruppoveritas.it/](http://www.gruppoveritas.it/)

## ***RINGRAZIAMENTI***

Il raggiungimento della Laurea Magistrale rappresenta uno dei più importanti obiettivi della mia vita. Desidero, perciò, ringraziare tutti coloro che mi hanno aiutato nella realizzazione di questo lavoro di tesi.

Innanzitutto, ringrazio il Prof. Andrea Tapparo, relatore della mia tesi, per il puntuale lavoro di revisione di tutto quanto da me prodotto e per la disponibilità dimostratami in questi mesi. Uno speciale ringraziamento al Dott. Franco Bertazzolo per la grande fiducia, per l'aiuto e il sostegno fornitomi durante la stesura del lavoro. Ringrazio, inoltre, il Prof. Sandro Campestrini per la disponibilità e il grande interesse dimostrato durante i nostri incontri.

Un particolare ringraziamento all'azienda Enel Produzione per la fornitura dei dati e per avermi dato la possibilità di svolgere questo progetto di ricerca. Desidero, inoltre, esprimere la mia gratitudine all'azienda A2A - Settore Impianti Bergamo, in particolare nella persona dell'Ing. Giuseppe Bonacina, per i dati quantitativi forniti sull'attività di combustione del CDR e per la disponibilità allo scambio di informazioni.

Un grazie di cuore ai miei colleghi, a Mario per la pazienza e gli utili suggerimenti per l'impostazione del lavoro, a Gabriele per avermi fornito dati e informazioni puntuali e precise, a Paolo per il grande supporto morale, a Marinella e Francesco per la disponibilità e le informazioni fornite.

Ringrazio e saluto il mio amico Francesco, il suo aiuto e il suo ottimismo sono stati fondamentali durante questo percorso di studi.

Infine, il più grande ringraziamento va alla mia famiglia per avermi sempre sostenuta e supportata moralmente e fisicamente; a Irene, Francesco e Valeria per la pazienza, i consigli e l'aiuto che mi hanno dato in tutti questi anni di studio.